

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta strojní
Ústav technologie obrábění, projektování a
metrologie



Analýza frézování soudečkovými nástroji

Bakalářská práce

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní obor je bez oboru

Vedoucí práce: Ing. Tomíček Jan, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vašek** Jméno: **Pavel** Osobní číslo: **483222**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Analýza frézování soudečkovými nástroji

Název bakalářské práce anglicky:

Analysis of milling with barrel shaped tools

Pokyny pro vypracování:

Frézování soudečkovými nástroji má za účel zkrátit dobu obrábění a poskytnout lepší kvalitu povrchu. Řezné podmínky na ploše řezu se ale mění, stejně jako zatížení nástroje. Proto proveďte:

1. Rešerši na téma frézování soudečkovými nástroji včetně CAM a programování drah
2. Návrh a provedení experimentů pro obrábění
3. Analýza a hodnocení povrchu výrobků
4. Hodnocení použití nástroje a jeho opotřebení
5. Vyhodnocení a závěry jako doporučení k použití technologie

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Tomíček, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.03.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Jan Tomíček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma Analýza frézování soudečkovými nástroji vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady, které jsou uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 25.7.2022

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu panu Ing. Janu Tomíčkoví, Ph.D. za vedení, odborné rady a cenné připomínky poskytnuté během tvorby bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě FAIVELEY TRANSPORT CZECH a.s. za umožnění obrobení vzorku pro praktickou část.

Anotace

Autor:	Pavel Vašek
Název práce:	Analýza frézování soudečkovými nástroji
Rozsah práce:	61 stran, 61 obrázků, 10 tabulek, 5 příloh
Akademický rok:	2021/2022
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojího inženýrství
Ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
Vedoucí práce:	Ing. Tomíček Jan Ph.D.
Abstrakt:	<p>Bakalářská práce pojednává o problematice soudečkových nástrojů a vlivu nesousledného a sousledného obrábění na strukturu povrchu. První sekce teoretické části se zaměřuje na sousledné a nesousledné obrábění, strukturu povrchu, tvorbu třísky. Další část je věnována soudečkovým nástrojům, jejich základnímu rozdělení, použití a teoretickému porovnání s kulovou frézou. V poslední sekci teoretické části jsou porovnávány CAM softwary z hlediska přístupu a obráběcích strategií soudečkových nástrojů. Praktická část se zaměřuje na porovnání struktury povrchu a strojního času při sousledném a nesousledném frézování kulovou a soudečkovou frézou a také změnu struktury povrchu a strojního času při polovičním řádkování. Dále je vyhodnoceno opotřebení nástroje a přesnost vytvořeného úhlu 2,5°.</p>
Klíčová slova:	Sousledné a nesousledné obrábění, soudečková fréza, CAM software, struktura povrchu

Annotation

Author:	Pavel Vašek
Thesis title:	Analysis of milling with barrel shaped tools
Thesis extent:	61 pages, 61 pictures, 10 tables, 5 attachments
Academic year:	2021/2022
Study programme:	B2342 Theoretical basis of mechanical engineering
Institute:	Department of Machining Technology, Design and Metrology
Thesis supervisor:	Ing. Tomíček Jan Ph.D.
Abstract:	<p>The bachelor thesis deals with the issue of barrel tools and the influence of non-consecutive and consecutive machining on the surface structure. The first section of the theoretical part focuses on non-consecutive and consecutive machining, surface structure and chip formation. The next part is devoted to barrel tools, their basic classification, use and theoretical comparison with a ball end mill. The last section of the theoretical part compares CAM software in terms of approach and machining strategies of barrel tools. The practical part focuses on the comparison of surface structure and machine time in non-consecutive and consecutive milling with ball end and barrel milling cutters, as well as the change of surface structure and machine time in half line spacing. Furthermore, the wear of the tool and the accuracy of the created angle of 2.5° are evaluated.</p>
Key words:	Consecutive and non-consecutive machining, barrel milling cutter, CAM software, surface structure

Seznam použitých symbolů a zkratek

CAM	Computer-aided manufacturing
CAD	Computer-aided design
F_o	Odporová síla
F_z	Hlavní řezná síla
F_v	Výsledná síla
R_a	Střední hodnota všech odchylek od střední čáry
R_z	Průměrná hodnota z pěti měření R_a
R_{max}	Rozdíl mezi maximem a minimem profilu drsnosti
CNC	Computer numeric control
R_w	Efektivní poloměr řezné části nástroje
R_{th}	Teoretická drsnost
D	Průměr
r	Poloměr
b_r	Řádkování
KS	Kulová fréza sousledné obrábění
KN	Kulová fréza nesousledné obrábění
SS	Soudečková fréza sousledné obrábění
SN	Soudečková fréza nesousledné obrábění
S	Otáčky vřetene
F	Posuv (značení dle ŘS Heidenhein)
W_t	Hloubka vln
ŘS	Řídicí systém

Obsah

Anotace.....	4
Annotation.....	5
Seznam použitých symbolů a zkratek.....	6
1. Frézování.....	10
1.1. Popis frézování.....	10
1.2. Tvorba třísky.....	10
1.3. Typy třísek.....	11
1.4. Sousedné a nesousedné obrábění.....	11
1.5. Struktura povrchu.....	13
1.5.1. Drsnost R.....	13
1.5.2. Vlnitost W.....	13
1.5.3. Základní profil P.....	14
1.6. Měření drsnosti povrchu.....	14
1.6.1. Dílenské drsnoměry.....	14
1.6.2. Laboratorní drsnoměry.....	14
1.6.3. Laserové a optické metody měření drsnosti.....	14
2. Rozdělení fréz.....	15
2.1. Kulová a toroidní fréza.....	15
2.2. Soudečkové frézy (barrel/lens tools).....	16
2.2.1. Použití jednotlivých soudečkových fréz.....	18
2.3. Parabolic Performance Cutting (PPC).....	19
2.4. Teoretické porovnání kvality povrchu.....	19
2.4.1. Výpočet řádkování a drsnosti povrchu.....	19
3. CAM softwary.....	20
3.1. HyperMILL OPEN MIND Technologies AG.....	21
3.2. PowerMILL Autodesk.....	21
3.3. NCG CAM.....	21
3.4. Master CAM.....	22
3.5. NX CAM.....	22
3.6. EDGE CAM.....	22
4. Návrh experimentu a vytvoření CAD/CAM modelu.....	23
4.1. Návrh obrobku.....	23

4.2. Příprava CAM	23
4.3. Výpočet řádkování	24
4.3.1. Soudečková fréza	24
4.3.2. Kulová fréza.....	25
4.4. Výsledný návrh experimentu	26
4.5. Obrábění	26
4.5.1. První hrubování.....	26
4.5.2. Druhé hrubování	27
4.5.3. Příprava kolébky.....	27
4.5.4. Sonda	28
4.5.5. Gravírování.....	28
4.5.6. Korekce nástrojů	29
4.5.7. Obrábění kulovou frézou	29
4.5.8. Obrábění soudečkovou frézou kapkovitého tvaru	30
4.5.9. Časy obrábění.....	31
4.5.10. Postřehy při obrábění	31
5. Měření.....	32
5.1. Naměřené hodnoty	32
5.1.1. Hodnoty vzorku A.....	33
5.1.2. Hodnoty vzorku B.....	34
5.2. Velikost úhlu	35
5.3. Drsnost, vlnitost	37
5.3.1. Drsnost Ra	40
5.3.2. Drsnost R_z	42
5.3.3. Drsnost R_{max}	43
5.3.4. Vlnitost W_t	44
5.4. Opotřebení nástroje a struktury povrchů.....	46
5.4.1. Opotřebení kulové frézy	46
5.4.2. Opotřebení soudečkové frézy.....	49
5.4.3. Struktura povrchu po obrobení kulovou frézou	51
5.4.4. Struktura povrchu po obrobení soudečkovou frézou.....	53
5.5. Pořadí v jednotlivých parametrech.....	55
6. Závěr	56

Bibliografie.....	57
Seznam obrázků.....	60
Seznam tabulek	61
Seznam příloh	61

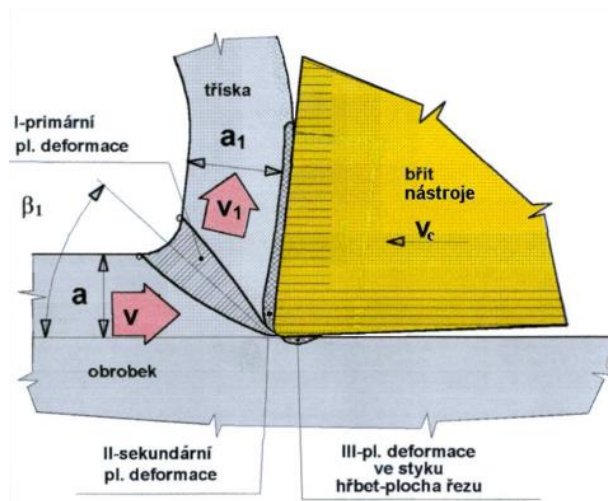
1. Frézování

1.1. Popis frézování

Frézování je jedna z nejrozšířenějších metod obrábění pro rovinné a tvarově složité plochy nerotačních součástí. Lze také frézovat drážky, závity, ozubení apod. Hlavní rotační pohyb vykonává vícebřítý nástroj (fréza) a vedlejší pohyb vykonává obrobek. Vedlejší pohyb se může lišit v závislosti na možnostech frézky (2D, 3D, 5D), v zásadě je vždy možný posuv v ose x – podélný, ose y – příčný a v ose z – svislý. Při vícesém frézování se natáčí obrobek nebo nástroj, případně obojí. Tvar obrobek je dán geometrií nástroje nebo pohybem nástroje a obrobku. Základní způsoby frézování jsou válcové a čelní, mohou probíhat sousledně a nesousledně. Jako všude i ve frézování dochází ke zdokonalování, a to jak z hlediska přesnosti strojů a nástrojů, tak i CAM/CAD softwaru, s cílem snížení pracovního času se zachováním povrchových vlastností. [1]

1.2. Tvorba třísky

Na tvorbu třísky má vliv tvar a velikost břitu, utvařec třísky, poloha břitu vůči obráběné ploše, vlastnosti nástroje a obrobku, řezné pohyby a řezné podmínky. Při obrábění vniká břit nástroje do obrobku, kde ze začátku převažují pružné deformace, přičemž obrobek klade čím dál větší odpor, dokud tento odpor není větší než mez kluzu materiálu obrobku. Poté vznikají plastické deformace podél střižné roviny, které způsobí posunutí materiálu a následné oddělení materiálu (třísky) od obrobku a celý tento děj se následně opakuje. Máme tři oblasti deformace primární, sekundární a terciální. Primární plastická deformace rozhoduje o tvorbě třísky jako takové. Sekundární plastická deformace je způsobena vysokými tlaky a teplotami, čímž dochází na hřbetu k adhezi s materiálem obrobku. Terciální plastická deformace je způsobena geometrií břitu nástroje, který vtlačuje materiál do obrobku. Je výhodné, pokud jsou napětí na povrchu tlaková, což má za následek zpevnění povrchu. [1]



Obrázek 1: Druhy deformací [1]

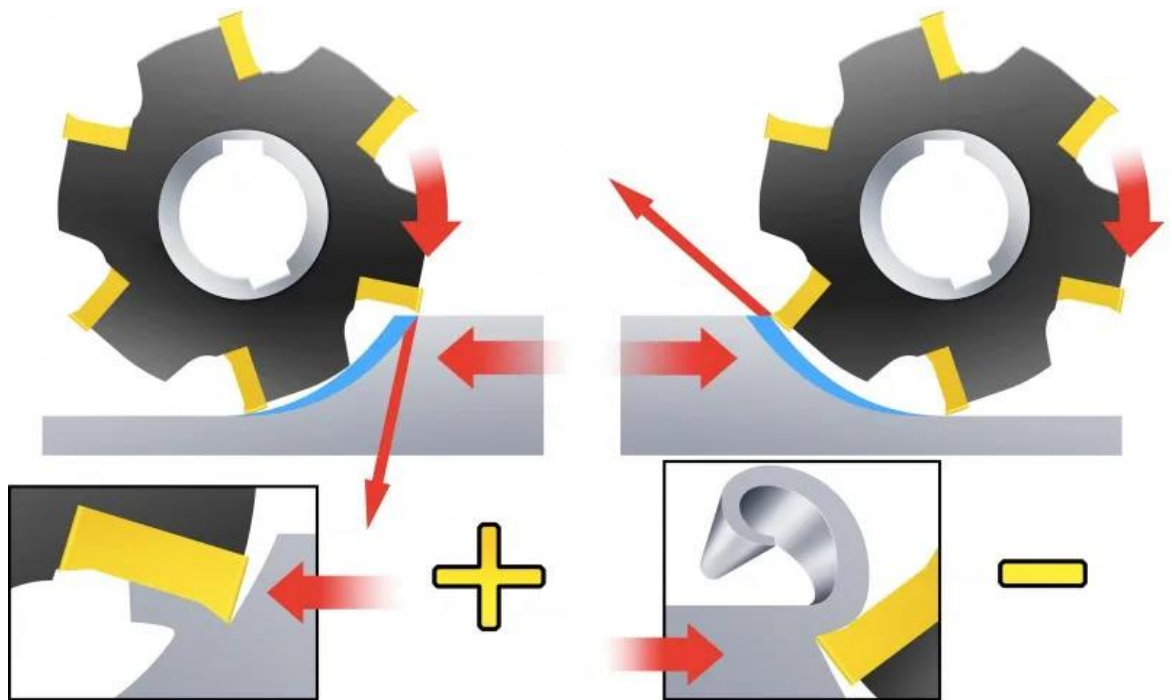
1.3. Typy třísek

Deformace uvnitř třísky při řezání je natolik velká, že přesáhne mez pevnosti, čímž dojde k porušení soudržnosti materiálu a oddělí se část třísky. Způsob oddělení může být buď odtrhnutím, při převaze tahového napětí, nebo usmyknutím, při převaze smykového napětí. Je mnoho druhů třísek, ale řekněme si ty základní. Drobná tříška vzniká převážně u křehkých materiálů nebo pokud je velká hloubka řezu, malé řezné rychlosti a malé úhly čela. Drobná tříška způsobuje velmi drsný povrch z důvodu vytrhávání materiálu z obrobku. Článkovitá tříška převažuje u houževnatých materiálů, při použití středních úhlů čela a za nízkých řezných rychlostí je tvořena převážně krátká šroubovice. Plynulá tříška převažuje u houževnatých materiálů, při vysokých řezných rychlostech a velkých úhlech čela. Z pohledu na drsnost a kvalitu povrchu je tato tříška nejlepší. Na plynulou třísku jsou kladeny vysoké bezpečnostní nároky z důvodu možnosti namotávání třísky na obrobek. Namotávání třísky může např. ohrozit obsluhu stroje, proto je dobré třísku lámat. K lámání třísky slouží lamače nebo utvařeče třísky. Tříška má vliv na kvalitu a jakost povrchu. [1] [2]

1.4. Sousedné a nesousedné obrábění

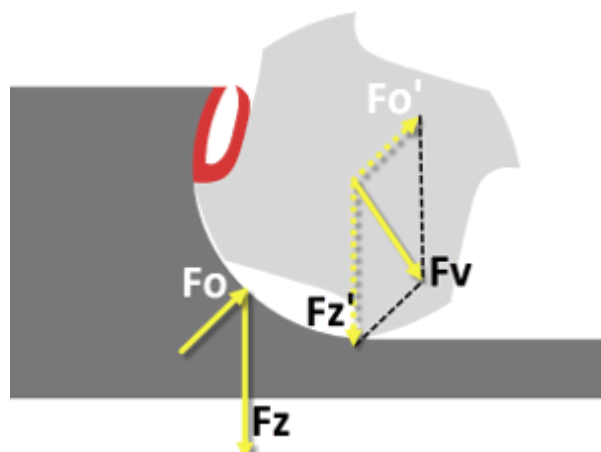
Při sousledném nebo sousměrném obrábění je směr pohybu zubů a obrobku stejný, tloušťka třísky se postupně snižuje až na nulovou hodnotu. To chrání břit před obroušováním. Při nesousedném nebo nesousměrném obrábění je tento směr

opačný, tloušťka třísky je nejmenší na začátku a postupně se zvětšuje. Nesousledné obrábění má řadu nevýhod jako např. horší jakost povrchu, větší hlučnost, vytrhávání třísky z obrobku. Ale má i své výhody a ty se uplatňují hlavně při hrubování, kde má větší produktivitu než sousledné obrábění nebo menší zařezávání frézy na vstupu do drážky. [3]



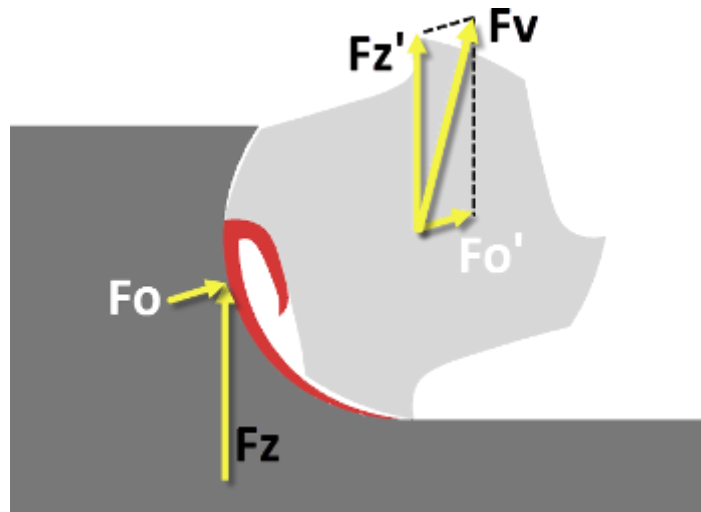
Obrázek 2: Sousledné a nesousledné obrábění [3]

Při výběru způsobu obrábění je potřeba zvážit i silové účinky. Pro nesousledné frézování je odporová síla od posuvu F_o a hlavní řezná síla F_z v opačném směru, a proto se odečítají viz obrázek 3. Výsledná síla F_v je relativně malá a směřuje do obrobku.



Obrázek 3: Síly – nesousledné obrábění [28]

Pro sousledné frézování jsou síly od posuvu F_o ve stejném směru s hlavní řeznou silou F_z , a proto se sčítají a působí směrem z obrobku ven, čímž ho nadzvedávají a mohou obrobek uvolnit. Toto může mít za následek vtahování frézy do obrobku, což zvýší



Obrázek 4: Síly – sousledné frézování [28]

posuv nežádoucím způsobem a následně dojde k větší tloušťce třísky, a to může vést až ke zlomení břitu a samozřejmě i snížení kvality povrchu. Pro takové případy je dobré zvolit nesousledné frézování. [3]

1.5. Struktura povrchu

Struktura povrchu je soubor geometrických parametrů popisujících povrch materiálu, způsobený výrobou, obráběním a chemickými procesy např. korozí. Dělí se na tři skupiny podle nerovností: drsnost (R), vlnitost (W) a základní profil (P).

1.5.1. Drsnost R

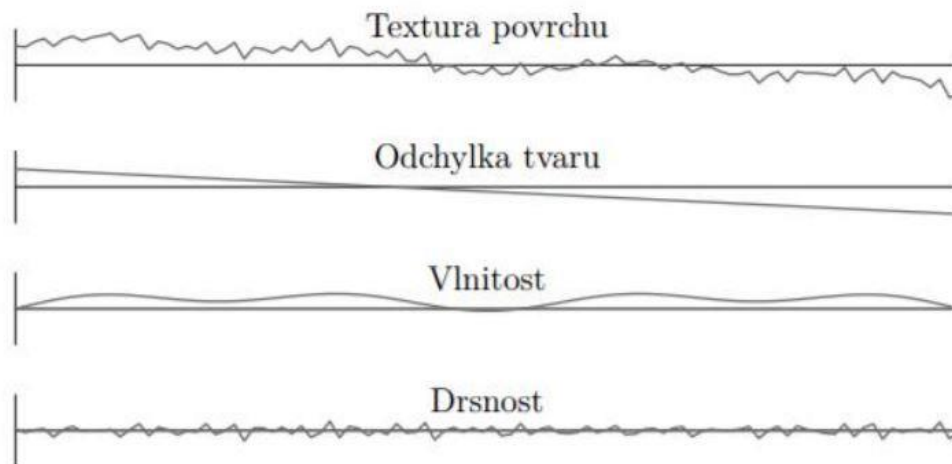
Drsnost je vlastnost obráběného povrchu. Stanovuje se ze základního profilu a to tak, že se zanedbají dlouhovlnné složky profilu. Dále se dělí na R_a , R_z a R_{max} . R_a je střední hodnota všech odchylek od střední čáry profilu, bez ohledu na jejich vertikální směr. R_z je průměrná hodnota z pěti měření R_a . R_{max} je rozdíl mezi maximem a minimem profilu drsnosti, udává se cca šestinásobek R_a . [4]

1.5.2. Vlnitost W

Vlnitost je složka textury povrchu a sleduje drsnost povrchu z hlediska vlnové délky. Vzniká vnějšími vlivy při obrábění např. pasivními silami nebo opotřebením nástroje. Pokud je ale odchylka vlnové délky větší než udává norma, jedná se o odchylku tvaru.

1.5.3. Základní profil P

Základní profil neboli textura povrchu je skutečný tvar povrchu součásti. [5]



Obrázek 5: Struktura povrchu [5]

1.6. Měření drsnosti povrchu

Drsnost měříme pomocí drsnoměru a to tak, že se měřící hrot posouvá po nastavené délce a snímá jeho příčné pohyby viz obrázek 5.

1.6.1. Dílenské drsnoměry

Rozměrově jsou kompaktní a snadno přenosné. Měří se s nimi nejčastěji tak, že se položí na měřenou plochu. Snímací hrot má větší poloměr zaoblení a také větší vrcholový úhel. [6]

1.6.2. Laboratorní drsnoměry

Měří se s nimi špatně přístupné plochy, proto mají k dispozici mnoho nastavitelných ramen. Tento drsnoměr je mnohem citlivější na menší nerovnosti, z toho důvodu má menší vrcholový úhel a malý poloměr zaoblení a musí být připojen k počítači na vyhodnocování dat. [6]

1.6.3. Laserové a optické metody měření drsnosti

Pro měření drsnosti lze použít mikroskopy atomárních sil, které jsou nejpřesnější, ale zároveň nejpomalejší, nebo laserové skenovací konfokální mikroskopy, které jsou velmi rychlé a generují 3D snímky. [7]

2. Rozdělení fréz

Frézy můžeme dělit např. podle obráběcí plochy frézy na celoplošné, obvodové nebo kombinované. Dále také podle tvaru plochy, na které jsou břity. Máme válcové, kuželové, kotoučové, čelní, tvarové. Na tvarové se v této práci zaměřím. Dosud se obecné plochy dělaly za pomoci kulových fréz nebo fréz s danou geometrií, ale ty byly jednoúčelové a velmi drahé na výrobu (jen pro danou geometrii plochy). [1]

2.1. Kulová a toroidní fréza

Kulová fréza má na konci dva nebo více břitů uspořádané ve tvaru koule. Toroidní fréza má nejčastěji 4 břity, ale počet se může lišit, má válcové tělo s poloměrem na špičce. Používá se na tvarové frézování, pro hrubování a lehké hrubování se používají nástroje s kruhovými břitovými destičkami nebo s velkým poloměrem zaoblení rohů a pro dokončovací operace se užívají stopkové frézy. Při frézování štíhlých a složitých tvarových ploch (např. lopatky turbín) se tyto nástroje dají použít s dlouhým vyložení, které ale může způsobit vibrace a vést k následnému zhoršení kvality povrchu. Přesto dosahují toroidní nebo kulové frézy lepších povrchových vlastností, především vytvářejí méně stupňovitý povrch nerovností než klasické válcové frézy s rádiusem v rohu.



Obrázek 7: Kulová fréza [8]



Obrázek 6: Toroidní fréza [9]

Předností toroidních fréz je rovné čelo, které umožňuje vyšší hodnoty bočního přísluvu, ale má i svá omezení např. neumožňuje obrábět vyduté plochy o malém průměru nebo vnitřní kouty z důvodu rozměrů nástroje. Proto se častěji používá na tyto části kulová fréza. Kulová fréza se z důvodu její geometrie nástroje, která je velmi

specifická malou šířkou záběru ostří, používá, aby se udržela požadovaná jakost a kvalita povrchu. Z tohoto důvodu je velmi málo produktivní. Další nevýhodou kulové frézy je její nekonstantní obvodová, a tedy i řezná rychlost, daná rádiusem nástroje, a to až do kritického bodu, kdy je osa nástroje kolmo na obráběný povrch. V tu chvíli je na nástroji nulová řezná rychlost, a tedy se neobrábí a nástroj tím trpí z hlediska teploty, trvanlivosti a změny geometrie při extrémních podmínkách. Tomu lze předejít nakloněním osy nástroje nebo obrobku, aby se tento bod na nástroji dostal mimo oblast záběru, z tohoto důvodu se doporučuje obrábět těmito frézami na víceosých CNC obráběcích strojích. Na konvenčních obráběcích strojích lze ručně měnit úhel, ale to je velmi náročné a vyžaduje to zdatnou a zkušenou obsluhu a nezaručuje opakovatelnost. Když kulová fréza není vykloněna, je efektivní průměr závislý jen na hloubce a poloměru nástroje. Jelikož se kulová fréza používá převážně na dokončování, je nutno použít malé rádiusy pro zajištění kvality povrchu. Pokud chceme tyto dokončovací operace zefektivnit je možné použít nástroje se zakřivenou řeznou částí do tvaru kruhu o velkém poloměru jako jsou soudečkové frézy. [9] [10] [11]

2.2. Soudečkové frézy (barrel/lens tools)

Soudečkové frézy jsou frézy s velkým rádiusem břitu. Geometrie čelních břítů je optimalizovaná pro tvarování a odvod třísek. Speciálně pro soudečkové frézy s čelním rádiusem. Jsou velmi efektivní pro dokončovací operace jakéhokoliv tvaru, často stačí přídavek na obrábění v rozmezí 0,05 až 0,2 mm pro dokončovací operace. Za velmi krátkou dobu dokážou obrobit povrch obrobku na nejvyšší kvalitu, často mohou nahradit i operaci broušení. Soudečkové frézy se vyrábějí ve čtyřech základních tvarech.

- a) tangenciální (kapkovitý/oválný)
- b) kónický kuželový
- c) soudečkový (rovný)
- d) kónický čočkovitý



Obrázek 9: Tangenciální tvar [12]



Obrázek 8: Kónický tvar [26]



Obrázek 11: Soudečkový tvar [13]

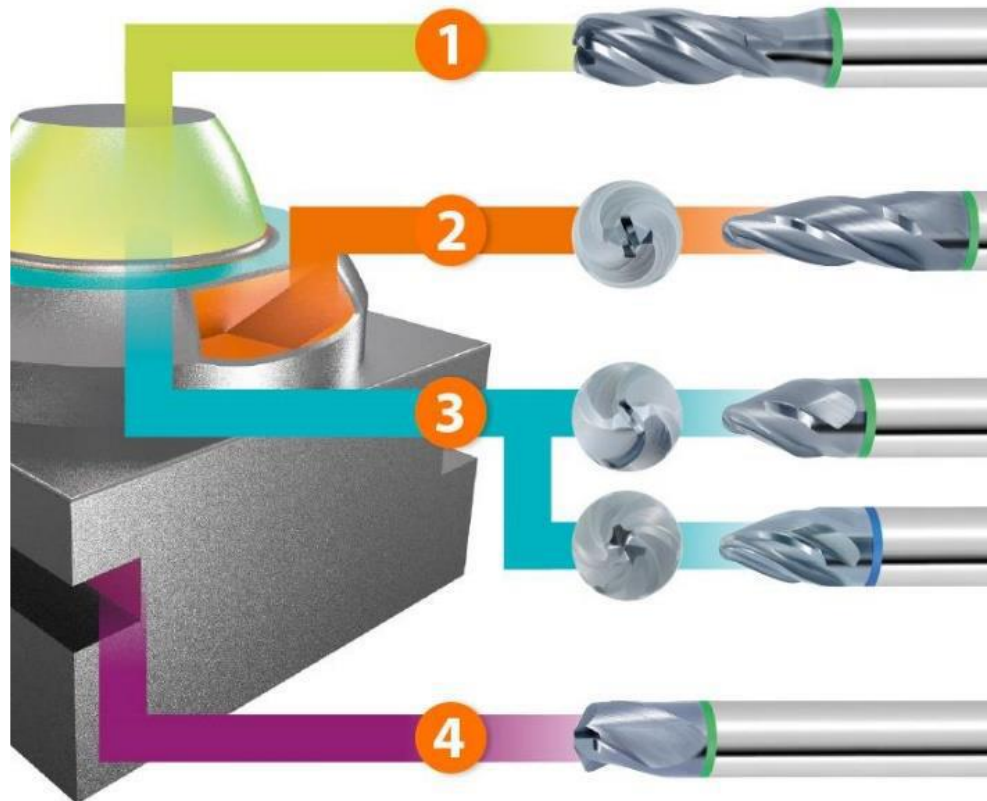


Obrázek 10: Kónický čochovitý tvar [27]

Základní tvary soudečkových fréz s kruhovým segmentem ovlivňují plochu záběru na obrobku, díky tomu vzniká mezi frézou a obrobkem veliká styčná plocha, což má za následek větší rozestupy mezi dílčími řádky pro dosažení stejné jakosti povrchu. Bohužel to má za následek i větší pasivní síly, což zhoršuje nebo dokonce znemožňuje obrábět tenkostěnné polotovary.

2.2.1. Použití jednotlivých soudečkových fréz

Na obrázku 12 je vidět doporučené použití jednotlivých fréz.



Obrázek 12: Použití soudečkových fréz [11]

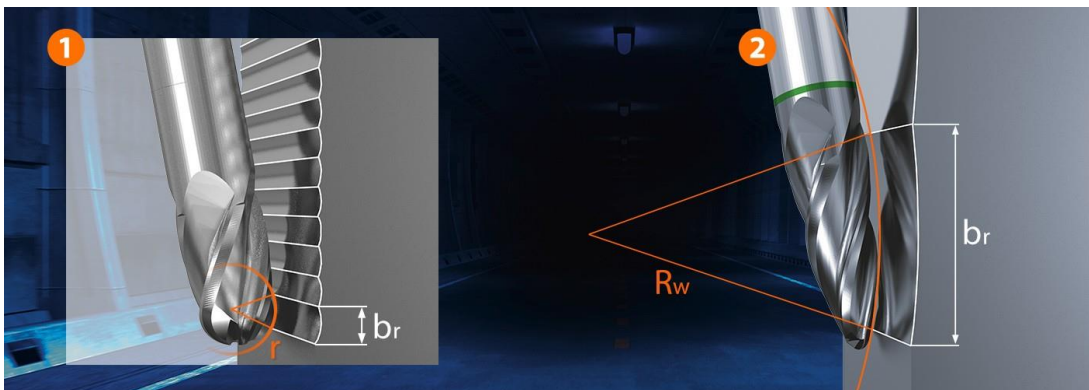
1. rovný (soudečkový) tvar – vhodný na volně přístupné plochy bez náhlých přechodů.
2. tangenciální (kapkovitý, oválný) tvar – vhodný na hluboké a špatně přístupné dutiny. Dále ho lze použít pro základní obrábění, případně dokončování vnějších nebo vnitřních tvarových a rovných ploch i kapes.
3. kónický (kuželový) tvar – vhodný na velké plochy i nepravidelné tvary. Díky speciální geometrii čela je vhodný pro základní obrábění a umožňuje použít největší efektivní poloměr R_w řezné části nástroje.
4. komolý kónický (čočkovitý) tvar – vhodný pro dokončování spodních ploch na obrobcích nebo základní obrábění. [11]

2.3. Parabolic Performance Cutting (PPC)

Parabolic performance cutting je revoluční inovace pro obrábění ploch libovolného tvaru. Protože frézy disponují vybroušeným kruhovým segmentem, jsou označovány také jako soudečkové frézy. Kruhový segment ovlivňuje plochu záběru na obrobku, což vede k podstatným výhodám oproti obrábění normálními rádiusovými frézami. K výhodám PPC patří kratší doba obrábění díky velkému řádkování, nižší náklady na přípravu, univerzálně použitelné nosné nástroje a specifické vyměnitelné destičky, vyšší kvalita povrchu při kratších dobách obrábění, procesní spolehlivost, extrémní odolnost proti opotřebení a vyšší produktivita. [11]

2.4. Teoretické porovnání kvality povrchu

Z uvedeného obrázku je vidět porovnání povrchu vytvořeného kulovou a soudečkovou frézou, kde při použití rozdílného řádkování (b_r) se dosahuje lepší výsledné kvality povrchu u soudečkové frézy než u frézy kulové.



Obrázek 13: Porovnání fréz [11]

2.4.1. Výpočet řádkování a drsnosti povrchu

Porovnání kulové a soudečkové frézky

Příklad:

Drsnost teoretická – $R_{th} = 2,5 \mu\text{m}$

Průměr – $D = 12 \text{ mm}$

Poloměr – $r = 6 \text{ mm}$

Pro PPC je $r = R_w = 500 \text{ mm}$

Řádkování – b_r

$$b_r = 2 * \sqrt{R_{th}(2 * r - R_{th})} \quad (2.1)$$

Kulová fréza

$$b_r = 2 * \sqrt{\frac{2,5}{1000} \left(2 * 6 - \frac{2,5}{1000} \right)} = 0,35 \text{ mm} \quad (2.2)$$

Soudečková fréza

$$b_r = 2 * \sqrt{\frac{2,5}{1000} \left(2 * 500 - \frac{2,5}{1000} \right)} = 3,17 \text{ mm} \quad (2.3)$$

$$\frac{3,17}{0,35} = 9,05 \quad (2.4)$$

Soudečková fréza je v tomto případě 9 krát efektivnější než kulová fréza se stejnou drsností a kvalitou povrchu.

$$R_{th} = \left(r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{b_r}{2} \right)^2} \right) * 1000 \quad (2.5)$$

$$R_{th} = \left(6 - \sqrt{6^2 - \left(\frac{0,35}{2} \right)^2} \right) * 1000 = 2,552 \text{ } \mu\text{m} \quad (2.6)$$

$$R_{th} = \left(500 - \sqrt{500^2 - \left(\frac{3,17}{2} \right)^2} \right) * 1000 = 2,512 \text{ } \mu\text{m} \quad (2.7)$$

Navíc soudečková fréza ve srovnání s kulovou frézou umožňuje větší řádkování při zachování stejné kvality povrchu, a to díky jejímu efektivnímu poloměru řezné části, který je určený primárně k obrábění. Z toho vyplývá, že soudečková fréza výrazně zvyšuje produktivitu, kvalitu povrchu a snižuje strojní čas obrábění při dokončovacích operacích. [4]

3. CAM softwary

Nedílnou součástí víceosého frézování je pomoc od programů obecně CAx. Základ je vytvoření modelu součásti nebo sestavy v CAD (computer-aided design), následně se tento model dá do CAM (computer-aided manufacturing), ve kterém se popíšu technologické postupy např. dráhy nástrojů, geometrie nástrojů, parametry pro obrábění a další.

K porovnání byly vybrány softwary, které se nejčastěji na trhu objevují a mají možnost obrábět soudečkovými nástroji, z toho důvodu se v následující části neobjevuje velmi rozšířený Autodesk Fusion 360, který je nepodporuje. Hlavní body porovnání CAM systémů byly, jestli podporují 5D obrábění, jak se staví k problematice soudečkových nástrojů, jak s danými strategiemi pracují a jak jsou softwary intuitivní. V neposlední řadě je i EDGECAM, ve kterém byl vypracován experiment. Dále byly řešeny zmíněné body z různých CAM systémů na aplikaci soudečkových nástrojů. Dojmy jsou objektivní ze strany strategií a přístupu k soudečkovým frézám, ale i subjektivní z hlediska práce se softwarem.

3.1. HyperMILL OPEN MIND Technologies AG

Program podporuje 2D, 2,5D, 3D a 5D obrábění. Má podporu soudečkových nástrojů a tři speciální strategie přímo pro soudečkové nástroje, ale dá se upravovat jen málo parametrů, jedním z nich jsou vodící linky. Velkou nevýhodou programu je, že základní verze je 2,5D a pro naše potřeby je potřeba dokoupit další dva balíčky, což je ekonomicky velmi nevýhodné. Dále programování v balíčku 5D je jednoduché indexové frézování nebo celkem složité 5osé souvislé obrábění. Pro soudečkové nástroje se nejvíce hodí 5osé souvislé automatické indexování, kde se definuje úhel nástroje k dané libovolné ploše a sám vše dopočte, včetně kolizí. [14] [15]

3.2. PowerMILL Autodesk

Program podporuje 2D, 3D obrábění a 5D obrábění za příplatek. Má podporu soudečkových nástrojů s plnou kontrolou nad nástrojem. Umožňuje upravovat téměř všechny parametry včetně nájezdů, drah, přechodů. Přednost PowerMILLu je v jeho rychlosti výpočtů při změně parametrů, protože nepře počítává celé dráhy, nýbrž jen danou změnu a tu následně implementuje do celého výpočtu. Nevýhodou je složité uživatelské rozhraní a nutnost zadávat mnoho proměnných. [16]

3.3. NCG CAM

Program je zaměřen na metodu PPC mnohem více než ostatní CAM systémy. NCG nabízí širokou škálu obráběcích strategií, aby uživatel musel zadávat jen minimum vstupních údajů. Další předností je, že lze upravovat i ostatní parametry. [17]

3.4. Master CAM

Asi nepropracovanější CAM ohledně používání soudečkových nástrojů. Má vlastní knihovnu pro soudečkové nástroje i se strategiemi jak od tvůrců CAM, tak i od uživatelů. Program OptiRough může doporučit podle daného modelu a nástroje optimální strategie. Každá funkce má mnoho proměnných, které se mohou zadat ručně nebo je možnost znovu použít OptiRough a ten doplní parametry, které jsme nezadali. Další výhodou je rychlá reálná simulace výsledné kvality povrchu. [18] [19] [20] [21]

3.5. NX CAM

U programu lze použít funkce, které jsou předurčeny pro specifické použití a nevyžadují hlubší znalost problematiky vektorů osy nástroje nebo projekčních vektorů. Lze použít i funkce, ve kterých má uživatel plnou kontrolu nad výpočtem dráhy nástroje a výsledným naklopením osy vřetena a dále je možnost řídit naprosto všechny parametry, pokud to programátor vyžaduje. Funkce pro soudečkové nástroje jsou v knihovně, ale je potřeba zadat a dopočítat více parametrů než u ostatních. [22]

3.6. EDGE CAM

V tomto CAM softwaru se připravovala praktická část, vymodelovat nástroj nebyl problém, ale muselo se ručně dopočítat úhel pro natočení nástroje a CAM se k soudečkové fréze choval jako ke kruhové fréze, bylo to zapříčiněno typem CAM licence ve firmě. I přesto se podařilo vytvořit dráhy pro nástroje. Uživatelské prostředí bylo příjemné, intuitivní a jednoduché. [23]

4. Návrh experimentu a vytvoření CAD/CAM modelu

Praktická část práce se zaměřuje na porovnání povrchu sousledným a nesousledným obráběním pomocí soudečkové a kulové frézy. Tím způsobem, že byla stanovena teoretická drsnost výsledného povrchu a rozdílné řádkování. V další části se vyhodnotí data z měření struktury povrchu.

Cílem tohoto experimentu je porovnat sousledné a nesousledné obrábění soudečkové frézy s kulovou frézou, kterou by měly tyto nástroje do budoucna nahradit. Dále se sledovaly rozdíly ve struktuře povrchu při polovičním řádkování.

Vzhledem k rekonstrukci halových laboratoří na fakultě strojní ČVUT se obrábění uskutečnilo ve firmě FAIVELEY TRANSPORT CZECH a.s. a následné měření bylo provedeno na Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie na ČVUT.

4.1. Návrh obrobku

Polotovar pro experiment byla čtvercová tyč 4HR100/1 o rozměrech 100x100x48 mm z materiálu 11523.0, vlastnosti této oceli jsou v příloze č. 1. Návrh byl zhotoven v CAD programu Autodesk Inventor, kde výsledný výkres je v příloze č. 4. Pracovalo se se třemi variantami, ale nakonec se zvolila varianta, která je vidět v příloze č. 4. Tato varianta se zvolila z důvodu využití materiálu a možnosti použití těchto nástrojů na formy (plasty, odlévání), kde je velmi malý úhel stěn z důvodu technologických úkosů. Z důvodu častých obecných ploch jsou doposud používány kulové frézy, které by mohly být v budoucnu kompletně nahrazeny soudečkovými nástroji.

4.2. Příprava CAM

Vše se připravovalo v programu EDGECAM s omezením, že frézka byla 4-osá. Byl použit STEP model z CADu Autodesk Inventor, nahrály se nástroje a poté se dopočítával úhel naklonění obrobku vůči soudečkové fríze. Tento úhel naklonění byl stanoven na 8,5°, jelikož ale úhel stěny na obrobku je 2,5° tak celkový úhel natočení polotovaru činí 11°. U kulové frézy nemusel být obrobek nakloněn, protože i na skloněné ploše stále obrábíme stejným poloměrem.



Obrázek 14: Návrh v CAM systému

4.3. Výpočet řádkování

4.3.1. Soudečková fréza

Byla zvolena fréza SK soudečková, DORMER, S79110.0, kde nástrojový list je v příloze č. 3. Pro výpočet byla zvolena teoretická drsnost $R_{th} = 2,5 \mu\text{m}$.



Obrázek 15: Soudečková fréza S791

Důležité údaje z nástrojového listu pro výpočet:

Tabulka 1: Parametry soudečkové frézy [příloha 3]

Poloměr – r	5 mm
průměr – D	10 mm
Pro PPC je $r = R_w$	85 mm

Výpočet:

$$b_r = 2 * \sqrt{\frac{2,5}{1000} \left(2 * 85 - \frac{2,5}{1000} \right)} = 1,304 \text{ mm} \quad (4.1)$$

$$R_{th} = \left(85 - \sqrt{85^2 - \left(\frac{1,304}{2} \right)^2} \right) * 1000 = 2,50064 \text{ } \mu\text{m} \quad (4.2)$$

Dále bylo stanoveno poloviční řádkování $1,304/2 = 0,652 \text{ mm}$ a znovu dopočtena teoretická drsnost.

$$R_{th} = \left(85 - \sqrt{85^2 - \left(\frac{0,67}{2} \right)^2} \right) * 1000 = 0,66015 \text{ } \mu\text{m} \quad (4.3)$$

4.3.2. Kulová fréza

Byla zvolena fréza Kyocera SGS Precision Tools 48876, kde nástrojový list je v příloze č. 2. Pro výpočet byla zvolena stejná teoretická drsnost $R_{th} = 2,5 \text{ } \mu\text{m}$.



Obrázek 16: Kulová fréza [29]

Důležité údaje z nástrojového listu pro výpočet:

Tabulka 2: Parametry kulové frézy [příloha 4]

Poloměr – r	5 mm
průměr – D	10 mm

Výpočet:

$$b_r = 2 * \sqrt{\frac{2,5}{1000} \left(2 * 5 - \frac{2,5}{1000} \right)} = 0,316 \text{ mm} \quad (4.4)$$

$$R_{th} = \left(5 - \sqrt{5^2 - \left(\frac{0,316}{2} \right)^2} \right) * 1000 = 2,49702 \text{ } \mu\text{m} \quad (4.5)$$

Dále bylo stanoveno poloviční řádkování $0,316/2 = 0,158 \text{ mm}$ a znovu dopočtena teoretická drsnost.

$$R_{th} = \left(5 - \sqrt{5^2 - \left(\frac{0,158}{2} \right)^2} \right) * 1000 = 0,624 \mu\text{m} \quad (4.5)$$

4.4. Výsledný návrh experimentu

Experiment se skládá z výroby dvou vzorků. Jeden při řádkování na teoretickou drsnost $R_{th} = 2,5 \mu\text{m}$ a druhý při polovičním řádkování. Protilehlé stěny budou obrobeny sousledně a nesousledně stejným typem frézy. Na každý vzorek bude použita nová fréza, aby se dal zanedbat vliv opotřebení nástroje na daný povrch. Na horní stěnu bylo za pomoci gravírování nad každou obrobenou stěnou zkratka spolu s hodnotou řádkování pro odlišení.

4.5. Obrábění

Obrábění se uskutečnilo na frézce KOVOSVIT MAS MCV 1270, což je 4-osá frézka, která vyniká vysokou tuhostí nosného rámu stroje, který se pohybuje v ose X a Y a vysokorychlostní vřeteno se pohybuje v ose Z. Tato kombinace umožňuje jak silové, tak i velice přesné obrábění složitých obrobků. Další část je věnována postupu výroby vzorků. [24]



Obrázek 17: Frézka KOVOSVIT MAS MCV 1270

4.5.1. První hrubování

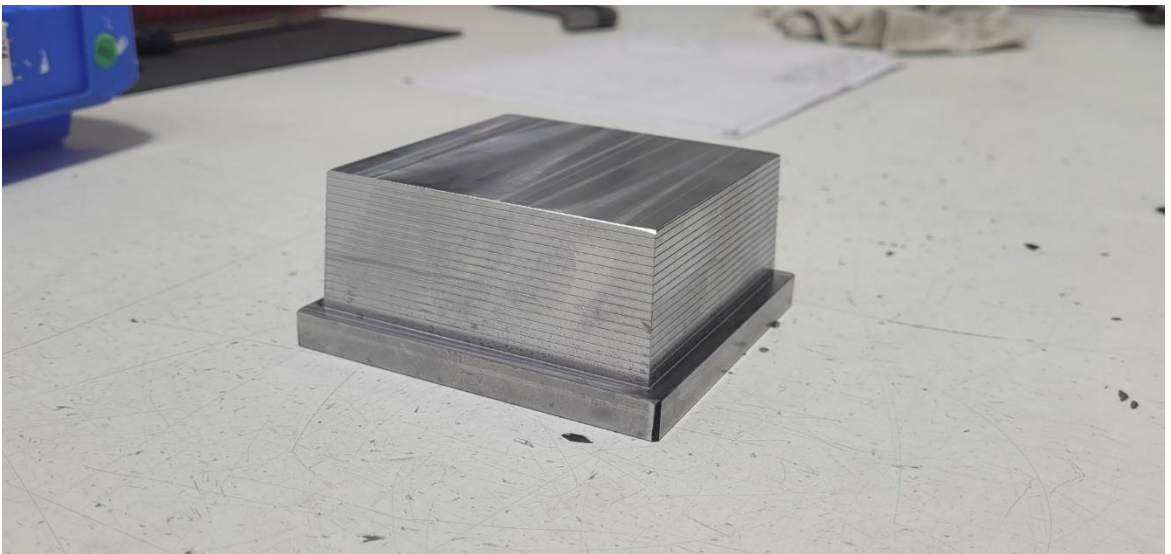
Hrubování bylo uskutečněno čelní frézou. Polotovár byl uchycen do přesného upínáku s dorazem. Nejprve byl polotovár uchycen tak, aby se odfrézoval spodní „rantl“ pro další uchycení viz obrázek č. 18 a dále se zarovnal spodní a horní část obrobku.



Obrázek 18: První hrubování

4.5.2. Druhé hrubování

Hrubovalo se stále stejnou čelní frézou, obrobil se hrubý tvar vzorku a nechal se přídavek na obrábění 0,1 mm.



Obrázek 19: Vzorek po hrubování

4.5.3. Příprava kolébky

Do frézky byla umístěna a upevněna kolébka na vřeteno osy A pro naklápění obrobku podepřena koníkem. Kolébka byla vybavena upínačem.



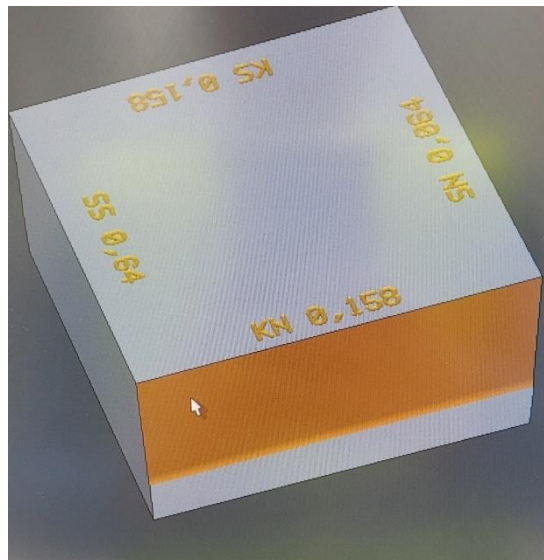
Obrázek 20: Kolébka

4.5.4. Sonda

Dále bylo potřeba naměřit polohu vzorku pomocí sondy s rubínovou kuličkou a nastavit referenční bod na roh vzorku.

4.5.5. Gravírování

Gravírování bylo použito na odlišení stran. Byla použita kopírovací fréza s následujícími parametry



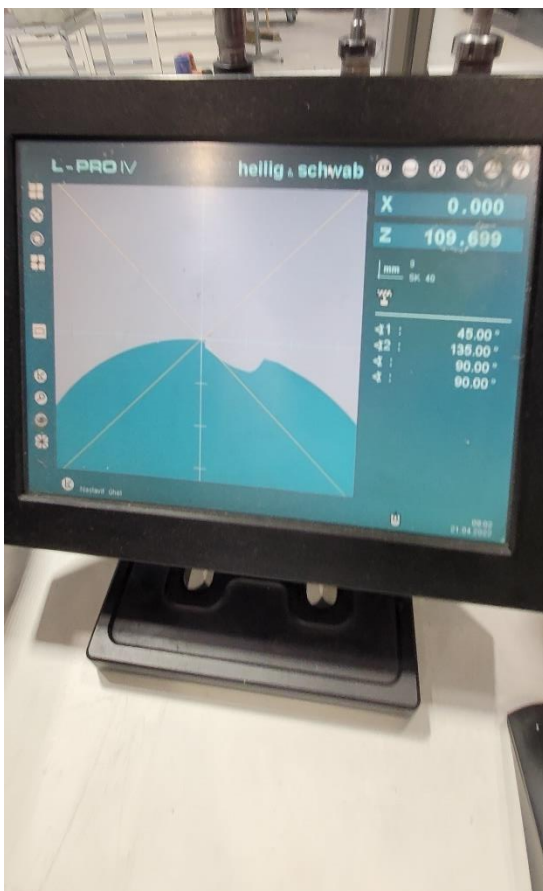
Obrázek 21: Gravírování

Tabulka 3: Parametry gravírování

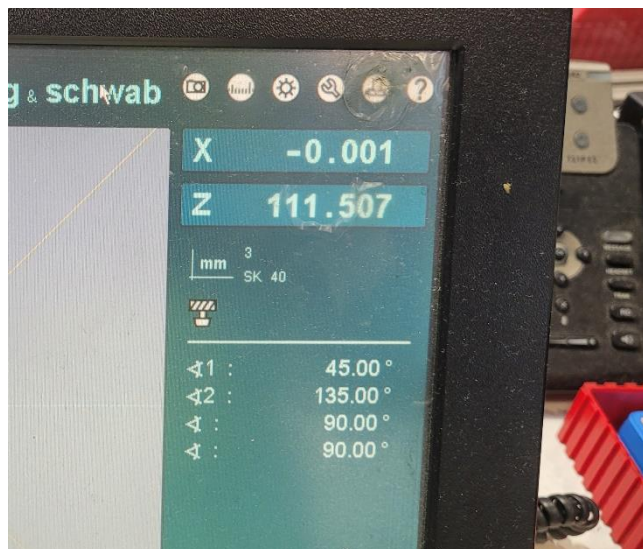
Otáčky vřetene S	12 000 ot/min
posuv F	15 mm/min

4.5.6. Korekce nástrojů

Nástroje se zaměřily na stroji L-Pro IV od firmy Heilig & Schwab.



Obrázek 23: Korekce soudečkové frézy



Obrázek 22: Korekce kulové frézy

4.5.7. Obrábění kulovou frézou

Obrábělo se pomocí kulové frézy Kyocera SGS Precision Tools 48876, nástrojový list je v příloze č. 2. Jedna strana se obráběla sousledně a druhá strana nesousledně. Parametry pro obrábění jsou v tabulce č. 4.

Tabulka 4: Obrábění kulovou frézou

Otáčky vřetene S	3520 ot/min
Posuv F	700 mm/min
Řádkování b_r	0,316 mm
teoretická drsnost R_{th}	2,5 μ m

Čas potřebný pro obrobení jedné strany byl 16 min 54 s a obě strany trvaly celkem 35 min a 22 s.

Obrábění na poloviční řádkování $b_r = 0,158$ mm a teoretickou drsnost $R_{th} = 0,625$ μm , při stejných otáčkách vřetena i posuvu na zub. Čas obrobení jedné strany byl 35 min 54 s a obě strany trvaly celkem 1 hod 13 min a 32 s.

4.5.8. Obrábění soudečkovou frézou kapkovitého tvaru

Obrábělo se pomocí soudečkové frézy kapkovitého tvaru: SK soudečková, DORMER, S79110.0, nástrojový list je v příloze č. 3. Jedna strana se obráběla sousledně a druhá strana nesousledně. Parametry pro obrábění jsou v tabulce č. 5.

Tabulka 5: Parametry pro obrábění soudečková fréza

Otáčky vřetene S	5028 ot/min
Posuv F	703 mm/min
Řádkování b_r	1,304 mm
teoretická drsnost R_{th}	2,5 μm

Čas potřebný pro obrobení jedné strany byl 4 min 20 s a obě strany trvaly celkem 8 min a 54 s. Obrábění na poloviční řádkování $b_r = 0,625$ mm a teoretickou drsnost $R_{th} = 0,66$ μm , při stejných otáčkách vřetena i posuvu na zub, byl čas obrobení jedné strany za 8 min 51 s a obě strany trvaly celkem 17 min a 28 s.

4.5.9. Časy obrábění

Pro možnost vzájemného srovnání byl proveden záznam času obrábění jednotlivých vzorků. Jedná se o čas získaný z ŘS Heidenhein.

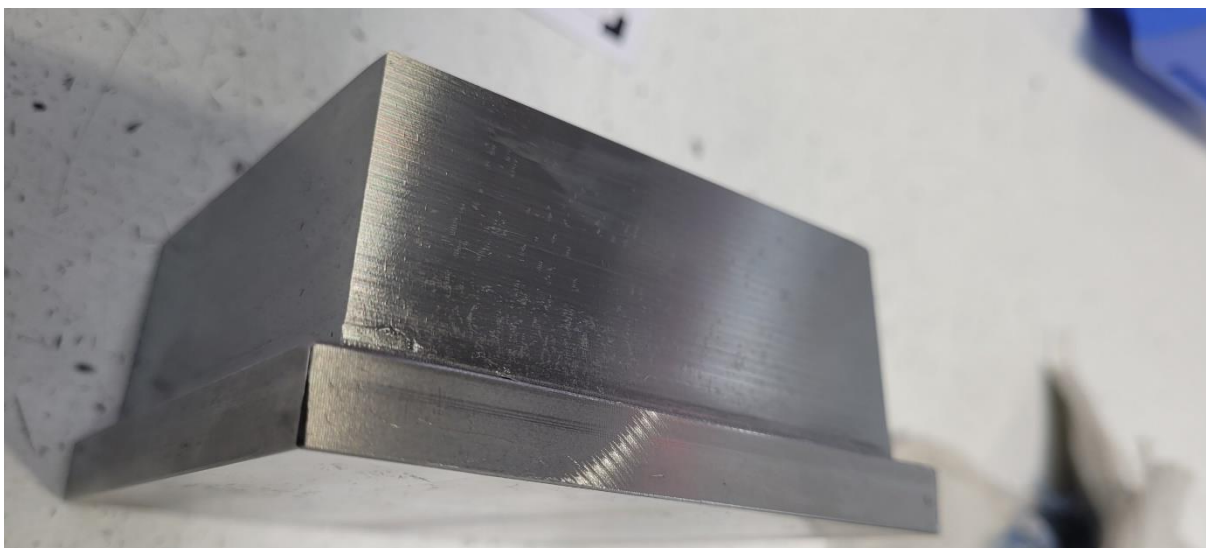
Tabulka 6: Časy obrábění

	Čas jedné stěny	Čas celkem
Kulová fréza (br = 0,316)	16 min 54 s	35 min 22 s
Kulová fréza (br = 0,158)	35 min 54 s	1 hod 13 min 32 s
Soudečková fréza (br = 1,304)	4 min 20 s	8 min 54 s
Soudečková fréza (br = 0,625)	8 min 51 s	17 min 28 s

Z tabulky je vidět velká úspora strojního času soudečkových nástrojů, v tomto případě více jak čtyřnásobná.

4.5.10. Postřehy při obrábění

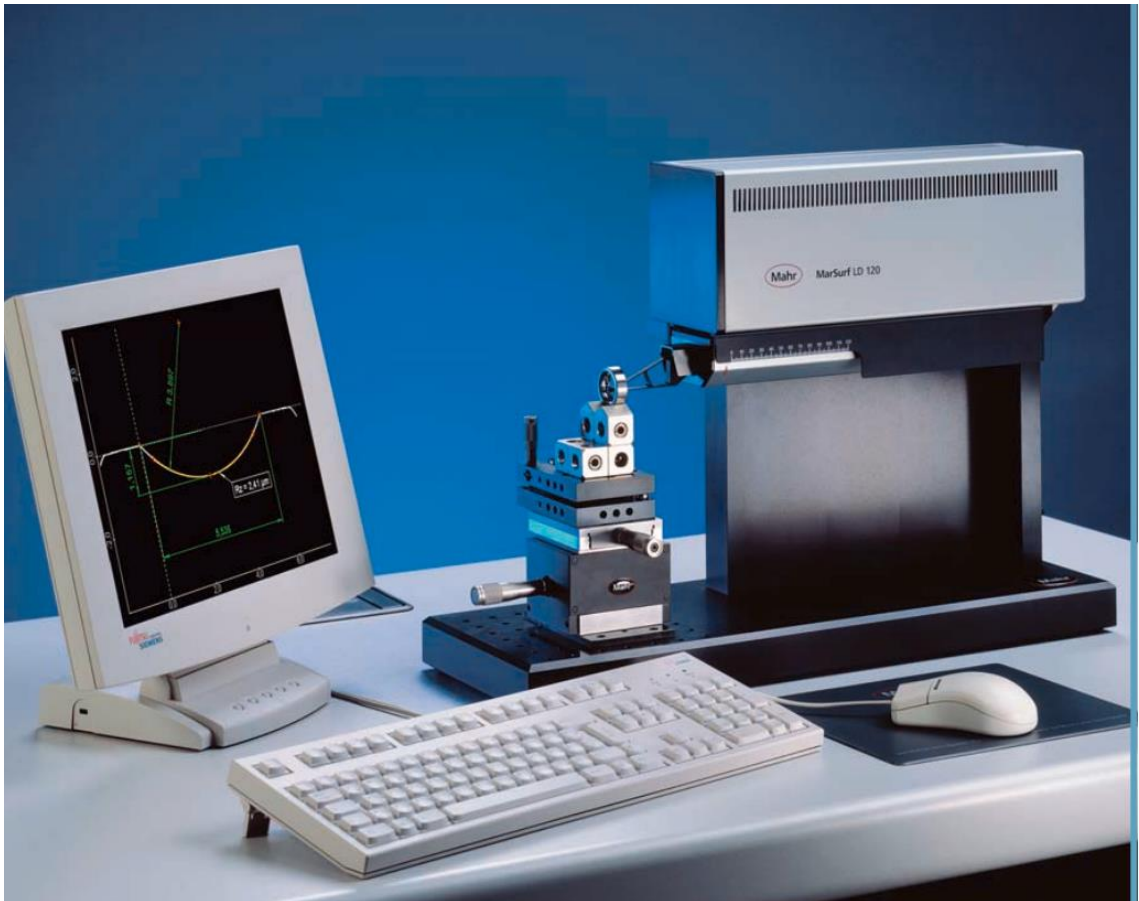
Při nesousledném obrábění soudečkovými nástroji byl povrch „chlupatý“ od třísky, která se zasekávala a pěchovala u břitu nástroje a tím poškozovala povrch.



Obrázek 24: Nesousledné obrábění soudečkovými nástroji

5. Měření

Měření proběhlo na konturografu od společnosti Mahr, a to na typu MarSurf LD 120. Měřilo se na dráze 8 mm s krokem 1 μm a poté na této textuře povrchu bylo provedeno několik měření.



Obrázek 25: Konturograf MarSurf LD 120 [25]

5.1. Naměřené hodnoty

Na každý vzorek byl použit nový nástroj, aby se co nejvíce eliminoval vliv možného opotřebení nástroje.

5.1.1. Hodnoty vzorku A

V tabulce 7 jsou hodnoty naměřené na vzorku A, který byl obroben na teoretickou drsnost 2,5 μm . Zkratky jsou KS, KN, SS a SN spolu s hodnotou řádkování pro odlišení.

Tabulka 7: Naměřené hodnoty vzorku A

SN 1,28	abs. úhel [°]	rel. odchylka [°]	výsl. úhel [°]	180°-výsl. úhel [°]	R _a [μm]	R _z [μm]	R _{max} [μm]	W _t [μm]
	177,42	-0,04	177,38	2,62	0,508	2,997	4,303	2,606
	177,65	-0,04	177,61	2,39	0,359	2,186	0,649	3,303
	177,51	-0,04	177,47	2,53	0,439	2,974	5,891	2,260
	177,58	-0,04	177,54	2,46	-	-	-	-
	177,67	-0,04	177,63	2,37	-	-	-	-
průměr	177,566	-0,04	177,526	2,474	0,435	2,719	3,614	2,723
KN 0,316	abs. úhel [°]	rel. odchylka [°]	výsledný úhel [°]	180°-výsl. úhel [°]	R _a [μm]	R _z [μm]	R _{max} [μm]	W _t [μm]
	177,6	+0,07	177,67	2,33	0,458	2,369	3,125	2,579
	177,63	+0,07	177,7	2,3	0,304	2,267	2,919	2,648
	177,6	+0,07	177,67	2,33	0,402	2,475	3,291	2,733
	177,61	+0,07	177,68	2,32	-	-	-	-
	177,59	+0,07	177,66	2,34	-	-	-	-
průměr	177,6	+0,07	177,676	2,324	0,388	2,370	3,112	2,653
SS 1,28	abs. úhel [°]	rel. odchylka [°]	výsledný úhel [°]	180°-výsl. úhel [°]	R _a [μm]	R _z [μm]	R _{max} [μm]	W _t [μm]
	177,26	+0,05	177,31	2,69	0,467	2,785	4,549	3,031
	177,36	+0,05	177,41	2,59	0,363	2,121	2,771	2,220
	177,58	+0,05	177,63	2,37	0,391	2,421	2,744	2,260
	177,77	+0,05	177,83	2,17	-	-	-	-
	177,53	+0,05	177,58	2,42	-	-	-	-
průměr	177,5	+0,06	177,552	2,448	0,407	2,442	3,355	2,504
KS 0,316	abs. úhel [°]	rel. odchylka [°]	výsledný úhel [°]	180°-výsl. úhel [°]	R _a [μm]	R _z [μm]	R _{max} [μm]	W _t [μm]
	177,62	+0,04	177,66	2,34	0,402	2,195	2,337	1,361
	177,56	+0,04	177,6	2,4	0,351	2,025	2,149	1,335
	177,58	+0,04	177,62	2,38	0,380	2,371	3,525	1,520
	177,6	+0,04	177,64	2,36	-	-	-	-
	177,59	+0,04	177,63	2,37	-	-	-	-
průměr	177,59	+0,05	177,63	2,37	0,378	2,197	2,670	1,405

5.1.2. Hodnoty vzorku B

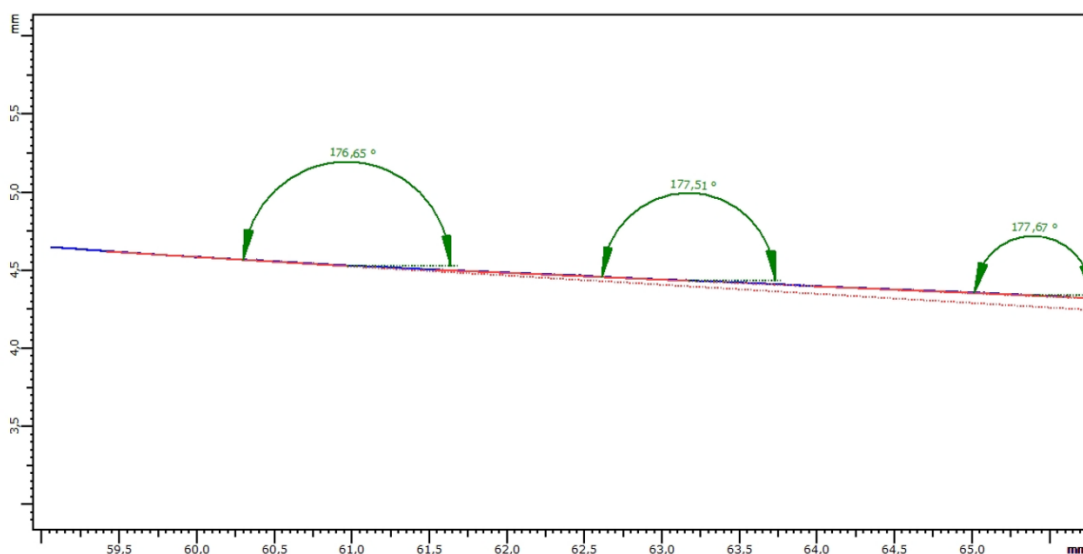
V tabulce 8 jsou hodnoty naměřené z vzorku B, který byl obroben na poloviční řádkování než u vzorku A. Zkratky jsou KS, KN, SS a SN spolu s hodnotou řádkování pro odlišení.

Tabulka 8: Naměřené hodnoty vzorku B

SS 0,64	abs. úhel [°]	rel. odchylka [°]	výsledný úhel [°]	180°-výsl. úhel [°]	R _a [μm]	R _z [μm]	R _{max} [μm]	W _t [μm]
	177,02	+0,48	177,5	2,5	0,259	1,674	2,092	2,159
	177,08	+0,48	177,56	2,44	0,234	1,515	2,119	2,122
	177,07	+0,48	177,55	2,45	0,259	1,658	1,894	2,174
	177,08	+0,48	177,56	2,44	-	-	-	-
	177,04	+0,48	177,52	2,48	-	-	-	-
průměr	177,058	+0,48	177,538	2,462	0,251	1,616	2,035	2,152
KS 0,156	abs. úhel [°]	rel. odchylka [°]	výsledný úhel [°]	180°-výsl. úhel [°]	R _a [μm]	R _z [μm]	R _{max} [μm]	W _t [μm]
	177,17	+0,31	177,48	2,52	0,225	1,353	1,507	1,007
	177,19	+0,31	177,5	2,5	0,224	1,383	1,708	1,404
	177,17	+0,31	177,48	2,52	0,232	1,265	1,494	1,368
	177,17	+0,31	177,48	2,52	-	-	-	-
	177,16	+0,31	177,47	2,53	-	-	-	-
průměr	177,172	+0,31	177,482	2,518	0,227	1,334	1,570	1,260
SN 0,64	abs. úhel [°]	rel. odchylka [°]	výsledný úhel [°]	180°-výsl. úhel [°]	R _a [μm]	R _z [μm]	R _{max} [μm]	W _t [μm]
	177,29	+0,25	177,54	2,46	0,241	1,601	1,883	1,294
	177,25	+0,25	177,5	2,5	0,241	1,448	1,663	0,996
	177,16	+0,25	177,41	2,59	0,236	1,478	1,733	1,316
	177,21	+0,25	177,46	2,54	-	-	-	-
	177,23	+0,25	177,48	2,52	-	-	-	-
průměr	177,228	+0,25	177,478	2,522	0,239	1,509	1,760	1,202
KN 0,156	abs. úhel [°]	rel. odchylka [°]	výsledný úhel [°]	180°-výsl. úhel [°]	R _a [μm]	R _z [μm]	R _{max} [μm]	W _t [μm]
	177,14	+0,44	177,58	2,42	0,393	2,629	3,566	1,969
	177,1	+0,44	177,54	2,46	0,329	2,629	4,126	2,336
	177,18	+0,44	177,62	2,38	0,337	2,423	4,105	1,416
	177,16	+0,44	177,6	2,4	-	-	-	-
	177,17	+0,44	177,61	2,39	-	-	-	-
průměr	177,15	+0,44	177,59	2,41	0,353	2,560	3,932	1,907

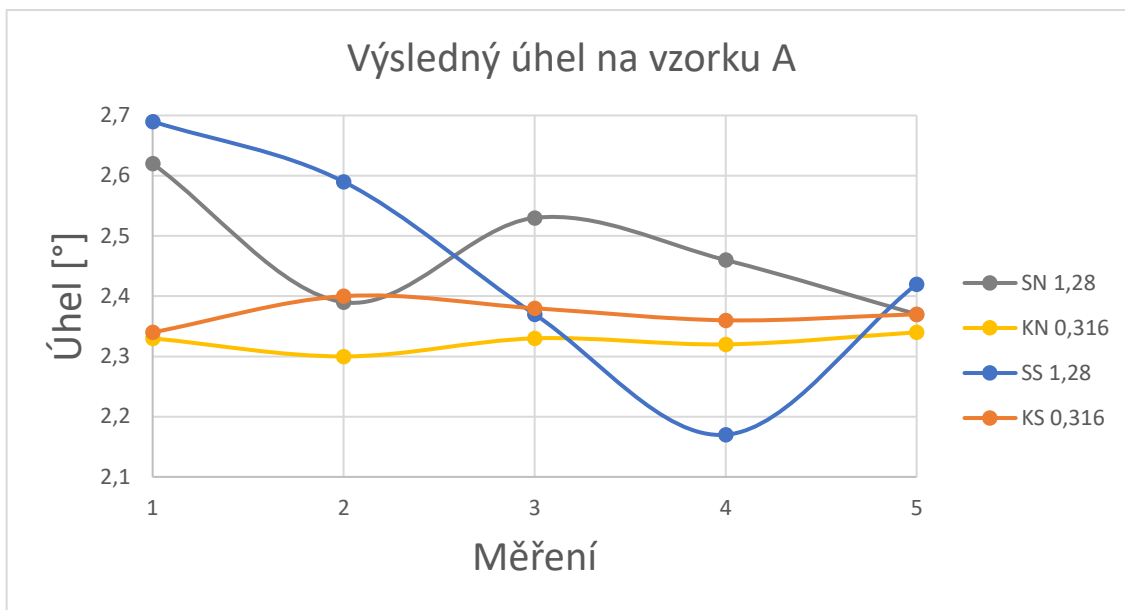
5.2. Velikost úhlu

Úhel se měřil tak, že se změřil úhel od osy x na obrobeném „rantlu“ a následně se měřil úhel na obrobené ploše, tyto úhly se od sebe odečetly nebo přičetly v závislosti na znaménku a následně odečetly od úhlu 180° a tím vyšel výsledný úhel. Na obrázku č. 26 je vidět, jak měření úhlu probíhalo. Bohužel, při měření vzorku A na plochách SS a KS byl ve vedlejší laboratoři spuštěn buchar, a tak měření nejsou nejpřesnější i přes snahu načasovat měření na pauzy mých kolegů.



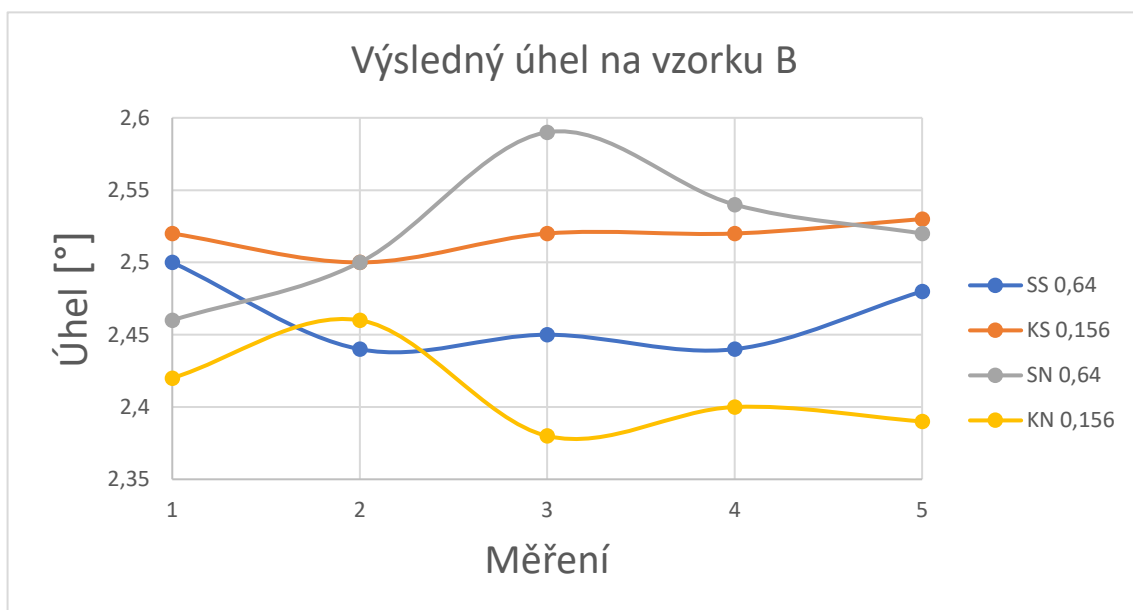
Obrázek 26: Měření úhlu

Takto změřený úhel nelze přímo porovnávat, protože se měření vyhodnocovalo na velmi malé ploše, kde se promítala geometrie nástroje. Účelem bylo hlavně zarovnání a eliminace vlivu sklonu na měření drsnosti. Měření proběhlo i dílenským úhloměrem a byl naměřen úhel $2,5^\circ$. Následující grafy ukazují variabilitu hodnot pro různé způsoby obrábění, ale nesrovnávají přímo naměřené hodnoty.



Obrázek 27: Graf výsledného úhlu na vzorku A

Na grafu můžeme vidět jednotlivá data z měření úhlů pro řádkování na 2,5 μm , z nichž je jasně vidět, že u kulového nástroje je konstantnější úhel, a to jak u sousledného, tak i nesousledného obrábění.



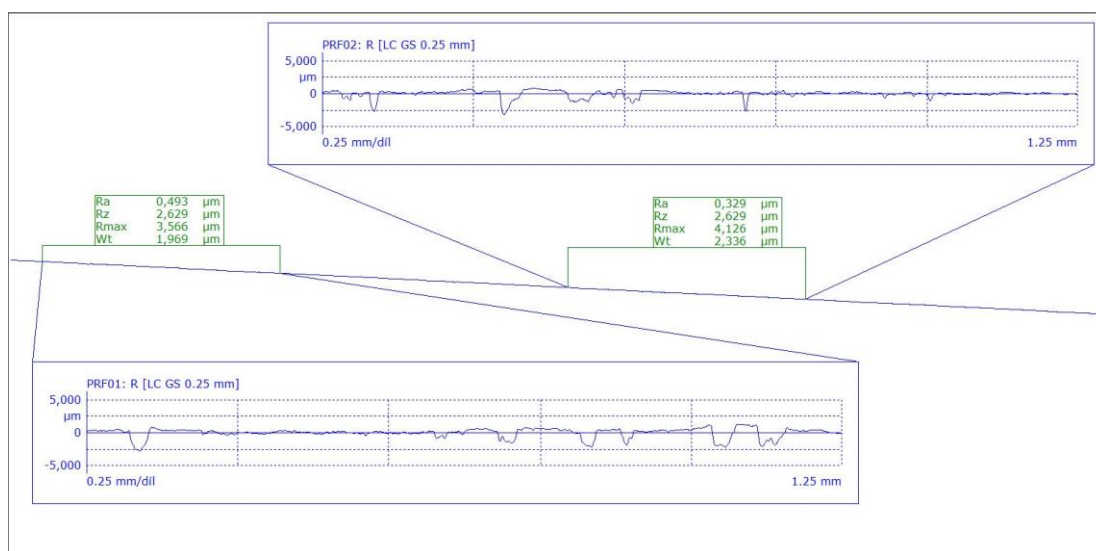
Obrázek 28: Graf výsledný úhel na vzorku B

Na grafu výsledný úhel na poloviční řádkování je vidět, že při sousledném obrábění je kulová a soudečková fréza srovnatelná a při nesousledném obrábění mají obě frézy velký rozptyl, ale průměrově se hodnoty drasticky neliší.

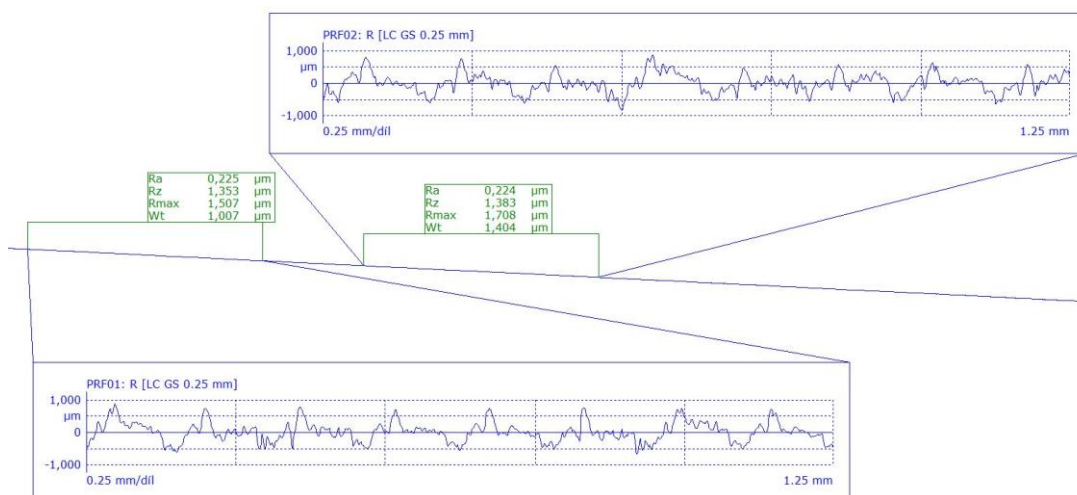
5.3. Drsnost, vlnitost

Drsnost a další parametry struktury se vyhodnocovaly naráz, a to tak, že se naměřila textura povrchu, následně se na ní vybral bod, od kterého program napočítal 5x základní délku a na tomto úseku vyhodnotil následující veličiny R_a , R_z , R_{max} a W_t . Hodnoty R_{th} budou porovnávány s hodnotami R_z . Jedná se o přibližné srovnání, protože R_{th} je teoretická veličina vypočtená na ideálním povrchu bez nerovností, ale R_z se získává měřením ze skutečného povrchu.

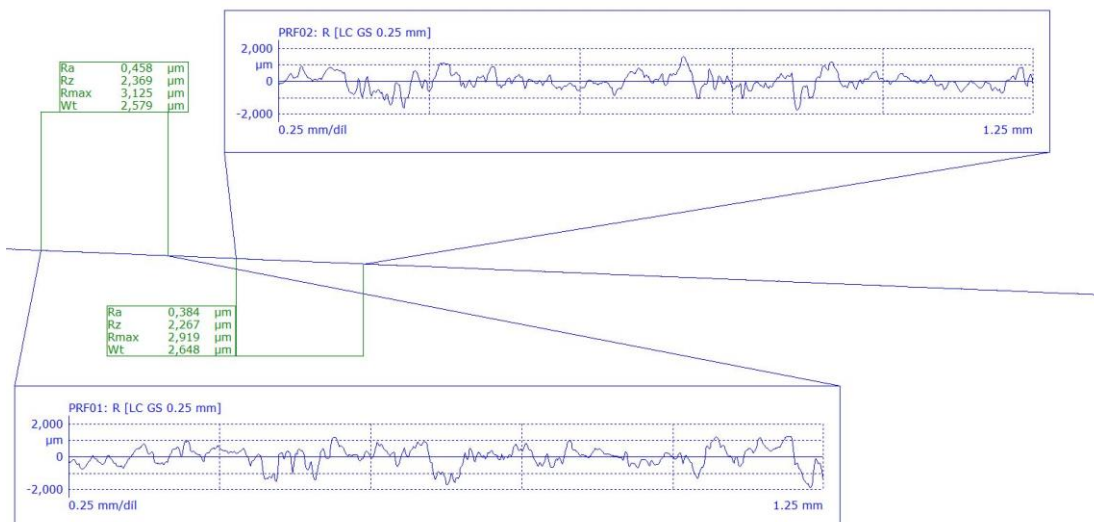
Jako první budou jednotlivé výstupy z měření pro porovnání struktury povrchu.



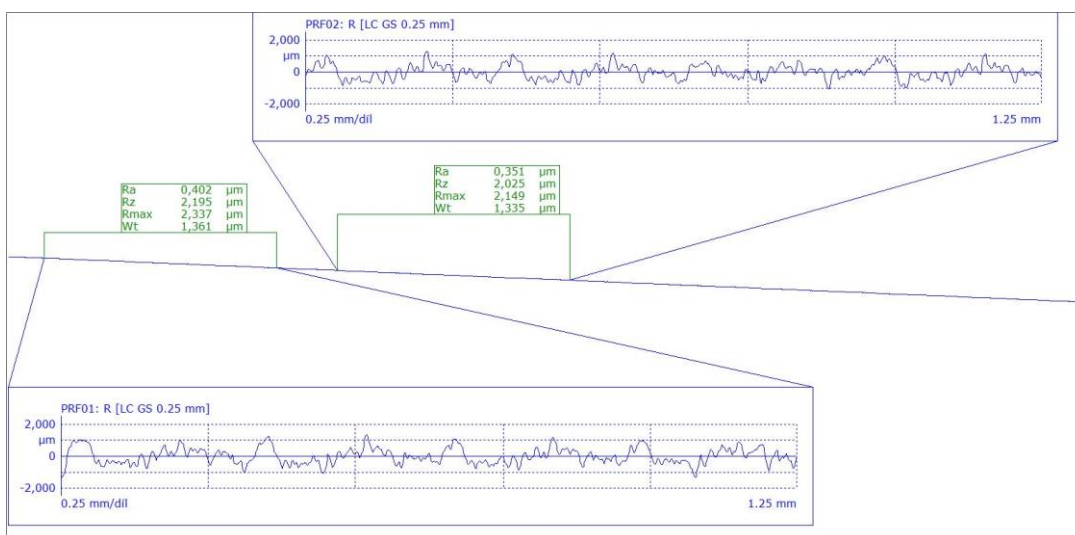
Obrázek 29: Schéma měření KN 0,156



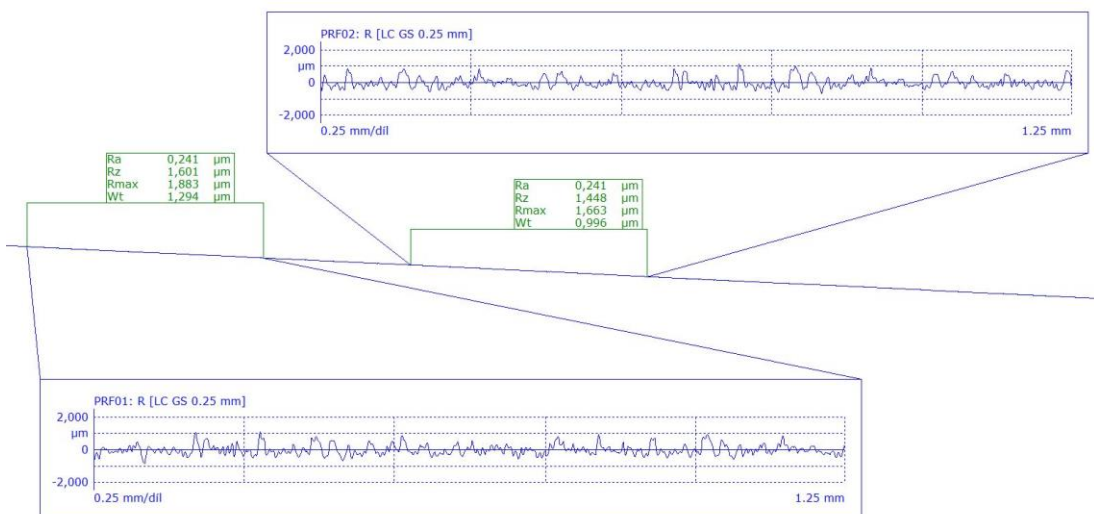
Obrázek 30: Schéma měření KS 0,156



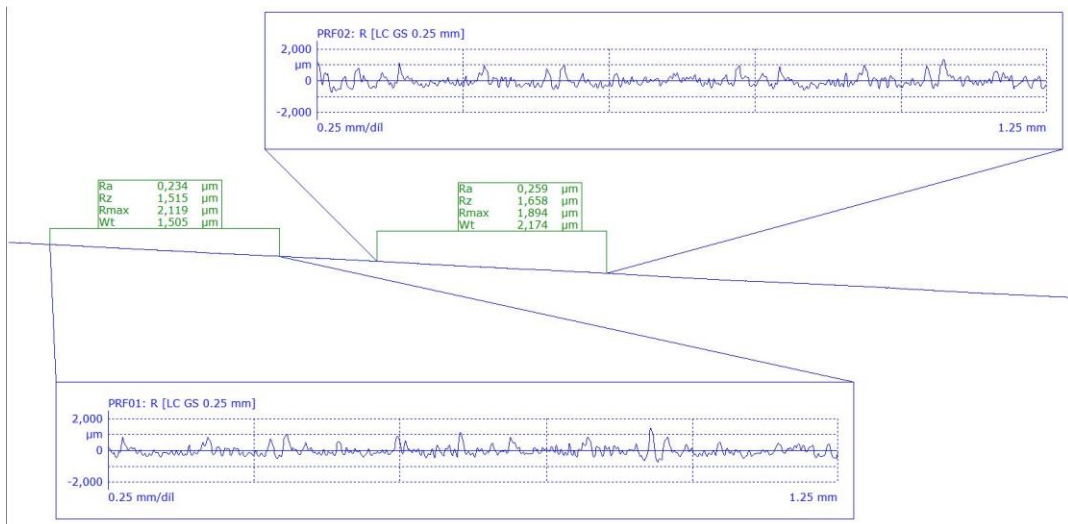
Obrázek 31: Schéma měření KN 0,316



Obrázek 32: Schéma měření KS 0,316



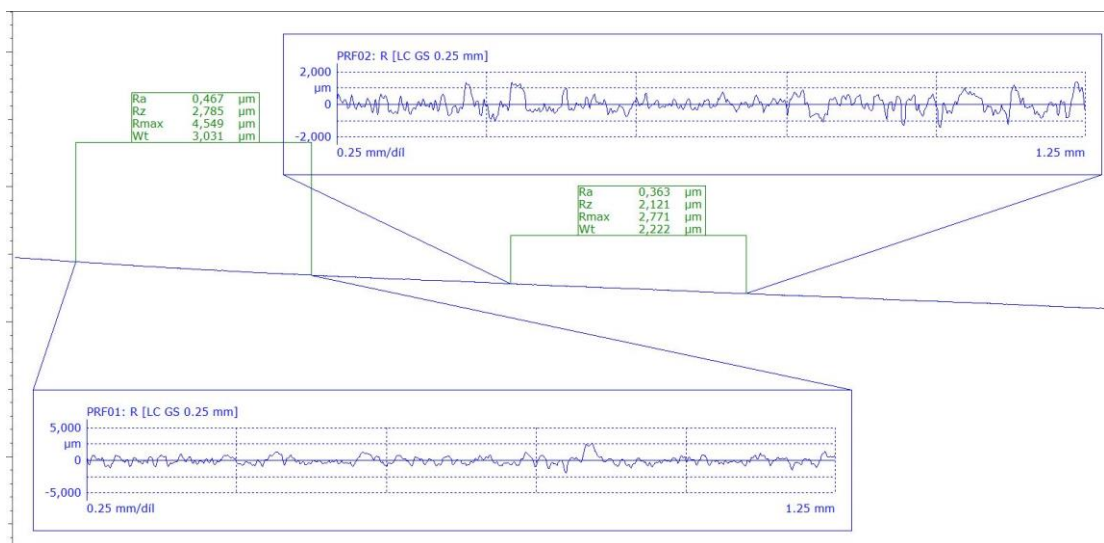
Obrázek 33: Schéma měření SN 0,64



Obrázek 34: Schéma měření SS 0,64



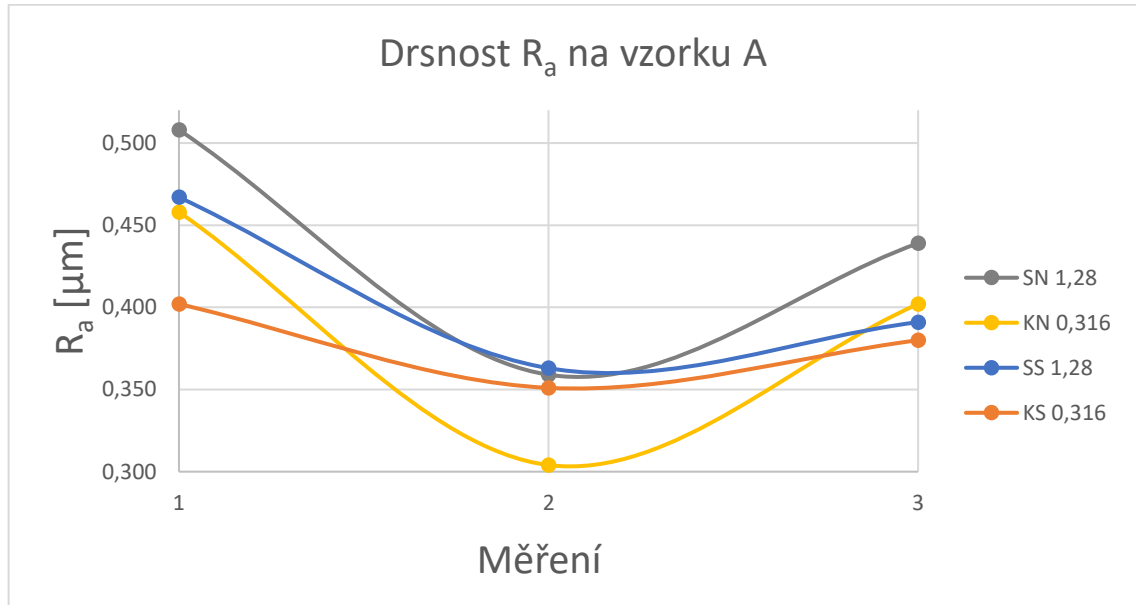
Obrázek 35: Schéma měření SN 1,28



Obrázek 36: Schéma měření SS 1,28

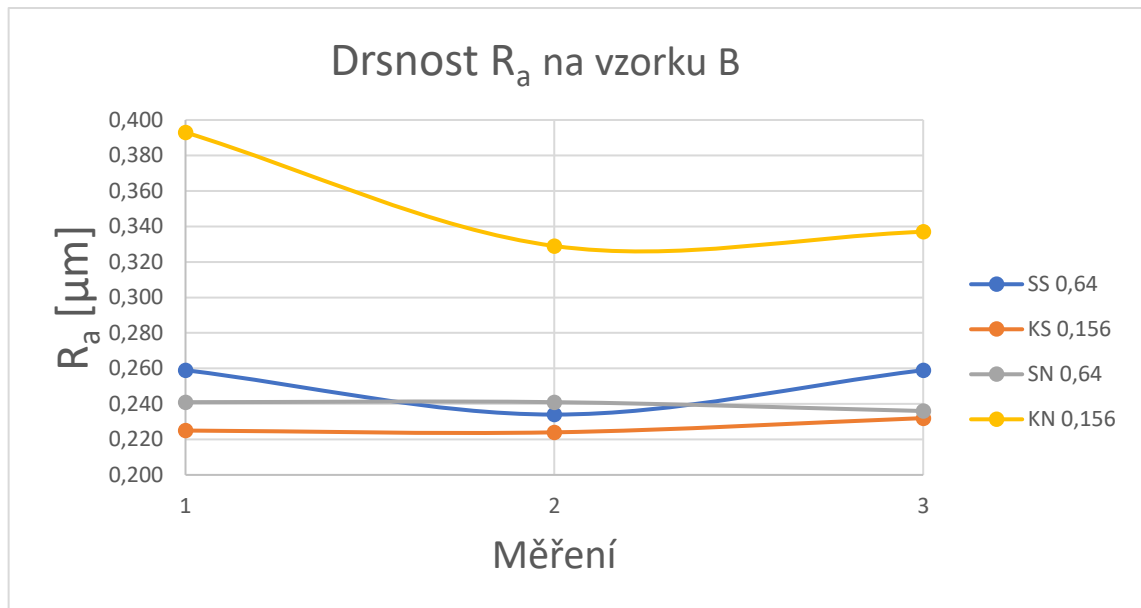
Lze si povšimnout, že u kulové frézy je měřítko na grafech na ose y o něco menší než u soudečkových fréz a že u nesousledného obrábění je povrch členitější.

5.3.1. Drsnost R_a



Obrázek 37: Graf drsnosti R_a na vzorku A

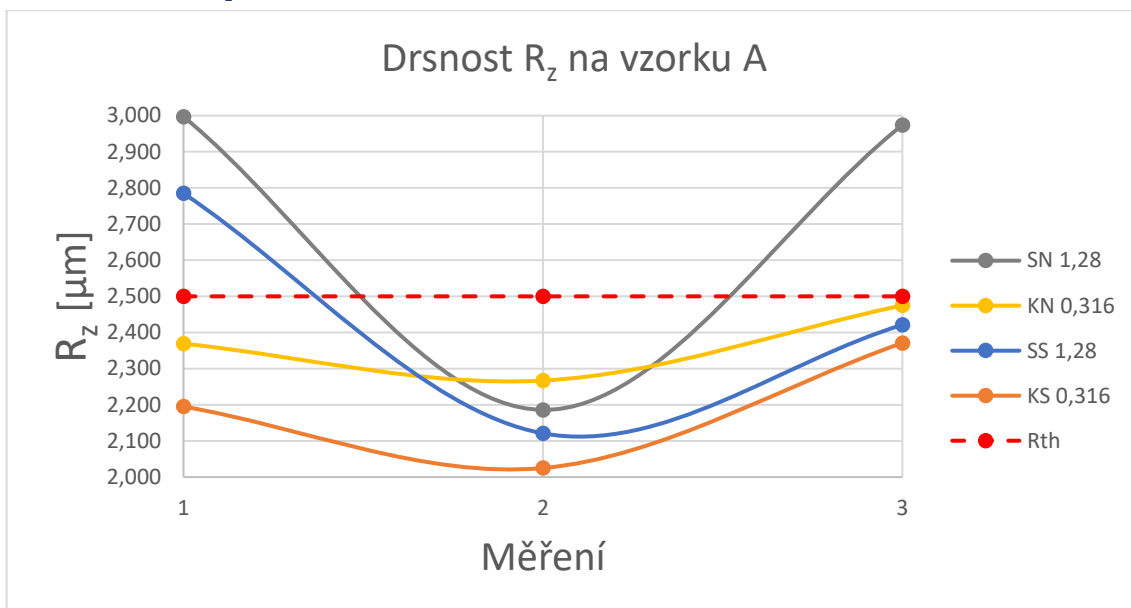
Z grafu je vidět, že nejlépe vychází kulová fréza se sousledným obráběním s průměrným R_a 0,378 μm a s nejkonstantnější drsností. Druhá podle průměru vychází kulová fréza s nesousměrným obráběním, ale není konzistentní. Na třetím místě je s průměrem R_a 0,407 μm soudečková fréza se sousledným obráběním, která má větší konzistenci než fréza kulová.



Obrázek 38: Graf drsnosti R_a na vzorku B

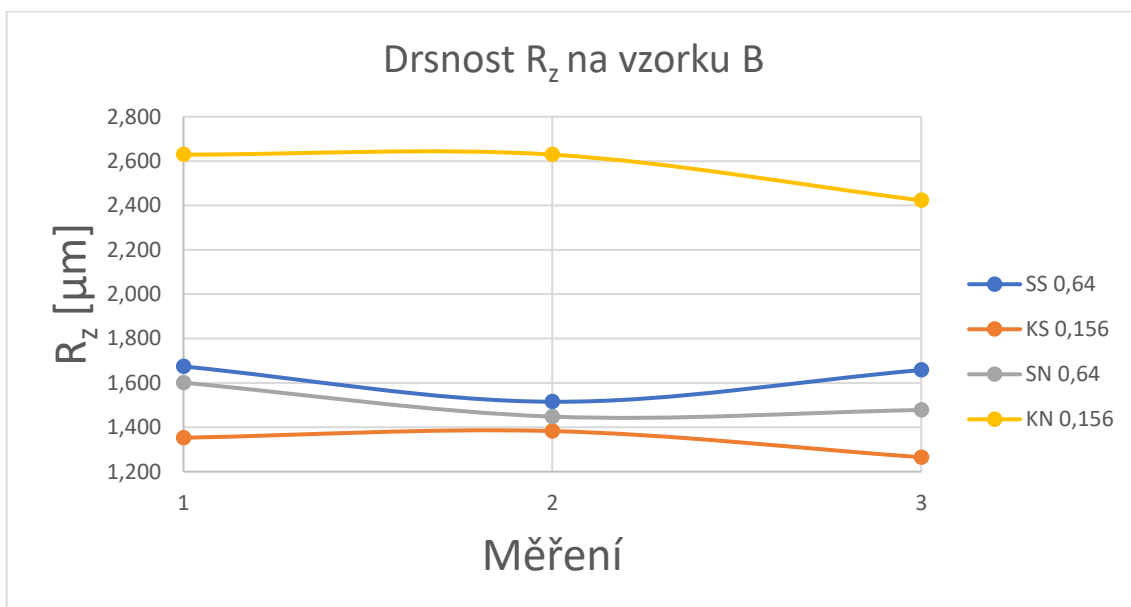
Zde je vidět nevýhoda malého řádkování u kulové frézy, pokud se obrábí nesousledně, povrch je vzhledem k vynaloženému strojnímu času velmi špatný s průměrem R_a 0,353 μm . Druhá nejhorší je soudečková fréza se sousledným obráběním s průměrem R_a 0,247 μm . Třetí nejhorší vychází s průměrem R_a 0,239 μm soudečková fréza s nesousledným obráběním a nejlépe vychází kulová fréza se sousledným obráběním R_a 0,227 μm . Pokud ale porovnáme dané drsnosti se standardně předepisovanými drsnostmi, tak všechny možnosti, až na kulovou frézu s nesousledným frézováním, spadají do stejné kategorie a není mezi nimi výrazný rozdíl.

5.3.2. Drsnost R_z



Obrázek 39: Graf drsnosti R_z na vzorku A

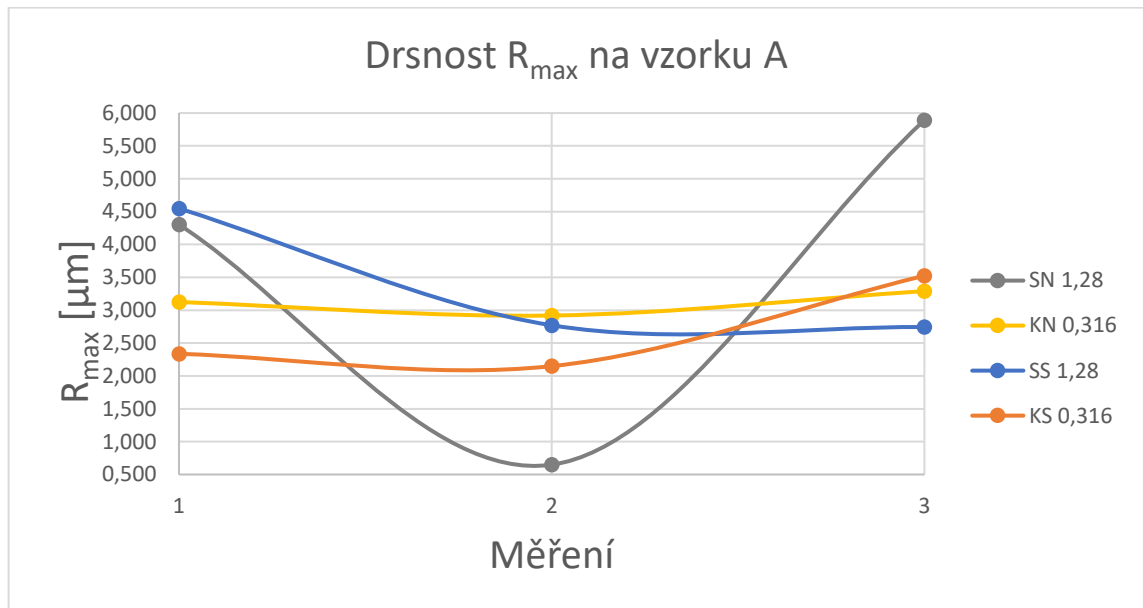
Nejlepší jsou kulové frézy, a to jak sousledně obrobené s průměrem R_z 2,197 μm , tak i nesousledně s průměrem R_z 2,370 μm . Třetí je fréza soudečková se sousledným obráběním s průměrem R_z 2,442 μm , všechny se dostali pod stanovenou hodnotu R_{th} 2,5 μm a nejhůře dopadla soudečková fréza s nesousledným obráběním, a to s průměrem R_z 2,719 μm , která se do tolerance R_{th} 2,5 μm nevešla.



Obrázek 40: Graf drsnosti R_z na vzorku B

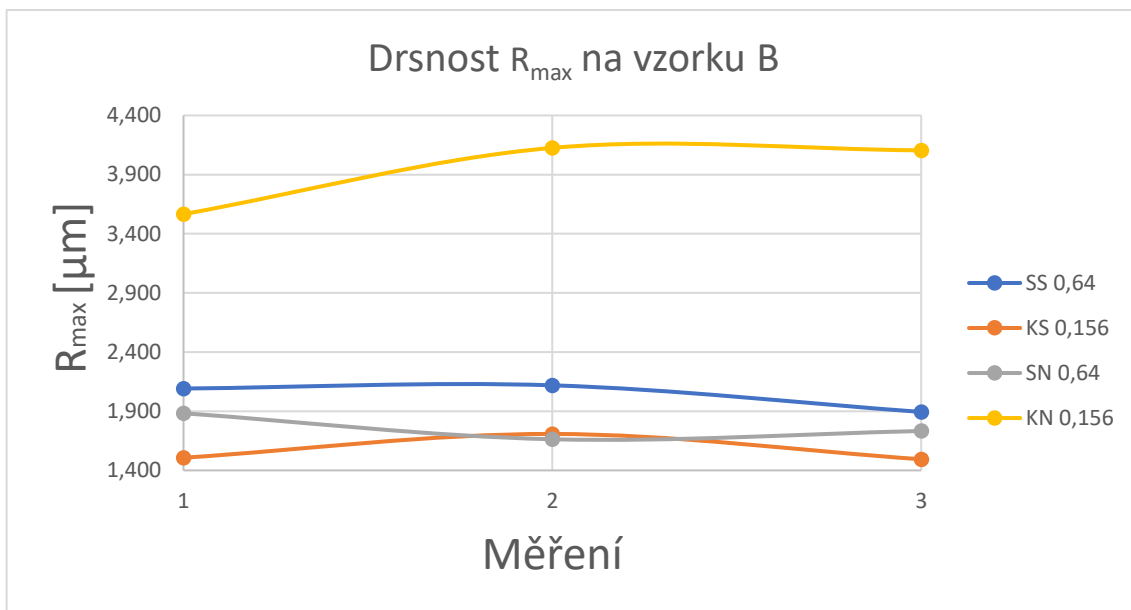
Znovu se zde ukazuje problematika kulové frézy při malém řádkování a nesousledným obráběním, která s průměrem R_z 2,560 μm má horší parametry než při původním řádkování. Nejlépe vychází kulová fréza se sousledným obráběním a s průměrem R_z 1,334 μm . Těsně za ní jsou soudečkové nástroje a překvapivě lepší je nesousledné obrábění s průměrem R_z 1,509 μm a sousledné s průměrem R_z 1,616 μm .

5.3.3. Drsnost R_{max}



Obrázek 41: Graf drsnosti R_{max} na vzorku A

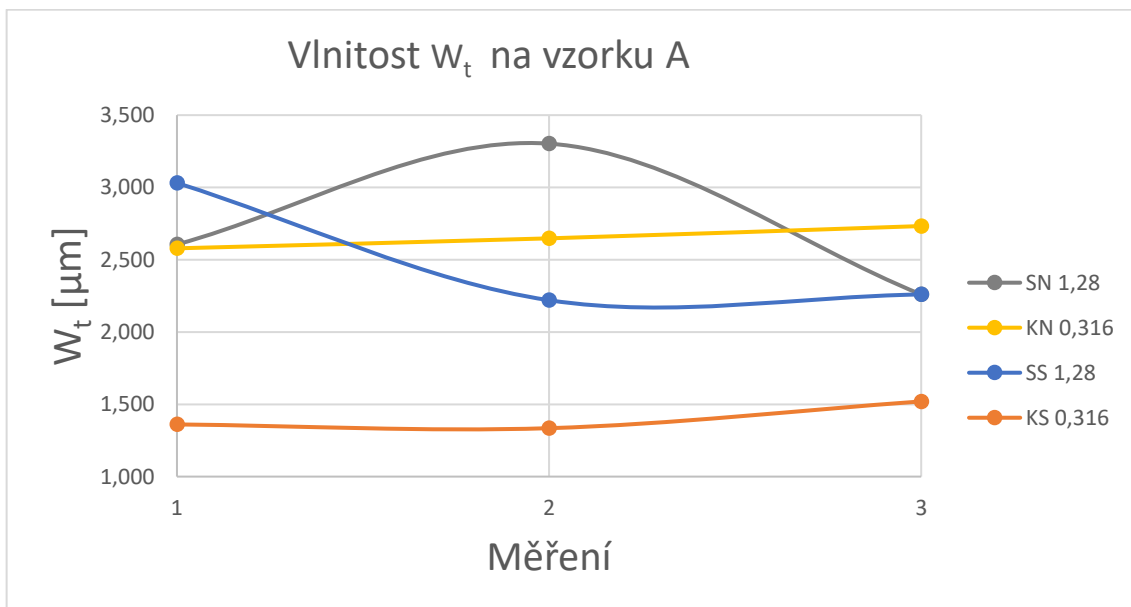
Nejlépe vychází kulová fréza se sousledným obráběním s průměrem R_{max} 2,670 μm . Druhá nejlepší fréza vychází kulová s nesousledným obráběním a s průměrným R_{max} 3,112 μm . Třetí je soudečková fréza se sousledným obráběním s průměrem R_{max} 3,355 μm a nesousledné obrábění u soudečkové frézy je s průměrem R_{max} 3,614 μm .



Obrázek 42: Graf drsnosti R_{max} na vzorku B

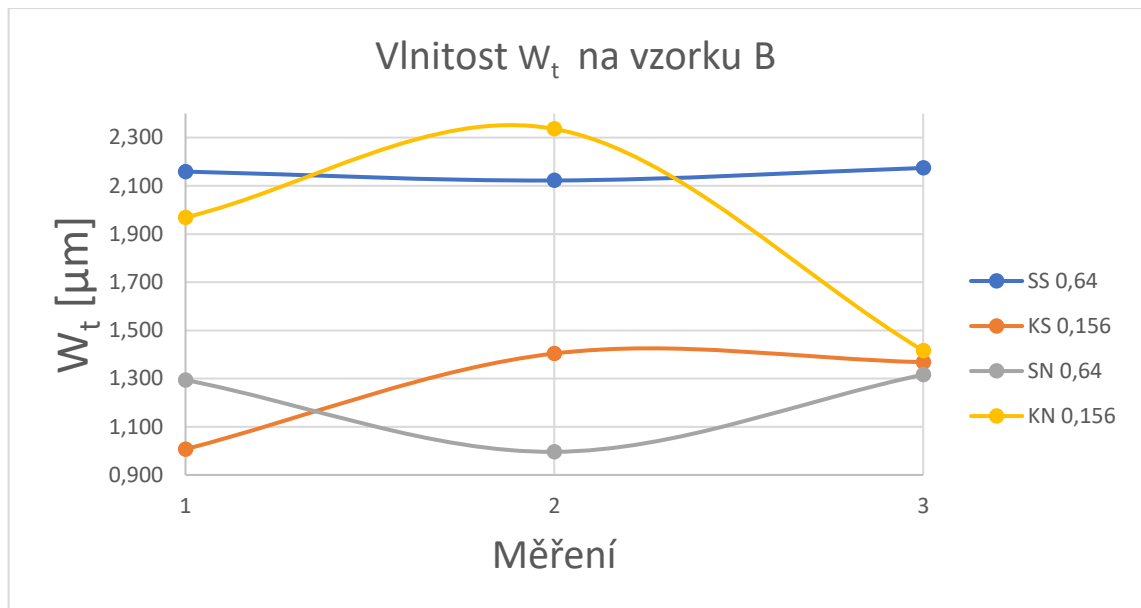
Nejlépe vychází fréza kulová se sousledným obráběním s průměrem R_{max} 1,507 μm . Druhá je fréza soudečková na nesousledné obrábění, a to s průměrem R_{max} 1,760 μm . Na třetím místě je fréza soudečková se sousledným obráběním s průměrem R_{max} 2,035 μm . Poslední je znovu fréza kulová při nesousledném obrábění, a to s průměrem R_{max} 3,932 μm .

5.3.4. Vlnitost W_t



Obrázek 43: Graf drsnosti W_t na vzorku A

Nejlépe znovu vychází kulová fréza se sousledným obráběním s průměrem W_t 1,405 μm . Druhá nejlepší je soudečková fréza se sousledným obráběním s průměrem W_t 2,504 μm . Třetí je kulová fréza s nesousledným obráběním s průměrem W_t 2,653 μm a poslední je soudečková fréza s nesousledným obráběním s průměrem W_t 2,723 μm . Zde je vidět hlavní výhoda kulové frézy, která je způsobena malou hloubkou řezu.



Obrázek 44: Graf drsnosti W_t na vzorku B

Při polovičním řádkování nejlépe vychází soudečková fréza s nesousledným obráběním s průměrem W_t 1,202 μm . Druhá je fréza kulová se sousledným obráběním a s průměrem W_t 1,260 μm . Třetí je kulová fréza s nesousledným obráběním s průměrem W_t 1,907 μm a poslední je soudečková fréza se sousledným obráběním a průměrem W_t 2,152 μm .

5.4. Opotřebení nástroje a struktury povrchů

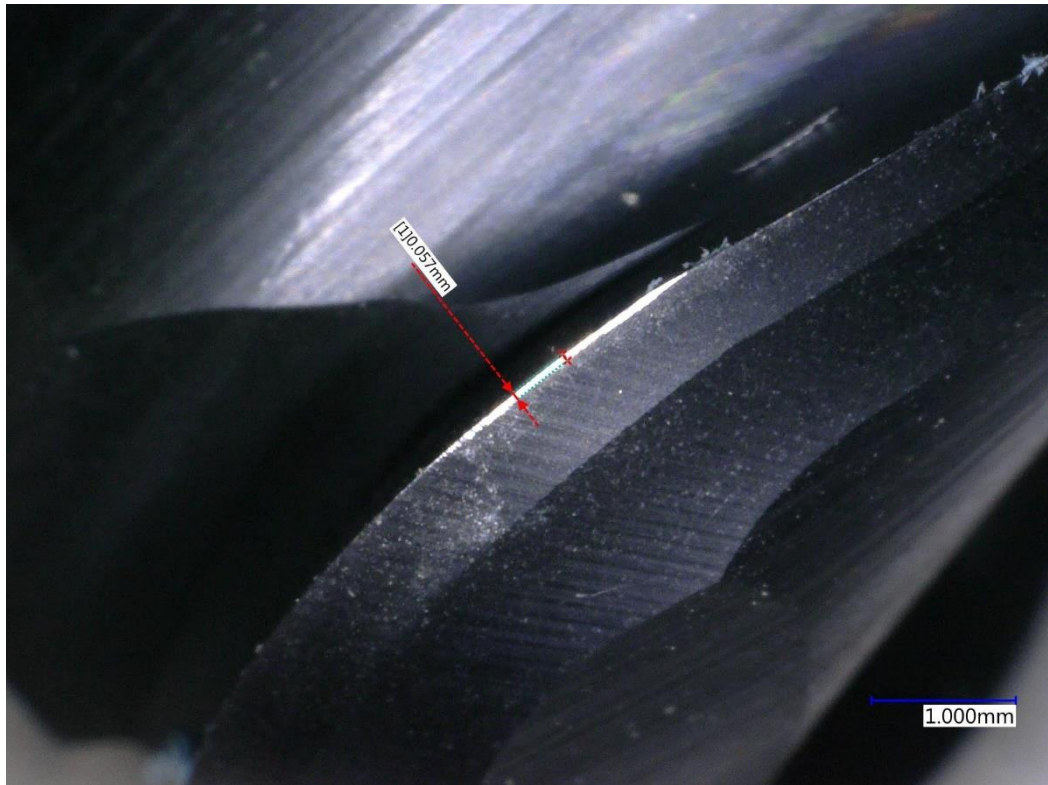
Opotřebení nástroje a struktura povrchů se měřila na digitálním mikroskopu VHX - 5000, pracovalo se s rozlišením v rozmezí od 50x do 200x.



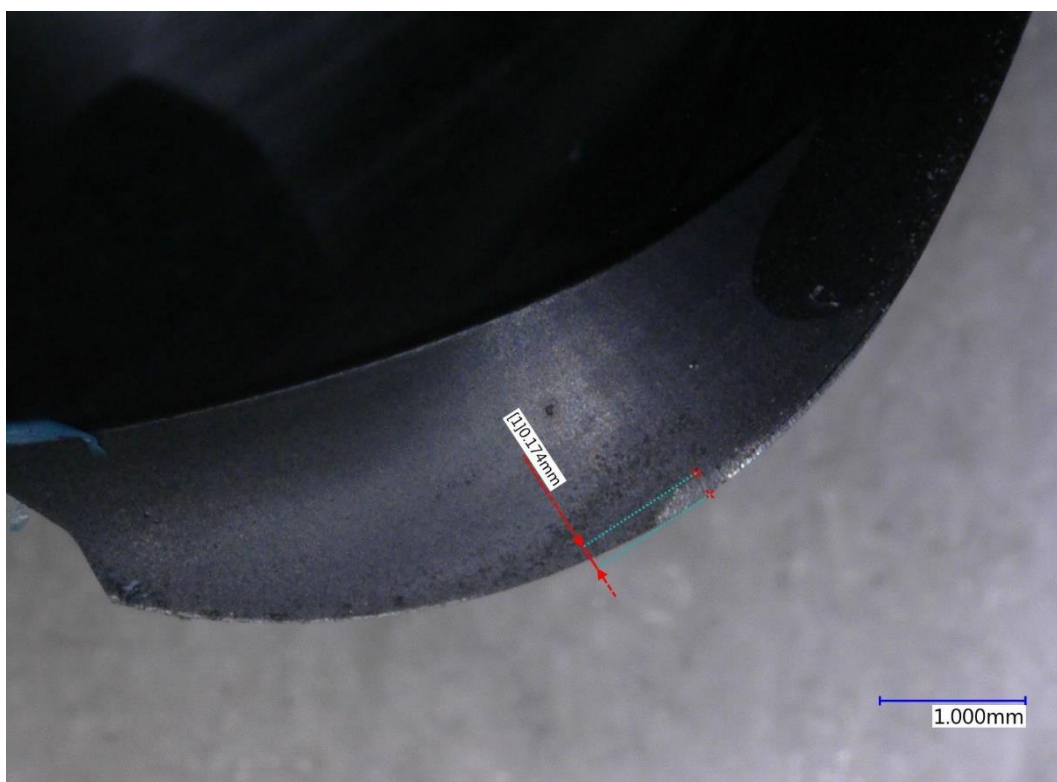
Obrázek 45: Digitální mikroskop VHX-5000 [30]

5.4.1. Opotřebení kulové frézy

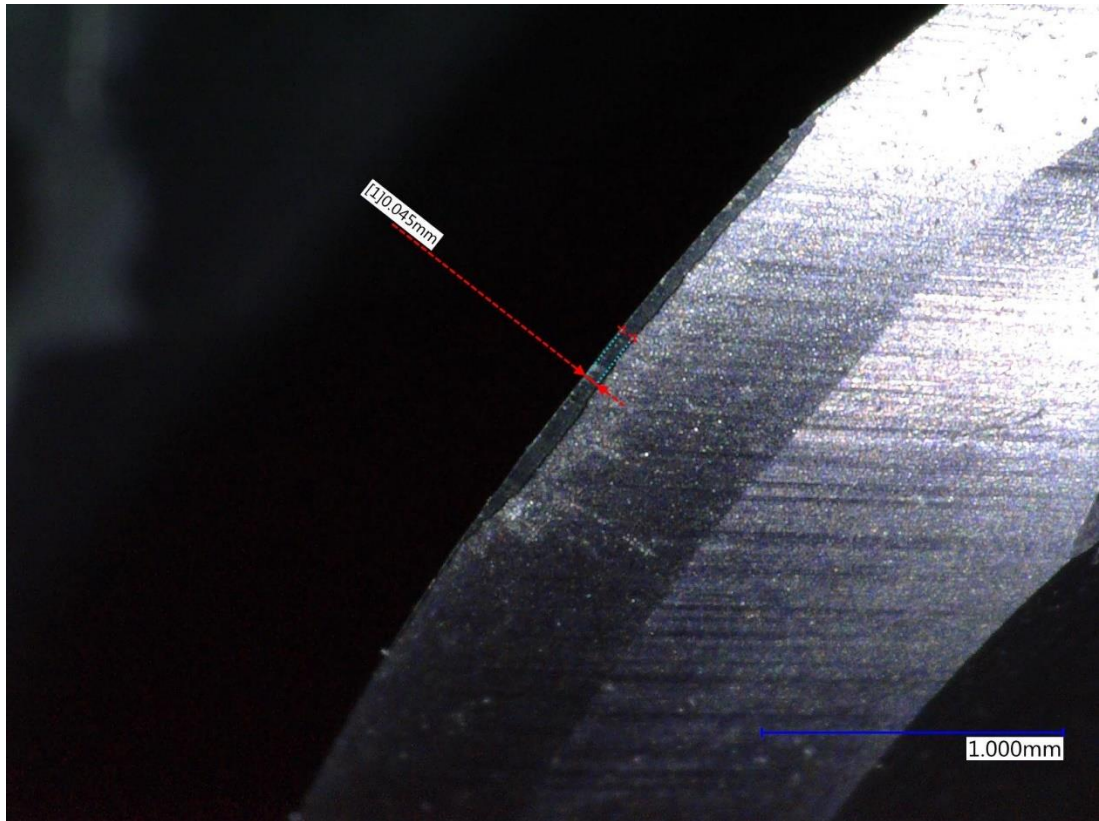
Opotřebení kulové frézy bylo větší z důvodu delších časů strávených obráběním, i přestože všechny parametry obrábění byly stejné a přídavek na obrábění byl malý. Když porovnáme naměřené hodnoty tolerancí, s jakou byly nástroje vyrobeny $\pm 0,05$ mm s hodnotami, které byly naměřeny, tak jsou rozdíly velmi malé. Celkově se dá hovořit o zaběhnutých nástrojích.



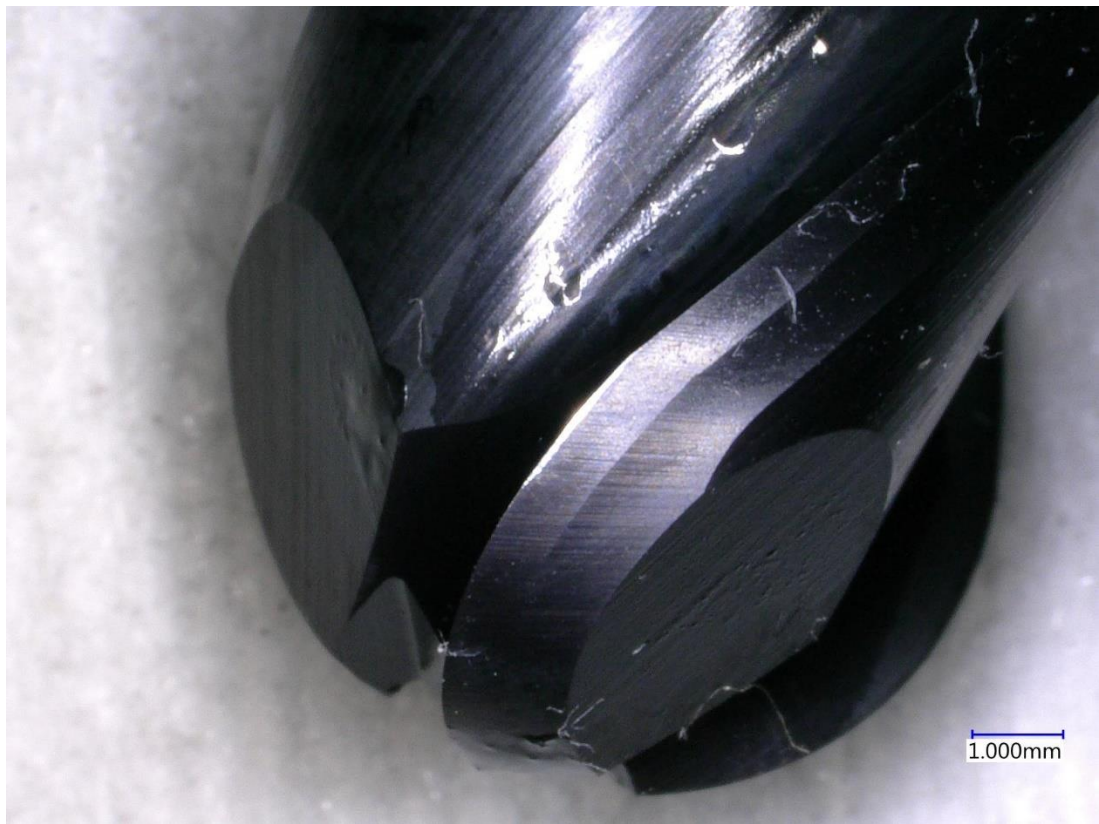
Obrázek 47: Kulová fréza pohled 1



Obrázek 46: Kulová fréza pohled 2



Obrázek 48: Kulová fréza pohled 3

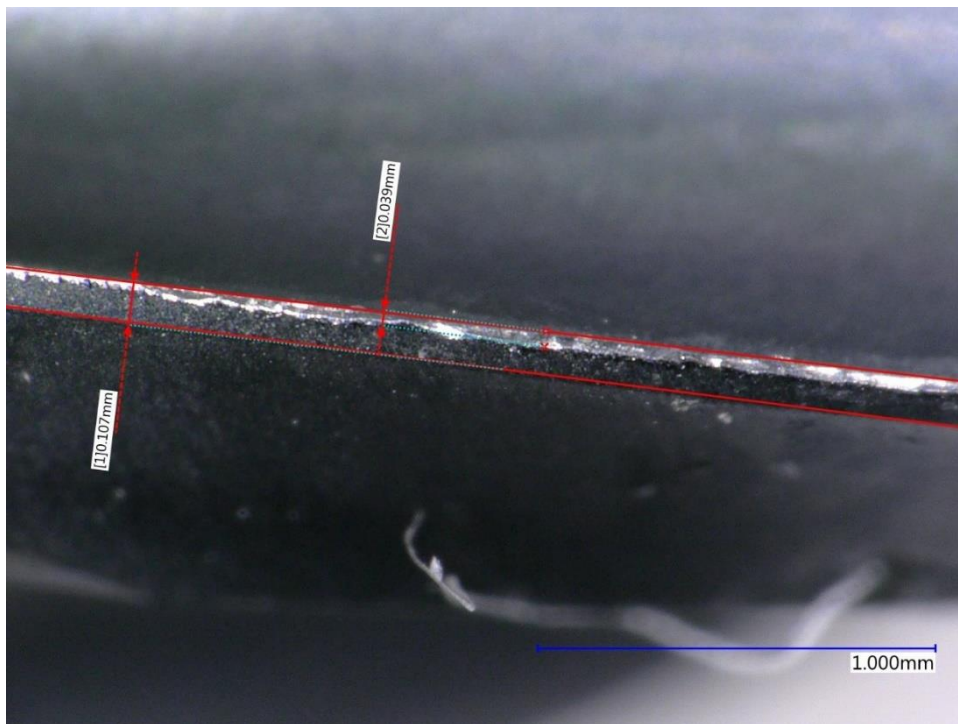


Obrázek 49: Kulová fréza pohled 4

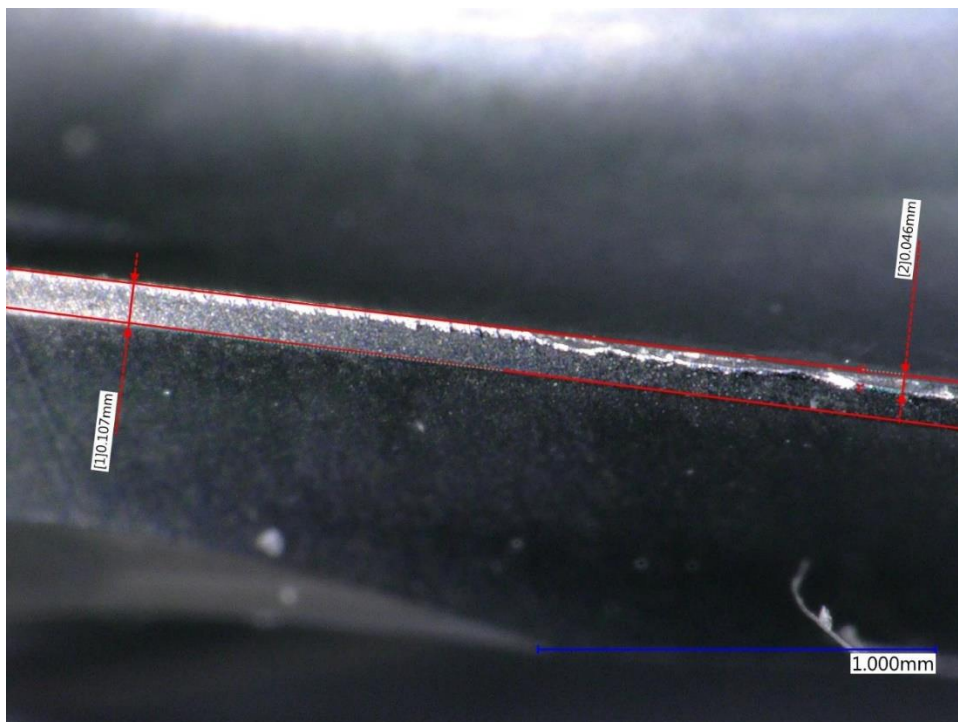
5.4.2. Opatření soudečkové frézy

Hodnoty opotřebení jsou tak malé, že se dá hovořit o velmi lehkém opotřebení.

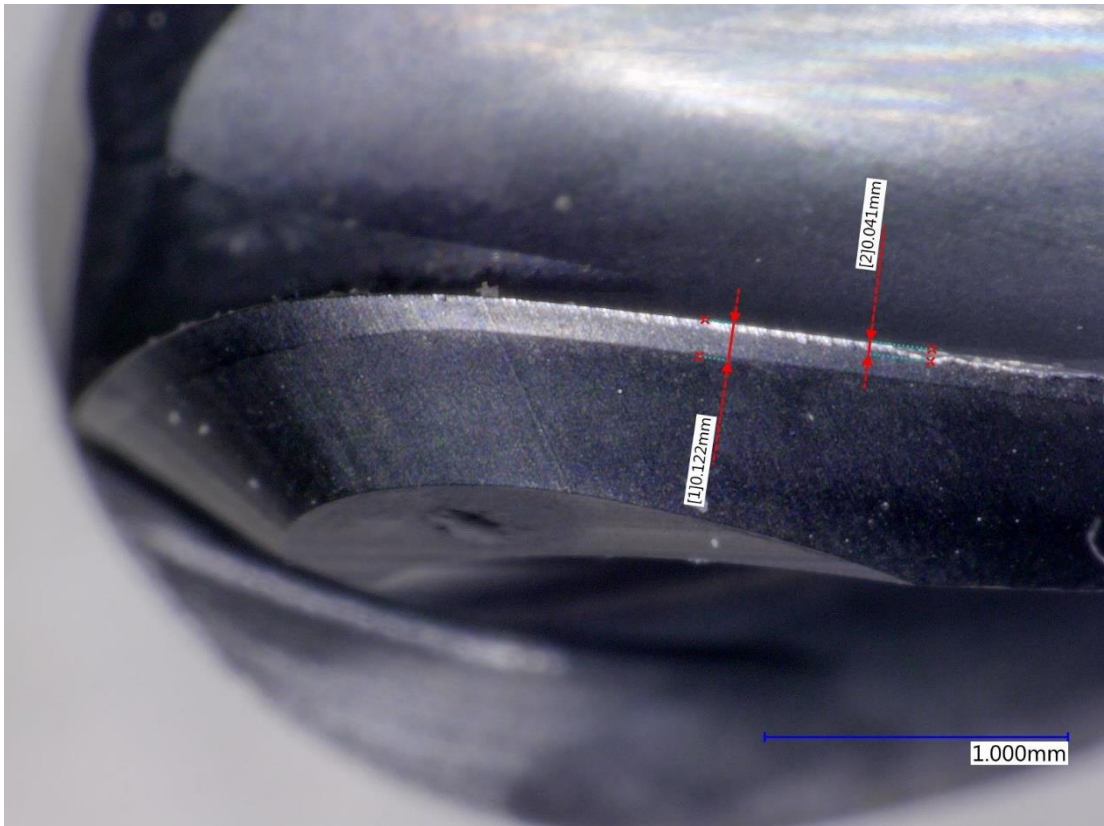
Parametry obrábění a přídavek na obrábění byly stejné jako u kulové frézy.



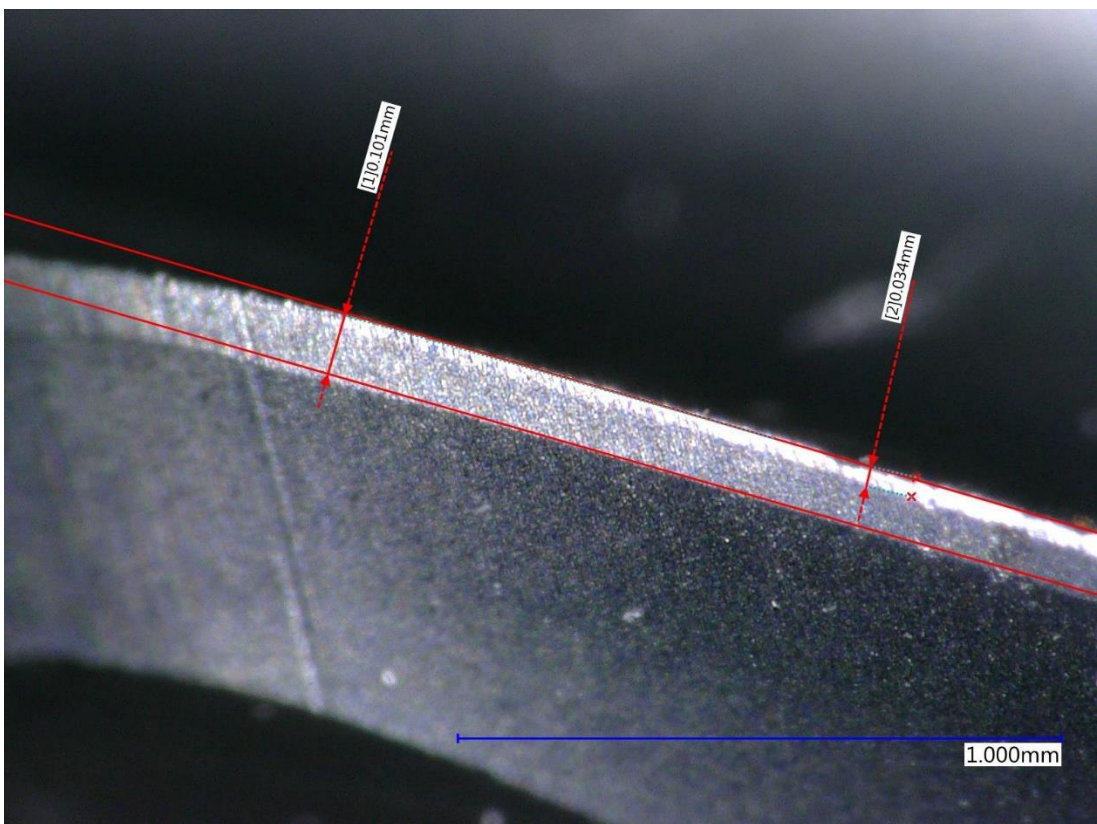
Obrázek 50: Soudečková fréza pohled 1



Obrázek 51: Soudečková fréza pohled 2



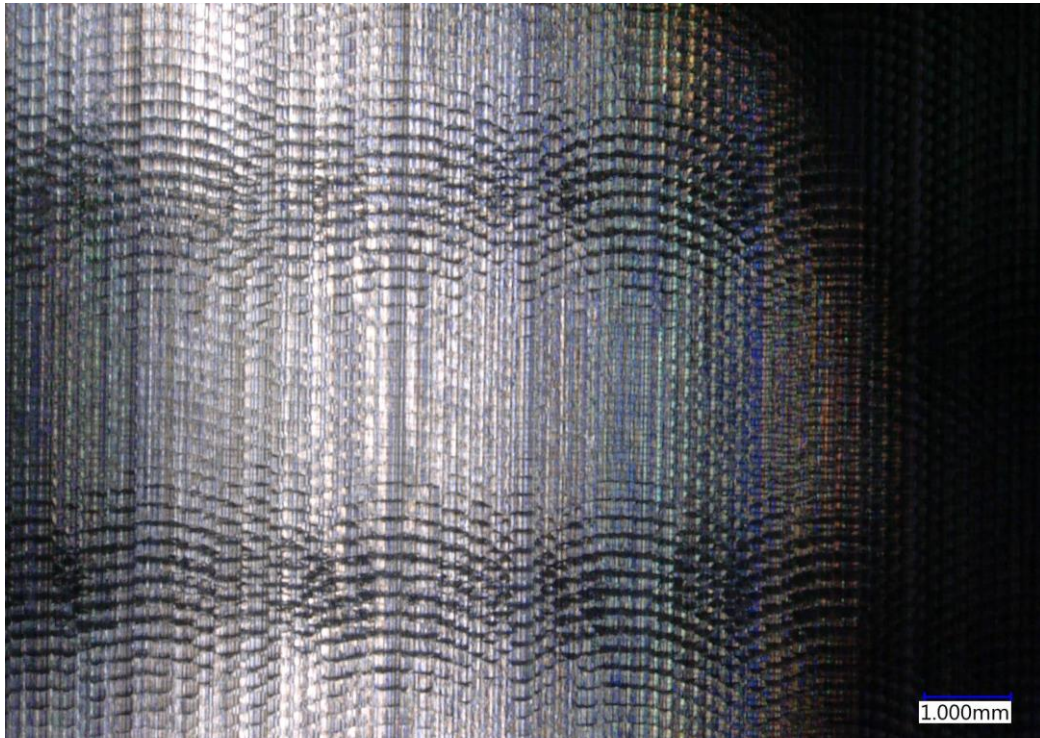
Obrázek 52: Soudečková fréza pohled 3



Obrázek 53: Soudečková fréza pohled 4

5.4.3. Struktura povrchu po obrobení kulovou frézou

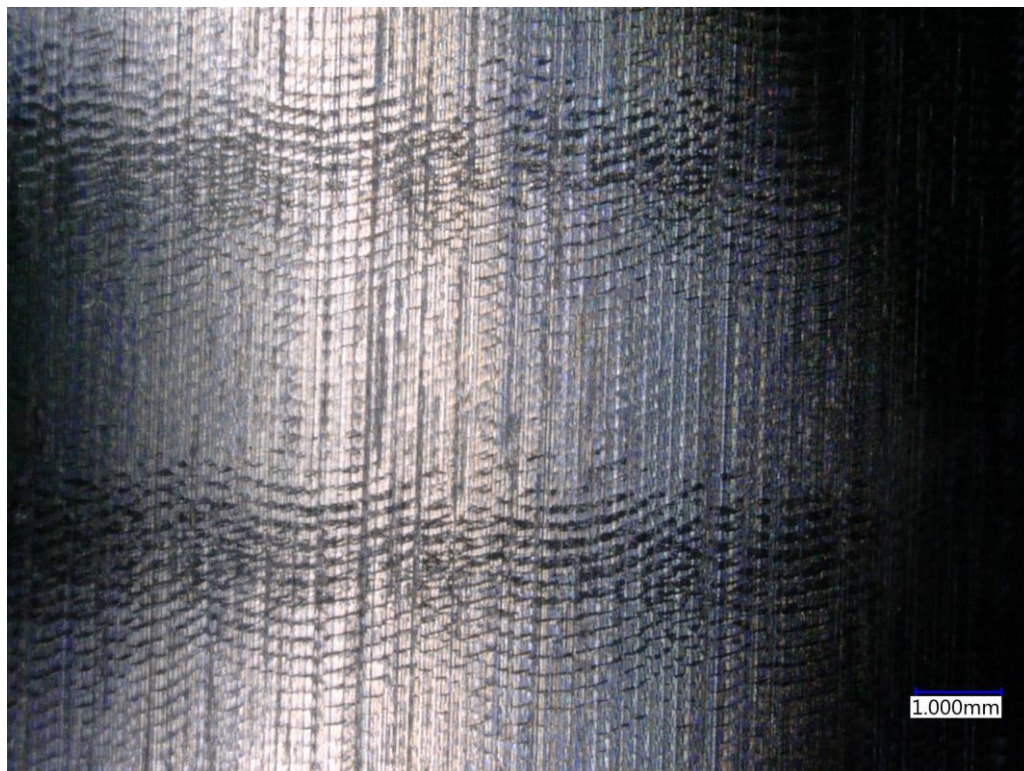
Na povrchu je vidět kruhovitý tvar dráh. Při kombinaci malého řádkování a malé obráběcí plochy nástroje vzniká na pohled lesklejší povrch. U nesousledného obrábění je vidět malé poškození povrchu způsobené pěchováním třísky.



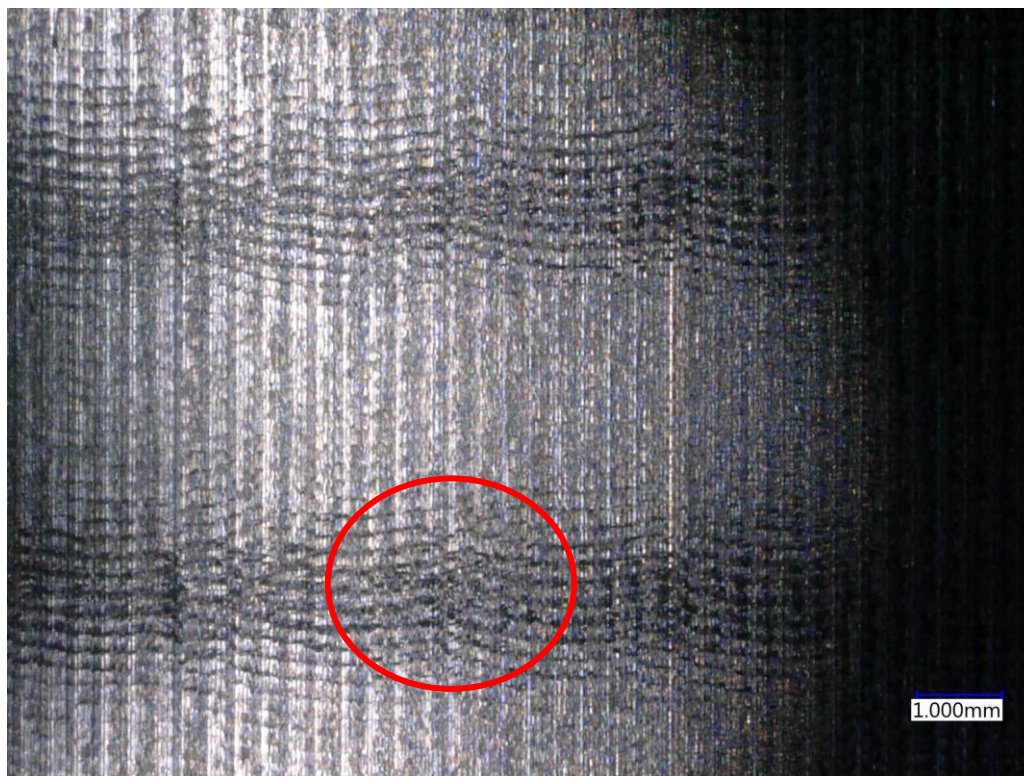
Obrázek 55: Povrch KS - 0,158



Obrázek 54: Povrch KS - 0,316



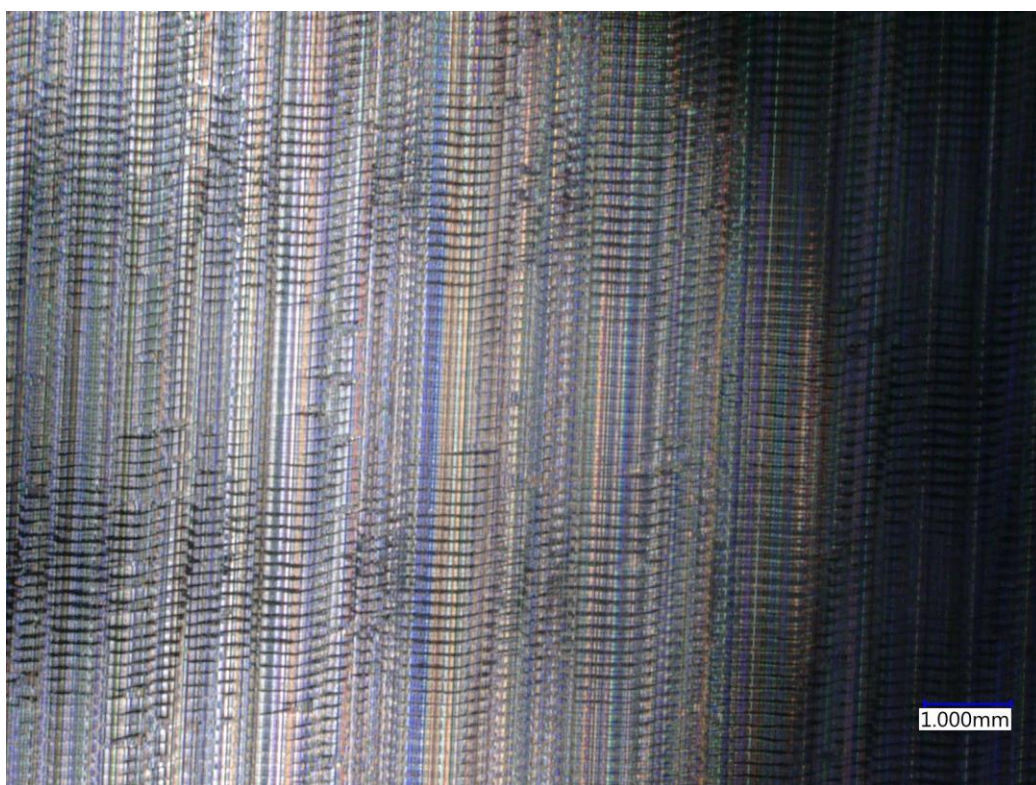
Obrázek 57: Povrch KN-0,158



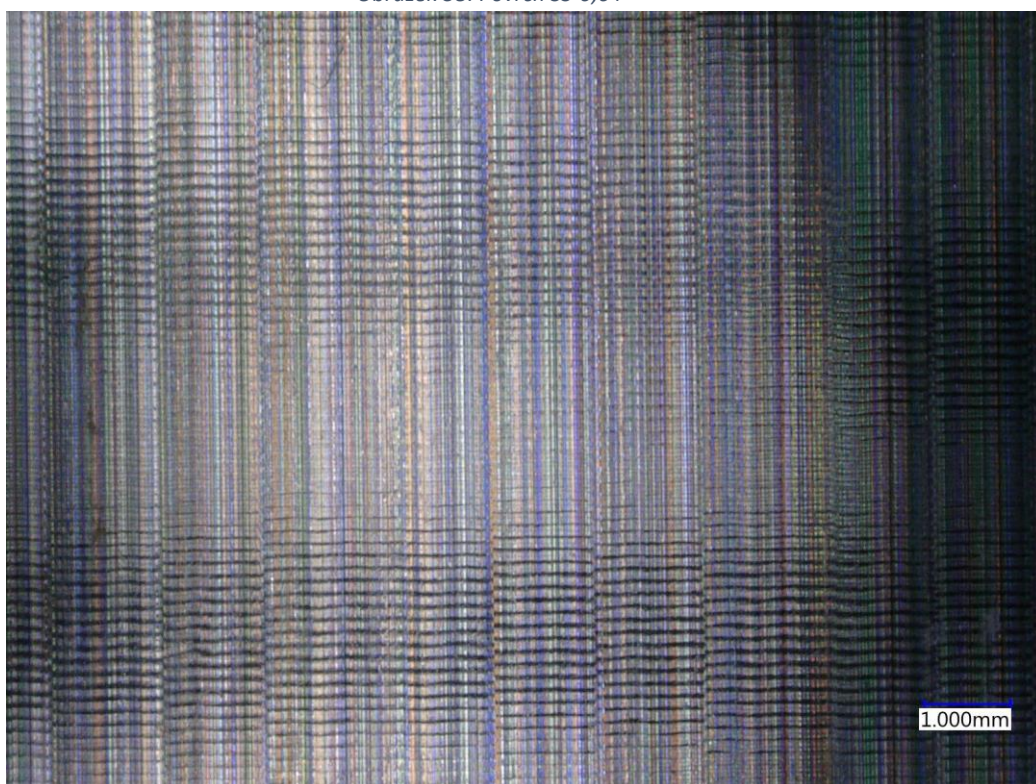
Obrázek 56: Povrch KN-0,316

5.4.4. Struktura povrchu po obrobení soudečkovou frézou

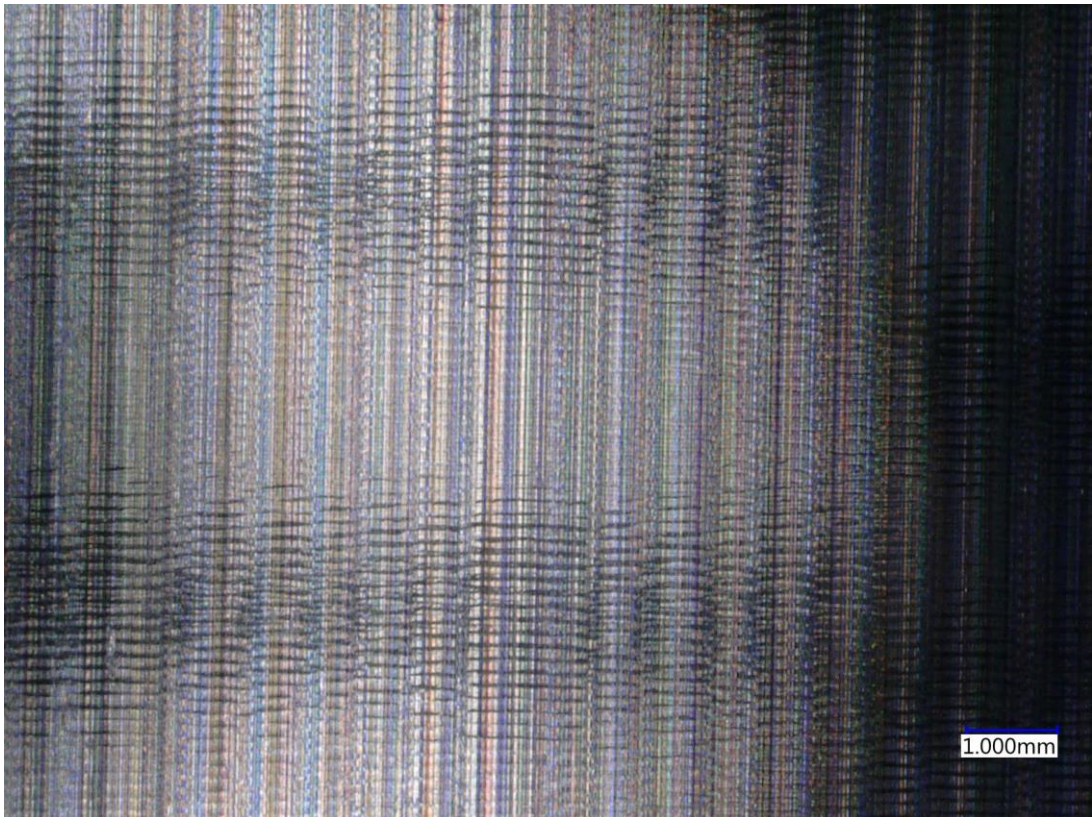
Na povrchu je vidět tvar půlměsíce. U nesousledného obrábění je znatelné poškození povrchu, způsobené nedostatečným odvodem třísky a jejím následným přechováním.



Obrázek 58: Povrch SS-0,64



Obrázek 59: Povrch SS-1,28



Obrázek 60: Povrch SN-0,64



Obrázek 61: Povrch SN-1,28

5.5. Pořadí v jednotlivých parametrech

V tabulkách jsou uvedeny parametry, které jsou hodnoceny od nejlepší = 1 po nejhorší = 4. Zároveň je uvedeno výsledné pořadí plynoucí ze součtu hodnot.

Tabulka 9: Vyhodnocení vzorku A

	Opotřebení	R _a	R _z	R _{max}	W _t	Výsledné pořadí
SS 1,28	1	3	3	3	2	3
SN 1,28	1	4	4	4	4	4
KS 0,316	2	1	1	1	1	1
KN 0,316	2	2	2	2	3	2

Tabulka 10: Vyhodnocení vzorku B

	Opotřebení	R _a	R _z	R _{max}	W _t	Výsledné pořadí
SS 0,64	1	3	3	3	4	3
SN 0,64	1	2	2	2	1	2
KS 0,156	2	1	1	1	2	1
KN 0,156	2	4	4	4	3	4

6. Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo porovnat kulové a soudečkové frézy, zjistit vliv sousledného a nesousledného obrábění soudečkovou frézou na jakost povrchu, strojní čas a opotřebení nástroje. Tyto hodnoty porovnat s obráběním kulovou frézou, která se nyní využívá na tvarové obrábění. Dalším úkolem bylo porovnat, jak se CAM systémy staví k problematice programování drah soudečkových nástrojů.

První část práce se zabývala problematikou jakosti povrchu a parametry, které na ní mají vliv jako například sousledné a nesousledné obrábění, tvorba třísky, volba nástroje. Dále byla pozornost zaměřena na obrábění soudečkovými nástroji, kde byly shrnuty informace o jejich dělení, včetně jejich použití a omezeních a v poslední části byly porovnány CAM systémy z hlediska obrábění soudečkovými nástroji.

Experiment byl rozdělen na dvě části. V první části byly ve firmě FAIVELEY TRANSPORT CZECH a.s. vyrobeny dva vzorky podle vypočtených parametrů a v druhé části byla naměřena potřebná data a provedeno jejich následné vyhodnocení.

V praktické části byla zjištěna velká přednost soudečkových nástrojů a tou je úspora strojního času. Ten je v tomto případě minimálně 4x kratší než u kulových nástrojů. Nedostatkem soudečkových nástrojů je fakt, že R_a neodpovídá hodnotě plynoucí z výpočtu řádkování pro zvolenou R_{th} , tudíž je nutná korekce výpočtu pro docílení požadovaných parametrů. Kulové nástroje tímto nedostatkem netrpí.

Z hlediska jakosti povrchu a opotřebení nástroje je pro soudečkové nástroje lepší pro větší řádkování obrábění sousledné, naopak pro menší řádkování je lepší nesousledné obrábění, ale způsobuje „chlupaté“ povrchy. U kulové frézy je lepší sousledné obrábění, pro malé řádkování je používání nesousledného obrábění až kontraproduktivní.

Z tohoto experimentu vyplývá, že soudečkové nástroje mohou nahradit kulové a zkrátit tak strojní čas obrábění s porovnatelnými parametry jakosti povrchu. V bakalářské práci byly splněny všechny v úvodu vytyčené cíle. Pro další výzkum v této oblasti by bylo dobré lépe prozkoumat vliv řádkování na jakost povrchu. Kdy nastává zlom pro jakost povrchu při zmenšování řádkování mezi sousledným a nesousledným obráběním.

Bibliografie

- [1] *Frézování* [online]. In: . s. 17 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: http://educom.tul.cz/educom/inovace/TOB/VY_03_062-z%c3%a1kladn%c3%ad%20konven%c4%8dn%c3%ad%20tchgie%20obr%c3%a1b%c4%9bn%c3%ad-FR%c3%89ZOV%c3%81N%c3%8d_MZ_4.pdf
- [2] Tvar třísky a geometrie nástroje. *ELUC* [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1816>
- [3] Sousedné frézování nebo nesousedné frézování. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>
- [4] Měření jakosti povrchu obrobku. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece-surface-measurement.aspx>
- [5] Měření jakosti povrchu obrobku. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece-surface-measurement.aspx>
- [6] Měření drsnosti povrchu - Drsnoměry Profiloměry. *Proinex* [online]. [cit. 2022-06-16]. Dostupné z: Měření drsnosti povrchu - Drsnoměry Profiloměry
- [7] Měření drsnosti povrchu: Praktické tipy, jak začít. *Evident* [online]. [cit. 2022-06-16]. Dostupné z: <https://www.olympus-ims.com/cs/insight/surface-roughness-measurement-practical-tips-to-get-started/>
- [8] Fréza kulová. In: *CZ nástroje* [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://www.cznastroje.cz/Tvrdokovova-freza-kulova-na-hlinik-2-brita-NANO-d265.htm>
- [9] Toroidní 4zubá fréza. In: *NAREPS CZ* [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://nastroje.nareps.cz/tvrdokovova-toroidni-4zuba-freza-rady-g550-prumer-3-r0-3--sroubovice-30-2/>
- [10] Co je to tvarové frézování?. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/profile-milling.aspx>
- [11] DYNAMICKÉ 5OSÉ FRÉZOVÁNÍ S PPC FRÉZAMI GARANT A PPC VYMĚNITELNÝMI BŘITOVÝMI DESTIČKAMI. *Hoffmann group* [online]. [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/oblasti-pouziti/obrabeni/tk-soudeckova-freza-garant-ppc/e/68093/>

- [12] 3D Finish – kapkový tvar. In: *Ceratizit Group* [online]. [cit. 2022-02-28].
Dostupné z: <https://cuttingtools.ceratizit.com/cz/cs/products/52745.html>
- [13] Barrel-Shape Cutter. In: *EMUGE FRANKEN* [online]. [cit. 2022-02-28].
Dostupné z: <https://www.emuge.com/products/end-mills/circle-segment-cutters/barrel-shape-cutter>
- [14] CAD/CAM systém hyperMILL. *Westcam* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z:
<https://www.westcam.cz/produkty/cam/hypermill/>
- [15] Performance Boost for Finishing. *OPEN MIND TECH* [online]. [cit. 2022-04-20].
Dostupné z: <https://www.openmind-tech.com/en/cam/hypermill-maxx-machining/finishing/high-performance-finishing.html>
- [16] Funkce CNC programování v Autodesk PowerMill. *POWERMILL* [online].
[cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.powermill.cz/funkce-programu>
- [17] NCG -Nástroje - Soudečková fréza. *NCG CAM Solutions Ltd.* [online].
[cit. 2022-04-20]. Dostupné z:
https://www.ncgcam.cz/tech_rady_ncg/5_nastroje_soudeckova_freza.htm
- [18] Accelerated Finishing Technology. *Mastercam* [online]. [cit. 2022-04-20].
Dostupné z: <https://www.mastercam.com/news/blog/accelerated-finishing-technology/>
- [19] Take Mastercam 2020 for a Test Drive. *Mastercam* [online]. [cit. 2022-04-20].
Dostupné z: <https://www.mastercam.com/news/blog/take-mastercam-2020-for-a-test-drive/>
- [20] Smart Manufacturing and Industry 4.0: Mastercam's 5-Part Vision.
Mastercam [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z:
<https://www.mastercam.com/news/blog/smart-manufacturing-and-industry-4-0-mastercams-5-part-vision/>
- [21] How Mastercam OptiRough Can Save You Hours of CNC Programming Time.
Mastercam [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.mastercam.com/news/blog/how-mastercam-optirough-can-save-you-hours-of-programming-time/>
- [22] Complex Parts Machining. *Siemens* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z:
<https://www.plm.automation.siemens.com/global/cz/products/manufacturing-planning/complex-parts-machining.html>
- [23] EDGE CAM 4 a 5osé frézování. *EDGE CAM* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z:
<https://cz.edgcam.com/edgcam-5-axis>
- [24] MCV 1270. *Kovosvit* [online]. [cit. 2022-06-28].
Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-1270/>

- [25] Konturograf Mahr MarSurf LD 120. In: *Microtes* [online]. [cit. 2022-07-11].
Dostupné z: <http://www.microtes.cz/Mahr/drsnomery-Ma.pdf>
- [26] CIRCLE SEGMENT CUTTERS. In: *EMUGE FRANKEN* [online]. [cit. 2022-02-28].
Dostupné z: <https://www.emuge.com/products/end-mills/circle-segment-cutters/taper-form>
- [27] TK soudečková fréza, tupý kónický tvar $\alpha/2 = 63^\circ$ PPC TiAlN. In:
Hoffmann group [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/SK/cs/hos/Mono-obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/TK-fr%C3%A9zy/TK-soude%C4%8Dkov%C3%A1-fr%C3%A9za%2C-tup%C3%BD-k%C3%B3nick%C3%BD-tvar-%CE%B1-2-%3D-63%C2%B0-PPC-TiAlN/p/207543>
- [28] SOUSLEDNÉ A NESOUSLEDNÉ FRÉZOVÁNÍ. In: *Unicat* [online]. [cit. 2022-04-20].
Dostupné z: <https://www.unicut.cz/sousledne-a-nesousledne-frezovani>
- [29] Kyocera SGS Precision Tools - 0.3937 in Dia. 05B Carbide End Mill
- 3 Flute - 2.9528 in Length - 48876. In: *Rshughes* [online]. [cit. 2022-07-11].
Dostupné z: https://www.rshughes.com/p/Kyocera-SGS-Precision-Tools-0-3937-In-Dia-05B-Carbide-End-Mill-3-Flute-2-9528-In-Length-48876/691781_48876/
- [30] Lp_vhx5000_measurement_capabilities_img_01_1616620. In: *KEYENCE* [online].
[cit. 2022-07-21]. Dostupné z: https://www.keyence.com/landing/microscope/lp_vhx5000_measurement_capabilities.jsp

Seznam obrázků

Obrázek 1: Druhy deformací [1].....	11
Obrázek 2: Sousledné a nesousledné obrábění [3]	12
Obrázek 3: Síly – nesousledné obrábění [28].....	12
Obrázek 4: Síly – sousledné frézování [28]	13
Obrázek 5: Struktura povrchu [5].....	14
Obrázek 6: Toroidní fréza [9]	15
Obrázek 7: Kulová fréza [8]	15
Obrázek 8: Kónický tvar [26]	17
Obrázek 9: Tangenciální tvar [12]	17
Obrázek 10: Kónický čočkovitý tvar [27].....	17
Obrázek 11: Soudečkový tvar [13]	17
Obrázek 12: Použití soudečkových fréz [11]	18
Obrázek 13: Porovnání fréz [11]	19
Obrázek 14: Návrh v CAM systému.....	24
Obrázek 15: Soudečková fréza S791	24
Obrázek 16: Kulová fréza [29]	25
Obrázek 17: Frézka KOVOSVIT MAS MCV 1270	26
Obrázek 18: První hrubování.....	27
Obrázek 19: Vzorek po hrubování.....	27
Obrázek 20: Kolébka	28
Obrázek 21: Gravírování.....	28
Obrázek 22: Korekce kulové frézy.....	29
Obrázek 23: Korekce soudečkové frézy	29
Obrázek 24: Nesousledné obrábění soudečkovými nástroji	31
Obrázek 25: Konturograf MarSurf LD 120 [25]	32
Obrázek 26: Měření úhlu	35
Obrázek 27: Graf výsledného úhlu na vzorku A.....	36
Obrázek 28: Graf výsledný úhel na vzorku B.....	36
Obrázek 29: Schéma měření KN 0,156.....	37
Obrázek 30: Schéma měření KS 0,156	37
Obrázek 31: Schéma měření KN 0,316.....	38
Obrázek 32: Schéma měření KS 0,316	38
Obrázek 33: Schéma měření SN 0,64	38
Obrázek 34: Schéma měření SS 0,64.....	39
Obrázek 35: Schéma měření SN 1,28.....	39
Obrázek 36: Schéma měření SS 1,28.....	39
Obrázek 37: Graf drsnosti R_a na vzorku A	40
Obrázek 38: Graf drsnosti R_a na vzorku B	41
Obrázek 39: Graf drsnosti R_z na vzorku A	42
Obrázek 40: Graf drsnosti R_z na vzorku B	42
Obrázek 41: Graf drsnosti R_{max} na vzorku A.....	43
Obrázek 42: Graf drsnosti R_{max} na vzorku B.....	44
Obrázek 43: Graf drsnosti W_t na vzorku A.....	44

Obrázek 44: Graf drsnosti W_t na vzorku B	45
Obrázek 45: Digitální mikroskop VHX-5000 [30].....	46
Obrázek 46: Kulová fréza pohled 2	47
Obrázek 47: Kulová fréza pohled 1	47
Obrázek 48: Kulová fréza pohled 3	48
Obrázek 49: Kulová fréza pohled 4	48
Obrázek 50: Soudečková fréza pohled 1.....	49
Obrázek 51: Soudečková fréza pohled 2.....	49
Obrázek 52: Soudečková fréza pohled 3.....	50
Obrázek 53: Soudečková fréza pohled 4.....	50
Obrázek 54: Povrch KS - 0,316	51
Obrázek 55: Povrch KS - 0,158	51
Obrázek 56: Povrch KN-0,316	52
Obrázek 57: Povrch KN-0,158	52
Obrázek 58: Povrch SS-0,64	53
Obrázek 59: Povrch SS-1,28	53
Obrázek 60: Povrch SN-0,64.....	54
Obrázek 61: Povrch SN-1,28.....	54

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry soudečkové frézy [příloha 3]	24
Tabulka 2: Parametry kulové frézy [příloha 4].....	25
Tabulka 3: Parametry gravírování	28
Tabulka 4: Obrábění kulovou frézou.....	29
Tabulka 5: Parametry pro obrábění soudečková fréza	30
Tabulka 6: Časy obrábění	31
Tabulka 7: Naměřené hodnoty vzorku A	33
Tabulka 8: Naměřené hodnoty vzorku B.....	34
Tabulka 9: Vyhodnocení vzorku A.....	55
Tabulka 10: Vyhodnocení vzorku B	55

Seznam příloh

Příloha 1	Materiálový list 11523.0
Příloha 2	Nástrojový list kulové frézy
Příloha 3	Nástrojový list soudečkové frézy S791
Příloha 4	Výkres obrobku
Příloha 5	Excelový soubor s naměřenými daty

Příloha 1: Materiálový list 11523.0

ČSN 11523 – konstrukční ocel



1. Orientační srovnání se zahraničními normami

DIN	EN 10027-1	EN 10027-2	EN 10025:90	GOST
St52-3	S35530	1.0553	Fe510C1	17GS

2. Chemické složení (rozběr tavby) v %

C	Mn	Si	P	S	N	Al
max. 0,200	max. 1,600	max. 0,550	max. 0,050	max. 0,045		max. 0,015

3. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu R_m [MPa]		510 - 680
Mez kluzu R_e [MPa]		min. 355
Tažnost A_{10} [%]		min. 22

4. Charakteristika oceli a příklady použití

Mostní a jiné svařované konstrukce, součásti strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. Součásti tepelných energetických zařízení a tlakových nádob.

Příloha 2: Nástrojový list kulové frézy

Solid Round Tools

Supplier Name	KYOCERA SGS Precision Tools	SKU	48876
Description	10,0 ENDMILL 3FL BN TA	Category	Solid Round Tools > ENDMILL
Product Category	3GPEM	Series	05B
High Performance	N	Series Description	3 Flute Ball End
Sell Min Qty	1	UOM	EA
Standard Pack Quantity	1	(DC) Cutting Dia	0.3937
(DCON) Shank Dia	0.3937	(LF) OAL	2.9528
(APMX) Length Cut	0.8661	Shank Length	2.084
Flute Type	Spiral	Dimension Type	M
Flat	N	(DN) Neck Diameter	0
Coating	TA	Cut Direction	RHC
End Config	Ball Nose	Helix Angle	30
Number Flutes	3	Center Cutting	Yes
Chip Breaker	No	Single End / Double End	Single
Variable Helix	No	Indexing	Equal
Optimized Web Description	General Purpose, Solid Carbide, 3 Flute Ball End Mill	Web Description Sub-Header	0.3937 Diameter 3 Flute Ball End
Detail Description	10,0 ENDMILL 3FL BN TA	Metric_Diameter	10.0
Metric_Length_Of_Cut	22.0	Metric_Overall_Length	75.0
Metric_Shank_Diameter	10.0	Metric_Shank_Length	52.9
Material	Carbide	Primary Workpiece Material	(P) Steel(M) Stainless Steel(K) Cast Iron(N) Non-Ferrous Materials(S) Titanium Alloy(I-H) Hardened MaterialsPlastics & Composites
Alternative Item 1	48855	Alternative Item 2	48833
Alternative Item 3	40558	Speeds & Feeds	1 3 5 14 15 16 17 23 24 59 METRIC SF.pdf 📄
Solid Round Shank Style	Cylindrical	Metric Cleared Length	0.0
Metric Reach	0.0	Metric Corner Radius	0.0

Příloha 3: Nástrojový list soudečkové frézy S791

NEW

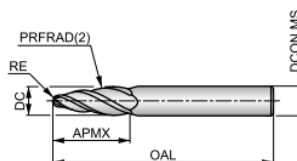
S791

DORMER



Stopkové karbidové frézy 3 – 4 břitě, Soudečkový tvar břítu

Frézy se středně dlouhou pracovní částí s 3 nebo 4 břitě, velkým tangenciálním radiusem a kruhovým ostřím na čele ke zvětšení kontaktu s obrobkem, snížení času obrábění a zlepšení jakosti povrchu při obrábění strmých stěn. Povlak AlTiN zvyšuje produktivitu a prodlužuje životnost. Frézy jsou určeny pro polodokončovací a dokončovací operace.



HM	N	3-4	
λ	30°	γ	8°
DIN 6535HA	AlTiN		
DORMER			

Vhodné startovní podmínky, řezná rychlost (Vc) a kód posuvu. Další výpočty naleznete v naší aplikaci Kalkulátor. Tabulky s posuvy na zub a korekčními hodnotami naleznete od strany 112.

P1.1 ■ 161 F	P1.2 ■ 181 F	P1.3 ■ 186 F	P2.1 ■ 138 F	P2.2 ■ 121 F	P2.3 ■ 108 E	P3.1 ■ 112 F	P3.2 ■ 90 E	P3.3 ■ 76 E	P4.1 ■ 66 E	P4.2 ■ 57 E	P4.3 ■ 46 E	M1.1 ■ 94 F	M1.2 ■ 79 F
M2.1 ■ 83 F	M2.2 ■ 69 E	M3.1 ■ 77 E	M3.2 ■ 66 E	M3.3 ■ 59 E	M4.1 ■ 58 E	K1.1 ■ 161 F	K1.2 ■ 119 F	K1.3 ■ 89 F	K2.1 ■ 165 F	K2.2 ■ 134 F	K2.3 ■ 107 E	K3.1 ■ 146 F	K3.2 ■ 112 F
K3.3 ■ 90 E	K4.1 ■ 136 E	K4.2 ■ 102 E	K4.3 ■ 75 E	K4.4 ■ 64 E	K4.5 ■ 54 E	K5.1 ■ 154 E	K5.2 ■ 115 E	K5.3 ■ 89 E	N1.1 ■ 355 I	N1.2 ■ 267 I	N1.3 ■ 179 I	N2.1 ■ 179 F	N2.2 ■ 160 F
N2.3 ■ 115 F	N3.1 ■ 187 F	N3.2 ■ 109 F	N3.3 ■ 56 F	N4.1 ■ 187 F	N4.2 ■ 72 F	S1.1 ■ 58 E	S1.2 ■ 56 E	S2.1 ■ 43 E	S3.1 ■ 33 E	S4.1 ■ 26 E			

Tolerance DCON MS h6; RE ±0.01 mm; PRFRAD (2) ±0.01 mm.

Produkt	DC (mm)	RE (mm)	PRFRAD(2) (mm)	DCON MS (mm)	APMX (mm)	OAL (mm)	NOF
S7916.0	6.00	1.00	95.0	6.00	22.00	67.0	3
S7918.0	8.00	1.00	90.0	8.00	25.00	75.0	3
S79110.0	10.00	2.00	85.0	10.00	26.00	75.0	4
S79112.0	12.00	2.00	80.0	12.00	28.00	83.0	4
S79116.0	16.00	3.00	75.0	16.00	31.00	90.0	4

MONOLITNÍ HM SOUDEČKOVÁ FRÉZA – TABULKA PRO POSUV NA ZUB

Posuv na zub f_z (mm/ot) v závislosti na pracovních podmínkách je nutné upravit o tyto hodnoty o ±25 %.

- Jak pomocí této tabulky najít posuv na zub f_z :**
- Najděte potřebný kód posuvu na stránce produktu (například: 121F, „F“ je kód posuvu)
 - V horním řádku tabulky najděte nejbližší průměr pro vaši řeznou aplikaci.
 - Najděte svůj kód posuvu v levém sloupci tabulky.
 - Průsečík (buňka) průměru a kódu posuvu je posuv na zub f_z .

**PRO HM S791
POUZE SOUDEČKOVÉ FRÉZY**

		ø DC (mm)				
		6.00	8.00	10.00	12.00	16.00
Posuvy	E	0.030	0.039	0.053	0.067	0.096
	F	0.037	0.050	0.064	0.083	0.118
	I	0.062	0.084	0.111	0.141	0.203