

Komparace charakteristik drsnosti povrchů vzniklých pomocí klasických obráběcích technologií

Josef Kocháň

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Josef Kocháň**
Osobní číslo: **T18439**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Komparace charakteristik drsnosti povrchů vzniklých pomocí klasických obráběcích technologií**

Zásady pro vypracování

- Statistické nalezení a stanovení diferencí mezi vyhodnocováním povrchů ve shodě s ISO 4287, ISO 4288 a dále ISO 25 178.
- Provedení průzkumové analýzy obrobků s využitím bezkontaktního profiloměru.
- Statistické vyhodnocení povrchových komparací naměřených dat dle odpovídajících softwarů.

Forma zpracování bakalářské práce: **Tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999.
2. ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1999.
3. ČSN EN ISO 25178-2. Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 2012.
4. MELOUN, Milan. Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešení úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milena Kubišová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 11. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřená na vyhodnocení kvality povrchů, při použití technologie frézování. Teoretická část se zabývá technologií obrábění. Dále je v ní uveden obsah používaných norem, který je využit při vyhodnocování této problematiky. Praktická část popisuje přípravu a postup, při měřících operacích a následné vyhodnocení těchto výsledků. Vzorky se od sebe liší jakostí povrchů, které vznikly zadáním odlišných parametrů při frézování.

Klíčová slova: Měření jakosti povrchu, strojní obrábění

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on surface quality evaluation when milling technology is used. Theoretical part deals with the Machining technology. The content of norms use dis listed further, with is used evaluating this problematice. Practical part describes the preparation and process of measuring operation and the evaluation of those results after. The specomen differs by surface quality, witch were made by different milling parameters used.

Keywords: Surface quality measuring, Machining

Mé poděkování patří paní Ing. Mileně Kubišové, Ph.D. za její užitečné rady při vypracovávání bakalářské práce. Dále také panu Aloisi Doležalovi z firmy DOLAS, za ochotu při přípravě zkušebních vzorků.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 STROJNÍ OBRÁBĚNÍ	11
1.1 ZÁKLADNÍ STROJNÍ OBRÁBĚNÍ	11
1.1.1 Soustružení	11
1.1.2 Frézování	14
1.1.3 Protahování	15
1.2 ABRAZIVNÍ METODY OBRÁBĚNÍ	16
1.2.1 Broušení	16
1.2.2 Honování	17
1.2.3 Lapování	17
1.2.4 Superfinišování	18
1.2.5 Leštění	18
1.3 NEKONVENČNÍ OBRÁBĚNÍ	19
1.3.1 Elektroerozivní Obrábění	19
1.3.2 Elektrochemické Obrábění	19
1.3.3 Laserové obrábění	19
1.3.4 Plazmové obrábění	19
1.4 TŘÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ	20
1.4.1 Obrobitelnost materiálu a řezivost daného nástroje	20
1.4.2 Opotřebení rezných nástrojů	20
1.4.3 Tvorba a následné pýchování třísky	21
1.4.4 Typy třísek	21
2 MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ PORVCHŮ	22
2.1 OBECNÉ TERMÍNY	22
2.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY PROFILU	22
2.3 OZNAČENÍ PARAMETRŮ V PROFILU	23
2.4 PARAMETRY PROFILU POVRCHU	24
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
3 CÍL PRÁCE	27
4 VZORKY	28
4.1.1 Řezné parametry	28
5 POUŽITÁ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ	29
6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	31
6.1 VZOREK 1	31
6.2 VZOREK 2	33
6.3 VZOREK 3	35

6.4	VZOREK 4.....	37
7	SHRnutí A VYHODNOCENí PARAMETRŮ	39
7.1	SHRnutí NAMĚŘENÝCH PARAMETRŮ SA	39
7.2	SHRnutí NAMĚŘENÝCH PARAMETRŮ SZ.....	40
7.3	VYHODNOCENí NAMĚŘENÝCH PARAMETRŮ	41
	ZÁVĚR	42
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	45
	SEZNAM OBRÁZKŮ	46
	SEZNAM TABULEK	48

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá problematikou měření povrchu u vzorků, které byly vyrobeny pomocí metody frézování.

Výroba ve strojírenství za pomoci obráběcích metod má obrovské zastoupení. To samé by se dalo určitě říct i o řešení kvality povrchu, jelikož tyto problematiky mezi sebou zcela určitě souvisí. Největší zastoupení má v první části bakalářské práce druhy a typy obráběcích metod. Dále se zde řeší normy a parametry z nich vyplývající.

V Praktické části je popsáno, jak byly vzorky vyrobeny. Poté se řešila problematika nastavení přístroje a postupu měření. V samotném závěru je zpracována statistika na jejíž základě byl vypracován závěr s následným vyhodnocením dané problematiky jakosti povrchu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 STROJNÍ OBRÁBĚNÍ

Smyslem téhle práce není řešení strojního obrábění, ale toto odvětví má vliv na řešení a vyhodnocení povrchu obráběné součásti. Jsou zde popsány pouze některé způsoby tohoto odvětví. Zaměření je pouze na obrábění ocelí, nikoli však polymerů či jiných materiálů, jelikož to není předmětem zadané práce.

Je proces, při kterém se odebírá materiál z povrchové části tělesa. Může být i znám pod pojmem třískové obrábění. Tyto metody se nazývají třískové a lze je dělit na: základní strojní obrábění (soustružení, frézování, protahování), Abrazivní metody obrábění (dokončovací metody: broušení, honování, lapování), nekonvekční metody třískového obrábění (vodním paprskem, ultrazvukem, laserem, elektrochemické, elektroerozivní). [1]

1.1 Základní strojní obrábění

Obrábění je proces, při kterém dochází ke změně tvaru původního tělesa (polotovaru) na nový. Dochází k tomu na strojích tomu určených a za pomoci řezných nástrojů. Stroje spadající do tohoto odvětví, jsou například: soustruhy, frézky, vrtačky. ŘN se dají charakterizovat pomocí tvaru, velikosti, počtem břitů. Břit tvoří čelo a hřbet. Čelo je tou částí nástroje, po kterém se odvádí tříska. Hřbet se dotýká obráběné součásti. Tyto plochu můžou být buď rovinné (soustružnický nůž) popřípadě zakřivené (vrták). [2]

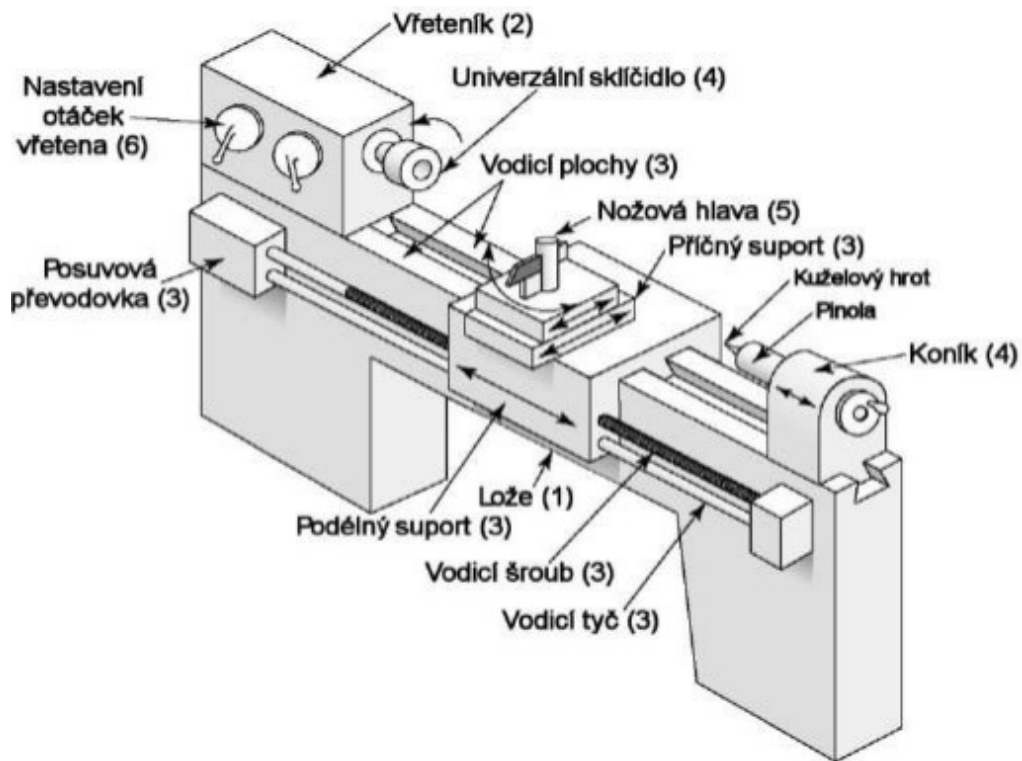
Volba a tip požitě technologie a nástroje závisí na technologickém pracovníkovi, neboť on je ten, kdo optimalizuje výrobu a snaží se vybrat nejekonomičtější, nejrychlejší způsob výroby, za předpokladu, že výrobek bude mít kvalitu jakou požaduje zákazník. [3]

1.1.1 Soustružení

Je to jedna z nejčastějších metod obrábění a patří i k těm nejstarším. Podle domněnek se této metody využíval před 3000 lety. Do 18. století existovaly pouze soustruhy vyrobené ze dřeva. V pozdějších letech došlo k jejich inovaci a využívalo se moderních materiálů a došlo také k samotnému zdokonalování zmíněných strojů. [4]

Využívá se především k obrábění válcových ploch. Stroje, na kterých dochází k opracování se nazývají soustruhy. Krom již zmíněného soustružení lze na tomto stroji vrtat, vyhrubovat, zahlubovat a v některých případech i frézovat. Řezný pohyb se skládá z hlavního řezného pohybu a posuvového pohybu. Hlavní řezný pohyb, který stroj vykonává dochází pomocí

obroku nebo nástroje. Velikost posuvového pohybu se určuje jako posunutí nástroje na otáčku, posuv na zdvih, posuv na dvou zdvih, u nástrojů s více břity je to posuv za minutu. Další veličiny, které jsou při soustružení důležité tvoří přísuv, což je velikost přísuvového pohybu, a šířka záběru ostří, které se dá vyjádřit jako velikost vzdálenosti mezi obráběnou a obrobenou plochou. [4]

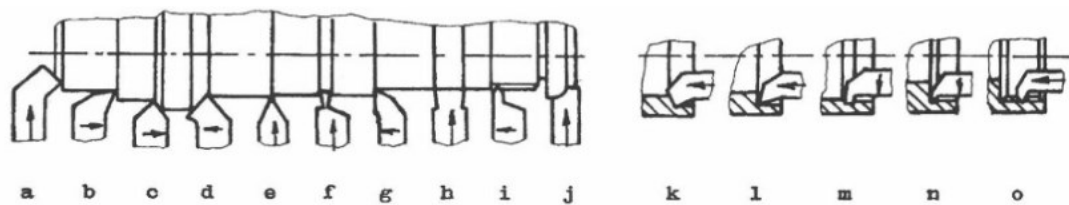


Obr. 1 Popis částí hrotového soustruhu [5]

Soustružnické nože jejichž ostří se vyrábí z rychlořezných ocelí, jsou většinou konstruované monoliticky. U nožů, jejichž ostří je vyrobeno ze slinutých karbidů, může být ostří pájeno. Nože, které mají břity ze slinutých karbidů, řezné keramiky, kubického nitridu nebo diamantu mají vyměnitelný břit. Nejčastějším typem nožů jsou nože radiální – normální, které se dělí na vnitřní a vnější. Tyto druhy nožů mohou být pravé i levé. [4]



Obr. 2 Typy nožových ostří [4]



a – ubírací nůž čelní, b – rohový nůž, c – ubírací nůž přímý, d – ubírací nůž ohnutý, e – hladicí nůž, f – zapichovací nůž, g – ubírací nůž stranový, h – nabírací nůž, i – závitový nůž, j – radiusový nůž, k – vnitřní ubírací nůž, l – vnitřní rohový nůž, m, n – vnitřní nože zapichovací, o – vnitřní nůž závitový

Radiální nože

Ubírací nože přímé	pravé	
	levé	
Ubírací nože ohnuté	pravé	
	levé	
Ubírací nože stranové	pravé	
	levé	

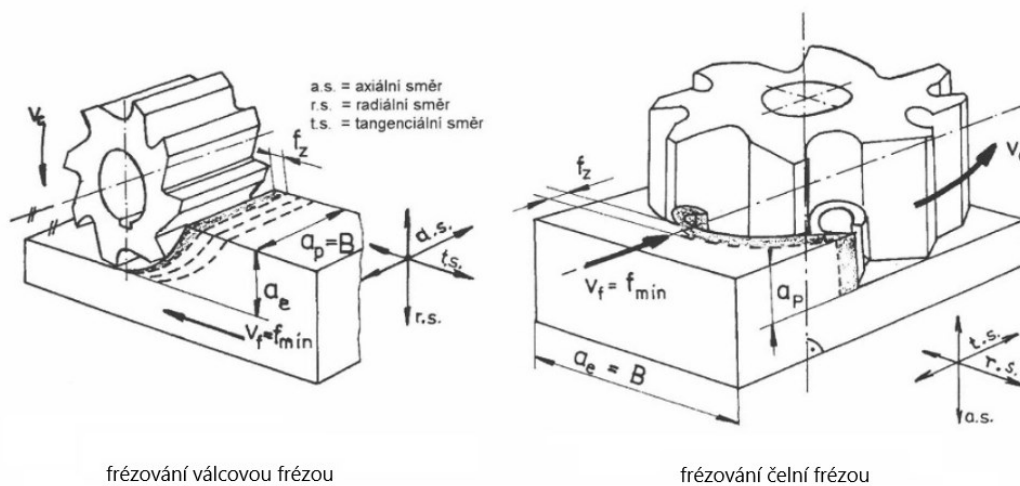
Pravé a levé nože

Obr. 3 Soustružnické nože [4]

1.1.2 Frézování

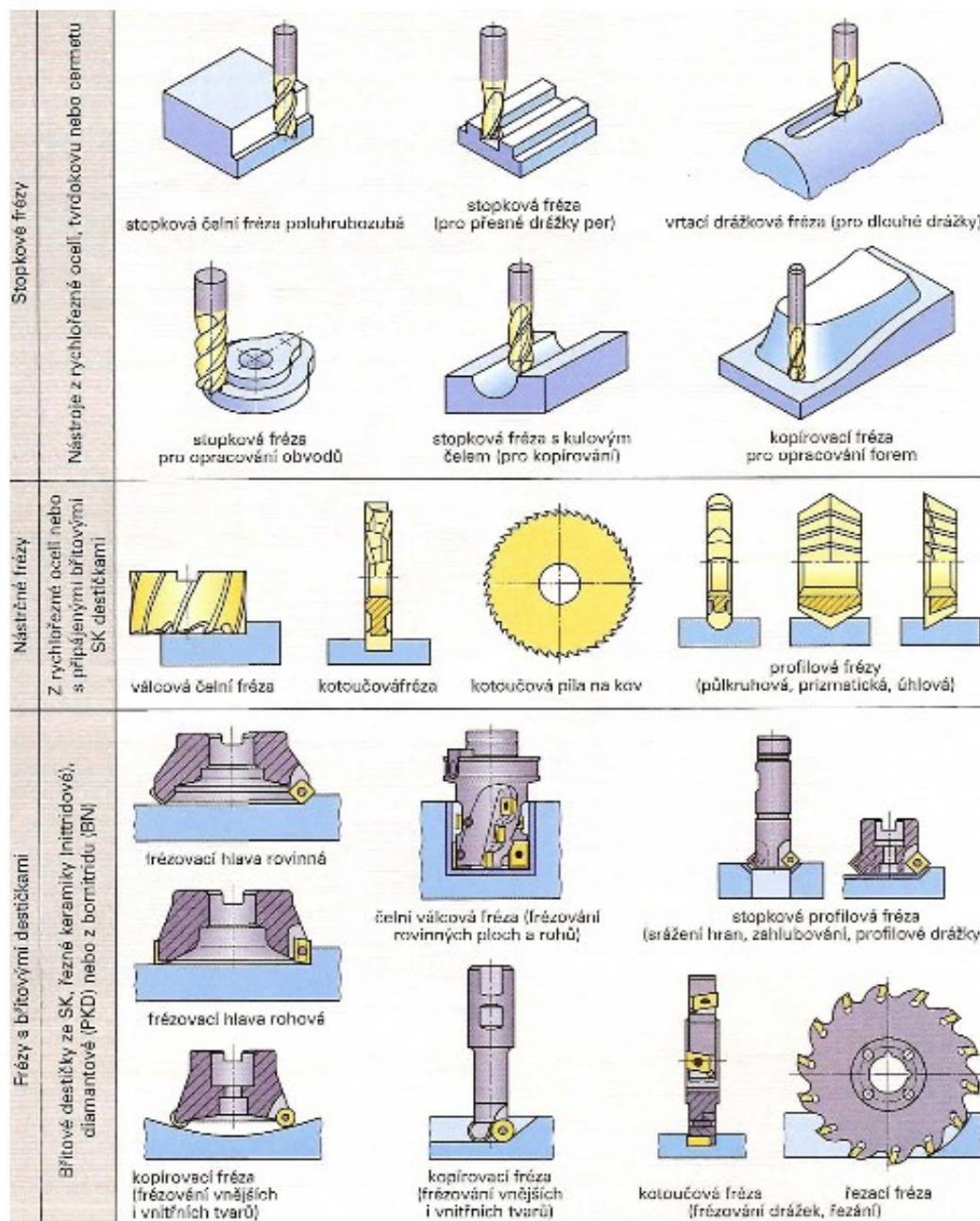
U tohoto druhu obrábění se materiál odebírá vícebřítým nástrojem neboli frézou, která vykonává rotační pohyb. Obrobek je upnut na stole frézovacího stroje neboli frézky. Dráha chodu obroku je kolmá na osu otáčení frézy. Řezný pohyb vykonává fréza nebo frézka, nebo ho vykonávají obě části současně. Pokud je materiál odebírán obvodem nástroje, jedná se o válcové frézování. V případě že je materiál odebírán na obvodu i čele, jedná se o frézování čelní. [6]

V_c - rychlost frézy V_f - rychlost posunu obroku



Obr.4 válcová a čelní fréza [4]

Stejně jako u soustružení, i frézování má své nástroje pro odběr materiálu. Žádné jiné odvětví jich však nemá tolik druhů. Vlastnosti a použití se ale dají snadno dohledat v normách ČSN. Upnutí zubů může být na různých plochách a lze je dělit na: válcové, kuželové, čelní. Mohou mít různý počet zubů: jednozubé, mnohozubé. Podle druhu upnutí mohou být: nástrčné a stopkové. [4]

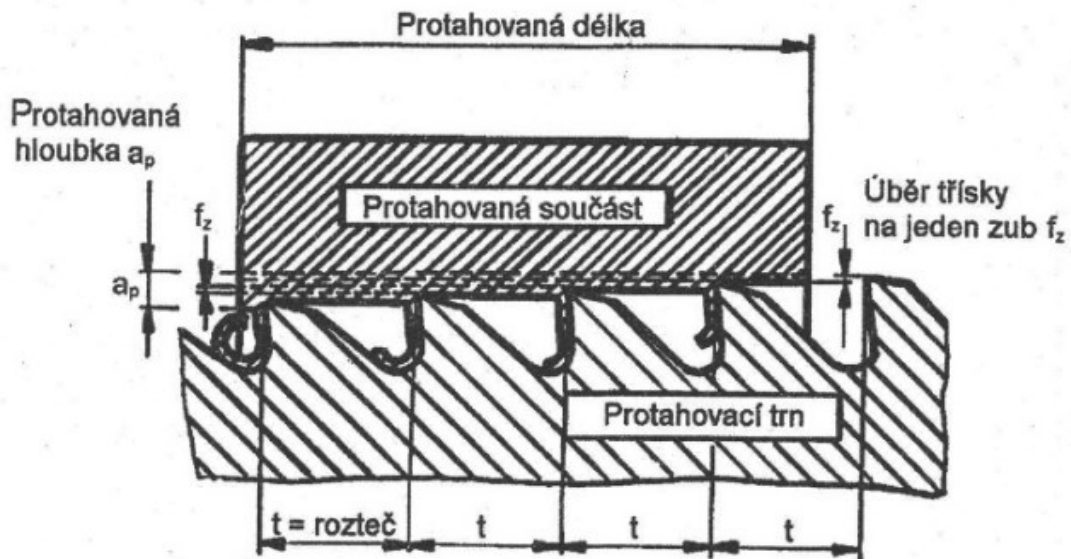


Obr. 5 druhy fréz [7]

1.1.3 Protahování

Tento druh obrábění patří k jednomu z nejvíce produktivních způsobů obrábění. Má však velké provozní náklady, a tak se používá především ve velkosériové výrobě. Slouží pro výrobu válcových a rovinných ploch. Nalezne však uplatnění také u opracování vnitřních i vnějších tvarových rovin. Protahovací nástroj má na sobě vždy několik párů zubů. Každý z nich má jinou výšku a jsou řazeny od nejnižšího po nejvyšší. U této metody vždy současně

zabírají všechny zuby najednou. Povětšinou je v pohybu protahovací nástroj vůči obrobku, ale může tomu být i naopak.



Obr. 6 schéma procesu protahování [6]

1.2 Abrazivní metody obrábění

U tohoto druhu obrábění se používají nástroje s nedefinovanou geometrií břitu. Jedná se o dokončovací práce. [1]

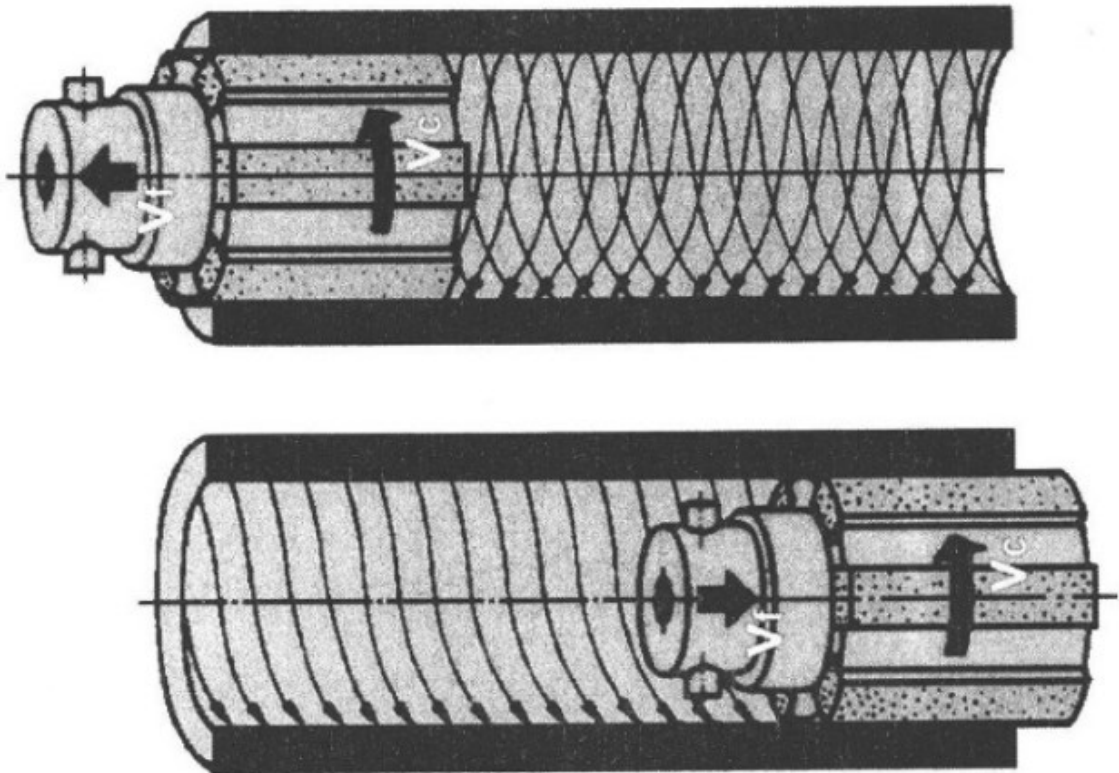
Druh závěrečného opracování volí sám technolog, jelikož musí brát do úvahy přesnost tvaru, rozměru a drsnost obráběných ploch. Tyto dokončovací práce (každá z nich) se provádějí v několika cyklech, nikoli najednou. Proto je důležité při návrhu výrobku brát tuto skutečnost do úvahy a ponechat pro tyto operace i příslušné tabulkové přírůstky. [8]

1.2.1 Broušení

Je to typ operace, při které je brusný kotouč veden po opracovávané ploše daného materiálu, za neustálého chlazení 5% emulzí. Dala by se použít i více procentní emulze (10%-15%), ale z hlediska trvanlivosti vystačí i méně procentní roztok. Jako další se používá také řezný olej, ani ne kvůli zachování trvanlivosti nástroje, ale z důvodu požadavku na vysokou jakost obrobené plochy. Při broušení vzniká velké teplo, a proto je volba chladícího média velmi důležitá. Využití emulze je převážně u běžného broušení, zatímco olej se používá u broušení závitů, ozubených kol a speciálních tvarů. [8]

1.2.2 Honování

Jedná se o činnost, při které se materiál brousí jemným brusivem, za užití velmi pomalých řezných rychlostí. K honování se používají honovací kameny lišty nebo kartáče, které se upínají do honovací hlavy. Tyto nástroje jsou vyráběny z Al_2O_3 pro kalené oceli nebo SiC pro měkké oceli a litiny. Jako pojivo se používají pryskyřice. Pro dosažení nejvyšších kvalit honovaných ploch se používají nástroje vyrobené ze syntetického diamantu a jako pojivo slouží kov. Tato dokončovací operace zajišťuje velmi vysokou jakost a tvar obroběného povrchu. Využití má například u hydraulických, brzdových a pneumatických válců, ložisek motorových bloků, olejnic, aj. [1]



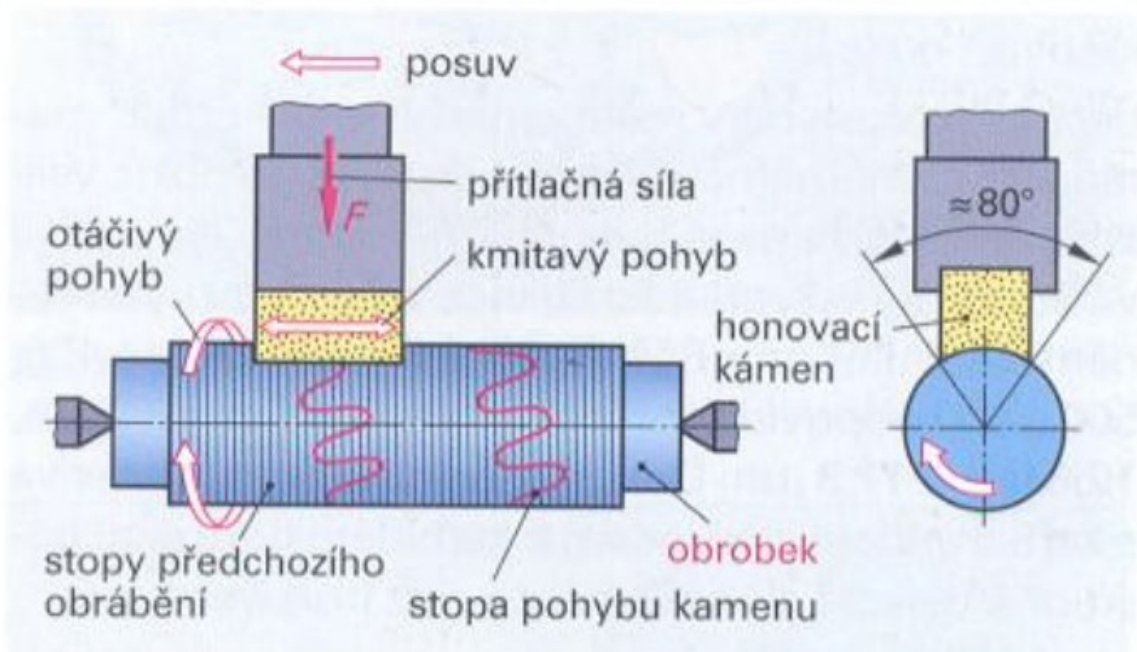
Obr.7 princip honování [1]

1.2.3 Lapování

Jedná se o závěrečnou dokončovací práci, kterou se dosahuje nejvyšších kvalit přesnosti a nejmenší drsnosti opracovaných povrchů. Dá se využít pro vnitřní i vnější válcové či tvarové plochy. Nevýhodou je vysoká pracnost, malá produktivita a vysoká nákladovost na výrobu. Princip spočívá v přivodu velmi jemného brusiva mezi vzájemně se pohybující lapovací nástroj a lapovanou plochou. [1]

1.2.4 Superfinašování

Jde o druh broušení, při kterém se používají velice jemná zrna superfinašovacího prášku, která odstraní z dané plochy veškeré nerovnosti a vrcholky, za použití velmi malých řezných rychlostí. Tento prášek, je za pomoci přitlačné síly, přitlačen na obráběnou plochu a poté je vyvolán kmitavý pohyb. Na začátku operace je tlak vyvíjený na plochu největší (0,1Mpa ÷ 0,4Mpa). S přibývajícím dobou této operace však tlak klesá. Jedná se o velice přínosný způsob dokončovacích operací. Využití této dokončovací metody můžeme nalézt třeba v automobilovém průmyslu či při opracování valivých ložisek. [1]



Obr. 8 superfinašování [9]

1.2.5 Leštění

Leštění je technologický proces, při kterém se odstraní i ty nejmenší stopy předchozího dokončovacího procesu např.: jemného broušení. Lze jej provést ručně i strojně, za pomoci leštícího kotouče a leštící pasty. Tento proces může být rozdělen do několika fází. V první fázi se použije drsnější kotouč a mastnější ostřejší pasta, za užití větší obvodové rychlosti. Doleštění se pak dokončí za pomoci jemného kotouče, sušší jemnější pasta a nižší obvodová rychlost kotouče. [10]

1.3 Nekonvenční obrábění

U tohoto druhu obrábění se nevyužívají zcela standartní řezné nástroje, u kterých by se daly popsat jejich části, jako je tomu tak například u frézování či soustružení. Nedochozí k tvorbě třísky jako takové, jelikož k dělení materiálu dochází za pomoci chemických či mechanických účinků. Lze je využít v případech, kde jsou klasické obráběcí metody zcela neúčinné, jako je to například u materiálů s vysokou pevností, tuhostí a houževnatostí (keramika, karbidy, slitiny titanu). [1]

1.3.1 Elektroerozivní Obrábění

Celý tento proces je založen na principu fungování dvou elektrod, které jsou zhotoveny z vodivého materiálu. Mezi nimi je mezera, nazývaná jiskrová. Vše je pak ponořeno do dielektrické kapaliny. Odběr materiálu pak funguje na periodicky se opakujícím elektrickým výbojem. To vyvolá tavení a odpařování částic materiálu, které se přetvoří do malých dutých kuliček. Ty se odstraňují za pomoci kapaliny (petrolej, vodní sklo, solné roztoky). [1]

1.3.2 Elektrochemické Obrábění

Princip fungování metody je založen na elektrolýze. Celý obrobek je ponořen do elektrolytu, ve kterém probíhá rozptýlení materiálu za pomoci elektrod. Celý proces závisí na množství elektrického proudu. V průběhu cyklu se na elektrodách usazují oxidy kovu. Tyto oxidy se pak v průběhu procesu odstraní za pomoci elektrolytu dovedeného proudem tlaku. Výhody jsou: elektrody se skoro nepotřebovávají, dobrá jakost opracování, nevznikají otřepy. Nevýhody: snížená mez únavy, obtížné opracování materiálu s vyšší hodnotou uhlíku. [11]

1.3.3 Laserové obrábění

Způsob obrábění je založen na odběru materiálu pomocí laseru. Paprsek vy vytvořen za pomoci elektromagnetického záření. Při procesu dochází ke vzniku obrovského tepla (10^4 °C) v místě řezu, díky tomu dojde k natavení a rozdělení materiálu. Výhodou je obrovská škála obrobitelných materiálů, možnost jejich kalení a žíhání, svařování a pájení. [1]

1.3.4 Plazmové obrábění

Metoda je skoro stejná, jakou obrábění laserem, akorát s tím rozdílem, že zde je použita plasma. Jedná se o vodivý stav plynu, jež obsahuje volné elektrony. V místě řezu vznikají teploty okolo 30 000 °C. Jedná se o tak intenzivní proces, při kterém se tavený materiál odpařuje tak rychle, že ovlivněná vrstva touto teplotou je maximálně 1mm. [1]

1.4 Třískové obrábění

Výroby složitých tvarů se často skládají z několika dílů. Tyto díly je potřeba vyrobit za pomoci různých technologických postupů. V dnešní době, je kladen velký důraz na to, aby tyto části měly určitou životnost, jakost a byly bez konstrukčních vad. Způsob výroby se vybere podle druhu a velikosti zakázky, a to z důvodu finanční nákladnosti na výrobu. Je-li výrobek z kovových materiálů, nejčastějším řešením je jeho výroba za pomoci třískového obrábění. Přestože má tento druh výroby své nevýhody jako jsou například velké materiálové ztráty či časová a energetická náročnost na výrobu, najde se jeho uplatnění v malosériové a kusové výrobě. Základními způsoby jsou: vrtání, soustružení, frézování a řezání závitů. V současné době má velké uplatnění NC a CNC výroba. Tyto druhy výroby disponují obrovskou produktivitou práce a přesností, za současného snížení výrobních nákladů. Tyto druhy strojů jsou řízeny elektronicky a ovládají je počítačové programy. Samozřejmě je také důležitá kontrola ze strany kvalifikovaného pracovníka, který na celý proces dohlíží. [12]

1.4.1 Obrobitelnost materiálu a řezivost daného nástroje

Při zjišťování hospodárnosti daného procesu je důležité myslet na 2 parametry: obrobitelnost materiálu a řezivost nástroje. Obrobitelnost je parametr materiálu, při kterých se se daný materiál nejlépe obrábí. Řezivost nástroje charakterizuje schopnost nože řezat a obrábět daný druh materiálu. Obrobitelnost lze dále dělit na dva druhy: relativní a optimální. Relativní obrobitelnost se dá zjistit na pomoci porovnávacích testů dle platných norem. Optimální se zjišťuje pomocí optimalizačních testů. Doposud se nepodařilo oba pojmy plně obsáhnout z důvodu časové a finanční nákladnosti. Z toho důvodu se zavedl pojem hospodárnost, který říká, že nejvhodnějším materiálem je ten, jež dovoluje maximální úběr daného materiálu, při současně úměrnému opotřebení nástroje. To vše musí odpovídat požadavkům drsnosti ploch a minimální finanční zátěži na výrobu. [6]

1.4.2 Opotřebení řezných nástrojů

Jedná se o nežádoucí proces, u kterého dochází k oddělení částí materiálu řezné plochy nástroje. Je to způsobeno třením řezné části nástroje a obráběnou plochou. Dalším důvodem může být vliv chladicí kapaliny na ostří, kde také dochází ke tření. [13]

Životnost je zásadní údaj pro určení hodnoty obrobitelnosti. Udává pro ostří materiálu časovou hodnotu, během které lze nástroj používat do doby, než dosáhne své stanovené doby trvanlivosti. Trvanlivost lze udávat například v metrech (posuny vrtáků či fréz) nebo v počtu

obrobených kusů. pro určení doby životnosti se v praxi používají krátkodobé a dlouhodobé testy, které jsou velmi důležitým parametrem pro bezpečnou výrobu. Dlouhodobé testy jsou však dost časově a materiálně nákladné. Krátkodobé testy umí tyto náklady snížit. Zcela bezpochyby má největší vliv na tento parametr řezná rychlost. Jako další lze zařadit posuv, hloubka řezu, úhly čela a hřbetu. Nejčastějším projevem opotřebení je: prasknutí ostří, vroubkování, tvorba hřbetových trhlin a plastická deformace. Při prasknutí ostří vznikají trhliny, které mají vliv na kvalitu obráběné součásti, především na její jakost. Vroubkování lze pozorovat na hlavním i vedlejším ostří. Na hlavním se tvoří převážně z mechanických příčin, zatímco na vedlejším je to typickým znakem adhezního, či oxidačního opotřebení. U hřbetových trhlin je to záležitost únavového opotřebení, zapříčiněných tepelnými šoky. Plastické deformace jsou důsledkem tepelná přetěžování řezné hrany. [14]

1.4.3 Tvorba a následné pěchování třísky

Tříska je část obrobku, která je za pomoci ŘN odstraněna z daného materiálu. Při vniku ŘN do obrobku vzniká řezný klín. Následně se tento materiál plasticky a pružně deformuje a následně vytváří odpor vůči dalšímu pronikání do materiálu. Při vnikání řezného klínu hlouběji do materiálu vzniká deformační teplo. Zvýšené teplo má vliv na fyzikální i chemické vlastnosti řezného i obráběného materiálu. [6]

Geometrické rozměry a tvárnost materiálu jsou vstupní parametry pro hodnotu pěchování třísky. Také na něj má vliv řezná síla a kvalita povrchu. Pěchování je proto vhodný parametr pro následné srovnání třískového obrábění. [14]

1.4.4 Typy třísek

Typy třísek lze popsat třemi základními tvary, kterými jsou plynulá, dělená a drobivá tříska. Plynulou třísku lze charakterizovat jako souvislou třísku s hladkým povrchem na spodní straně. Vytvoří se za předpokladu, že materiál z obrobku odchází souměrně a dochází k plynulé deformaci. Můžeme ji spatřit například u houževnatého materiálu, u kterého byly nastaveny ideální parametry obrábění. U dělené třísky lze pozorovat jednotlivé nesouvislé elementy v podobě vroubkovaného povrchu. Příčiny mohou být v nerovnosti materiálu či vibrace samotného obráběného povrchu. Drobivá tříska má silně drobivý povrch. Mají ji především křehké materiály, popřípadě pokud byly zvoleny nepříznivé podmínky obrábění. [14]

2 MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ PŮVCHŮ

Metrologie je vědní obor, zabývající se měřením a kontrolou dat veličin technických součástí. Za pomoci měření můžeme zjistit hodnoty parametrů na daném úseku měření. Poté následují kontrolní operace, jejíž cílem jsou porovnání naměřených dat s příslušnými normami a jejich následné vyhodnocení. Metrologie se dá členit na obecnou a aplikovanou. [15]

2.1 Obecné termíny

- *Filtr profilu – filtr rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky.*
- *λ_s filtr profilu – filtr definuje rozhraní mezi drsností a kratšími složek vln na povrchu.*
- *λ_c filtr profilu – filtr definuje rozhraní složek vln a drsnosti.*
- *λ_f filtr profilu – filtr definuje rozhraní mezi vlnitostí a složek vln na povrchu*
- *Souřadnicový systém – souřadnicový systém, které definují parametry struktury povrchu.*
- *Skutečný povrch – povrch omezující těleso a oddělující ho od okolního prostředí.*
- *Profil povrchu – profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny*
- *Základní profil – základní profil je základ pro vyhodnocení parametru základního profilu.*
- *Profil drsnosti – profil se odvozuje ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu λ_c [18]*

2.2 Základní parametry profilu

Mezi základní zkoumané parametry patří drsnost, tvar a vlnitost. Vyhodnocují se na základě naměřených vlnových délek. [16]

Drsnost jde o povrchovou vrstvu, která byla vytvořena za pomoci technologických procesů opracování. Má zcela odlišné vlastnosti než materiál, ze kterého se daný předmět skládá. Lze jej ovlivnit technologický procesem, který byl na daný předmět použit.[16]

Tvarové nerovnosti vznikají tepelnou deformací, či špatnou tuhostí nástroje. Mají mnohem vyšší vlnové délky, než jsou například u vlnitosti. Mohou být vyvolány zcela záměrně, popřípadě se může jednat o nežádoucí jev. [17]

Vlnitost se udává jako nerovnost, která se na daném profilu opakuje periodicky. Může vzniknout na základě špatné tuhosti materiálu či špatně zvolených technologických podmínek. [17]

S_p – maximální výška piku omezené stupnice povrchu – nejvyšší hodnota piku.

S_v – maximální hloubka prohlubně omezené stupnice povrchu- max. hloubka prohlubně zmenšená o jeho nejmenší hodnotu.

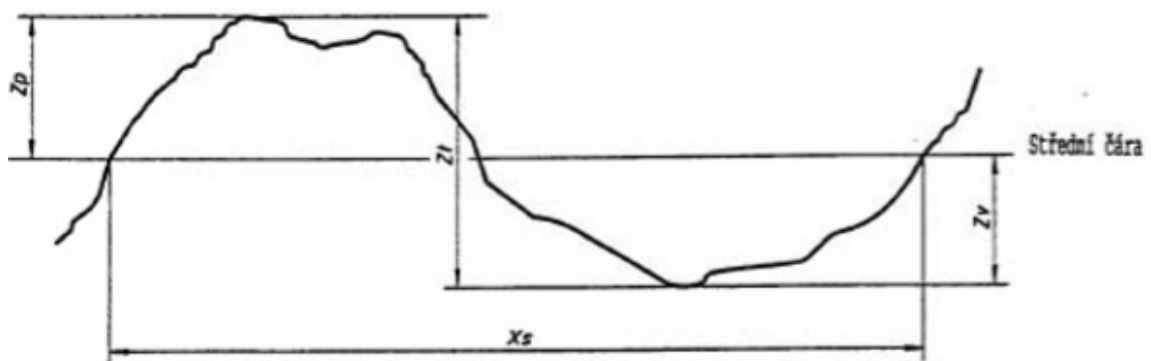
S_z – maximální výška omezené stupnice povrchu – součet nejvyšší hodnoty piku a nejnižší hloubky prohlubně.

S_a – aritmetický průměr omezené stupnice povrchu-aritmetický průměr abs. hodnot plochy [20]

2.3 Označení parametrů v profilu

Název každého parametru, se kterým se na výkresech setkáváme vychází vždy z profilu, ze kterého se daný parametr zjišťuje. Jeho samotné značení probíhá formou velkého a malého písmene abecedy. První písmeno vychází z anglického názvu profilu. [18]

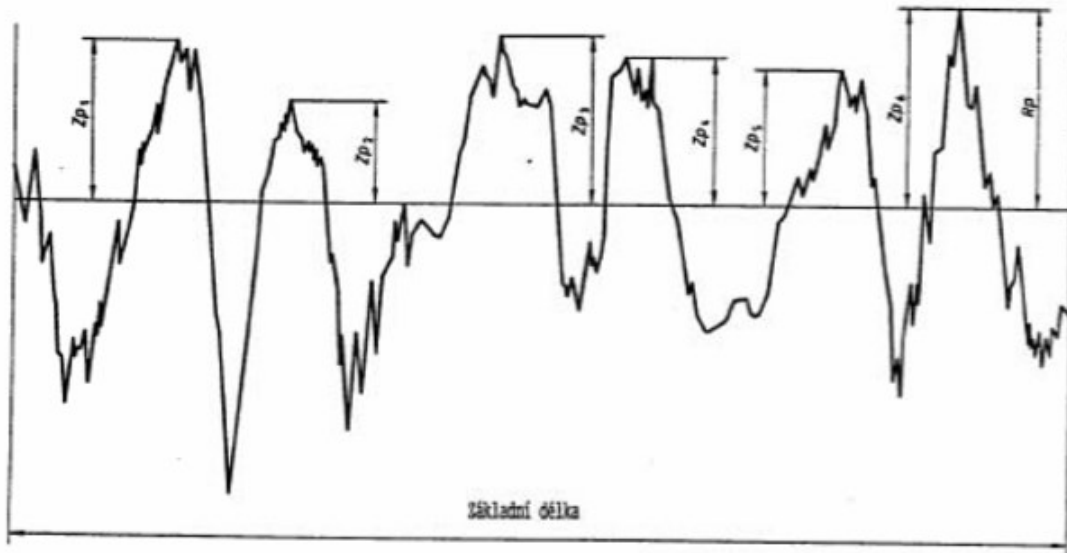
- P-parametr: výpočet probíhá ze základního profilu
- R-parametr: výpočet probíhá z profilu drsnosti
- W-parametr: výpočet probíhá z profilu vlnitosti



Obr. 9 prvky profilu [18]

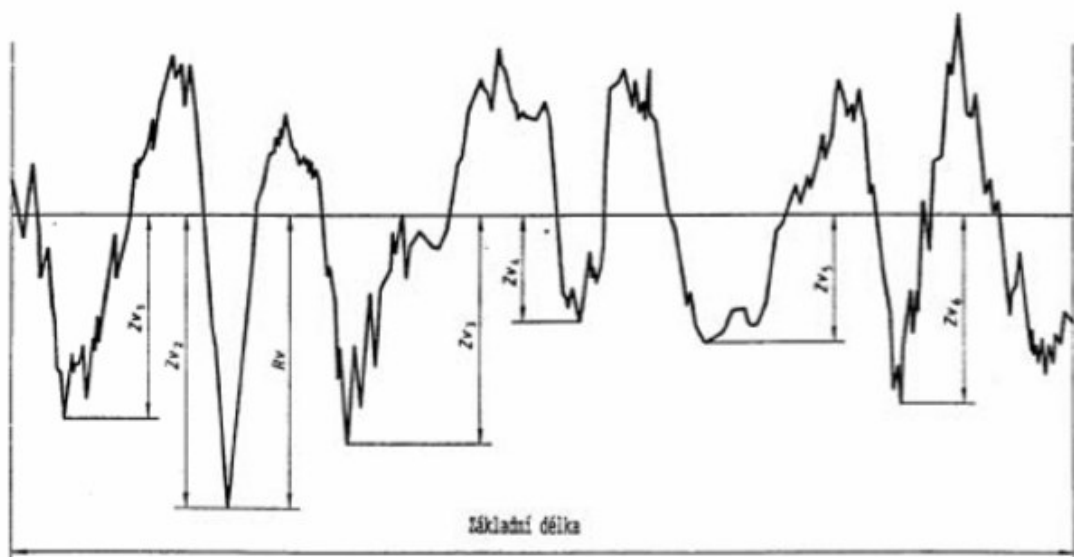
2.4 Parametry profilu povrchu

- Nejvyšší výška výstupku profilu – výška nejvyššího výstupku materiálu v rozsahu základu délky. [18]



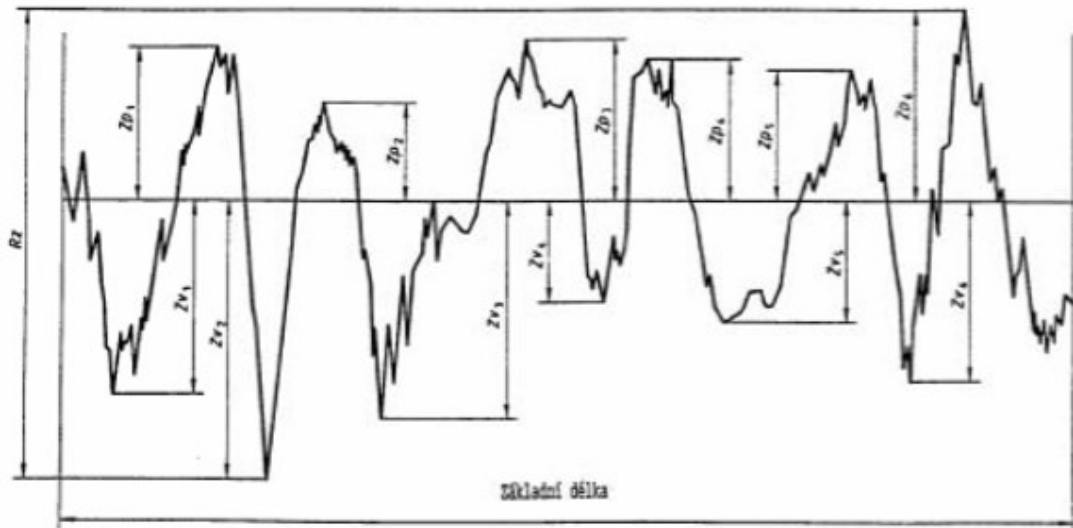
Obr. 10 nejvyšší výška výstupku profilu [18]

- Největší hloubka prohlubně – nejnižší prohlubně v profilu na základní délce. [18]



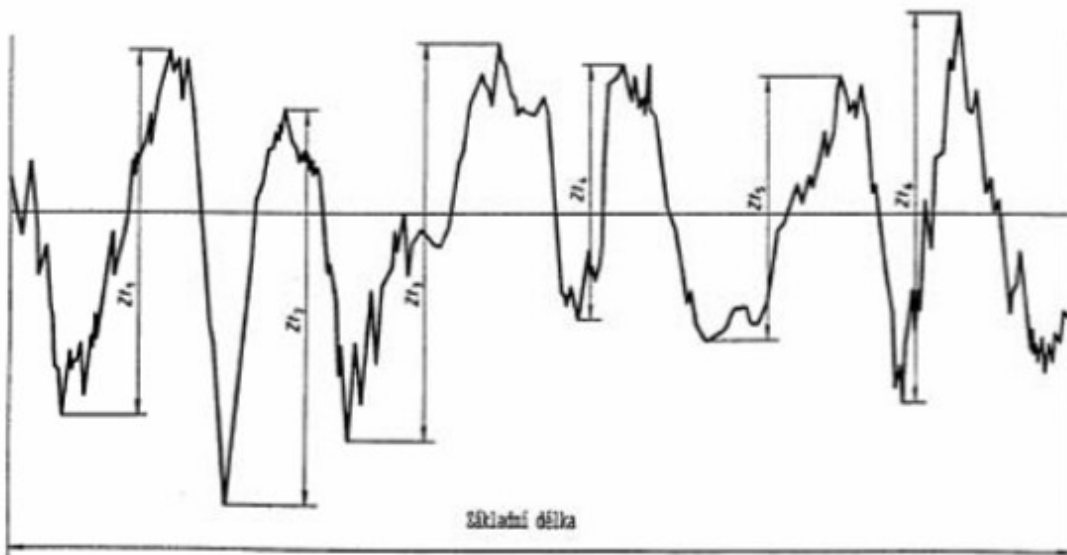
Obr. 11 hloubka prohlubně [18]

- Nejvyšší výška profilu – součet délky nejvyššího a nejnižšího bodu profilu na základní délce. [18]



Obr. 12 nejvyšší výška profilu [18]

- Výška profilu prvků – průměrná hodnota výšen na rozsahu základní délky. [18]



Obr. 13 výška profilu prvků [18]

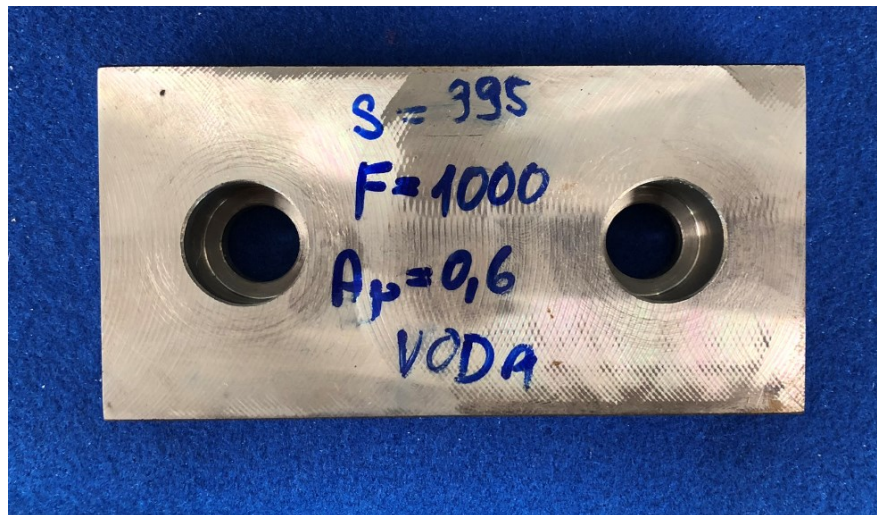
II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce, je porovnání měřených povrchů. Měřené vzorky byly zhotoveny z materiálu 11 523. Všechny vzorky byly opracovány metodou frézování. Na každém vzorku jsou použity jiné vstupní parametry.

4 VZORKY

Pro naměření praktické části této práce byly použity 4 obrobky. Byly zhotoveny z materiálu 11 523. Jedná se o zcela běžnou jakostní ocel, která má širokou škálu využití (součásti automobilů, motorek, kol). Výrobek byl zhotoven na frézovacím vertikálním centru EUMACH VMC-1100.



Obr. 14 měřený vzorek z materiálu 11 523

4.1.1 Řezné parametry

U daných vzorků byly pozměněny parametry posuvu a otáček, zatímco odběr třísky a druh použitého chladicího média zůstal u všech vzorků stejný. U vzorku 1 a 4 byly použity obráběcí parametry, které jsou běžně používány u zhotovitelské firmy. U vzorků 2 a 3 se řezné parametry zvolili tak, aby při měření byl jasně vidět rozdíl jakosti povrchu.

Tab. 1 vstupní parametry při frézování

vzorek	posuv F [mm/min]	otáčky S [ot/min]	šířka záběru ostří A_p [mm]	chladící médium
1	1000	995	0,6	vodní emulze
2	1000	500	0,6	vodní emulze
3	2000	995	0,6	vodní emulze
4	500	995	0,6	vodní emulze

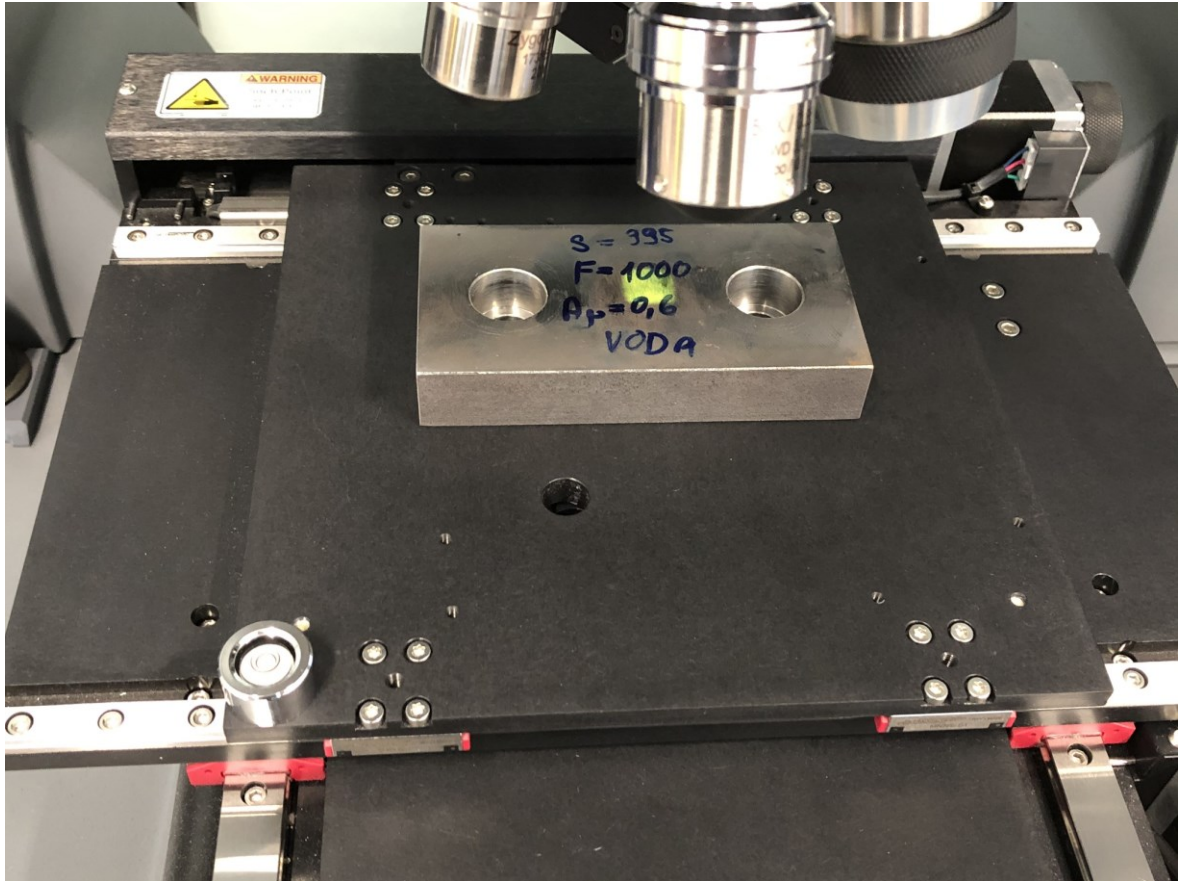
5 POUŽITÁ MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

Jedná se o přístroj, který měří povrch v 3D a jeho výrobcem je společnost Zygo. Jeho fungování spočívá v principu interference bílého světla na povrchu měřené plochy. Pomocí něj lze získávat data jak z mikro, tak z makro ploch. [21]

Tato společnost vyrábí několik variant tohoto přístroje. V našem měření byl použit přístroj typu Zygo NewView.

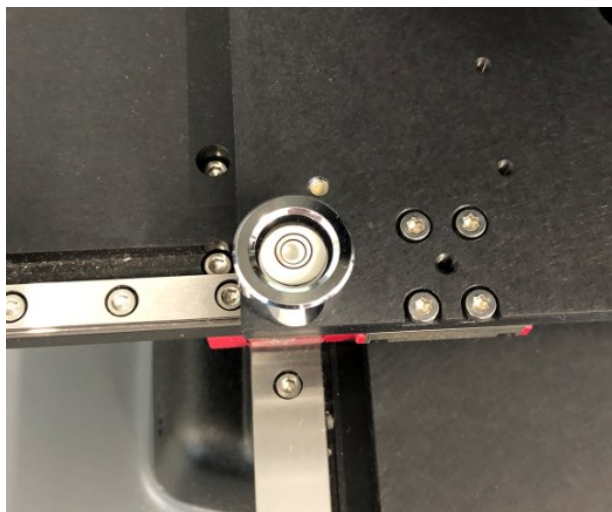


Obr. 15 použitý měřicí přístroj



Obr. 16 měření a vyvážení obrobku

Aby měření proběhlo úspěšně, bylo potřeba danou měřenou plochu zbavit nečistot pomocí jemného kartáčku. Jelikož byl obrobek zcela rovný, což bylo zjištěno na výstupní kontrole po obrobení, tak bylo nutno danou plochu přístroje uvést do roviny vůči objektivu (viz. Obr. 17). Což mělo za následek i vyrovnání plochy měřeného obrobku vůči objektivu. Kdyby se tak nestalo, nebylo by měření úspěšné.



Obr. 17 detail vodováhy

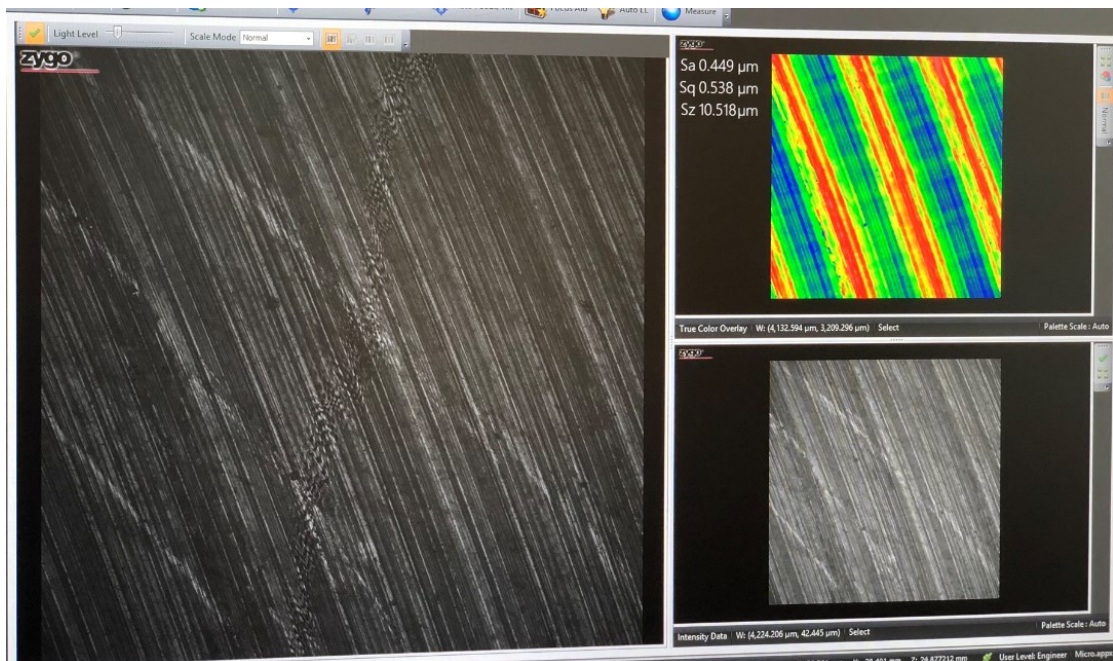
6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Proběhlo měření, díky kterému bylo zjištěno patnáct hodnot parametru Sa a Sz. poté za pomoci programu minitab bylo zpracováno hodnocení naměřených hodnot. Hodnoty byly znamenány za pomoci grafu Time Series Plot a proběhlo jejich následné porovnání.

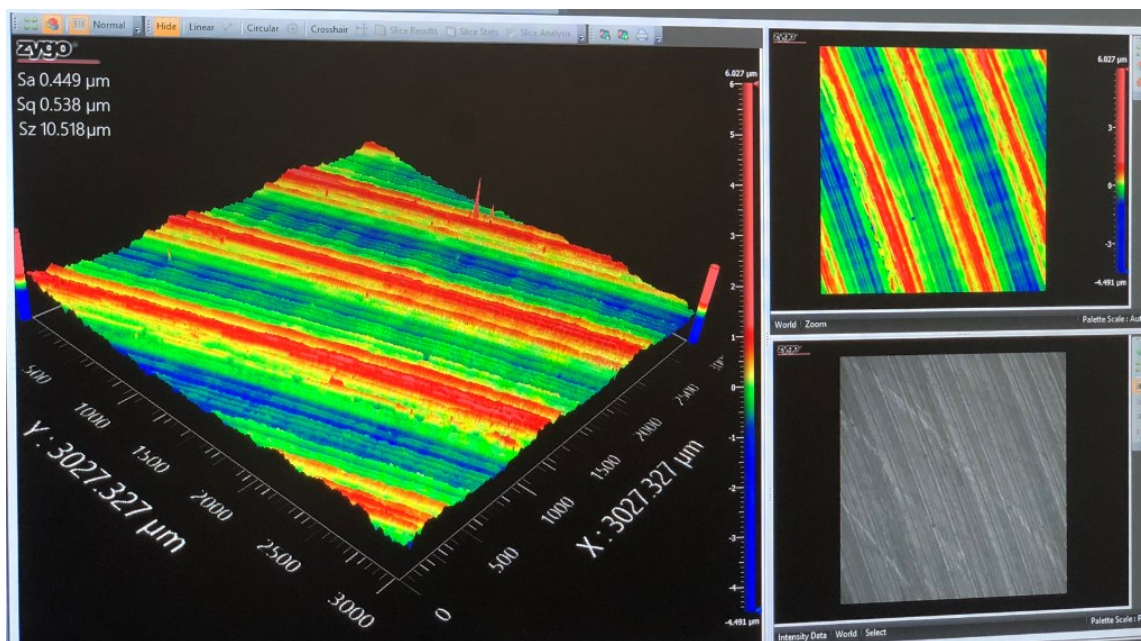
6.1 Vzorek 1



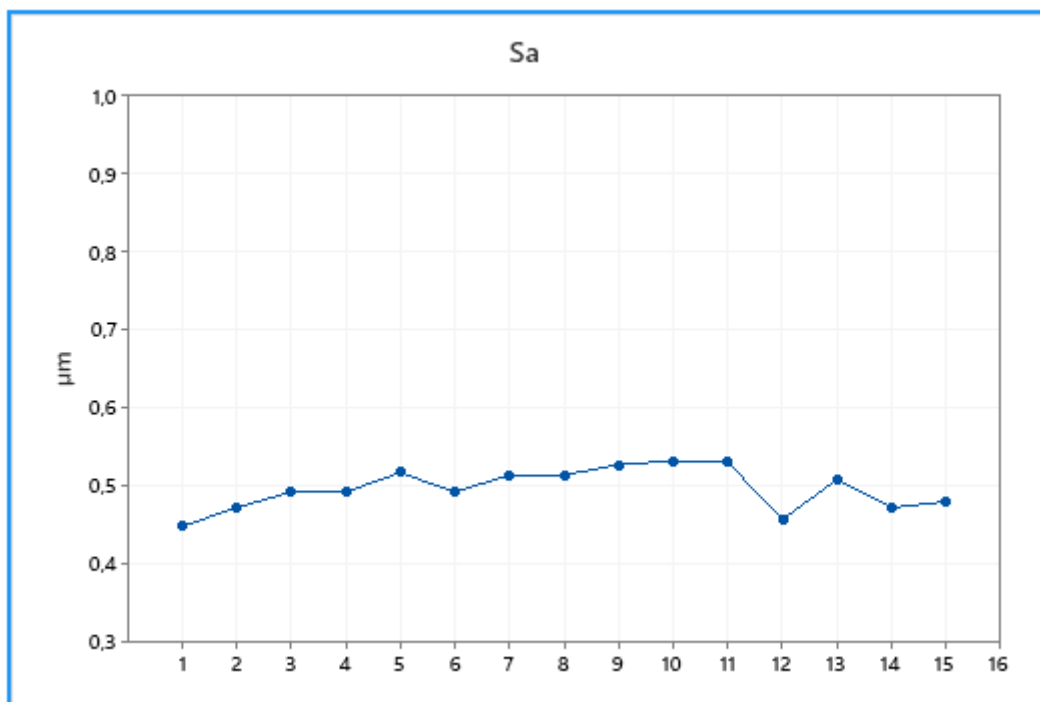
Obr. 18 vzorek 1



Obr. 19 interferenční proužky povrchu vzorku 1



Obr.20 měřená oblast vzorku 1

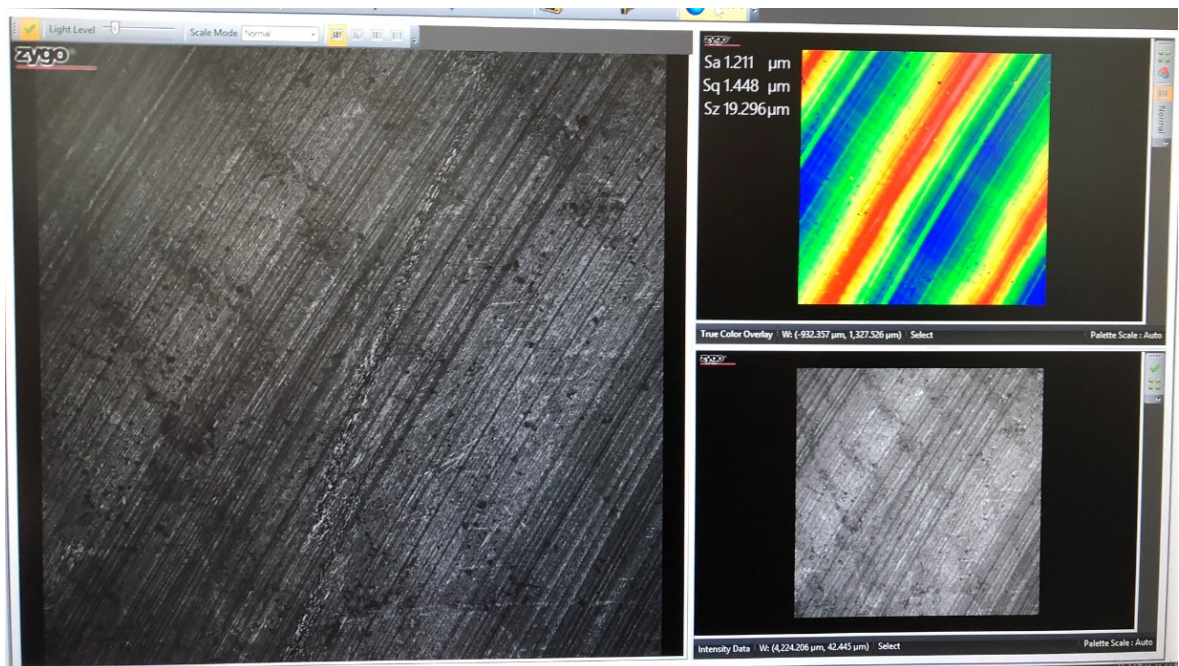


Obr. 21 hodnoty parametru Sa pro vzorek č. 1

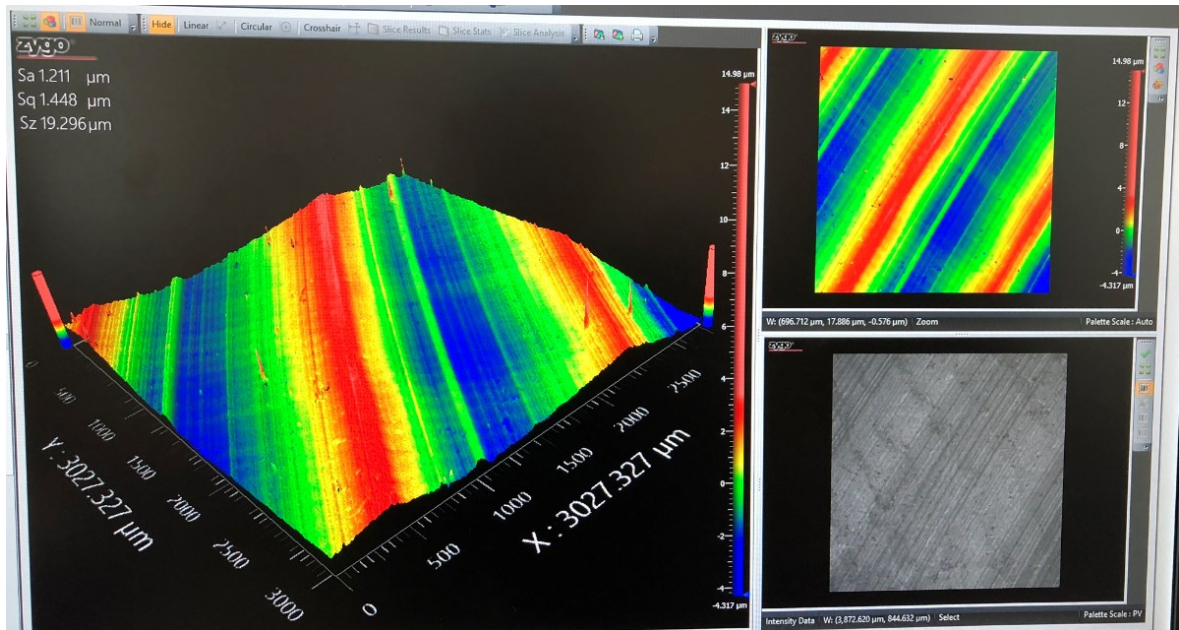
6.2 Vzorek 2



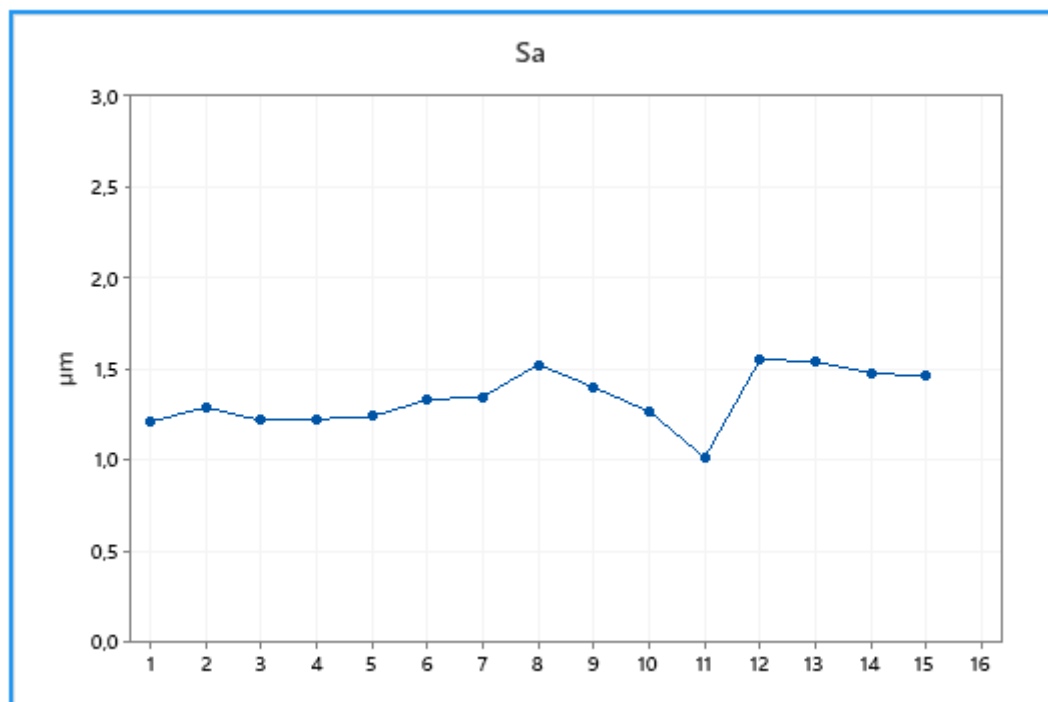
Obr. 22 vzorek 2



Obr. 23 interferenční proužky povrchu vzorku 2

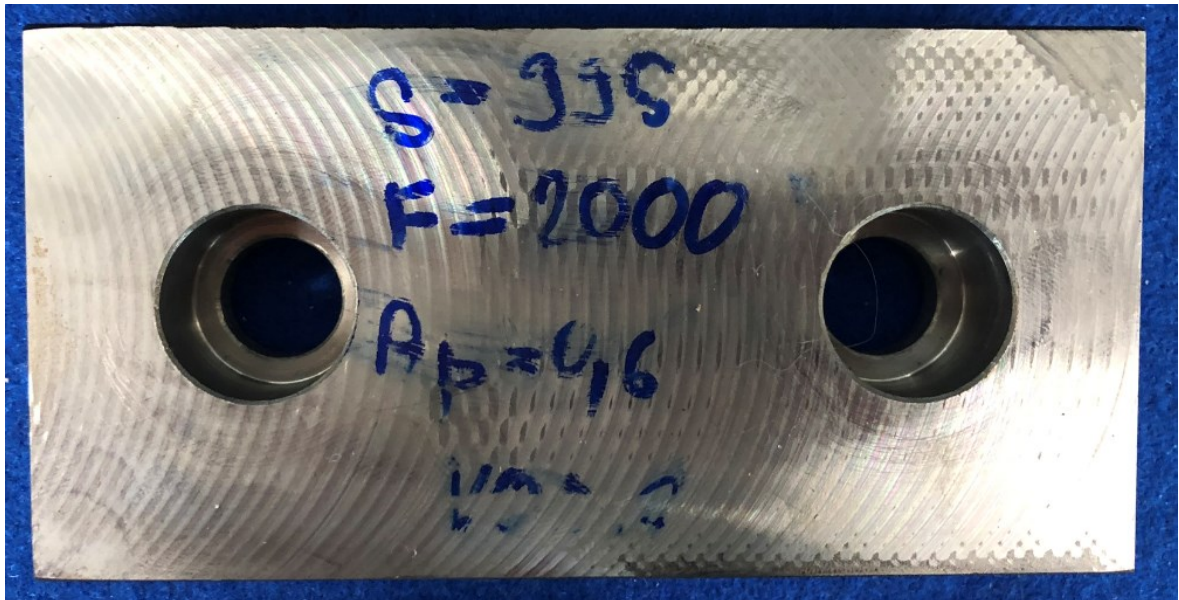


Obr.24 měřená oblast vzorku 2

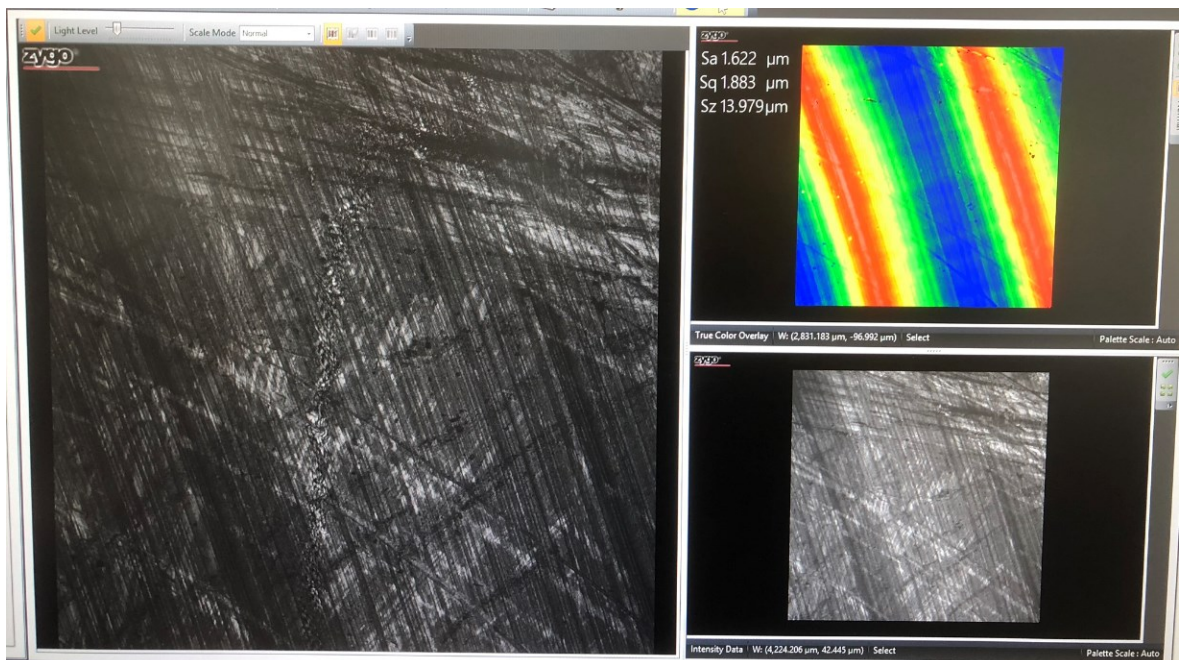


Obr. 25 hodnoty parametru Sa pro vzorek 2

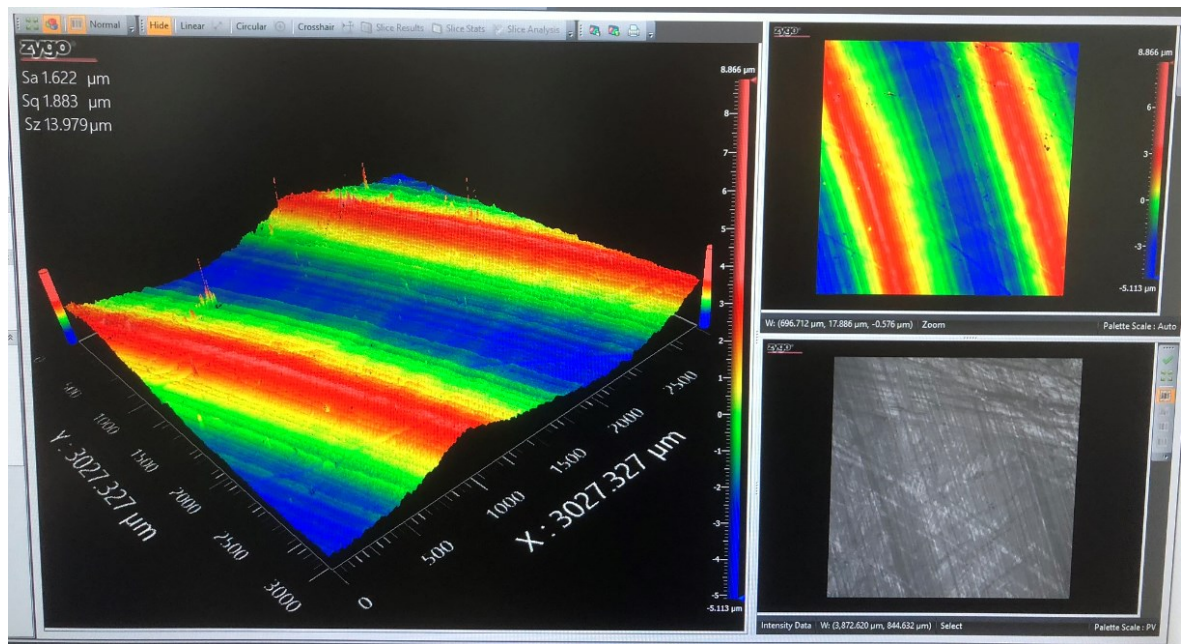
6.3 Vzorek 3



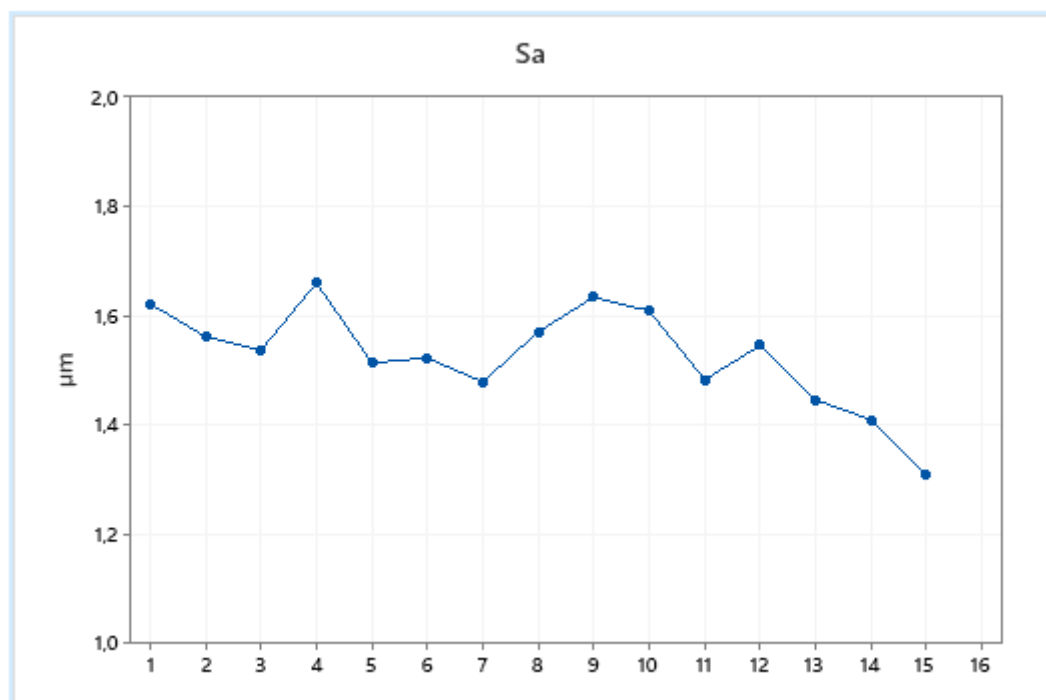
Obr.26 vzorek 3



Obr. 27 interferenční proužky povrchu vzorku 3

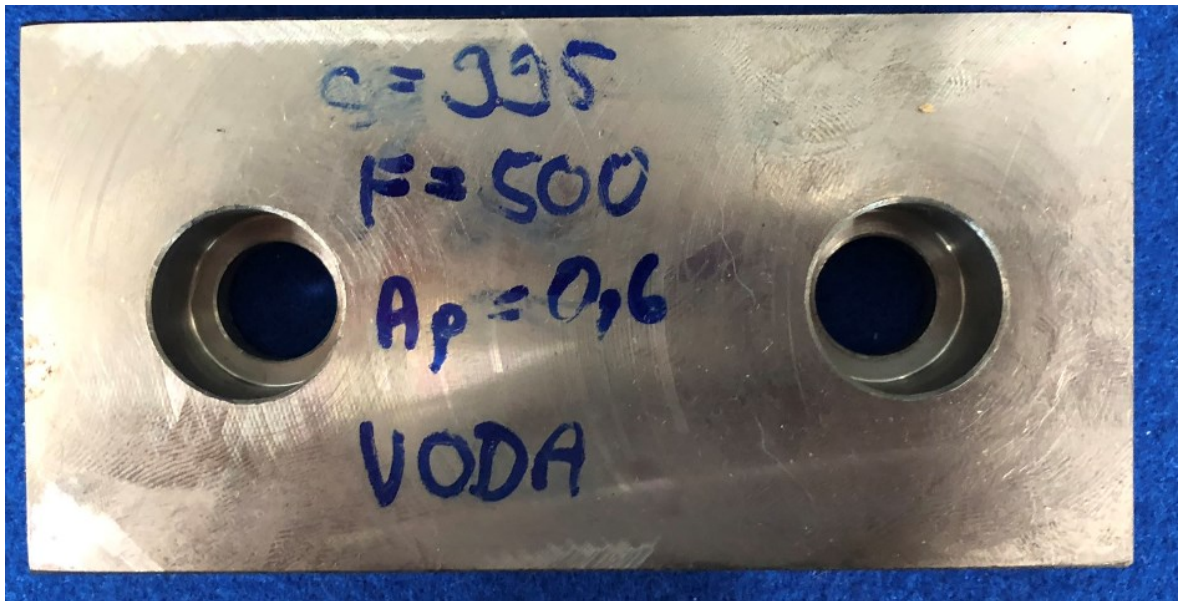


Obr. 28 měřená oblast vzorku 3

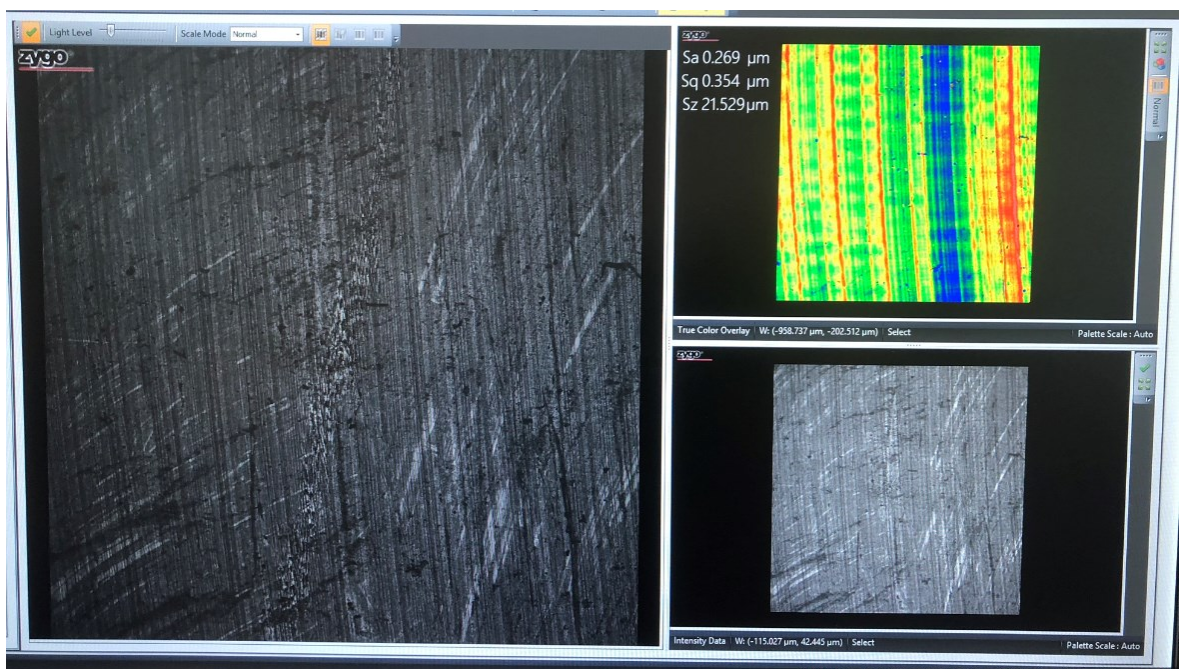


Obr. 29 hodnoty parametru vzorku 3

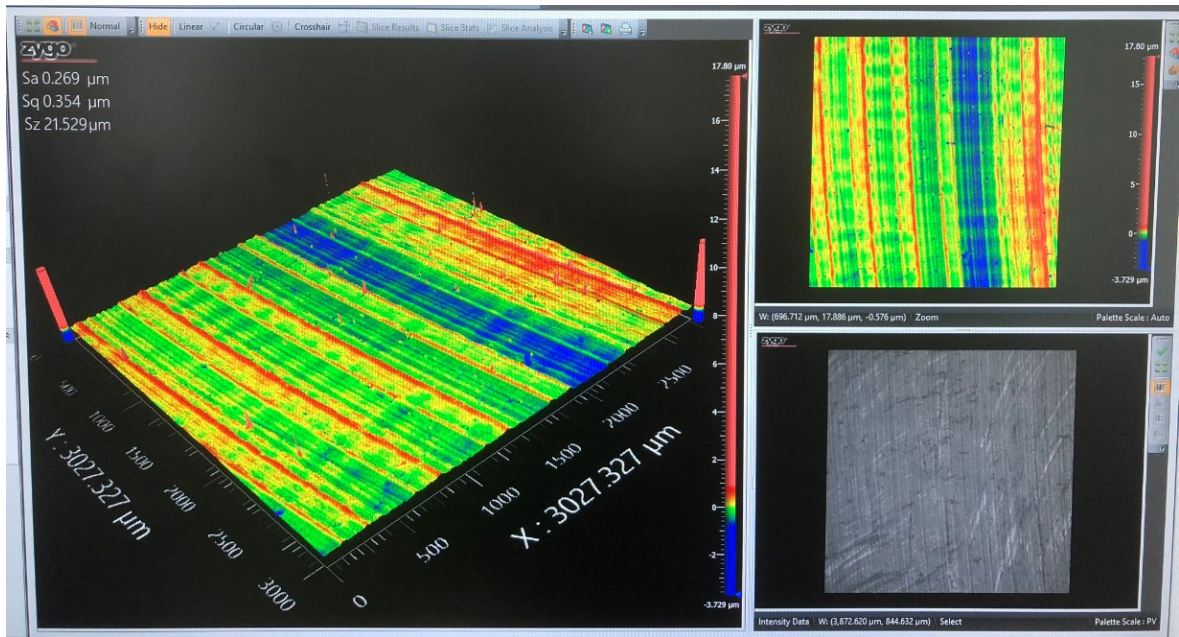
6.4 Vzorek 4



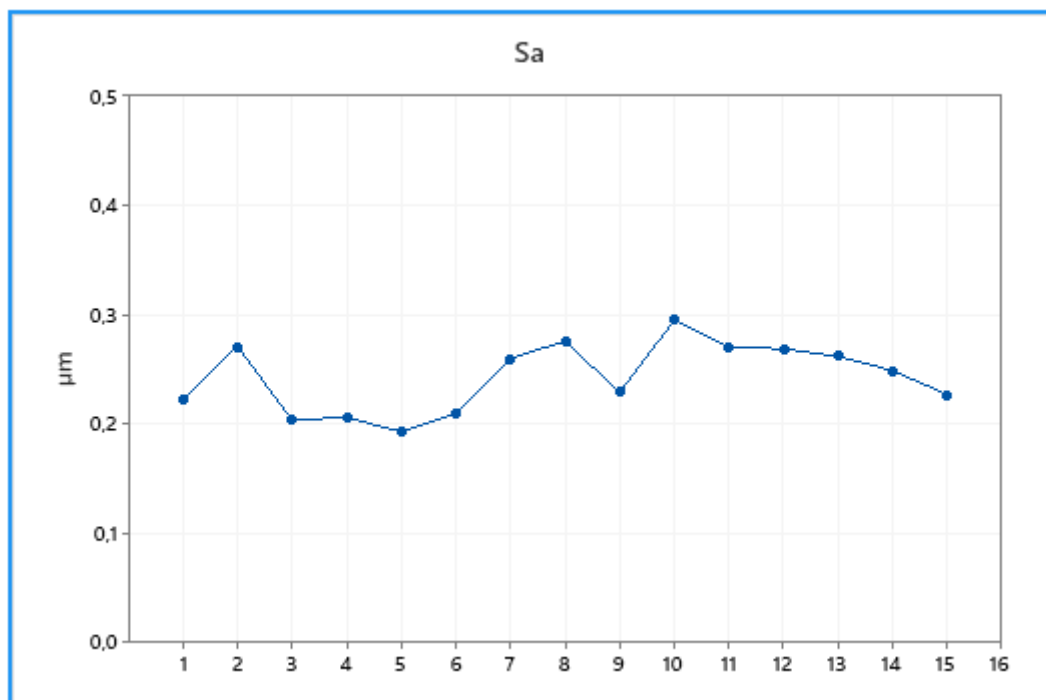
Obr. 30 vzorek 4



Obr. 31 interferenční proužky povrchu vzorku 4



Obr. 32 měřená oblast vzorku 4



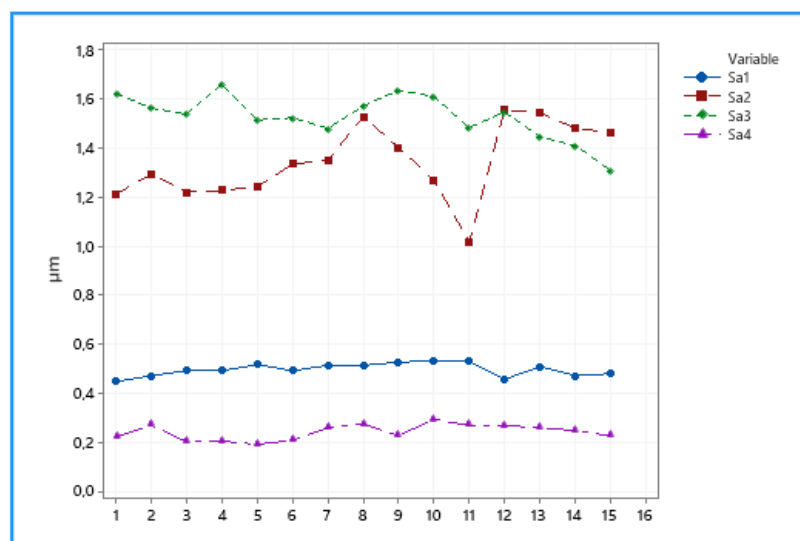
Obr. 33 hodnoty parametrů Sa vzorku 4

7 SHRUTÍ A VYHODNOCENÍ PARAMETRŮ

7.1 Shrnutí naměřených parametrů Sa

Tab. 2 parametry Sa

měření	vzorek	1 [μm]	2 [μm]	3 [μm]	4 [μm]
1.		0,449	1,211	1,622	0,222
2.		0,473	1,293	1,562	0,271
3.		0,493	1,220	1,537	0,204
4.		0,493	1,227	1,660	0,206
5.		0,518	1,242	1,514	0,193
6.		0,493	1,334	1,523	0,210
7.		0,515	1,350	1,479	0,260
8.		0,515	1,527	1,571	0,276
9.		0,528	1,402	1,634	0,229
10.		0,533	1,269	1,609	0,295
11.		0,531	1,017	1,483	0,27
12.		0,458	1,555	1,546	0,269
13.		0,509	1,543	1,446	0,262
14.		0,473	1,480	1,410	0,249
15.		0,481	1,463	1,309	0,227
Průměr [μm]		0,497	1,342	1,480	0,243
Směrodatná odchylka		0,027	0,153	0,206	0,032
medián		0,493	1,334	1,537	0,249

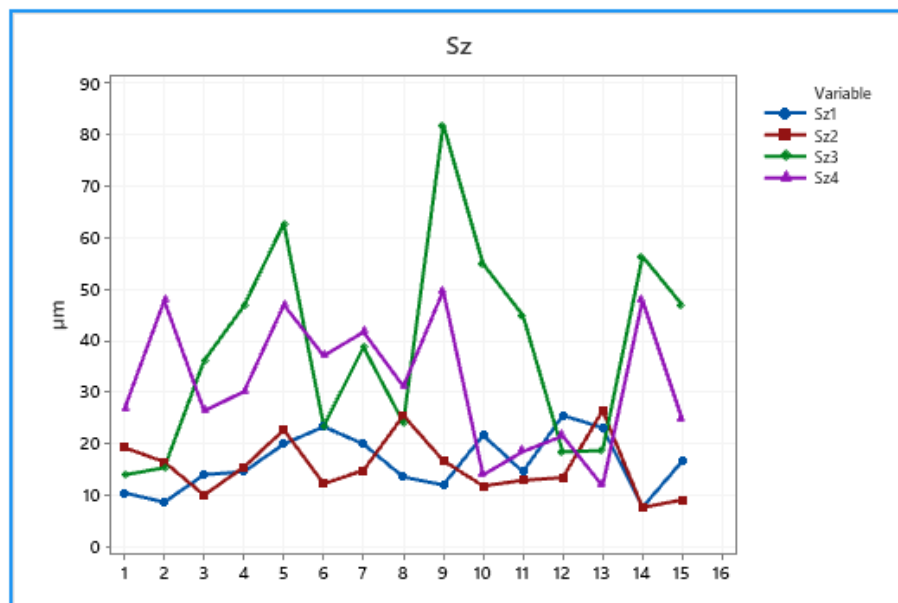


Obr. 34 shrnutí všech parametrů Sa

7.2 Shrnutí naměřených parametrů Sz

Tab. 3 parametry Sz

měření	vzorek	1 [μm]	2 [μm]	3 [μm]	4 [μm]
1.		10,518	19,296	13,979	26,741
2.		8,713	16,502	15,389	47,748
3.		14,037	10,088	36,128	26,388
4.		14,614	15,520	46,738	30,119
5.		19,97	22,723	62,697	46,927
6.		23,323	12,281	23,482	37,060
7.		19,977	14,894	38,708	41,656
8.		13,573	25,481	24,111	31,136
9.		12,036	16,758	81,875	49,669
10.		21,701	11,853	54,846	13,982
11.		14,599	12,931	44,864	18,515
12.		25,503	13,479	18,435	21,529
13.		23,134	26,454	18,733	11,828
14.		7,718	7,667	56,309	47,794
15.		16,676	9,164	46,873	24,677
Průměr [μm]		16,406	15,673	38,878	31,718
Smodch.		5,593	5,694	19,990	12,790
Medián		14,614	14,894	38,708	30,119



Obr. 35 shrnutí všech parametrů Sz

7.3 vyhodnocení naměřených parametrů

U parametru S_a bylo zpozorováno jak u vzorku 1 tak i u vzorku 4 mnohem menší směrodatná odchylka měření, než tomu bylo u vzorku číslo 2 a 3. Při vynesení těchto hodnot do grafu lze pozorovat, že hodnoty S_a prvního a čtvrtého vzorku nezaznamenávají vyšší kolísání hodnot. Naopak vzorky dva a tři mají kolísání hodnot mnohem větších rozměrů. Následek rozdílů hodnot zle v tomto případě odůvodnit tím, že u vzorku jedna a čtyři byly použity vhodnější parametry pro obrábění.

U parametru S_z lze pozorovat, že vzorek číslo jedna a dva mají mnohem menší hodnoty rozdílů píku a prohlubní, než je tomu tak u vzorků tři a čtyři. Nespíš to bylo způsobeno volbou rychlosti posuvu a otáček. U vzorku tři byl zvolen příliš velký posuv, zatímco u vzorku čtyři jsou zvoleny příliš velké otáčky na daný posuv. Tyto nerovnosti nejspíš způsobila fréza, která daný profil projela v prvním případě moc rychle a neobráběla tak rovnoměrně. V druhém případě vzorek obráběla příliš pomalu a docházelo ke vzniku příliš velkého tepla.

ZÁVĚR

V Teoretické části byly popsány druhy obráběcích technologií. Dále se v této části mluvilo o jakosti povrchu, byl uveden popis norem, které se k této problematice vztahují. Byly rozebrány jednotlivé parametry, které jsou v rámci této problematiky vyhodnocovány i v druhé části této práce.

V Praktické části se řešil povrch vzorků, jež byly zhotoveny z materiálu 11 523. Byl popsán postup měření dané práce a následné vyhodnocení a vykreslení do grafu naměřených parametrů. Vyhodnocení probíhalo v programu minitab. Statisticky byly hodnoceny mediány, průměry a směrodatné odchylky. Zakreslení bylo provedeno pomocí grafu Time Series Plot, který je jedním z typů grafů v daném programu.

Z grafů jasně vyplývá, že materiál u vzorku číslo jedna byl způsobem, který zapříčinil tvorbu nejmenších píků a prohlubní za současně málo kolísajících hodnot plochy S_a . U dalších vzorků došlo k větším rozdílům hodnot S_a , S_z nebo obou současně. Parametry by se daly dále upravovat vzhledem k tomu na co se dané výrobky budou používat a jakou funkci mají plnit.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Brychta, Josef. *Technologie II*. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická universita Ostrava, 2008, 142s. ISBN: 978-80-248-1822-1.
- [2] Grzesik, Wit. (2008). *Advanced Machining Processes of Metallic Materials – Theory, Modelling and Applications*. Elsevier. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpAMPMMTM1/advanced-machining-processes/advanced-machining-processes>
- [3] GAZDA, Jaromír. *Teorie obrábění*. Liberec: Technická universita v Liberci, 2009, 112s. ISBN: 987-80-7372-498-6.
- [4] Mádl, Jan, Jaroslav Barcal. *Základy technologie II*. Praha: ČVUT, 2002, 55s. ISBN:80-01-02610-8.
- [5] *Soustružnické stroje* [online]. [cit. 13.4.2020]. dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/S/S13.pdf>
- [6] Bilík, Oldřich. *Obrábění I*. 1.díl. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická universita Ostrava, 2001, 130s. ISBN: 80-7078-811-9.
- [7] *Frézovací nástroje* [online]. [cit. 15.4.2020]. dostupné z: <https://docplayer.cz/4871897-Nove-ty-py-nastroju-pro-frezovani-frezovaci-hlavy-rozdeleni-frezek-podle-konstrukce.html>
- [8] Kocman, Karel. *Speciální technologie obrábění*. Brno: CERM, 2004, 227s. ISBN: 80-214-2562-8.
- [9] *Superfinašování* [online]. [cit. 15.4.2020]. dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/editor/filestore/Image/magazin/obr7.jpg>
- [10] Novotný, Jiří. *Technologie I*. Praha: vydavatelství ČVUT, 1999, 227s. ISBN: 80-01-01420-7.
- [11] Sadílek, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I*. Ostrava: VŠB – Technická universita Ostrava, 2009, 146s. ISBN: 978-80-248-2107-8.
- [12] Koblížek, Vilém. *Technologické procesy*. Praha: vydavatelství ČVUT, 2004, 55s. ISBN: 80-01-03064-4.
- [13] Hluchý, Miroslav, Jan Kolouch. *Strojírenská technologie I*. 1. díl, Praha: Scientia, 2007. ISBN: 978-80-869660-26-5.

- [14] *GARANT PŘÍRUČKA OBRÁBĚNÍ*. 843 s. ISBN 3-00-016882-6.
- [15] Piskáček, Bedřich. *Řízení jakosti*. Praha: ČVUT, 2001, 222s. ISBN: 80-01-02276-5.
- [16] Dvořák, Rudolf, Václav Chmelík, Mirko Marek. *Strojírenská metrologie návody ke cvičení*. Praha: České vysoké učení technické, 1992, 122s. ISBN: 80-01-00876-2.
- [17] *WHITEHOUSE, D. Surfaces and their measurement. London: HPS, 2002, xi, 395 p. ISBN 1 9039 9601 5.*
- [18] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [19] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [20] ČSN EN ISO 25178-2. *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [21] *Optický profiloměr* [online]. [cit. 10.5.2020]. dostupné z: <https://www.optixs.cz/reference-56/opticky-profilomer-55r>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ŘN	Řezný nástroj
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý
SiC	Karbid křemíku
MPa	megapascal
°C	stupeň celsia
mm	milimetr
NC	číslicově řízené stroje
CNC	počítačem řízené stroje
3D	trojrozměrné zobrazení
Zp [μm]	výška výstupku
Zt [μm]	výška prvku
Zv [μm]	hloubka prohlubně
Xs [μm]	šířka prvku
μm	mikro metr
ČSN	Česká technická norma
λf	filtr profilu
λs	filtr profilu
λc	filtr profilu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 popis částí hrotového soustruhu	12
Obr. 2 typy nožových ostří	13
Obr. 3 sustružnické nože	13
Obr. 4 válcová a čelní fréza	14
Obr. 5 druhy fréz.....	15
Obr. 6 schéma procesu protahování	16
Obr. 7 princip honování.....	17
Obr. 8 superfinišování	18
Obr. 9 prvky profilu.....	24
Obr. 10 nejvyšší výška výstupku profilu.....	25
Obr. 11 hloubka prohlubně.....	25
Obr. 12 nejvyšší výška profilu.....	26
Obr. 13 výška profilu prvků.....	26
Obr. 14 měřený vzorek z materiálu 11 523.....	29
Obr. 15 použitý měřicí přístroj.....	30
Obr. 16 měření a vyvážení obrobku.....	31
Obr. 17 detail vodováhy.....	31
Obr. 18 vzorek 1.....	32
Obr. 19 interferenční proužky povrchu vzorku 1.....	32
Obr. 20 měřená oblast vzorku 1.....	33
Obr. 21 hodnoty parametru Sa pro vzorek č. 1.....	33
Obr. 22 vzorek 2.....	34
Obr. 23 interferenční proužky povrchu vzorku 2.....	34
Obr. 24 měřená oblast vzorku 2.....	35
Obr. 25 hodnoty parametru Sa pro vzorek č. 2.....	35
Obr. 26 vzorek 3.....	36
Obr. 27 interferenční proužky povrchu vzorku 3.....	36
Obr. 28 měřená oblast vzorku 3.....	37
Obr. 29 hodnoty parametru Sa pro vzorek č. 3.....	37
Obr. 30 vzorek 4.....	38
Obr. 31 interferenční proužky povrchu vzorku 4.....	38
Obr. 32 měřená oblast vzorku 4.....	39
Obr. 33 hodnota parametrů Sa vzorku 4	39

Obr. 34 shrnutí všech parametrů Sa.....	40
Obr. 35 shrnutí všech parametrů Sz.....	41

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 vstupní parametry při frézování.....	29
Tab. 2 parametry Sa.....	40
Tab. 3 parametry Sz.....	41