

HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU ROTAČNÍCH DÍLŮ

Veronika Janečková

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: **Veronika Janečková**
Osobní číslo: **T17182**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Hodnocení jakosti povrchu rotačních dílů**

Zásady pro vypracování

- Seznámení se s problematikou hodnocení povrchů rotačních dílců.
- kontrola povrchů pomocí optického mikroskopu, za účelem nalezení charakteristické plochy
- Provedení analýzy na bezkontaktním profiloměru.
- Následně naměřená data drsnosti povrchu budou vyhodnocena pomocí programů Minitab.

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: **29. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 10. 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 nahrána do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tématem bakalářské práce je hodnocení jakosti rotačních dílců. Teoretická část popisuje základní normy ČSN EN ISO 4287 a 4288, které se touto tematikou zabývají a popisují parametry které jsou potřebné k zjišťování a analýze drsnosti. Dále teoretická část obsahuje základní druhy obrábění, které ovlivňují jakost obrobeného dílu. Praktická část je věnována měření a porovnávání naměřených hodnot drsnosti povrchů určených dílců, které byly zhotoveny různými metodami obrábění.

Klíčová slova: Jakost povrchu, bezkontaktní měření povrchu, rotační dílce, obrábění

ABSTRACT

The topic of the bachelor thesis is the evaluation of the quality of rotating parts. The theoretical part describes the basic standards ČSN EN ISO 4287 and 4288, which deal with this topic and describe the parameters that are needed to determine and analyse roughness. Furthermore, the theoretical part contains the basic types of machining that affect the quality of the machined part. The practical part is devoted to measuring and comparing the measured values of surface roughness of specified parts, which were made by various machining methods.

Keywords: Surface quality, non-contact surface measurement, rotating parts, machining

„Vykonávat věc, které se bojíme je první krok k úspěchu.“

[Mahátma Gándhí]

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych ráda poděkovala své vedoucí bakalářské práce Ing. Mileně Kubišové Ph.D. za její optimistické a pozitivní vedení, čas a především odborné rady a připomínky, které mi v průběhu práce věnovala.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 NORMA ISO ČSN 4287.....	11
1.1 OBECNÉ TERMÍNY	11
1.2 NÁZVY GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ.....	14
1.3 DEFINICE PARAMETRŮ PROFILU POVRCHU	15
1.3.1 Výškové parametry (výstupky a prohlubně).....	15
1.3.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty souřadnic).....	16
1.3.3 Délkové parametry	18
1.3.4 Tvarové parametry.....	18
2 NORMA ČSN EN ISO 4288	19
2.1 ODHADOVÁNÍ PARAMETRŮ.....	19
2.1.1 Parametry definované na základní délce.....	19
2.1.2 Parametry definované na vyhodnocované délce	19
2.1.3 Křivky a odpovídající parametry.....	19
2.1.4 Standardní vyhodnocované délky.....	19
2.2 PRAVIDLA PRO POROVNÁVÁNÍ MĚŘENÝCH HODNOT S TOLERANČNÍMI MEZEMI.....	20
2.2.1 Plochy na kontrolovaných prvcích	20
2.2.2 Pravidlo 16%.....	20
2.2.3 Pravidlo maxima.....	20
2.3 HODNOCENÍ PARAMETRŮ.....	20
2.4.1 Postup pro neperiodický profil drsnosti.....	21
2.4.2 Postup pro periodický profil drsnosti	22
3 3D PARAMETRY POVRCHU PLOCHY	23
4 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ.....	24
4.1 ZÁKLADNÍ METODY OBRÁBĚNÍ	24
4.1.1 Soustružení.....	24
4.2 DOKONČOVÁNÍ OPERACE OBRÁBĚNÍ	30
4.2.1 Broušení.....	30
4.2.2 Honování.....	32
4.2.3 Lapování	32
4.2.4 Superfinašování.....	33
4.2.5 Válečkování a kuličkování.....	34
5 CÍLE PRÁCE	35
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	36
6 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJ A MĚŘENÉ VZORKY	37
6.1 VZORKY.....	37

6.2	MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJ NEWVIEW™9000.....	37
7	NAMEŘENÉ HODNOTY DRSNOSTI.....	39
7.1	HODNOTY DRSNOSTI PŘI SOUSTRUŽENÍ	39
7.2	HODNOTY DRSNOSTI PŘI BROUŠENÍ.....	43
7.3	HODNOTY DRSNOSTI PŘI VÁLEČKOVÁNÍ.....	46
	ZÁVĚR	51
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ	55
	SEZNAM TABULEK	56

ÚVOD

Jakost neboli kvalita je velmi důležitý pojem ve všech oblastech lidského života. Lidé mají možnost rozhodovat o kvalitě jídla které jí, mohou sledovat kvalitu ovzduší které dýchají a také rozhodovat o kvalitě výrobků které koupí.

Tím se dostáváme k tomu že s i v neposlední řadě zvyšují nároky na kvalitu ve strojního průmyslu. Kvůli rychlému rozvoji techniky a vědy se modernizují a vylepšují systémy které nám složí k analýze a kontrole kvality výroby například k jakosti povrchu. Měření drsnosti povrchu, je čím dál tím jednodušší a na jediném stroji můžeme zjistit čím dál více parametru které jsou potřeba ke kontrole obráběné součásti.

V teoretické části jsou definovány parametry a termíny informující o stanovení struktury povrchu, jeho profilu a dále také pravidla pro posouzení měřených hodnot 2D i 3D parametru povrchu které jsou popisovány v normách ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO 4288 a ČSN EN ISO 25178-2.

Praktická část je zaměřena na vyhodnocení některých parametrů povrchu na bezkontaktním optickém profiloměru, měřených na vzorcích které byly zhotoveny obráběcími technologiemi soustružení, broušením a válečkováním. Naměřené data jsou zpracovány a vyhodnocena pomocí softwaru Minitab.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NORMA ISO ČSN 4287

Předmětem této mezinárodní normy je definování termínů, definic a parametrů pro stanovení struktury povrchu jako je vlnitost, drsnost a stanovení základního profilu profilovou metodou.

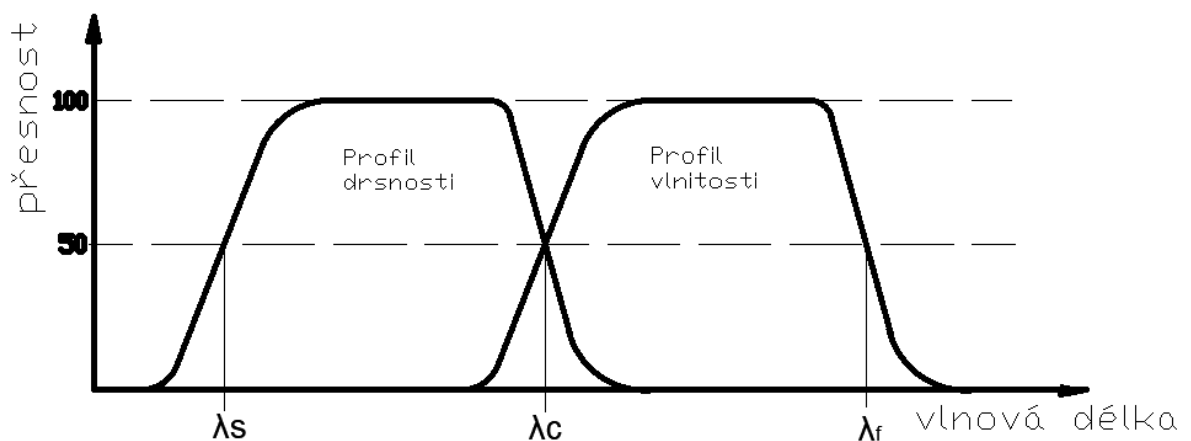
1.1 Obecné termíny

Filtr profilu – filtr separující profily, které mají krátkovlnné a dlouhovlnné složky

λ_s filtr profilu–filtr charakterizující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu

λ_c filtr profilu-filtr charakterizující rozhraní mezi složkami drsností a vlnitostí

λ_f filtr profilu-filtr charakterizující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu [1]

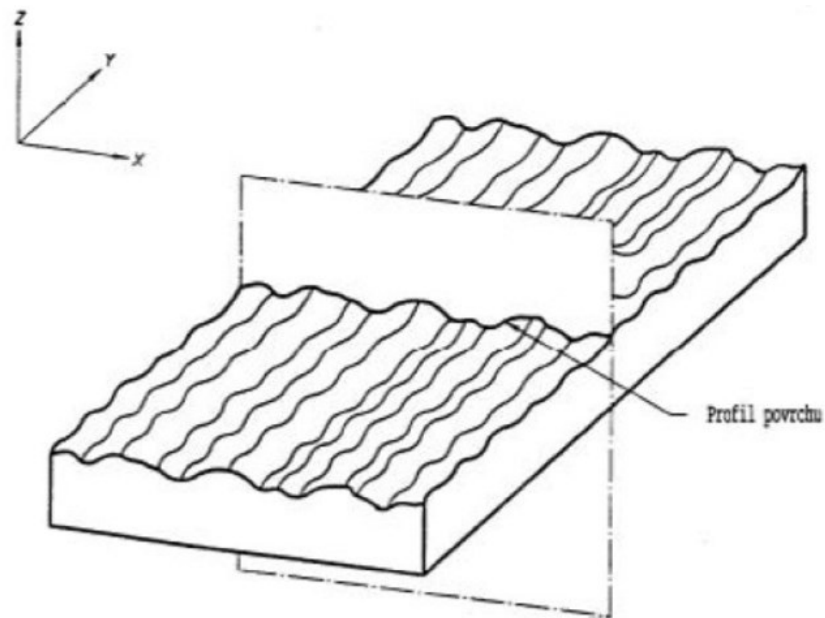


Obrázek 1 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti

Souřadnicový systém - slouží k definování parametrů struktury povrchu. Nejčastěji se používá pravoúhlý systém kartézských souřadnic, kde osa X směřuje (míří) ve směru snímání a je souběžná se střední čarou, osa Y také leží na skutečném povrchu a osa Z směřuje s povrchu do okolí. [1]

Skutečný povrch - omezuje povrch tělesa a odděluje jej od okolního prostředí, při obrábění nebo jiné úpravě. [1]

Profil povrchu-vzniká jako průsečnice, která je vedena kolmo skutečným povrchem a (dané) potřebné roviny [1]



Obrázek 2 Profil povrchu

Základní profil – základní profil, který používáme jako základ pro hodnocení základního parametru [1]



Obrázek 3 Obecný tvar profilu

Profil drsnosti – potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru λ_c odvodíme profil ze základního profilu [1]

Pro profil drsnosti definujeme přenosové pásmo pomocí filtru λ_s a λ_c



Obrázek 4 Drsnost povrchu

Profil vlnitosti – profil odvozený postupnou aplikací filtru λ_f a filtru profilu λ_c na základní profil, otláčující dlouhovlnné složky filtrem profilu λ_f a krátkovlnné složky filtrem profilu λ_c [1]



Obrázek 5 Vlnitost povrchu

Střední čáry

střední čára profilu drsnosti – čára, která při potlačení filtrem profilu λ_c odpovídá dlouhovlnné složce

střední čára profilu vlnitosti - čára, která při potlačení filtrem profilu λ_f odpovídá dlouhovlnné složce

střední čára základního profilu – čára nejmenších čtverců přilehající jmenovitému tvaru základního profilu [1]

Základní délka l_p, l_r, l_w – délka použitá pro rozeznání rozdílností charakterizujících vyhodnocovaný profil ve směru osy X [1]V

Vyhodnocovaná délka – délka použitá pro porovnání vyhodnocovaného profilu ve směru x, tato celková délka nemusí obsahovat pouze jednu základní délku [1]

1.2 Názvy geometrických parametrů

P-parametr – parametr získaný výpočtem ze základního profilu

R-parametr – parametr získaný výpočtem z profilu drsnosti

W-parametr – parametr získaný výpočtem z profilu vlnitosti

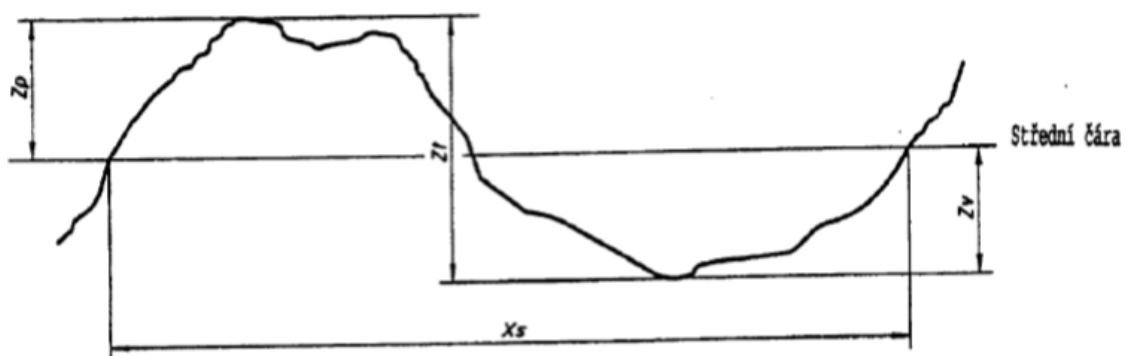
Výstupek profilu – část posuzovaného profilu směřující z povrchu ven, spojující dva přilehlé body na průřezu profilu s osou x [1]

Prohlubeň profilu – část posuzovaného profilu směřující dovnitř materiálu spojující dva přilehlé body na průřezu s osou x [1]

Omezení výšky a/nebo rozteč – výstupky a prohlubně s nejmenší výškou a nejmenší roztečí, které mohou být v brány v úvahu [1]

Prvek profilu – výstupek profilu a přilehlá prohlubeň

-plusová nebo minusová část zkoumaného profilu na začátku nebo na konci základní délky by měla být brána jako výstupek profilu nebo za její prohlubeň. [1]



Obrázek 6 prvek profilu

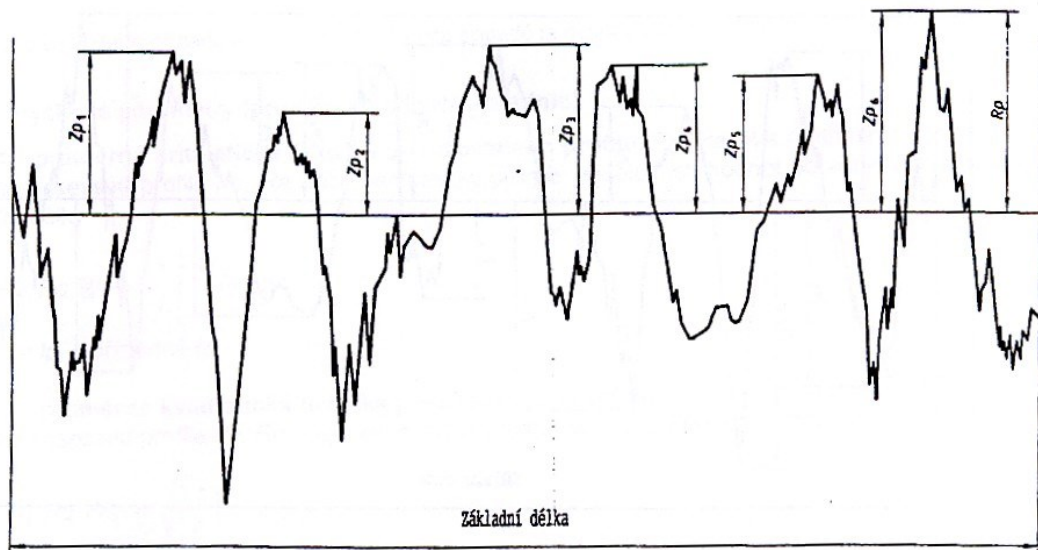
hodnota pořadnice $z(x)$ - hodnota pořadnice je výška v libovolné poloze x na posuzovaném profilu [1]

místní sklon dZ/dX – sklon posuzovaného profilu v poloze x1 [1]

1.3 Definice parametrů profilu povrchu

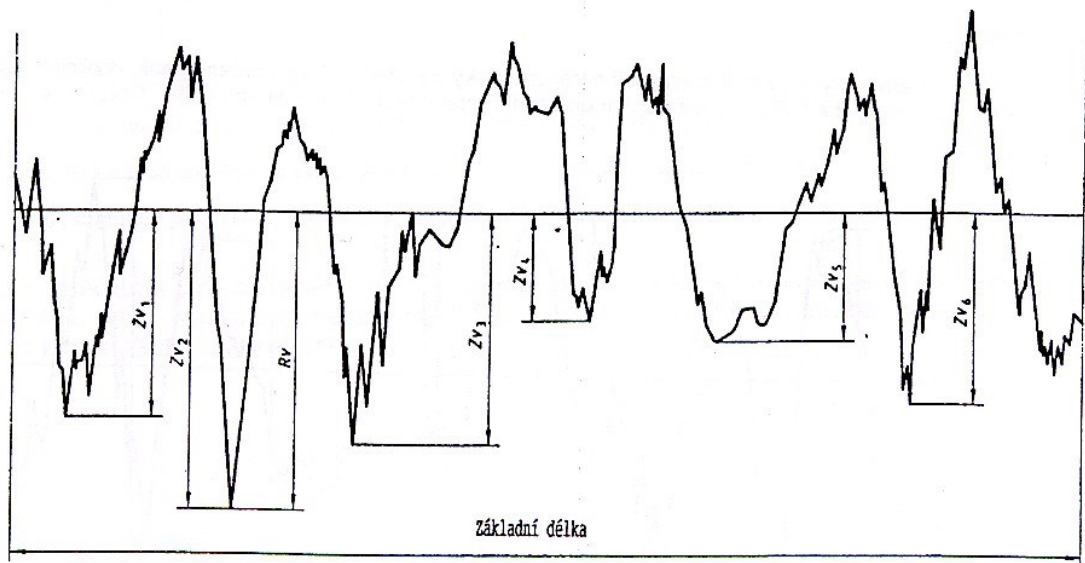
1.3.1 Výškové parametry (výstupky a prohlubně)

Největší výška výstupku profilu R_p – v rozsahu základní délky je to výška Z_p nejvyššího výstupku, která je udávána v μm [1]



Obrázek 7 Největší výška výstupků profilu

Největší hloubka prohlubně profilu R_v – v rozsahu základní délky je to hloubka Z_v nejnižší prohlubně [1]



Obrázek 8 Největší hloubka prohlubní profilu

Největší výška profilu R_z / R_y / (mm)-je součet výšky R_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky R_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [1]

Celková výška profilu, P_t , R_t , W_t – je součtem výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky [1]

1.3.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty souřadnic)

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu P_a, R_a, W_a – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky

zapsáno rovnicí:

$$P_a, R_a, W_a = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l [Z(x)] dx} \quad (1)$$

kde $l \dots l_p, l_r$ případně l_w [1]

Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu Pq, Rq, Wq – kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky

zapsáno rovnicí:

$$Pq, Rq, Wq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l [Z^2(x)] dx} \quad (2)$$

kde $l \dots lp, lr$ případně lw [1]

Šikmost posuzovaného profilu Psk, Rsk, Wsk – podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny Pq, Rq nebo Wq v rozsahu délky

zapsáno rovnicí:

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} [Z^3 x] dx \right] \quad (3)$$

Stejným způsobem jako v rovnici definujeme parametr Rsk , stejným způsobem lze definovat parametry Psk a Wsk . Všechny uvedené parametry jsou mírou symetrie a hustoty pravděpodobnosti hodnot pořadnic a jsou silně ovlivňovány ojedinělými výstupky a prohlubněmi. [1]

Špičatost posuzovaného profilu Pku, Rku, Wku – podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrtých mocniny hodnoty Pq, Rq nebo Wq v rozsahu základní délky

zapsáno rovnicí:

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} [Z^4 x] dx \right] \quad (4)$$

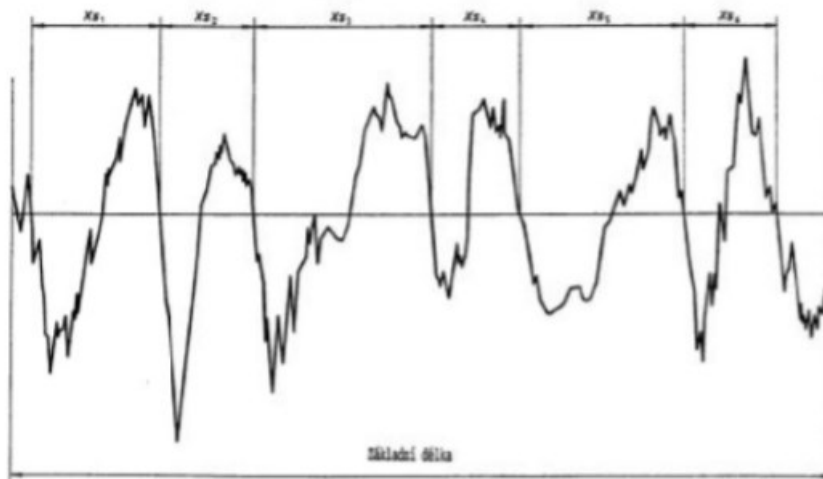
Stejným způsobem jako v rovnici definujeme parametr Rku , stejným způsobem lze definovat parametry Pku a Wku . Všechny uvedené parametry jsou mírou špičatosti hustoty pravděpodobnosti hodnot pořadnic a jsou silně ovlivňovány ojedinělými výstupky a prohlubněmi. [1]

1.3.3 Délkové parametry

Průměrná šířka prvků profilu, Psm, Rsm, Wsm - aritmetický průměr šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky.

Tato parametry potřebují omezení výšky a délky, které je, pokud není uvedeno jinak 10% Pz, Rz nebo Wz a omezení roztečí je 1% základní délky. [1]

$$Psm, Rsm, Wsm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad (5)$$



Obrázek 9 Šířka prvků profilu

1.3.4 Tvarové parametry

Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu $P\Delta q, R\Delta q, W\Delta q$ – kvadratický průměr sklonů pořadnic dZ/dX v rozsahu základní délky [1]

2 NORMA ČSN EN ISO 4288

předmětem této normy je stanovení pravidel pro posuzování měřených hodnot s tolerančními mezemi stanovenými pro parametry struktury povrchu

2.1 Odhadování parametrů

2.1.1 Parametry definované na základní délce

Odhad parametrů – odhad hodnoty parametrů se počítá pomocí naměřených dat, které jsou pouze na jedné základní délce [2]

Odhad průměrných hodnot parametrů – odhad průměrných hodnot parametrů se počítá vyčíslením aritmetického průměru odhadu parametru pomocí všech základních délek

Pokud použijeme normalizovaný počet pěti základních délek pro parametr profilu drsnosti nemusíme používat k symbolu parametru indexy. Pokud pro hodnocený parametr používáme jiný počet základních délek je nutno u značek parametru tento index uvádět (např. Rz1, Rz3). [2]

2.1.2 Parametry definované na vyhodnocované délce

Pro odhad hodnoty definované na vyhodnocované délce (Pt, Rt a Wt) je potřeba vypočítat hodnotu parametru pomocí naměřených dat z této vyhodnocované délky, která se rovná normalizovanému počtu základních délek. [2]

2.1.3 Křivky a odpovídající parametry

Pro křivky a odpovídající parametry je odhad hodnoty parametru vypočítáván pomocí naměřených dat z jedné křivky, která byla počítána na základě vyhodnocené délky. [2]

2.1.4 Standardní vyhodnocované délky

Jestliže není uvedeno na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci jinak, udává se vyhodnocená délka následovně:

R- parametr - parametr získaný výpočtem z profilu drsnosti

P-parametr – vyhodnocovaná délka je rovna délce měřeného prvku [2]

2.2 Pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi

2.2.1 Plochy na kontrolovaných prvcích

Při kontrole struktury povrchu se může setkat ze strukturou, které nám může připadat homogenní, ale také může být na jednotlivých plochách zcela odlišná. To je zjišťováno vizuální zkouškou povrchu. Pokud se jeví, že struktura povrchu je homogenní použijeme hodnoty parametrů, které určíme z celého povrchu na porovnání požadavku předepsaných na výkresech nebo na výrobních dokumentacích.

Jsou-li na povrchu jednotlivé plochy s nápadně rozdílnou strukturou, hodnoty parametrů, které jsou určeny pro každou jednotlivou plochu, budou pro porovnání s požadavky specifikovanými na výkresu, nebo ve výrobní dokumentaci použity odděleně [2]

2.2.2 Pravidlo 16%

Pravidlo 16% nám předepisuje přijatelnou horní mez parametru, kterou nesmí přesáhnout všechny naměřené hodnoty na vyhodnocované délce. Stejně požadavky jsou kladený na dolní mez parametru. [2,9]

2.2.3 Pravidlo maxima

Při použití tohoto pravidla nesmí žádná hodnota v průběhu kontroly přesáhnout hodnotu, kterou uvádí výkres nebo výrobní dokumentace.

Při určení největší dovolené hodnoty parametru je značka parametru doplní indexem "max". [2]

2.3 Hodnocení parametrů

Pro popis vad povrchu (např. rýhy a póry) nejsou parametry struktury povrchu použitelné a nesmí být při kontrole struktury povrchu uvažovány.

Při rozhodnutí zda kontrolovaný povrch vyhovuje či nevyhovuje specifikacím je použit soubor jednotlivých hodnot strukturních parametrů pro povrch, z nichž je každý určen na vyhodnocované délce.

Spolehlivost rozhodnutí kontrolovaného povrchu, závisí na počtu základních délek na vyhodnocované délce.

Spolehlivost rozhodování se zvyšuje počtem měření a delší vyhodnocovací délkou, tím však rostou náklady a čas který měření vyžaduje. Musí se tedy stanovit kompromis procesu kontroly mezi spolehlivostí a náklady. [2]

2.4 Pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji

Není-li upřesněn směr měření, obrobek je umístěn tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti (R_z , R_a). Tento směr bude kolmý k poloze povrchu. Pro izotropní povrchy může být směr řezu libovolný.

Měření je provedeno na té části povrchu, na které lze očekávat kritické hodnoty, to může být posouzeno vizuálním porovnáním. Pro získání nezávislých výsledků jsou jednotlivá měření na této části povrchu rozdělena rovnoměrně.

Při určování parametru profilu drsnosti je potřeba rozhodnout, zda se jedná o periodický či neperiodický profil drsnosti a podle toho postupovat správnou metodou. [2]

2.4.1 Postup pro neperiodický profil drsnosti

Pro neperiodický profil drsnosti je postup následující:

- 1) *„Libovolným způsobem (např. srovnáním pomocí srovnávacích vzorků, vizuální prohlídkou, apod..) se odhadnou, neznáme parametry profilu drsnosti R_a , R_z , R_{z1max} nebo R_{sm}*
- 2) *Pomocí parametrů v kroku 1, se odhadne základní délka z tabulek 1,2 a 3 pro R_a , R_z , R_{z1max} nebo R_{sm} .*
- 3) *Hodnoty základní délky z kroku 2, jsou využity pro měřicí přístroj, ze které se získá reprezentativní měření R_a , R_z , R_{z1max} nebo R_{sm} .*
- 4) *Porovnávají se naměřené hodnoty R_a , R_z , R_{z1max} nebo R_{sm} a rozsahem hodnot R_a , R_z , R_{z1max} nebo R_{sm} v tabulce 1,2 nebo 3 odpovídající odhadnuté základní délce. Jsou-li měřené hodnoty mimo rozsah hodnot pro odhadnutou základní délku, potom se nastaví i přístroj na větší, případně menší základní délku, než je základní délka indikována měřenou hodnotou. Potom se měří reprezentativní hodnota při použití této nastavené základní délky a opět se porovná s hodnotami v tabulce 1,2 nebo 3.*

V tomto případě by měla být dosažena kombinace měřené hodnoty a základní délky navrhovaná v tabulce 1,2 3.

- 5) Získají se reprezentativní hodnoty R_a , R_z , R_{z1max} nebo R_{Sm} pro jednu základní délku nastavenou kratší, není-li tato nastavená kratší základní délka hodnocena v předcházejícím kroku 4. Pohledem zkontroluje se, zda výsledná kombinace parametrů a základní délky je uvedena c tabulkách 1,2 nebo 3.*
- 6) Jestliže jen závěrečné nastavení podle kroku 4 odpovídá tabulkám, potom nastavená základní délka a hodnota R_a , R_z , R_{z1max} nebo R_{Sm} jsou správné. Jestliže krok 5 také předkládá kombinaci danou v tabulkách, potom tato nastavená kratší základní délka a odpovídající hodnoty R_a , R_z , R_{z1max} nebo R_{Sm} jsou správné.*
- 7) Získá se reprezentativní měření žádaných parametrů použitím hodnoty mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích. [2] “*

2.4.2 Postup pro periodický profil drsnosti

Pro periodický profil drsnosti je postup následující:

- 1) „Graficky se odhadne parametr R_{Sm} , který je na povrchu s neznámou drsnosti.*
- 2) Následně se určí doporučená hodnota mezní vlnové délky cut-off, pomocí tabulky 3 pro hodnotu odhadnutou v kroku 1)*
- 3) Je-li výsledek pochybný, změří se hodnota mezní vlnové délky cut-off určené v kroku 2)*
- 4) Jestliže hodnota R_{Sm} z kroku 3) odpovídá podle tabulky 3 menší nebo větší hodnotě mezní vlnové délky cut-off, určené podle bodu 2*
- 5) Získá se reprezentativní měření žádaných parametrů při použití hodnoty mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích“ [2]*

3 3D PARAMETRY POVRCHU PLOCHY

O 3D parametrech povrchu plochy se mluví v normě ČSN EN ISO 25178-2, která je částí normy ČSN EN ISO 25178 a definují se v ní termíny a parametry spojené s plošnou texturou povrchu. [5]

3.1 Výškové parametry

Na základě určené plochy jsou stanoveny všechny výškové parametry

S_q - základ průměrné výšky, která vymezuje průměrné hodnoty čtverce uvnitř definované plochy (A) [5]

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint z^2(x, y) dx dy} \quad (6)$$

S_{sk} – šikmost omezené stupnice povrchu - kvocient zprůměrované hodnoty krychle a krychle S_q která je určena uvnitř plochy (A) [5]

$$S_{sk} = \frac{1}{S_q^3} \left[\frac{1}{A} \iint z^3(x, y) dx dy \right] \quad (7)$$

S_{ku} – špičatost omezené stupnice povrchu – kvocient čtvrté mocniny hodnoty a čtvrté mocniny hodnoty S_q uvnitř definované plochy (A)

$$S_{ku} = \frac{1}{S_q^4} \left[\frac{1}{A} \iint z^4(x, y) dx dy \right] \quad (8)$$

S_p – maximální výška piků uvnitř definované plochy [5]

S_v - maximální prohlubeň uvnitř definované plochy [5]

S_z – maximální výška uvnitř definované plochy [5]

S_a – aritmetický průměr výšky uvnitř definované plochy (A) [5]

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |z(xy)| dx dy \quad (9)$$

4 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Technologie obrábění studuje a analyzuje faktory a souvislosti při obráběcím procesu dané výrobní součásti. Při obráběcím procesu je důležité určit správně obráběcí systém, stroj, řezné a další parametry pro zajištění parametru které obrobek po dokončení procesu musí mít. [3]

Základní metody obrábění:

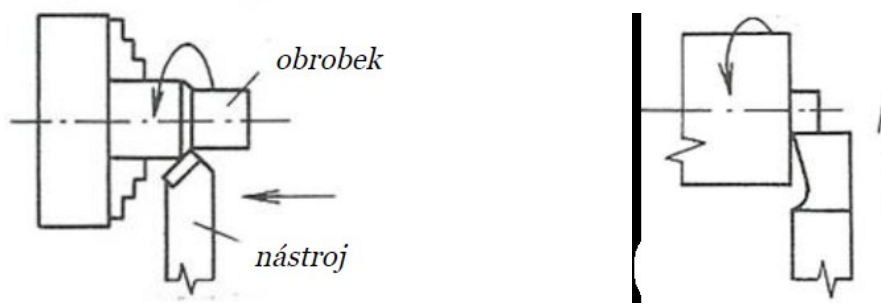
- soustružení
- frézování
- vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování
- hoblování a obrážení
- protahování a protlačování

4.1 Základní metody obrábění

4.1.1 Soustružení

Soustružení je z mnoha hledisek nejjednodušší a nejpoužívanější obráběcí metoda k obrobení rotačních ploch při které většinou používáme jednobřité nástroje. Hlavní pohyb je rotační pohyb obrobku, který se pohybuje řeznou rychlostí v_c . Vedlejší pohyby koná nástroj. Pohyb který je rovnoběžný s osou otáčení je takzvaný podélný posuv, o příčném posuvu mluvíme jako kolmém k ose obrobku. Další pohybem, který stroj vykovává je přířsuv, kterým se nastavuje potřebná hloubka řezu.

Kromě soustružení lze na stroji provádět operace jako jsou vrtání, vyhrubování, tvorba závitů a tvorba kuželových, kulových ploch apod. [3,4]



Obrázek 10 Schéma podélného a čelního soustružení

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra (μm)	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Vnější rotační plochy	<i>hrubování</i>	13	11 až 14	25	25 až 50
	<i>dokončovací</i>	10	9 až 11	3,2	1,6 až 12,5
	<i>jemné</i>	8	7 až 9	0,8	0,4 až 1,6
	<i>slin.karbidem</i>	6	5 až 7	0,4	0,2 až 0,8
	<i>jemné diamantem</i>				
Vnitřní rotační plochy	<i>hrubování</i>	12	11 až 13	25	12,5 až 50
	<i>dokončovací</i>	10	9 až 12	3,2	1,5 až 12,5

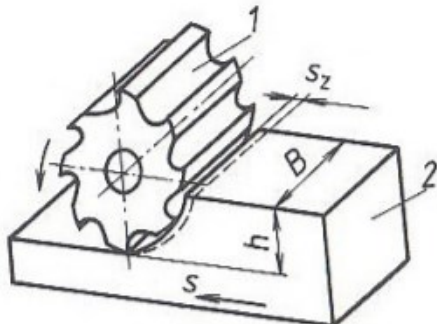
Tabulka 1 Dosahované parametry přesnosti při soustružení [3]

4.1.2 Frézování

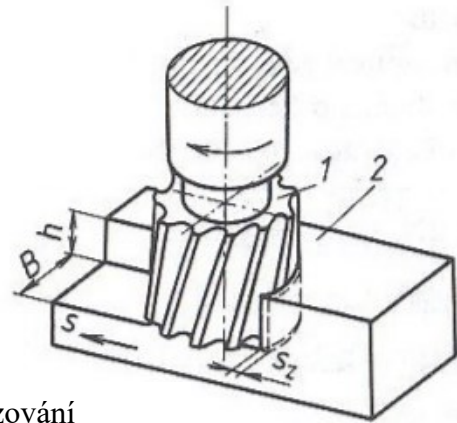
Frézování je obráběcí metoda rovinných nebo tvarových ploch, při které se materiál odebrává otáčejícími se břity nástroje. Posuv koná většinou součást upnutá na pracovním stole v kolmé směru na osu nástroje. Proces řezu třísky je přerušovaný, každý zub vchází a vychází z materiálu zvlášť a tak odebírají kratší třísku proměnné tloušťky. [3,4]

Z technologického hlediska dělí frézování na dva základní způsoby:

- **Frézování válcové** – kdy řeže fréza zuby na obvodě (viz. Obrázek 12)
- **Frézování čelní** – kdy řeže fréza současně zuby na obvodě a čele (viz. Obrázek 12)



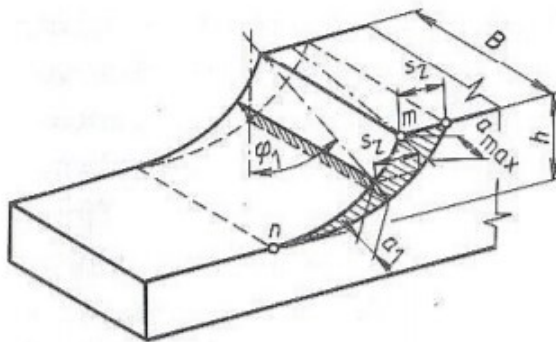
válcové frézování



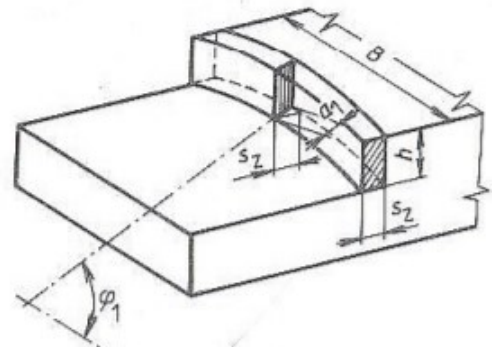
čelní frézování

Obrázek 11 Frézování válcové a čelní [4]

1- fréza, 2-obrobek, B-šířka obrobku, h – hloubka řezu, s – posuv, s_z - posuv na zub



válcové frézování



čelní frézování

Obrázek 12 Průřez třísek odebíraných frézováním [4]

Dále dělíme frézování podle směru posuvu na:

- **sousledné** - nástroj rotuje ve směru posuvu obrobku přičemž při vniknutí frézy do materiálu vzniká největší tříska [4]
- **nesousledné** – nástroj rotuje proti směru posuvu obrobku tím pádem se tloušťka třísky zvětšuje od nulového hodnoty k maximální [4]

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra (μm)	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Rovinné plochy	<i>-hrubování</i>	12	10 až 13	25	12,5 až 50
	<i>-válc. frézou</i>	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3
	<i>-dokonč.válc. frézou</i>	11	10 až 13	25	12,5 až 50
	<i>-hrub, nožovou hlavou</i>	9	8 až 9	3,2	0,8 až 6,3
	<i>-dokonč. nož. hlavou</i>	6	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6

Tabulka 2 Dosahované parametry při frézování [3]

4.1.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování

Vyjmenované obráběcí metody jsou využity při výrobě válcových děr. Nástroje mají charakteristické tvary a rozměry, které jsou využity pro jejich technologických vlastností na výrobu děr určitých parametrů. [3,4]

Vrtání

Vrtání je výrobní metoda, kterou se obrábí vnitřní rotační plochy. Hlavní řezný pohyb koná zpravidla nástroj, můžou ale existovat výjimky. Nástroj na vrtání se nazývá vrták a jeho osa je obvykle kolmá k ploše do které vstupuje k zhotovení nebo zvětšení díry. [3,4]

Vyhrubování, vystružování a zahlubování

Vyhrubování a vystružování jsou metody, kterými se opracovávají vnitřní rotační plochy pro zvýšení přesnosti a jakosti díry. Díry do 10 mm se zhotovují vystružováním nad 10 mm se díry vyhrubují a poté se vystružují. Metoda zahlubování je využita při rozčíření díry např. pro zapuštění hlavy šroubu. Nástroje jsou většinou z rychlořezné oceli při potřebě výkonnějších nástrojů jsou použity připájené nebo mechanicky upnuté břity ze slinutých karbidů. [3,4]

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra (μm)	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Vnitřní rotační plochy	<i>Vrtání šroubovým vrtákem</i>				
	<i>-bez vedení</i>	13	12 až 14	6,3	6,3 až 25
	<i>-s vedením</i>	12	10 až 13	3,2	3,2 až 25
	<i>Vyhrubování</i>	9	9 až 11	3,2	1,6 až 3,2
	<i>Vystružování</i>	8	7 až 9	0,8	0,8 až 3,2
	<i>Zahlubování</i>				
	<i>hrubování</i>	12	11 až 14	3,2	1,6 až 12,5
	<i>dokončování</i>	9	7 až 10	1,6	1,6 až 6,3
	<i>Vyvrtávání</i>				
	<i>hrubování</i>	12	11 až 14	25	12,5 až 50
<i>dokončování</i>	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3	
<i>jemné</i>	6	5 až 8	0,8	0,4 až 16	
<i>slin. karbidem</i>	6	4 až 7	0,4	0,2 až 0,8	

Tabulka 3 Dosahované parametry přesnosti při vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování [3]

4.1.4 Hoblování a obrážení

Metody na obrábění ploch jednobřítým nástrojem (hoblovací a obrážecí nůž). Při hoblování hlavní řezný pohyb koná obrobek, u obrážení nástroj. Při vstupu do materiálu nástroj zabírá přímo do plného průřezu třísky, a tak dochází k nárazu. U zpětného pohybu není odebírána tříska, nástroj se tedy oddálí od obrobenej plochy a jede tzv. na prázdkno.

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra (μm)	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Rovinné plochy	<i>Hoblování</i>				
	<i>hrubování</i>	12	12 až 13	50	25 až 100
	<i>dokončování</i>	10	9 až 11	6,3	3,2 až 12,5
	<i>jemné</i>	9	7 až 10	1,6	0,8 až 1,6

Tabulka 4 Dosahované parametry přesnosti při hoblování a obrábění [3]

4.1.5 Protahování a protlačování

Vysoce produktivní dokončovací metody za účelem obrobení tvarových díry a plochy, vysoké jakosti a rozměrové přesnosti.

Nástroje se nazývají protlačovací a protahovací trny, kvůli jejich složité výrobě se nevyplácí používat tyto metody u malosériové výrobě. Principem protahování i protlačování je postupný záběr zubů trnu do obráběného materiálu. Hlavní řezný pohyb koná nástroj.

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra (μm)	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Vnitřní rotační plochy	<i>protahování</i>				
	<i>-hrubování</i>	8	7 až 8	1,6	0,8 až 3,2
	<i>-dokončování</i>	7	5 až 7	0,4	0,1 až 0,8

Tabulka 5 Dosahované parametry přesnosti při protahování [3]

4.2 Dokončování operace obrábění

V technologickém procesu dokončovacích operací má za cíl zvýšení jakosti obrobeneho povrchu, zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností, zvýšení přesnosti tvarů a rozměrů.

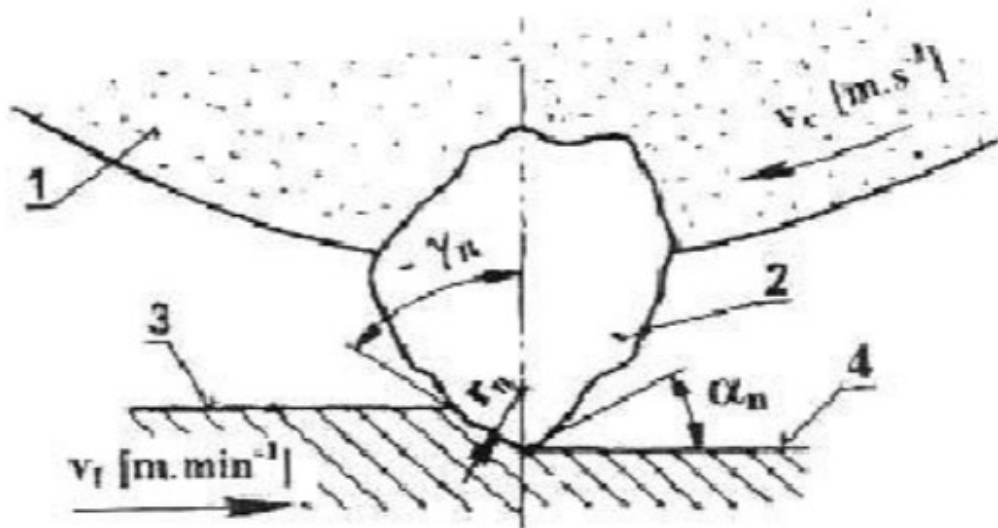
Z technologického hlediska je v tomto procesu nejdůležitější dosahované parametry přesnosti. [3,4]

Do této kategorie se zařazují tyto metody:

- broušení
- honování
- lapování
- superfinišování
- kuličkování a válečkování

4.2.1 Broušení

Dokončovací metoda, která na rozdíl od základních metod obrábění nemá přesně definovaný tvar břitu nástroje. Pro broušení je charakteristické, že umístění brousících zrn je nahodilé po celém povrchu brousícího kotouče, na kterém jsou spojeny pojivem. Tato technologie umožňuje vyšší tvarovou a rozměrovou kvalitu především protože současně je v záběru velké množství břitů(zrn) které odebírají velké množství elementárních třísek. Nejvýznamnější podíl na kvalitě povrchu materiál u má materiál a stupeň brusného kotouče. [3,4,7]



Obrázek 13 Tvar zrna brousícího kotouče [3]

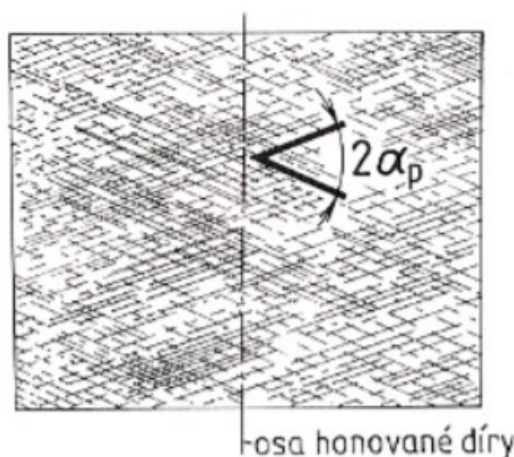
1-brousící kotouč, 2-zrno (brousící element), 3-broušený povrch, 4-povrch po broušení

Tvar broušené plochy	Způsob broušení	Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra (μm)	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Vnější rotační plochy	<i>hrubování</i>	10	9 až 11	1,6	0,8 až 3,2
	<i>dokončovací</i>	5	5 až 6	0,4	0,2 až 0,6
	<i>jemné</i>	4	3 až 5	0,2	0,05 až 0,4
Vnitřní rotační plochy	<i>hrubování</i>	9	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	<i>dokončovací</i>	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	<i>jemné</i>	4	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4
Rovinné plochy	<i>hrubování</i>	10	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	<i>dokončovací</i>	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	<i>jemné</i>	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4

Tabulka 6 Dosahované parametry při broušení [3]

4.2.2 Honování

Je dokončovací metoda, která technologickou charakteristikou připomíná broušení. Honuje se malou rychlostí, při které je materiál odebírán pohybujícími brousícími zrny vázaných pojivem v honovací lištách (kamenech). Pro honování je charakteristický vzhled plochy, který vzniká kvůli současně se otáčejícím a přímočaře vratně pohybujícím se nástrojem po obráběné ploše při kontrolovaném tlaku. Předností honování je dosažení vysoké přesnosti geometrického tvaru. Lze jím v rozsahu přídatku odstranit kuželovitost, ovalitu, soudkovitost, nelze však změnit polohu osy díry. [3,4,8]



Obrázek 14 Charakteristická vzhled honované plochy [4]

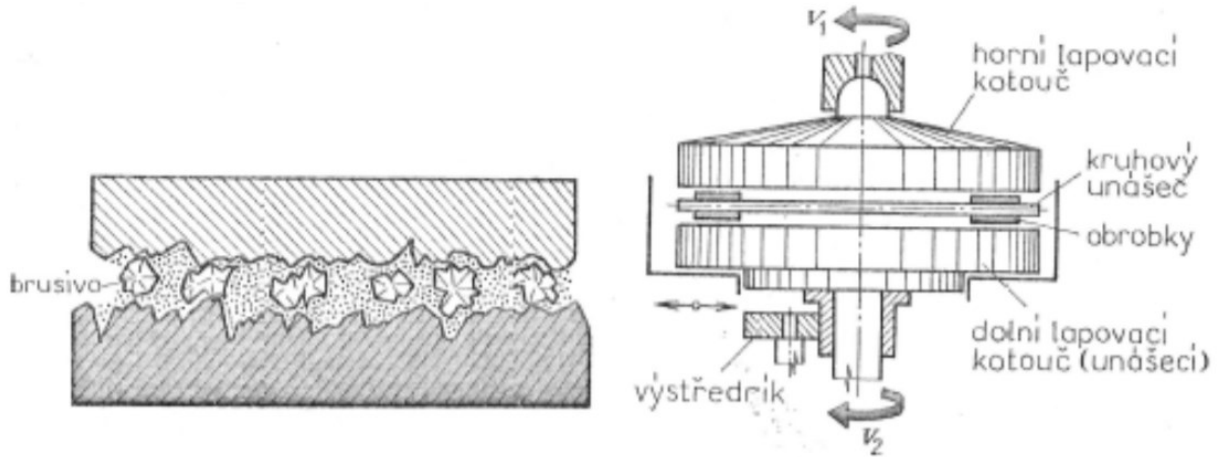
Tvar honované plochy	Způsob honování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra (μm)	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Vnitřní rotační plochy	<i>hrubování</i>	7	6 až 8	0,4	0,2 až 0,8
	<i>dokončovací</i>	6	5 až 7	0,2	0,1 až 0,2
	<i>jemné</i>	4	3 až 5	0,1	0,05 až 0,1

Tabulka 7 Dosahované parametry přesnosti při honování [3]

4.2.3 Lapování

Lapování je dokončovací metoda obrábění, kterou se dosahuje nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti povrchu. Používá se pro dokončování rovinných, válcových a tvarových vnějších a vnitřních ploch. Lapují se funkční plochy měřidel např. kalibry, důležitá závitová

spojení, ozubení, součásti motorů automobilů atd. Lapování je zvláštní druh broušení, při němž k úběru materiálu dochází volným brusivem, které se přivádí mezi vzájemně se pohybující lapovací nástroj a obrobek. [3]



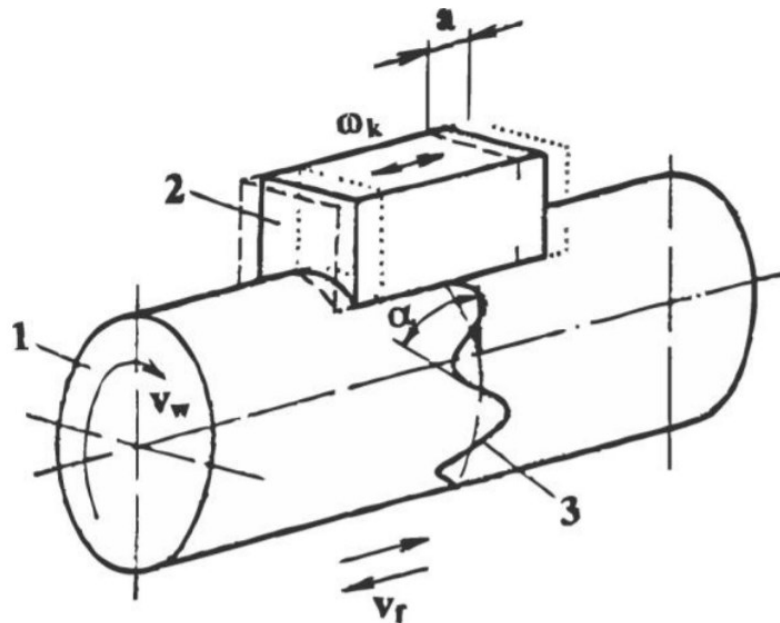
Obrázek 15 Princip lapování a lapovací stroj [4]

Tvar lapování plochy	Způsob lapování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra (μm)	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Vnější rotační plochy	<i>normální jemné</i>	4	3 až 4	0,1	0,05 až 0,2
		2	1 až 2	0,05	0,012 až 0,05
Vnitřní rotační plochy	<i>dokončovací jemné</i>	4	3 až 5	0,2	0,01 až 0,4
		3	1 až 3	0,05	0,012 až 0,05
Rovinné plochy	<i>dokončovací jemné</i>	4	3 až 5	0,2	0,1 až 0,4
		3	1 až 3	0,05	0,012 až 0,05

Tabulka 8 Dosahované parametry při lapování [3]

4.2.4 Superfinašování

Superfinašování je dokončovací metoda, při které je ubírán materiál obrobku jemnozrnnými brousícími kameny, při nízkých řezných rychlostech a malých tlacích nástroje na obráběnou plochu pomocí kombinace kmitavého, otáčivého a přímočarého posuvného pohybu. [4]



Obrázek 16 Schéma superfinašování [3]

1- obrobek, 2- superfinašovací kameny, 3- stopa po jednom zrně brusiva

Tvar superfinašované plochy	Způsob superfinašování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra (μm)	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Vnitřní rotační plochy	<i>hrubování</i>	7	6 až 8	0,4	0,2 až 0,8
	<i>dokončovací</i>	6	5 až 7	0,2	0,1 až 0,2
	<i>jemné</i>	4	3 až 5	0,1	0,05 až 0,1

Tabulka 9 Dosahované parametry přesnosti při superfinašování [3]

4.2.5 Válečkování a kuličkování

Jedná se o beztrískové dokončovací metody, při kterých obrábění povrchů spočívá v plastické deformaci povrchové vrstvy v pár setinách či desetínách milimetru. Tímto procesem získáváme lepší parametry struktury povrchu a zvyšujeme pevnost a tvrdost. V povrchové vrstvě vzniknou tlaková napětí a zvýší se mez únavy, odolnost proti opotřebení a také odolnost proti korozi. [3]

5 CÍLE PRÁCE

Cílem práce bylo seznámit se s problematikou hodnocení povrchů rotačních dílců. Provést jejich kontrolu pomocí optického mikroskopu, přičemž najít jejich charakteristické plochy a provést bezkontaktní analýzu profilometrem. Data drsnosti povrchu získaná měřením a analýzou byla vyhodnocována v programu Minitab.

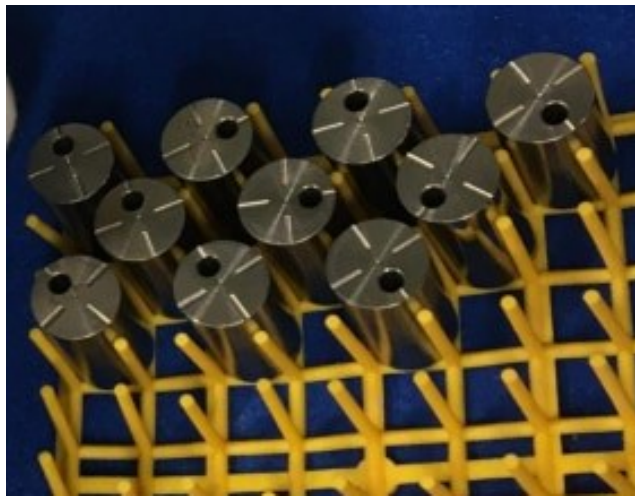
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJ A MĚŘENÉ VZORKY

Cílem práce bylo porovnání povrchu pomocí optického profilometru součástí, které byli vyrobeny různými metodami obrábění a jejich zhodnocení.

6.1 Vzorky

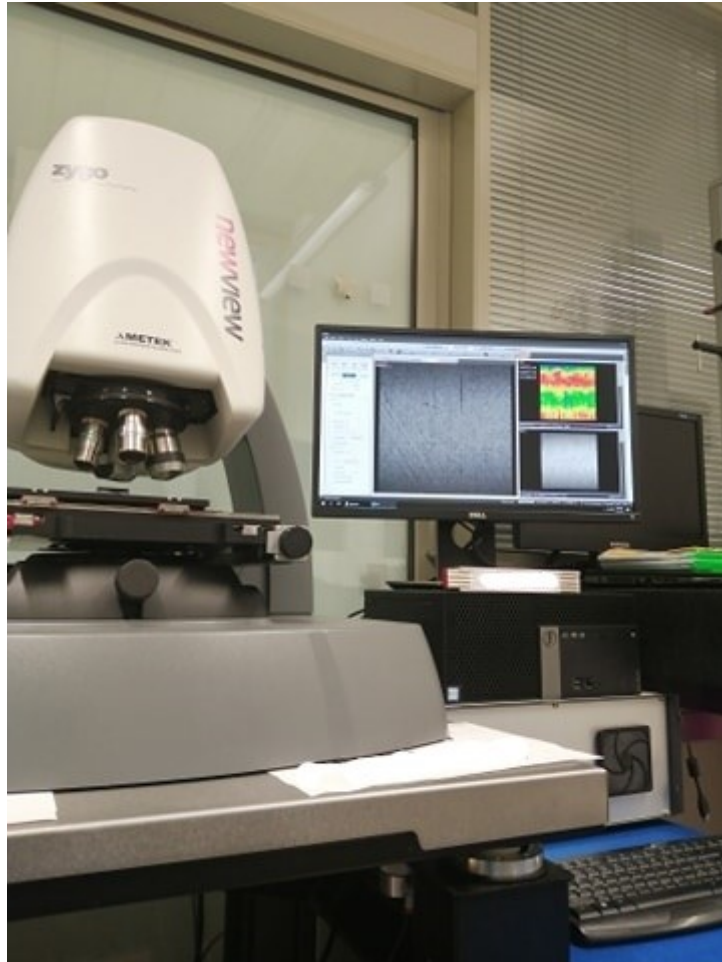
Vzorky, které byly použity pro bakalářskou práci byly zhotoveny pomocí soustružení, broušení a válečkování. Bylo zvoleno 15 vzorku s nichž bylo provedeno měření.



Obrázek 17 Vzorky

6.2 Měřicí přístroj NewView™9000

Měření a vyhodnocení bylo prováděno na měřícím přístroji NewView™ 9000, který používá bezkontaktní metodu snímání. Bezkontaktní metoda využívá ke svému měření paprsky světla, které se odrážejí od měřeného povrchu. [6,13]



Obrázek 18 Měřicí přístroj

Výhody metody:

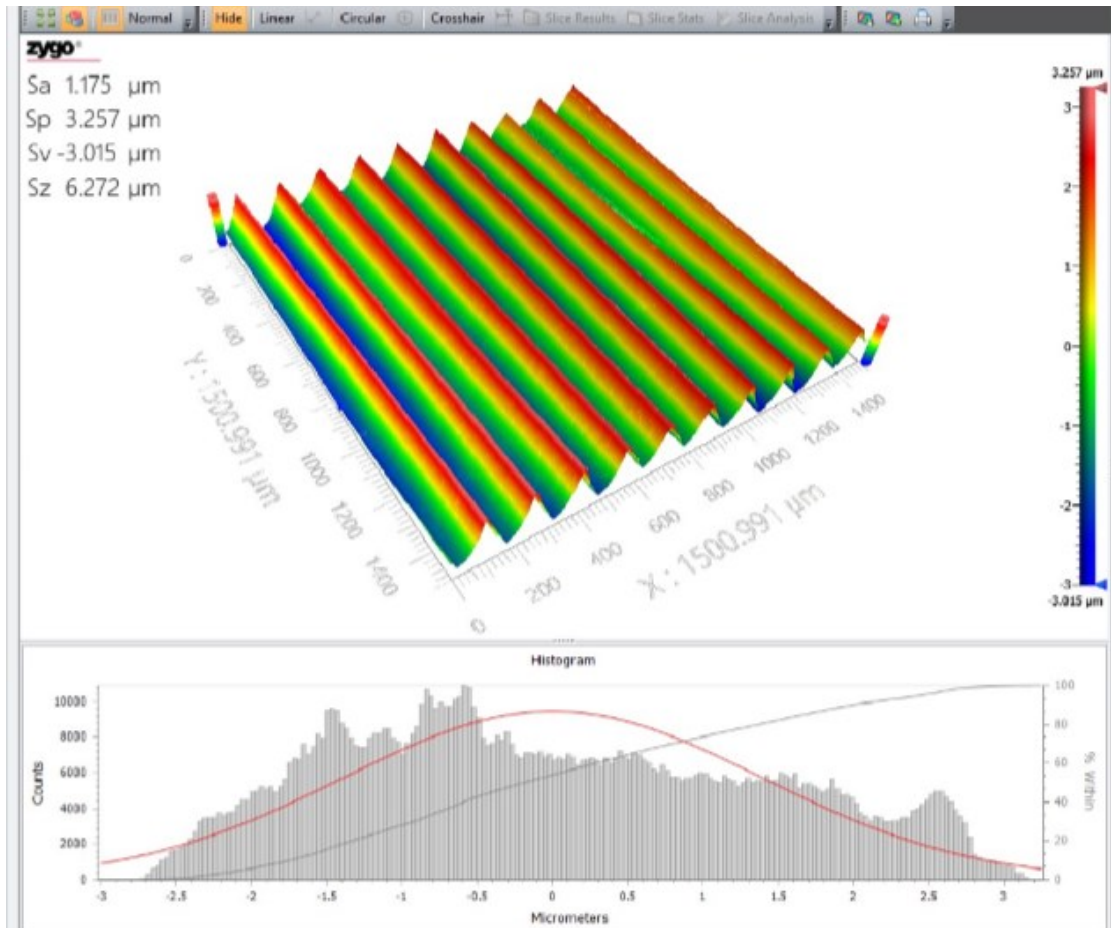
- rychlá metoda
- můžeme současně pozorovat obraz povrchu a jeho výškový profil
- získáváme obrázky z vysokým rozlišení
- nelze poškodit měřený povrch

Nevýhody metody:

- omezená velikost vzorku

7 NAMEŘENÉ HODNOTY DRSNOSTI

7.1 Hodnoty drsnosti při soustružení

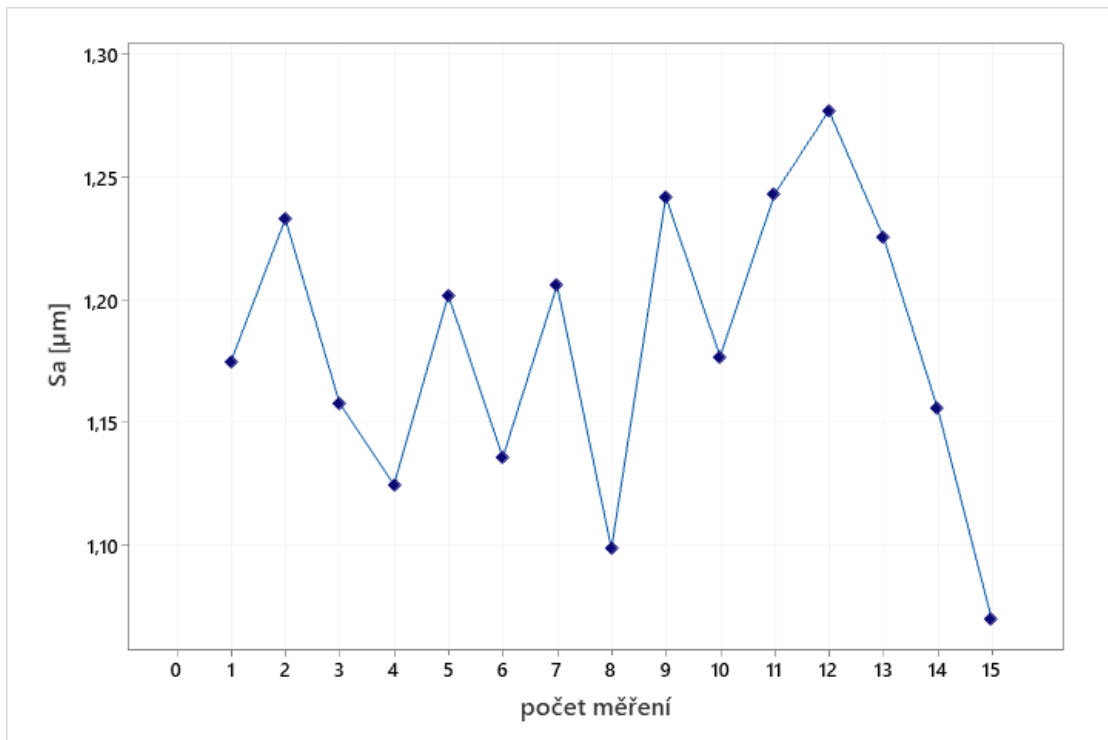


Obrázek 19 plocha po soustružení

Na obrázku 19 můžeme vidět charakteristickou plochu vzorku po soustružení, která byla nasnímána přístrojem při měření hodnot Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy), Sp (nejvyšší výstupek profilu), Sv (největší hloubka prohlubně profilu) a Sz (maximální výška plochy) které jsou zapsány v Tabulce 10.

vzorek	Sa [μm]	Sp [μm]	Sv [μm]	Sz [μm]
1	1,175	3,257	-3,015	6,272
2	1,233	3,842	-6,162	10,004
3	1,158	3,416	-3,385	6,801
4	1,125	3,295	-3,149	6,44
5	1,202	2,812	-2,920	5,733
6	1,136	3,284	-3,334	6,618
7	1,206	4,055	-2,983	7,038
8	1,099	3,826	-3,233	7,059
9	1,242	3,196	-3,159	6,355
10	1,177	3,825	-3,193	7,017
11	1,243	3,769	-3,328	7,097
12	1,277	3,565	-3,314	6,879
13	1,226	3,550	-2,682	6,233
14	1,156	4,022	-2,810	6,831
15	1,070	3,537	-3,240	6,777

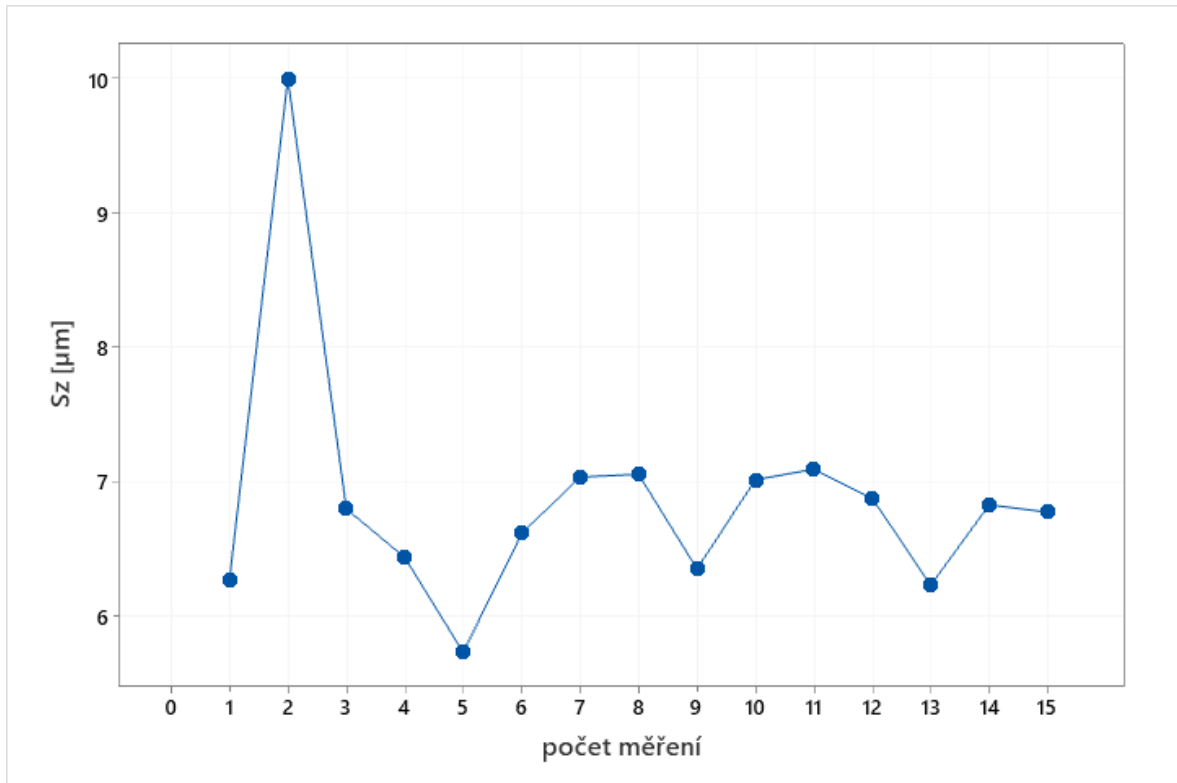
Tabulka 10 Hodnoty měření



Obrázek 20 Graf Sa soustruženého vzorku

Na grafu (Obrázek 20) si můžeme všimnout malých rozdílů hodnoty Sa. Maximální hodnota měření byla 1,277 a minimální 1,070. Průměrná hodnota měření byla 1,182 a směrodatná odchylka 0,057 tím můžeme říct, že rozdíly jsou minimální.

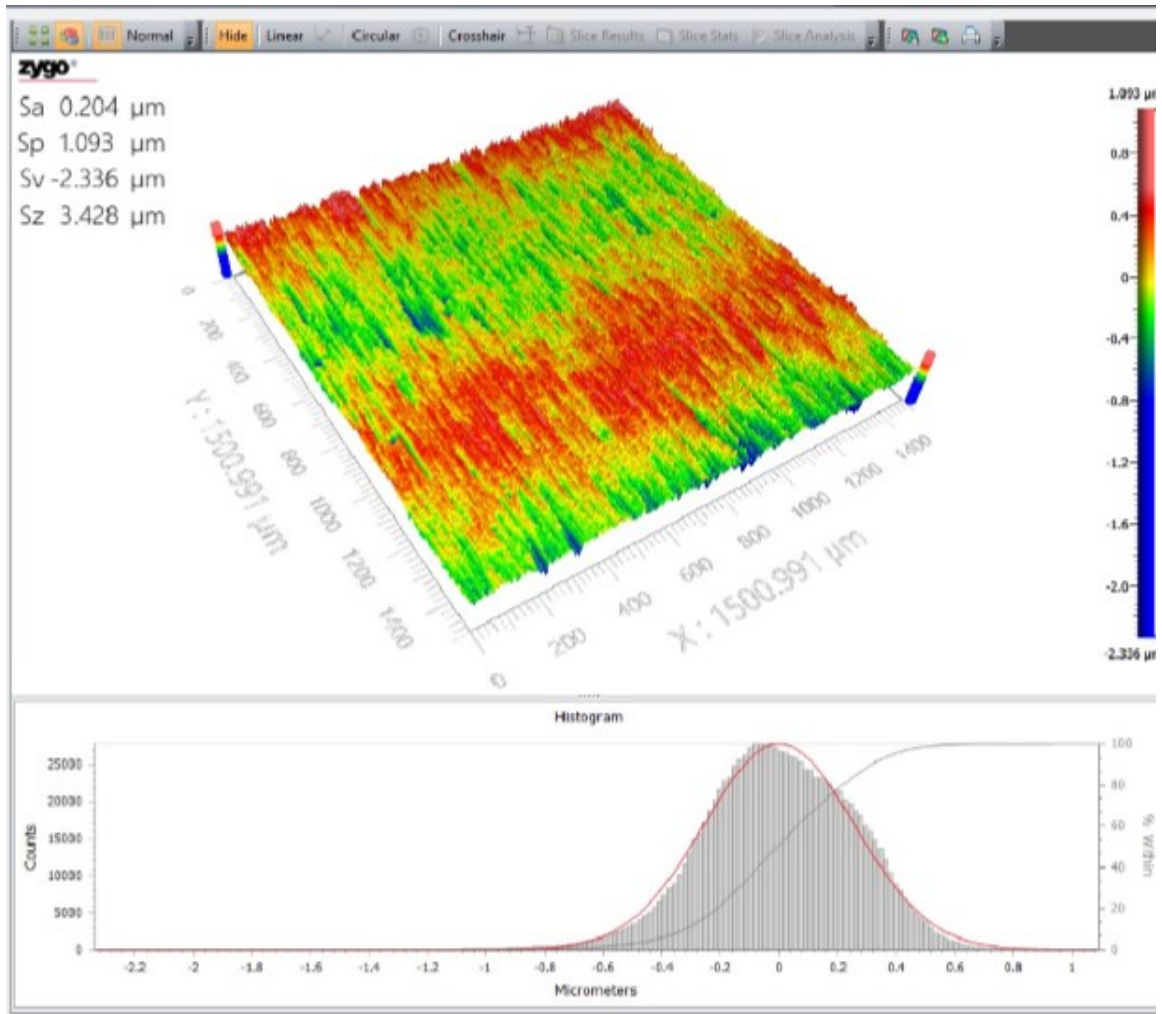
Veškeré grafy a vyhodnocení hodnot bylo provedeno v programu Minitab. [10,11]



Obrázek 21 Graf Sz soustruženého vzorku

Na grafu (Obrázek 21) můžeme pozorovat velmi podobné hodnoty měření až na jednu hodnotu maximální výšky plochy, která značně vystupuje nad ostatních. Hodnota druhého měření tedy nejvyšší 10,004 mohla být způsobena měření přímo na vrcholu stopy při soustružení. Minimální hodnota byla 5,733. Průměrná hodnota maximální výšky plochy byla 6,877 s odchylkou 0,914.

7.2 Hodnoty drsnosti při broušení

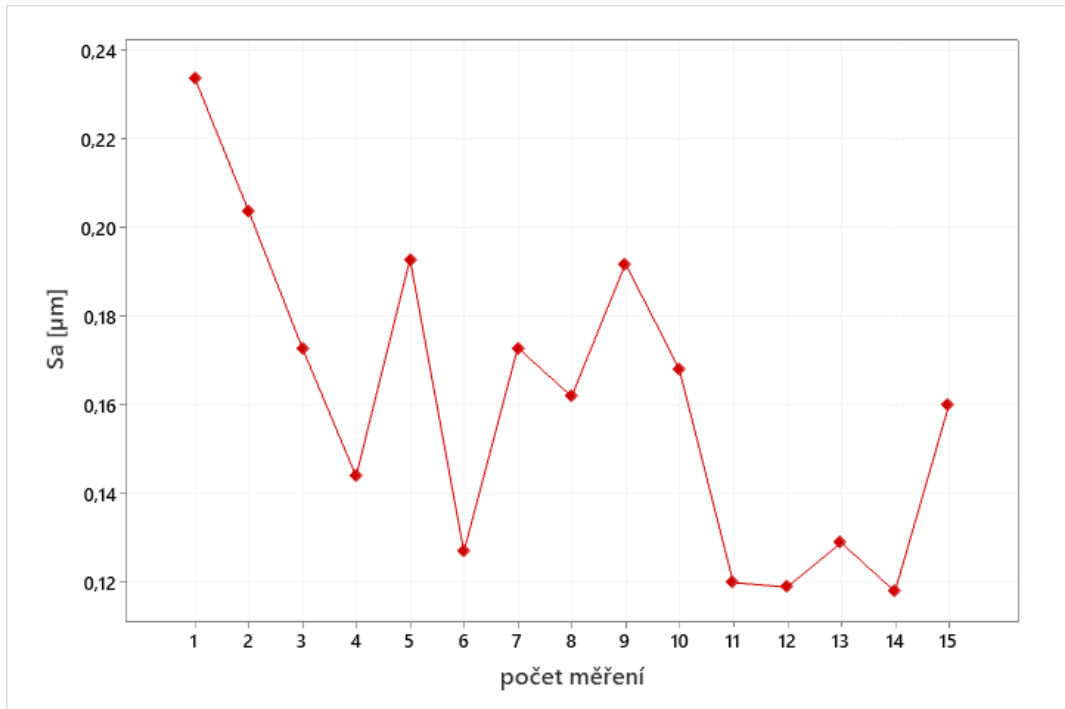


Obrázek 22 Plocha po broušení

Na obrázku 22 můžeme vidět charakteristickou plochu vzorku, která vzniká po broušení a byla nasnímána přístrojem při měření hodnot Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy), Sp (nejvyšší výstupek profilu), Sv (největší hloubka prohlubně profilu) a Sz (maximální výška plochy) které jsou zapsány v Tabulce 11.

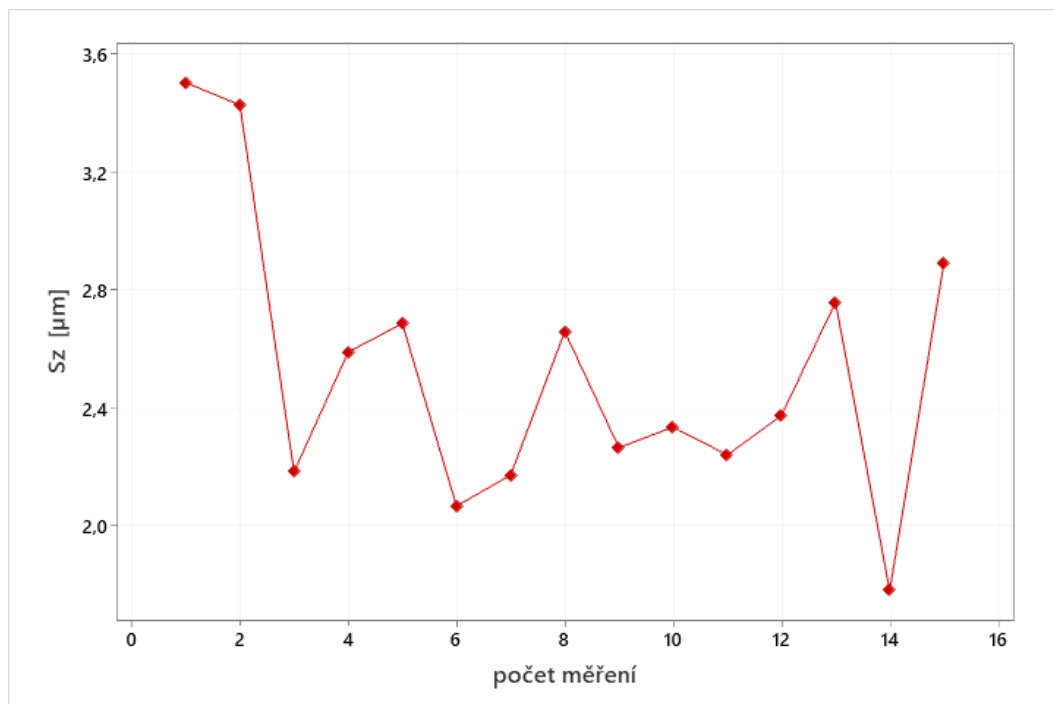
vzorek	Sa [μm]	Sp [μm]	Sv [μm]	Sz [μm]
1	0,234	1,334	-2,169	3,504
2	0,204	1,093	-2,336	3,428
3	0,173	0,804	-1,380	2,184
4	0,144	1,525	-1,065	2,590
5	0,193	0,854	-1,833	2,687
6	0,127	0,691	-1,377	2,068
7	0,173	0,797	-1,376	2,173
8	0,162	1,073	-1,587	2,660
9	0,192	0,769	-1,497	2,266
10	0,168	0,767	-1,569	2,336
11	0,120	0,600	-1,641	2,241
12	0,119	0,765	-1,610	2,375
13	0,129	0,655	-2,104	2,759
14	0,118	0,658	-1,124	1,781
15	0,160	0,745	-2,146	2,891

Tabulka 11 Hodnoty měření vzorku po broušení



Obrázek 23 Graf Sa broušeného vzorku,

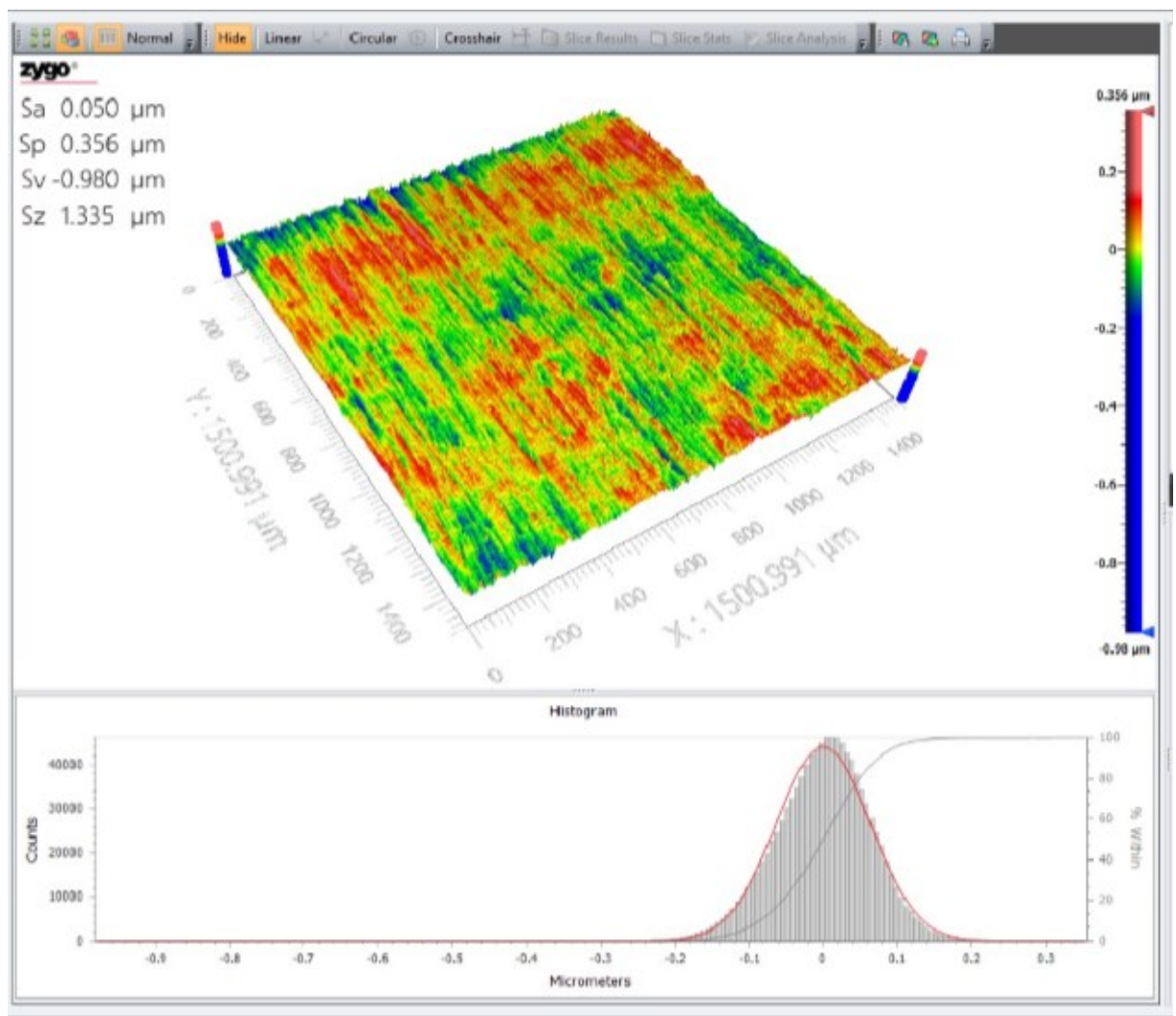
Z bodového grafu (Obrázek 23) vidíme, že hodnoty Sa jsou naměřeny s poměrně malými rozdíly. Nejvyšší naměřená hodnota je 0,234 a nejmenší 0,118. Průměr všech hodnot aritmetického průměru výšky povrchu měřené plochy (Sa) je 0,161 s odchylkou 0,033.



Obrázek 24 Graf Sz broušeného vzorku

Z bodového grafu (Obrázek 24) vidíme, že hodnoty Sz opět nevykazují nějaké hrubé chyby a jsou podobné. Nejvyšší naměřená hodnota je 3,504 a nejmenší 1,781. Průměr všech hodnot maximální výšky plochy (Sz) je 2,529 s odchylkou 0,463.

7.3 Hodnoty drsnosti při válečkování

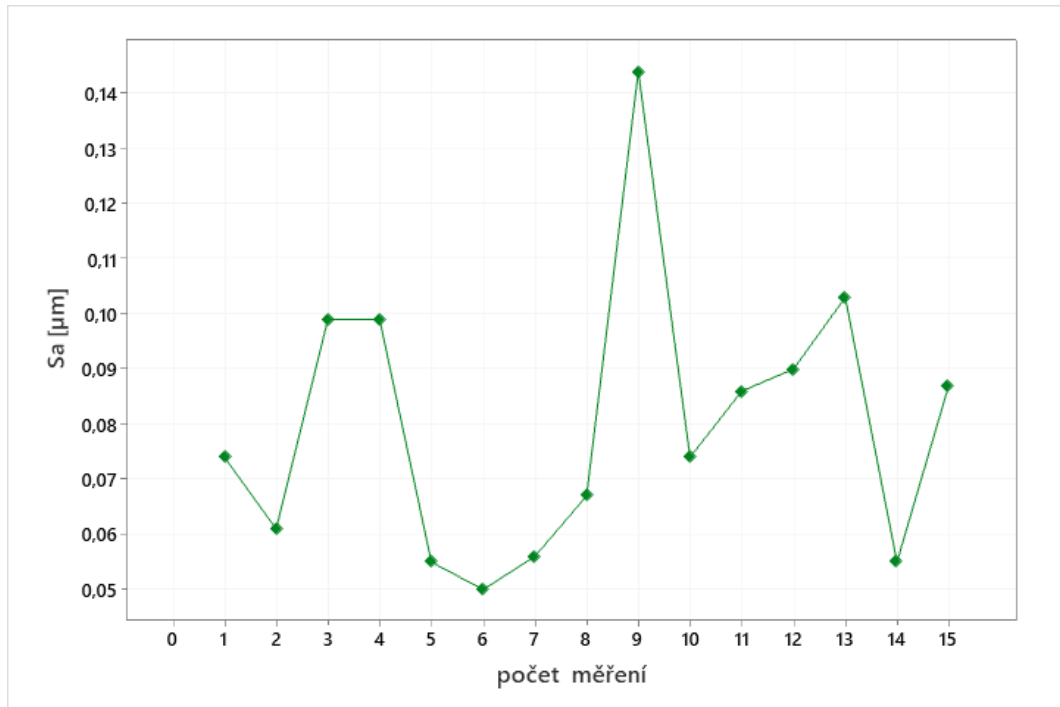


Obrázek 25 Plocha po válečkování

Na obrázku 25 můžeme vidět charakteristickou plochu vzorku, vzniká po použití obrábění metody válečkování, která byla nasnímána přístrojem při měření hodnot Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy), Sp (nejvyšší výstupek profilu), Sv (největší hloubka prohlubně profilu) a Sz (maximální výška plochy) které jsou zapsány v Tabulce 12.

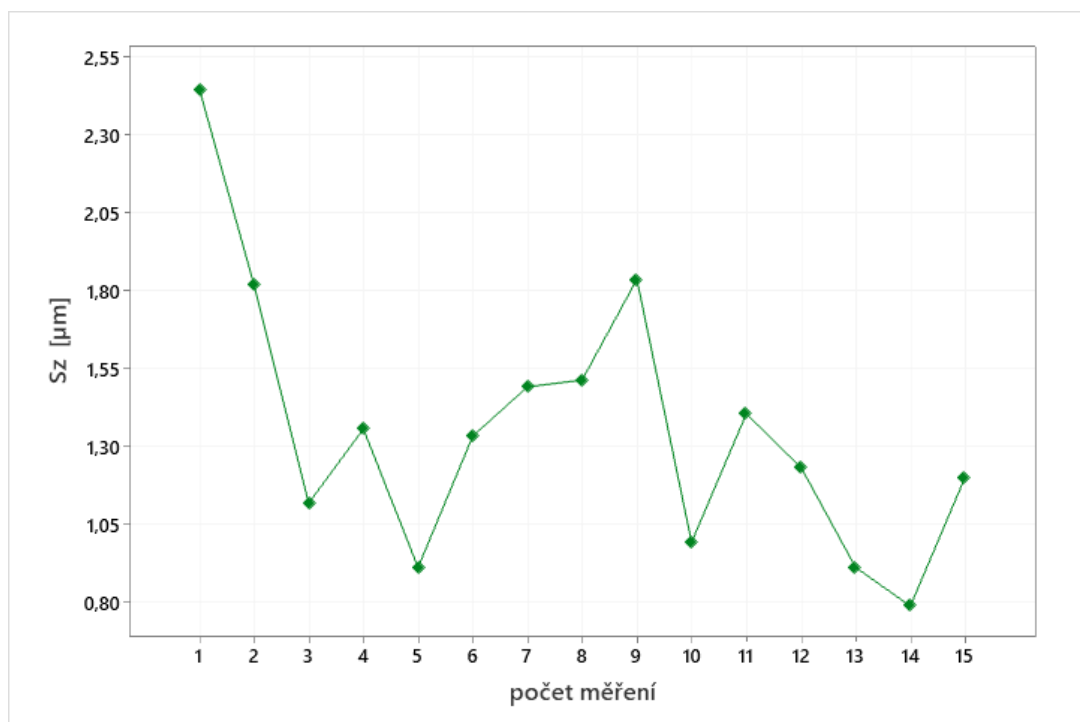
vzorek	Sa [μm]	Sp [μm]	Sv [μm]	Sz [μm]
1	0,074	0,441	-2,008	2,449
2	0,061	0,458	-1,363	1,821
3	0,099	0,550	-0,570	1,120
4	0,099	0,560	-0,798	1,358
5	0,055	0,439	-0,475	0,914
6	0,050	0,356	-0,980	1,335
7	0,056	0,350	-1,143	1,493
8	0,067	0,590	-0,925	1,515
9	0,144	0,630	-1,207	1,838
10	0,074	0,481	-0,514	0,995
11	0,086	0,382	-1,024	1,406
12	0,090	0,672	-0,563	1,235
13	0,103	0,560	-0,354	0,914
14	0,055	0,312	-0,478	0,790
15	0,087	0,340	-0,863	1,203

Tabulka 12 Naměřené hodnoty válečkování



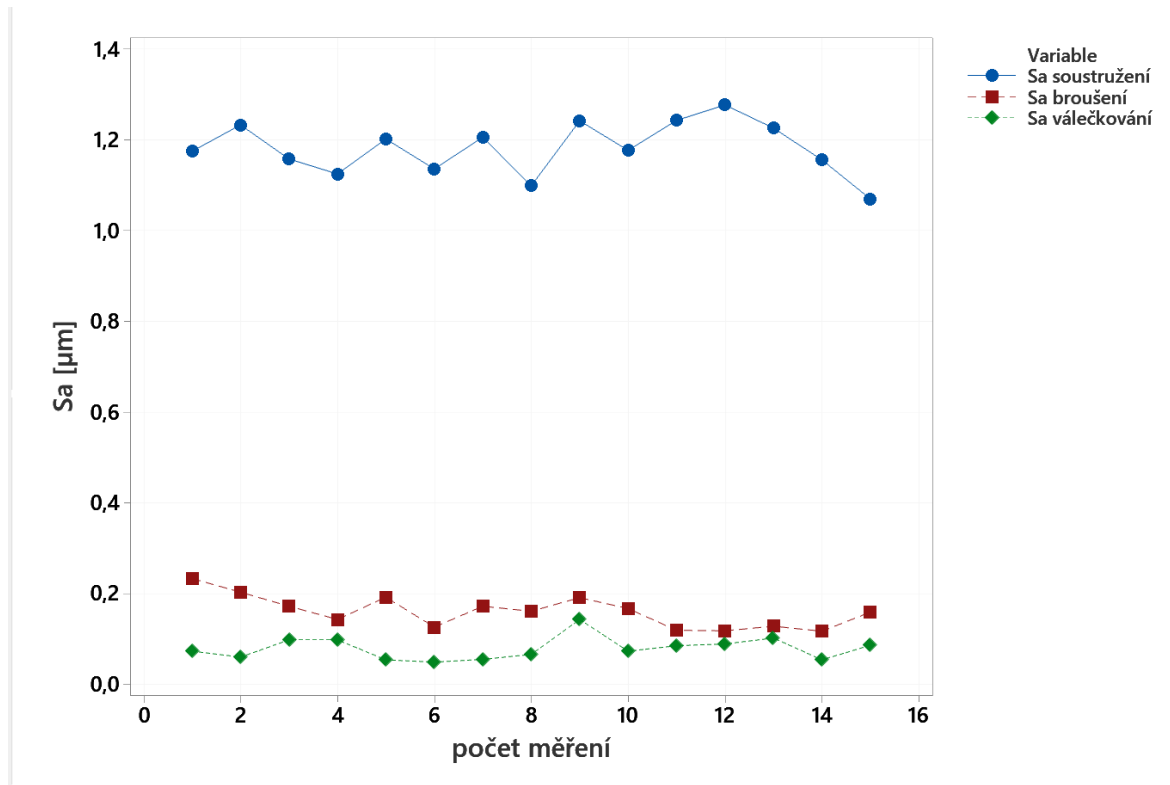
Obrázek 26 Graf Sa válečkovaného vzorku

V grafu (Obrázek 26) může divíme opět velmi podobné hodnoty až na hodnotu měření 9 která je dost větší než všechny ostatní. Nejvyšší naměřená hodnoty Sa je 0,144 a nejmenší 0,050. Průměrná hodnota výsledku měření je 0,08 s odchylkou 0,024.



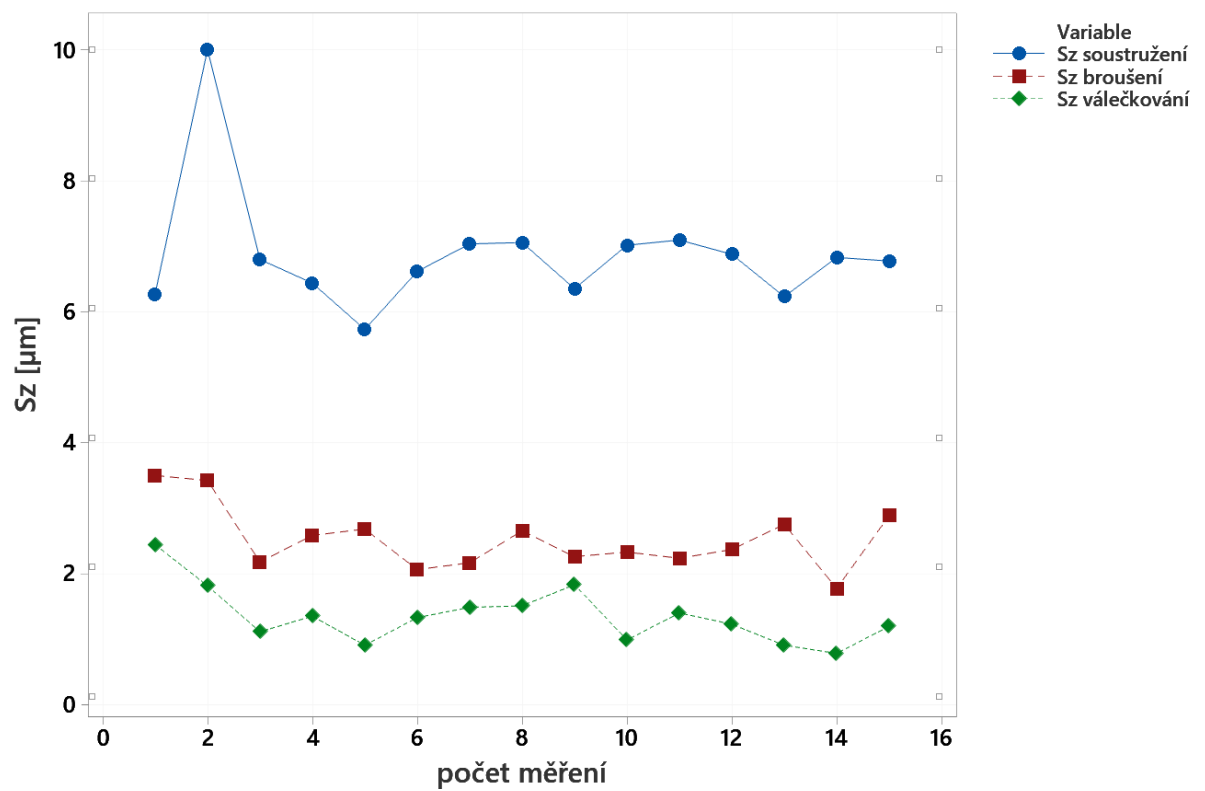
Obrázek 27 Graf Sz válečkovaného vzorku

V grafu (Obrázek 27) opět pozorujeme jednu hodnotu která je vyšší než ostatní 2,449 a nejmenší naměřená hodnota Sz je 0,790. Průměrná hodnota výsledku měření je 1,359 s odchylkou 0,418.



Obrázek 28 Graf porovnání Sa pro měřené metody

Na grafu (Obrázek 28) jsou srovnány hodnoty aritmetického průměru výšky povrchu měřených ploch pro všechny tři metody výroby.



Obrázek 29 Graf porovnání Sz pro všechny měřené metody

Na grafu (Obrázek 29) jsou srovnány hodnoty maximální výšky ploch pro všechny tři metody výroby.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo statistické vyhodnocení jakosti obrobeného povrchu pomocí technologie soustružení, broušení a válečkování a zhodnotit jejich povrchy pomocí parametru S_a – aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy a parametru S_z – maximální výška plochy.

V teoretické části je rozdělena na tři kapitoly. První dvě jsou zaměřeny na normy ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288 ve kterých jsou popsány pojmy a parametry potřebné k charakteristice struktury povrchu. V poslední kapitole jsou popsány možné technologie obrábění a jejich dosahované drsnosti.

Praktická část je zaměřena na popis bezkontaktního měřicího přístroje NewView™ 9000 a dále na výsledky jednotlivých vzorků za použití daných technologií obrábění. Výsledky jsou statisticky vyhodnocené v grafech.

Při měření vzorků určitou metodou obrábění byly na fotkách zachyceny charakteristický vzhled povrchu a stopa po nástroji opakující se u každého měření. Například při mikroskopickém přiblížení jako bylo použito při měření můžeme pozorovat u technologie obrábění charakteristické svislé pruhy (viz. Obrázek 12) na povrchu, kvůli břitu který je použit. Při technologii broušení není přesně definován tvar a velikost brusiva, a tak při příčném posuvu obrobku dochází k povrchu viz Obrázek 15. Při metodě válečkování, kde nedochází k úběru materiálu, ale k odvalování tvrdého prvku od povrchu vzniká charakteristická tvar viz. Obrázek 18.

Při pohledu na vzorky a srovnání vyhodnocených měření s teoretickými znalosti opravdu vyšel jako vzorek z nejvyšší kvalitou jakosti vzorek po válečkování a nejmenší po soustružení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda-Termíny, definice a parametr struktury povrchu. Březen 1999.

[2] ČSN EN ISO 4288: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda-Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Březen 1999.

[3] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. -. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.

[4] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. Strojírenská technologie 3. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-718-3207-3.

[5] 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.

[6] Contact-type surface roughness/profile measuring instruments. [online]. [cit.2020-12-5]. Dostupné z:

https://www.keyence.com/ss/products/microscope/roughness/equipment/line_01.jsp

[7] Optimization of parameters in cylindrical and surface grinding for improved surface finish. [online]. [cit.2020-12-5]. Dostupné

z:<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.171906>

[8] What is honing? [online]. [cit.2020-12-5]. Dostupné z: <https://www.lapmaster-wolters.com/what-is-honing.html>

[9] Drsnost povrchu dle DIN EN ISO - HOMMEL CS s.r.o. HOMMEL CS s.r.o. [online].

Teplice: HOMMEL CS, 2017 [cit. 2020-11-5]. Dostupné z: [https://](https://www.hommeletamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/)

www.hommeletamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/

[10] BUMBÁLEK, L. a kol. *Kontrola a měření. Informatorium, spol. s r.o. Praha, 2009.*
ISBN 978-80-7333-072-9

[11] MELOUN, Milan. *Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Academia, 2002,*
764 s. ISBN 80-200-1008-4.

[12] WHITEHOUSE, D. *Surfeces and their measurment. London: HPS, 2002, xi, 395 p.*
ISBN 978-80-7300-249-7.

[13] *Webové stránky ZYGO - <https://www.zygo.com/?/met/profilers/newview9000/>*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Rq Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu

Rp Největší výška výstupku profilu

Rc Průměrná výška prvků profilu

Rv Největší hloubka prohlubně profilu

Rt Celková výška profilu

Rz Největší výška profilu

Ra Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu

Lr Základní délka

Xs Průměr šířek prvků profilu v rozsahu základní délky

Rsk Špičatost posuzovaného profilu

Rku Špočatost posuzovaného

Sku Špičatost omezeného stupnicí povrchu

Ssk Šikmost omezené stupnicí povrchu

Sq Základní průměr výšky

Sz maximální výška plochy

Sa Aritmetický průměr výšky povrchu ve 3D

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti	11
Obrázek 2 Profil povrchu.....	12
Obrázek 3 Obecný tvar profilu	12
Obrázek 4 Drsnost povrchu	13
Obrázek 5 Vlnitost povrchu.....	13
Obrázek 6 Prvek profilu.....	14
Obrázek 7 Největší výška výstupků profilu.....	15
Obrázek 8 Největší hloubka prohlubní profilu	16
Obrázek 9 Šířka prvků profilu	18
Obrázek 10 Schéma podélného a čelního soustružení	25
Obrázek 11 Frézování válcové a čelní [4].....	26
Obrázek 12 Průřez třísek odebíraných frézováním[4]	26
Obrázek 13 Tvar zrna brousícího kotouče [3]	31
Obrázek 14 Charakteristická vzhled honované plochy [4].....	32
Obrázek 15 Princip lapování a lapovací stroj [4].....	33
Obrázek 16 Schéma superfinišování [3].....	34
Obrázek 17 Vzorky	37
Obrázek 18 Měřicí přístroj.....	38
Obrázek 19 plocha po soustružení	39
Obrázek 20 Graf Sa soustruženého vzorku	41
Obrázek 21 Graf Sz soustruženého vzorku	42
Obrázek 22 Plocha po broušení	43
Obrázek 23 Graf Sa broušeného vzorku,.....	45
Obrázek 24 Graf Sz broušeného vzorku.....	45
Obrázek 25 Plocha po válečkování	46
Obrázek 26 Graf Sa válečkovaného vzorku	48
Obrázek 27 Graf Sz válečkovaného vzorku	48
Obrázek 28 Graf porovnání Sa pro měřené metody	49
Obrázek 29 Graf porovnání Sz pro všechny měřené metody	50

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Dosahované parametry přesnosti při soustružení [3].....	25
Tabulka 2 Dosahované parametry při frézování [3].....	27
Tabulka 3 Dosahované parametry přesnosti při vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování [3]	28
Tabulka 4 Dosahované parametry přesnosti při hoblování a obrážení [3].....	29
Tabulka 5 Dosahované parametry přesnosti při protahování [3].....	29
Tabulka 6 Dosahované parametry při broušení [3].....	31
Tabulka 7 Dosahované parametry přesnosti při honování [3].....	32
Tabulka 8 Dosahované parametry při lapování [3].....	33
Tabulka 9 Dosahované parametry přesnosti při superfinišování [3]	34
Tabulka 10 Hodnoty měření	40
Tabulka 11 Hodnoty měření vzorku po broušení.....	44
Tabulka 12 Naměřené hodnoty válečkování	47