

Replikace povrchu kovové vstřikovací formy

David Brostík

Bakalářská práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Brostík**
Osobní číslo: **T16054**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Replikace povrchu kovové vstříkovací formy**

Zásady pro vypracování:

- 1. Bude provedena kontrola povrchů pomocí mikroskopu, replikace vybraných ploch a snímání obou povrchů pomocí bezkontaktního profiloměru**
- 2. Nakonec budou naměřené hodnoty vyhodnoceny dle požadavků normy a statisticky vyhodnoceny**

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné 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 řešené úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milena Kubišová, PhD.**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 19. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 15.5.2019

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá replikací povrchu kovové vstřikovací formy. Teoretická část je zaměřena na materiály, z kterých byly formy vyrobeny, normy pro vyhodnocování povrchu, metody obrábění a na statistické zpracování naměřených dat. V praktické části je ukázán postup replikace povrchu pomocí stomatologických otiskovacích hmot pro tři různé kovové formy (hliník, mosaz, měď), provedení snímání povrchu bezkontaktním profiloměrem Zygo NewView™ 9000 a následné statistické porovnání měřených povrchů.

Klíčová slova: Replikace, povrch, bezkontaktní měření, profiloměr Zygo

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with replicating the surface of the metal injection mold. The theoretical part is focused on materials, of which the forms have been produced, standards for evaluation of surface, on methods surfacing and on statistical processing of measured data. In the practical part is demonstrated process of surface replication by dent dental and imprinting substance for different kinds of metal forms (aluminium, brass, cuprum), subsequently is scanned surface of contactless profilometer, called Zygo NewView™ 9000 and in conclusion statistical comparison of measured surfaces.

Keywords: Replication, surface, non-contact surface measurement, profilometer Zygo

Velký dík patří mé vedoucí bakalářské práce Ing. Mileně Kubišové, Ph.D. za pozitivní přístup, velkou ochotu, pomoc, odborné vedení a rady, které mi pomohly při vypracování této práce. Poděkování patří také mé rodině, přítelkyni a přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 NEŽELEZNÉ KOVY.....	12
1.1 HLINÍK A JEHO SLITINY	12
1.1.1 Technicky čistý hliník	12
1.1.2 Slitiny hliníku.....	12
1.2 MĚĎ A SLITINY MĚDI	14
1.2.1 Mosaz	14
1.2.2 Tepelné zpracování mědi a slitin mědi.....	15
2 NORMY PRO MĚŘENÍ POVRCHU	16
2.1 ZÁKLADNÍ TERMÍNY A DEFINICE.....	16
2.2 DEFINICE PARAMETRŮ PROFILU POVRCHU.....	17
2.2.1 Výškové parametry	17
2.2.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic)	19
2.2.3 Délkové parametry (šířkové).....	19
2.2.4 Pravidlo 16 %.....	20
2.2.5 Pravidlo maxima	20
2.3 PARAMETRY POVRCHU PLOCHY (3D)	21
2.4 POROVNÁNÍ 2D A 3D METODY SNÍMÁNÍ.....	22
3 METODY OBRÁBĚNÍ.....	23
3.1 ZÁKLADNÍ METODY OBRÁBĚNÍ	23
3.1.1 Frézování	23
3.1.2 Soustružení	24
3.1.3 Vrtání.....	24
3.1.4 Obražení a hoblování	24
3.1.5 Protahování a protlačování.....	24
3.1.6 Broušení	25
3.2 CNC OBRÁBĚNÍ.....	25
4 STATICKÉ HODNOCENÍ	26
4.1 PRŮZKUMOVÝ ANALÝZA EDA	26
4.2 TESTOVÁNÍ NORMALIT	26
4.2.1 Test outlierů	26
4.2.2 F test.....	27
4.2.3 Transformace dat.....	27
4.2.4 T test.....	28
4.3 CHYBY MĚŘENÍ	28
5 CÍL PRÁCE	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
6 VÝROBA REPLIK	32

6.1	REPLIKOVANÝ POVRCH	32
6.2	MATERIÁL REPLIK	32
6.3	POSTUP VÝROBY	33
7	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	34
8	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	36
8.1	HLINÍK	36
8.2	MOSAZ	38
8.3	MĚĎ	40
	ZÁVĚR	43
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	45
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	47
	SEZNAM OBRÁZKŮ	49
	SEZNAM TABULEK.....	50

ÚVOD

Se stále většími požadavky na kvalitu povrchu se musejí hledat nové metody, jak povrch měřit. V určitých situacích není možné povrch nasnímat. Replikace povrchu má za úkol vyřešit tento problém. Povrch, který replikujeme a následně vyhodnotíme dosahuje téměř stejných parametrů. Ovšem pro tento proces tvorby replik je nutno mít zaškolený personál, který dokáže vyrobit repliky bez vad, které by mohly ovlivnit měření. Neustálým opakováním práce se dokáže obsluha zdokonalit natolik, že přestanou vznikat hrubé chyby.

Teoretická část této bakalářské práce je rozdělena na 4 kapitoly. V první kapitole je popsán materiál forem, jeho základní charakteristiky, zpracování a použití. Druhá kapitola se zabývá normami pro vyhodnocování povrchu. V třetí kapitole jsou uvedeny metody obrábění, díky kterým vzniká povrch. Poslední kapitola se zabývá statistickým vyhodnocením.

Praktická část je zaměřena na replikaci povrchu kovových vstřikovacích forem. Je zde popsán postup výroby a materiál, z kterého jsou repliky vyrobeny. Následně je popsáno měření bezkontaktním profilometrem Zygo NewView™ 9000. V závěru se práce zabývá statistickým vyhodnocením a porovnáním.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NEŽELEZNÉ KOVY

Z globálního měřítka výroby a spotřeby kovových materiálů tvoří neželezné kovy velmi nízkou skupinu a to zhruba 5 %. Ovšem v této skupině nejsou započteny slitiny železných kovů. Neželezné kovy mají své specifické vlastnosti, díky kterým jsou ve většině případů použití nenahraditelnými. Nejčastěji se jedná o tepelnou a elektrickou vodivost, měrnou tepelnou roztažnost, kluzné vlastnosti, odolnost vůči korozi. [8]

1.1 Hliník a jeho slitiny

1.1.1 Technicky čistý hliník

Hliník se vyznačuje velmi dobrou odolností proti korozi, dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí a nízkou hustotou ($2,7 \text{ g/cm}^3$). Teplota tavení se nachází u 660°C . Hliník krystalizuje v kubické soustavě s plošně středěnou mřížkou. Díky této krystalizaci je dobře obrobitelný, dobře se tváří za tepla i studena. Slévateľnost a svařitelnost je obtížná. Z mechanického hlediska hliník na tom není příliš dobře, jeho pevnost není vysoká. Vyšší pevnosti se dá dosáhnout tvářením za studena. Jeho dobrá odolnost vůči korozi je důsledkem tenké vrstvy Al_2O_3 , která vzniká na povrchu v tloušťce zhruba $0,1 \mu\text{m}$. Čím je čistší, tím je odolnost vůči korozi lepší. Co se týče produkce, je hliník používán zejména (zhruba 60 %) pro zpracování plechů. Další využití pro tyče a dráty, elektro vodivý materiál, kondenzátory, chemický a potravinářský průmysl. [7,8,9]

1.1.2 Slitiny hliníku

Slitiny hliníku se nejčastěji rozdělují podle způsobu zpracování na slitiny hliníku pro tvářením a na slitiny hliníku pro odlitky. [8]

Slitiny hliníku pro tvářením

- Nízkopevnostní slitiny s dobrou odolností vůči korozi

Všechny slitiny zařazené v této podskupině neobsahují měď. Díky tomu se vyznačují dobrou odolností proti korozi, což má za následek, že tepelným zpracováním už nedosáhneme výrazně lepších vlastností. Patří sem slitiny soustav Al-Mg, Al-Mg-Si, Al-Mn. Mají dobrou svařitelnost, lomovou houževnatost a jsou vhodné ke tvářením.

Slitiny Al-Mg. Obvykle se používají slitiny s obsahem hořčíku méně než 6 %. U slitin s větším obsahem se objevuje větší náchylnost ke korozi. Nemají příliš velkou pevnost v tahu, zvyšuje se tvářením. Stupeň deformace se pohybuje v rozmezí 20 až 30 %, při větší už materiál není dobře tvářitelný a náchylnější ke korozi.

Slitiny Al-Mg-Si. Tepelným zpracováním lze dosáhnout dobrých vlastností. Mezi jejich přednosti patří dobrá tvářitelnost a svařitelnost. Největšího využití mají v leteckém průmyslu a stavebnictví.

Slitiny Al-Mn. Tyto slitiny se nikterak tepelně nezpracovávají, protože by došlo k nepoznatelnému zlepšení pevnosti. Využití je téměř stejné jako u Al-Mg. Mimo jiné se používá jako častá náhrada čistého hliníku z důvodu větší pevnosti.

- **Vysokopevnostní slitiny se špatnou odolností vůči korozi**

slitiny Al-Cu-Mg. Nejpoužívanější vysokopevnostní slitiny, označovány „duraly“. Tepelným zpracováním lze dosáhnout značné pevnosti. Při dlouhodobém zatěžování nesmí teplota přesáhnout 150 °C. Duraly s obsahem hořčíku do 2-2,5 % lze dlouhodobě zatěžovat při teplotě do 200 °C. Lépe tvarovatelné jsou duraly se sníženým obsahem mědi a jejich hlavní využití je pro výrobu nýtů. Pevnost ve stříhu se nachází někde okolo 200 MPa. Pro výrobu nýtů nemusí být nijak tepelně zpracovány, nedochází ke vzniku trhlin při tvorbě hlavy. Duraly s obsahem niklu jsou vhodné na dlouhodobé zatěžování za teplot do 300 °C.

slitiny Al-Zn-Mg. Jsou to ty vůbec nejpevnější slitiny hliníku. Značnou nevýhodou je menší lomová houževnatost, náchylnost na korozi a vyšší vrubová citlivost. Velkou roli hraje tepelné zpracování, které se odrazí na mechanických vlastnostech, korozní, lomové a únavové odolnosti.

slitiny Al-Li. Slitiny s lithiem musí být taveny a slévány v ochranné atmosféře, protože lithium velmi snadno oxiduje na vzduchu. Binární soustavy se vyznačují velkou křehkostí a nízkou tažností. Největší výhodou slitin s lithiem je menší hmotnost o 5-10 %, větší modul pružnosti v tahu v porovnání s ostatními slitinami hliníků. Pevnost v tahu je téměř stejná jako u duralů.

Slitiny hliníku pro odlitky

Slouží pro výrobu tvarově složitých součástí. Lití může probíhat do pískových nebo kovových forem, případně použití tlakového lití. Z mechanického hlediska mají odlévané součásti horší charakter než výrobky tvářené. Dalším důležitým faktorem je způsob odlévání. Při lití

do písku vznikne hrubá struktura, jež má daleko horší mechanické vlastnosti než jemná struktura, která se tvoří při lití do kovových forem či tlakovém lití.

Binární siluminy. Jsou to slitiny Al-Si. Podle procentuálního obsahu křemíku je můžeme rozdělit na podeutektické (do 11,7 %), eutektické (okolo 11,7 %), nadeutektické (pod 24 a nad 11,7 %). Pro odlévání je nejvíce vhodné použít eutektické siluminy. Mezi hlavní výhody binárních siluminů patří velmi dobrá odolnost vůči korozi. Mezi nejhojnější použití patří pájky na hliník.

Speciální siluminy. Přidáním příměsí hořčíku a mědi se dosáhne lepších pevnostních vlastností binárních siluminů. Díky tomu můžou odolávat dlouhodobému zatížení za teplot do 275 °C, avšak se zhorší slévárenské vlastnosti. Pokud je potřeba dosáhnout některých ostatních vlastností, učiní se tak přidáním některého z jiných prvků (Mn, Ni, Zn, Ti). To má za následek vzniku nových soustav siluminů. Speciální siluminy jsou využívány především na tvarově složité a tenkostěnné odlitky, např. písty, skříně motorů, disky kol. [8]

1.2 Měď a slitiny mědi

Měď a cínové bronzы se řadí k nejstarším kovovým materiálům, které lidé užívali (doba bronzová). Měď a většina její slitin jsou dobře tvárné za tepla, studena i za teplot pod bodem mrazu, také jsou vhodné ke svařování, pájení. Vyznačují se dobrou obrobiteľností a dobrou odolností vůči korozi. Velkou výhodou je možnost zpracování vratného odpadu. Má vynikající elektrickou a dobrou tepelnou vodivost. Největší spotřeba ve výrobě je na vodiče elektrotechniky. Zhruba jedna polovina mědi se spotřebuje na měděné výrobky, druhá polovina na výrobu slitin. Vodiče z čisté žíhané mědi, které jsou mechanicky zatíženy, se zpevňují tažením za studena nebo přísadami kadmia, chromu či stříbra. To má za následek snížení elektrické vodivosti o 2 až 20 %. Měděné plechy se používají jako okapové žlaby, svody a střešní krytina. Jejich životnost je velmi vysoká. Měď se zpevňuje tvářením za studena a dosáhne až $R_m = 440$ MPa. S rostoucí teplotou klesá pevnostní a plastická charakteristika. Při teplotách 400-500 °C jsou hodnoty nejmenší. Měď lze používat i za velmi nízkých teplot, avšak pod bodem mrazu křehne. [8]

1.2.1 Mosaz

Je to slitina mědi a zinku. Na výrobu této slitiny se spotřebuje zhruba čtvrtina veškeré produkce mědi. Binární soustava Cu-Zn je základem této slitiny a patří k fázově nejsložitějším.

Mezi hlavní výhody mosazí patří dobrá obrobitelnost, vodivost a odolnost vůči korozi. Při výrobě dochází k odpařování zinku a klade se důraz na dodržování a nepřekračování tavicí teploty. V technické praxi se obvykle používají mosazi s obsahem nad 58 % mědi, jejich tvrdost a křehkost není příliš vysoká. [8]

Mosazi pro tváření mohou být homogenní i heterogenní, obsah zinku je od 5 do 42 %. Mosazi s obsahem větším než 80 % mědi se nazývají tombaky. Vyznačují se dobrou tvárností za studena a nepodléhají korozi. Jejich využití je k výrobě p lechů a pásu, které se dále zpracovávají tažením, lisováním, tlačením a ražením. [12,8]

Mosazi pro odlitky zpravidla obsahují 58 až 63 % mědi. Vyznačují se velkým smrštěním (i více než 1,5 %), díky kterému jsou náchylné ke vzniku dutin a staženin. Lepší obrobitelnosti se dosahuje přidáním olova (1-3 %). Používají se pro součásti čerpadel, které nejsou příliš namáhány. Dále se používají pro ložisková pouzdra, ozubená kola, šneky, ventily, armatury. [8]

1.2.2 Tepelné zpracování mědi a slitin mědi

Nejčastější tepelné zpracování mědi je *rekrytalizační žihání* po dobu jedné hodiny, při teplotě 370-450 °C a ochlazováním na vzduchu. Pokud je měď znečištěna kyslíkem a žihaná za teplot přesahujících 400 °C v prostředí, které obsahuje vodík, dochází ke zkřehnutí nebo tvorbě bublin na povrchu. Tento jev se nazývá vodíková nemoc mědi.

Rekrytalizační živání slitin. Používá se pro slitiny mědi, aby se dosáhlo změkčení polotovaru. Teplota žihání se pohybuje v rozmezí 425-600 °C a závisí na druhu slitiny a stupni deformace.

Žihání pro snížení vnitřního pnutí. Používá se u mosazí, u kterých pnutí vyvolává korozní praskání. Probíhá při teplotách 250-300 °C. [8]

2 NORMY PRO MĚŘENÍ POVRCHU

ČSN EN ISO 4287 - Předmětem této normy je stanovit definice, termíny a parametry, které poslouží pro určení struktury povrchu pomocí profilové metody. [1]

ČSN EN ISO 4288 – Táto norma určuje pravidla a postupy pro srovnání naměřených dat struktury povrchu měřených profilovou metodou. [2]

ČSN EN ISO 25178-2 – Táto druhá část normy stavuje definice, termíny a parametry textury povrchu pomocí plošné metody [3]

2.1 Základní termíny a definice

Mezi základní parametry měřeného povrchu patří tvar, vlnitost a drsnost. Pomocí vlnové délky se určí rozhraní mezi parametry.

Materiál tvarově obsahuje části nerovností, jejichž stavba je složena z vyšších vlnových délek, než je sama vlnitost. Nerovnosti mohou být vytvořeny s nějakým úmyslem nebo neúmyslně, například tepelnou deformací nástroje při obrábění.

Nerovnosti opakující se v pravidelných intervalech se nazývají vlnitosti, které mohly vzniknout nevhodným zvolením řezných podmínek. [1]

Jako drsnost povrchu jsou označovány „náhodné“ stopy po řezném nástroji. Jsou to nejjemnější nerovnosti. [13]

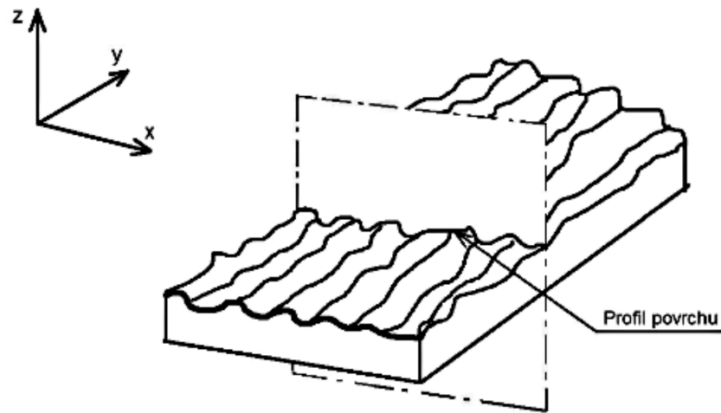
Filtr profilu – obvykle se používají 3 filtry, které mají stejné přenosové charakteristiky pro naměření drsnosti, vlnitosti a základního profilu, avšak mezní vlnová délka cut-off má rozdílné hodnoty. Filtr rozdělí profil na dlouhovlnný a krátkovlnný. [1]

Filtry:

- Filtr profilu λ_s – stanovuje hranice mezi drsností a kratšími složkami vln
- Filtr profilu λ_c – stanovuje hranice mezi složkami drsnosti a vlnitosti
- Filtr profilu λ_f – stanovuje hranice mezi vlnitostí a delšími složkami vln

Souřadnicový systém – systém, který je definovaný pomocí parametrů struktury povrchu. Nejčastěji se používá kartézská pravotočivá soustava, tj. taková, ve které je osa X souběžná se střední čarou ve směru snímání, osa Y leží také na skutečném profilu a osa Z míří pryč z povrchu. [1]

Profil povrchu – profil, který vznikl jako průsečnice skutečného povrchu a roviny, která je kolmá k rovině skutečnému povrchu [1]



Obr. 1 Profil povrchu [1]

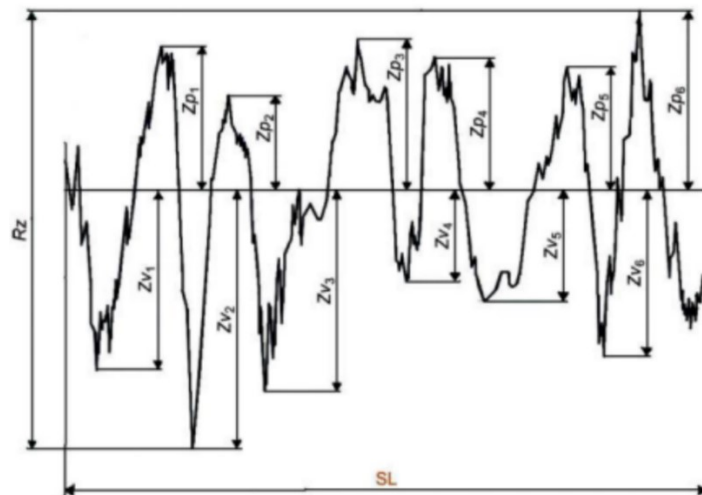
2.2 Definice parametrů profilu povrchu

K vyhodnocení struktury povrchu, který se nasnímal kontaktním profilometrem ve dvourozměrném měření se nejčastěji používají parametry, které jsou konvekční a normalizované. [1]

2.2.1 Výškové parametry

Hodnoty výstupků a prohlubní se zjišťují z výškových parametrů. Dále uvedené výškové parametry z normy ČSN EN ISO 4287 jsou citovány. [1]

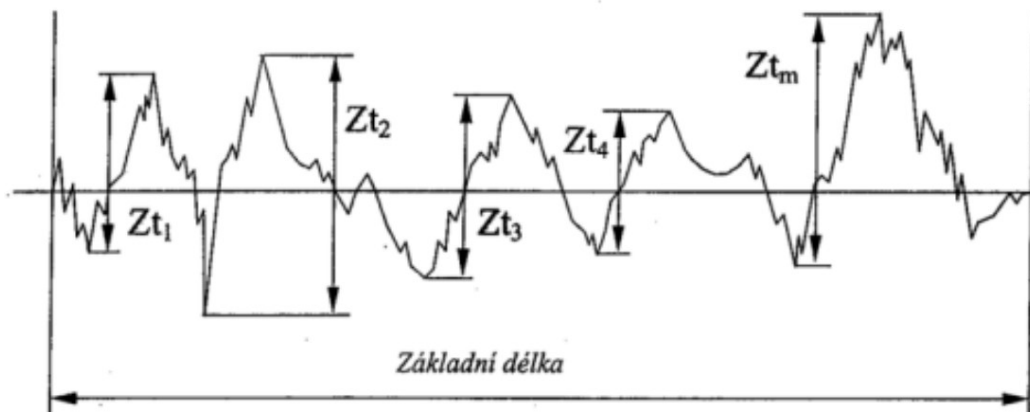
- „**Největší výška výstupku profilu R_p** - výška ZP nejvyššího výstupku profilu a rozsahu základní délky“.



Obr. 2 Největší výška profilu [1]

- „**Největší hloubka prohlubně profilu R_v** – hloubka ZV nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky“.
- „**Největší výška profilu R_z** – součet výšky ZP nejvyššího výstupku profilu a hloubky Zv nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky“.
- „**Průměrná výška prvků profilu R_c** – průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky“.

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i} \quad (1)$$



Obr. 3 Průměrná výška prvků profilu [1]

- „**Celková výška profilu R_t** – součet výšky Zp nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky“



Obr. 4 Celková výška profilu [1]

2.2.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic)

- „**Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu, Ra** – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu délky l “.

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (2)$$



Obr. 5 Průměrná aritmetická úchylka [1]

- „**Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu Rq** – kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu délky l “.

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx} \quad (3)$$

- „**Šikmost posuzovaného profilu Rsk** – podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty Rq v rozsahu délky l “.

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left| \frac{1}{l} \int_0^l |Z^3(x)| dx \right| \quad (4)$$

- „**Špičatost posuzovaného profilu Rku** – podíl poměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky l “.

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left| \frac{1}{l} \int_0^l |Z^4(x)| dx \right| \quad (5)$$

2.2.3 Délkové parametry (šířkové)

- „**Průměrná šířka prvků profilu Rsm** - aritmetický průměr šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky“.

$$Rsm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad (6)$$



Obr. 6 Průměrná šířka prvků profilu [1]

2.2.4 Pravidlo 16 %

Sledovanou plochu hodnotíme na základě porovnání dat získaných z přístroje, kterým měříme parametry struktury povrchu, a předepsanými hodnotami na výrobní dokumentaci. [1]

Pokud chceme hodnotit plochu, musíme vycházet z normy ČSN EN ISO 4288. Měřený parametr má určitý rozptyl hodnot, který je zahrnut ve výše citované normě, a proto stanovuje pravidlo 16-ti %. Je nutné provést kontrolu struktury povrchu na homogenitu, a pokud je povrch homogenní, je nezbytností hodnotit měřitelné parametry zvlášť na každé ploše podle výrobní dokumentace.

2.2.5 Pravidlo maxima

Skládali se povrch obrobene součásti z ploch o různé struktuře, hodnotí se parametry na každé ploše jednotlivě podle výrobní dokumentace. Na části povrchu, kde se předpokládají kritické hodnoty, se provede měření. Aby byly získány nezávislé výsledky, je nutno měření provést rovnoměrně na části povrchu, který je zhodnocen vizuálním pozorováním.

Pokud je specifikovaná největší hodnota parametru, poté nesmí při kontrole požadavků žádný z měřených parametrů na celém povrchu přesáhnout hodnotu, která je dána výrobní dokumentací. [2]

2.3 Parametry povrchu plochy (3D)

S postupujícím časem se kladou stále větší požadavky na kvalitu povrchu a s tím spojené měření povrchu, a to jak kvalitativně, tak rychlostí zpracování dat. Je nutné přinášet nová hlediska měření a hodnocení povrchu. Požaduje se předpovědění chování součásti. Směr dalšího vývoje je prostorové zobrazení a hodnocení povrchu.

Prostorovým zobrazením a hodnocením povrchu se dá dosáhnout podrobnějších informací o nerovnostech povrchu, délce životnosti součástky či funkčních vlastnostech povrchu. 3D hodnocení textury povrchu je určitá analogie ke dvojrozměrné analýze povrchu, avšak je obohacena o nově použitelné znalosti charakteru profilu plochy. Jde o spojení popisu a termínů pro jeden profil povrchu (profilová metoda) s pojmy, které nově vznikly a geometrií nerovností povrchu na ploše, pak jde o plošnou metodu, která je popsána matematicky. [3]

- „**Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu, Sa** – aritmetický průměr absolutních hodnot koordinace uvnitř určené plochy A“.

$$Sa = \frac{1}{A} \iint_A |Z(y, x)| dx, dy \quad (7)$$

- „**Základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu Sq**“

$$Sq = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A |Z(y, x)| dx, dy} \quad (8)$$

- „**Šikmost omezené stupnice povrchu** – kvocient průměrné hodnoty koordinační krychle a hodnot krychle Sq uvnitř plochy (A)“

$$Ssk = \frac{1}{Sq^3} \left[\frac{1}{A} \iint_A |Z^3(y, x)| dx, dy \right] \quad (9)$$

- „**Špičatost omezené stupnice povrchu** - kvocient průměrné čtvrté mocniny koordinace a hodnoty čtvrté mocniny Sq uvnitř plochy (A)“

$$Sku = \frac{1}{Sq^4} \left[\frac{1}{A} \iint_A |Z^4(y, x)| dx, dy \right] \quad (10)$$

2.4 Porovnání 2D a 3D metody snímání

Profil povrchu se nejprve musí vyfiltrvat určitým filtrem (operátorem), aby bylo možné získat 3D parametry vlnitosti nebo drsnosti a posléze stanovit hodnoty 3D parametrů. 2D parametry jsou pouze průměrné hodnoty, které jsou vztaženy na počet základních délek, ale 3D parametry jsou určeny pro celou hodnocenou plochu.

Hodnocení povrchu ze zavedené praxe 2D měření, pomocí hodnot parametru drsnosti, není dostatečné. Stále nejvíce používanými parametry pro určení toho, jak je povrch kvalitní jsou parametry Rz a Ra. Největším problémem parametru Ra spočívá v tom, že i když profily povrchu jsou velmi odlišné, hodnoty mohou být stejné. Tato hodnota poté jednoznačně nevypovídá o funkčních vlastnostech velmi rozdílných povrchů a nelze určit například na rychlost opotřebení, zadržování maziv, schopnost odolávat předpokládanému zatížení či tendence ke vzniku trhlin ve stopách po obrábění. [1,3]

Velké výhody hodnocení 3D povrchu spočívají především v tom, že i jedna informace dokáže vypovědět o funkčnosti povrchu, která je požadována nebo přítomností vad, předpokládaným zatížením. [3]

Daleko spolehlivější a všestrannější je vyhodnocení charakteristiky povrchu z prostorových parametrů než získání hodnoty z běžně používaných parametrů profilu. Stanovení prostorových parametrů je nutno provádět z většího počtu dat než u parametrů lineárních. Získání těchto dat je daleko složitější než získat data z lineárního měření. [3]

3 METODY OBRÁBĚNÍ

Obrábění je technologický proces, při kterém dochází k odebírání materiálu obrobku a tvoření požadovaného povrchu. Nutností je dodržení rozměrů. [6]

3.1 Základní Metody obrábění

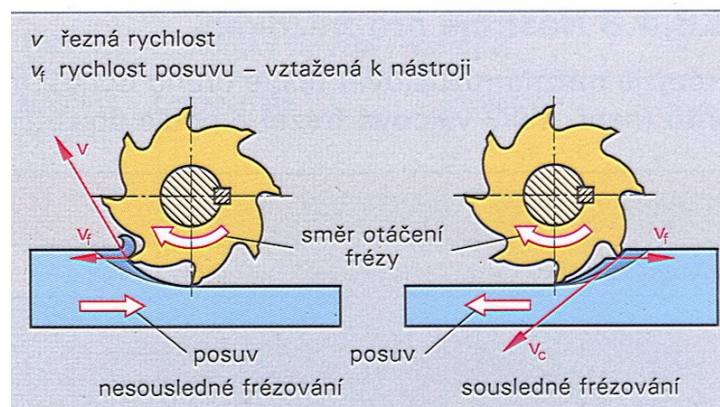
3.1.1 Frézování

Frézování je metoda obrábění, při které břity otáčejícího se nástroje odebírají třísky materiálu obrobku. Posuvný pohyb nejčastěji provádí obrobek, a to především ve směru kolmém na osu nástroje. Z technologického hlediska můžeme frézování rozdělit na válcové a čelní. Dále můžeme frézování rozdělit na sousledné a nesousledné.

Při *nesousledném frézování* se obráběná součást posouvá proti směru rotace frézy. Dochází ke vzniku velkých silových účinků, které opotřebovávají zuby nástroje. Jedna ze složek řezné síly odtahuje obrobek směrem nahoru od stolu.

Při *sousledném frézování* se obráběná součást posouvá ve směru rotace frézy. Řezná síla tlačí obrobek směrem dolů, tudíž nejsou velké požadavky na upnutí obrobku. Nedochází k takovému opotřebení nástroje, proto lze použít vyšší řezné rychlosti a posuvy. Největší tloušťka třísky vzniká, jakmile zuby frézy začnou odebírat materiál.

Řezné podmínky se volí podle požadované drsnosti povrchu, druhu užití frézy a podle druhu operace. Při hrubování se volí co největší velikost třísky a posuvu. [4]



Obr. 7 Rozdíl mezi sousledným a nesousledným frézováním [11]

3.1.2 Soustružení

Obráběcí metoda, při které dochází k oddělování třísky. Principiálně se jedná o velmi jednoduchý způsob obrábění vnitřních nebo vnějších rotačních ploch, který je ve strojírenství hojně využíván. Nástroj, který odděluje třísku od materiálu, se nazývá soustružnický nůž. Ten vykonává vedlejší pohyb posuvný, a to buď, obecný nebo přímočarý. Ve většině případů se jedná o jednobřítý nástroj. Hlavní řezný pohyb (rotační) koná obrobek a současně se jedná o řeznou rychlost v_c . Řeznou rychlost ovlivňuje řada faktorů, nejvíce však záleží na obráběném materiálu, velikosti třísky, trvanlivosti břitu a materiálu, z něhož je nástroj vyroben. [4]

3.1.3 Vrtání

Vrtání je jedna z nejvíce využívaných metod obrábění. Slouží pro výrobu, popřípadě pro zvětšení děr, které byly předvrtány. Hlavní řezný pohyb provádí nástroj, kterým je vrták. V méně častých případech tento pohyb provádí obrobek. Obráběcí stroje určené k tvorbě děr se nazývají vrtačky. Ty můžeme rozdělit na stolní, sloupové, stojanové a radiální. Vrtání se může provádět také na soustruhu, frézce nebo vyvrtávače. [4,5]

Vyhrubování a vystružování

Jedná se o dokončující operace vrtání, které se provádí, pokud je požadována vysoká přesnost děr. U děr, které jsou do 10 mm, se provádí pouze vystružování. Pokud jsou díry větších průměrů, nejprve se provede vyhrubování, posléze vystružování. [4]

3.1.4 Obražení a hoblování

Obrázení je metoda, při které se nástroj pohybuje přímočaře vratně. Obrobek koná posuvný pohyb, který je přerušovaný a kolmý na hlavní pohyb. Při hoblování provádí hlavní pohyb obráběná součást. Jakmile začne nástroj odebírat materiál, dochází ke vzniku nárazů. Když se hoblovací nůž, případně obrobek, vrací do výchozí polohy, rychlost je vyšší než při obrábění a probíhá „naprázdno“. Obražení a hoblování se používají pro obrábění rovinných ploch. [4,5]

3.1.5 Protahování a protlačování

Protahování a protlačování jsou dokončující, vysokoproduktivní obráběcí operace. Tyto metody se od sebe liší velikostí odebírané třísky na jeden zdvih, upnutím a konstrukcí nástroje. Lze je rozdělit na vnitřní (obrábění tvarových děr) a vnější (obrábění tvarových ploch). Při

protahování je obrobek pevně uchycen a nikterak se nepohybuje, protahovací trn odebírá třísku řeznou rychlostí v_c . Materiál je oddělován jednotlivými po sobě jdoucími zuby a v záběru je vždy tolik zubů, kolik se vleze roztečí t na obráběnou délku L . [4]

3.1.6 Broušení

Dokončující operace, pomocí které se dosahuje velké přesnosti, dobré jakosti povrchu a správného geometrického tvaru. U broušení není přesně stanovena geometrie břitu. Brousící kotouč se skládá z pojiva a zrn, které nejsou rozložena pravidelně. Odebírá velký počet malých třísek. Při broušení se dosahuje vysokých tvarových a rozměrových přesností. Řezná rychlost musí být volena optimálně, aby nedocházelo k tepelné deformaci obráběného povrchu. Pokud jsou řezné podmínky optimální, dochází k vylamování tupých zrn a nahrazení novým ostrým. Další vývoj broušení směřuje ke zlepšení brousících kotoučů, díky kterým se zvedne rychlost broušení a zmenší se tepelné jevy. [4,12]

3.2 CNC obrábění

Technologický proces obrábění je prováděn pomocí vytvořené programu. Jednotlivé kroky programu jsou posloupně seřazeny a zapsány alfanumerickými znaky. Program obsahuje informace o řezných podmínkách, pohybech pracovních nástrojů a pomocných funkcí. Zkratka CNC pochází z anglického *computerized numerical control*, přeloženo číslicové řízení strojů. Stroje jsou velmi flexibilní, pracují v cyklech a lze je ihned přizpůsobit jiné výrobě. Pro opětovnou výrobu lze použít už dříve vyrobený a používaný program. Vytvoření programu je náročné a je nutnost mít kvalifikovaný personál. Se stále rostoucími technickými nároky rostou i nároky na kvalitu programátorů. [4,15]

4 STATICKÉ HODNOCENÍ

4.1 Průzkumový analýza EDA

Odhalují se především statické zvláštnosti, a to symetrie a špičatost výběru.

Základem analýzy je určit o jaký typ dat se jedná. Analýza se provádí z hodnot průměru, šikmosti, špičatosti, mediánu a rozptylu. Analýza využívá především diagramy na principu rozptylu.

Krabicový graf neboli box-plotový diagram je jedna z dalších možností, jak určit o jaký typ dat se jedná. Graf jednoduše a přehledně znázorňuje odhad mediánu a odlehlé hodnoty.

Histogram je důležitou součástí průzkumu dat. Z výšky sloupců se dá snadno vyčíst četnost ale také symetrie a šikmost.

Často se provádí kombinace histogramu s jádrový odhad pravděpodobnosti, který se využívá ke stanovení hustoty, šikmosti a špičatosti.

Q-Q grafy jsou zejména senzitivní na odchylky konců neboli na extrémní hodnoty měření.

Kruhový graf ukazuje symetrii rozdělení dat. Jiné, než Gaussovo rozdělení je zobrazeno odchýlením od kružnic.

4.2 Testování normalit

Sestrojení histogramu je jednoduchá způsob pro zjištění, zda data mají Gaussovo rozdělení. Hodnoty měřené veličiny vnášíme do grafu na vodorovnou osu, na osu svislou jejich četnost. Pokud zkoumaná veličina nabývá nekonečně mnoha hodnot, osa se rozdělí na intervaly a četnost se určí jako počet pozorovaných hodnot v těchto intervalech. Jestliže tvar histogramu připomíná Gaussovu křivku, jedná se o normální rozdělení. [16]

4.2.1 Test outlierů

Odlehlý pozorovací bod, který je vzdálen od jiných pozorovaných se nazývá outlier. Odchylka může být způsobena variabilitou měření nebo experimentální chybou a může být ze souboru dat vyloučena. Může nastat náhodný výskyt odlehlých hodnot, ale ve většině případů naznačují chybu měření nebo zešikmenou distribuci. Jedná-li se o chybu měření, je nutno ji odstranit a, nebo se použije statistika, která není tolik citlivá na odlehlé hodnoty. U zešikmené distribuce, která naznačuje velkou šikmost, musíme být velmi obezřetní v použití

nástrojů a předpokladů, které uvažují normální rozdělení. Jako odlehlý bod můžeme označit chybný údaj, chybný postup a, nebo oblast, kde daná teorie nemusí platit. Čím více dat obsahuje výběrový soubor, tím je pravděpodobnost odlehlých hodnot menší. [17]

4.2.2 F test

Pokud je testovací statistika kteréhokoliv statistického testu, u kterého je F rozdělení pod nulovou hypotézou se nazývá F-test. Největšího využití nalezneme pro porovnání statických modelů, které se přidaly do datové řady, aby se zjistilo, který model nejvíce odpovídá populaci, z které byly data vzaty. Využití přesných F-testů se používá především u modelů, které obsahují data sestavené za pomoci nejmenších čtverců.

Pokud se uvažuje rozložení variability pro data, které jsou ve sbírce, vznikne tak velká většina F-testů. Statistická zkouška F testu může být vyjádřena jako poměr součtu dvou stupňovitých čtverců, které odráží různé původy variability. Součet čtverců je složen tak, že náchyllost statistiky je být větší, pokud nulová hypotéza neplatí. Proto, aby statistika sledovala distribuci F pod nulovou hypotézu, je potřeba statistické nezávislosti součtu čtverců a každý z nich by měl sledovat rozdělení X^2 . Druhá podmínka platí, jakmile jsou data nezávislé a mají normální rozdělení se společnou odchylku.

Běžný F-test ověřuje nulovou hypotézu $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$ proti alternativní $H_A: \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$. Předpokladem je normální rozdělení, zároveň výběry jsou nezávislé. Test se provede pomocí kritéria:

$$F = \max\left(\frac{s_x^2}{s_y^2}; \frac{s_y^2}{s_x^2}\right) \quad (11)$$

Jestliže nulová hypotéza H_0 a s_x s_y platí, má F kritérium, vlastní F-rozdělení s v_1 (n_1-1) a v_2 (n_1-1) (v_M počet stupňů volnosti). Neplatí-li nulová hypotéza, zamění se pořadí stupňů volnosti. Pokud $F > F_{1-\alpha}(v_1-v_2)$, poté nulová hypotéza (shodnost rozptylu) nepřichází v platnost. [14]

4.2.3 Transformace dat

V případě, že data nemají normální rozdělení, použijeme transformaci dat. Největšího využití mají při stabilizaci rozptylů. Pokud se provede transformace, data získají rozdělení

symetričnosti. Transformace dat může být buď mocninová a, nebo Box-Coxova, díky které se přiblíží data k normálnímu rozdělení vzhledem ke špičatosti a šikmosti. [16]

4.2.4 T test

T-test se používá pro metrická data s normálním rozdělením a porovnává střední hodnoty. Slouží ke zjištění, zdali rozdíl střední hodnoty od dané hodnoty není čistě dílem náhody. Pracují na základě intervalových odhadů. Všechny parametry, se kterými pracuje, mají Gaussovo rozdělení, proto se řadí mezi parametrické testy. [14]

Střední hodnoty lze získat tak, že z primárního souboru s rozdělením $N(\mu, \sigma^2)$, následně uskutečníme náhodný výběr a zjistíme výběrový průměr \bar{x} a směrodatnou odchylku s . Náhodnou veličinu volíme jako testovací statistiku.

$$\frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \sqrt{n} \quad (12)$$

Tabulka, kde jsou uvedeny polohy nulové hypotézy pro kritické oblasti $H_0: \mu = \mu_0$ vůči odlišným alternativám H_1 na hladině významnosti.

Mezní body kritické oblasti tvoří 100α -%ní kvantily známých rozdělení. Velikost pravděpodobnosti $(1-\alpha)$ se dá přímo vyčíslit, namísto testování, jestli jsou kvantily větší než testované statistiky. U oboustranných testů se velikost pravděpodobnosti počítá $(1-\alpha/2)$. [14]

Tab. 1 Kritické oblasti testů polohy hypotézy H_0 [14]

hypotéza H_0	hypotéza H_1	Testovací charakteristika	Kritické hranice
	$\mu > \mu_0$		$t \geq t_{1-\alpha}(n-1)$
$\mu = \mu_0$	$\mu < \mu_0$	$t = (x - \mu_0)\sqrt{n/s}$	$t < t_{\alpha}(n-1)$
	$\mu \neq \mu_0$		$ t \geq t_{(1-\frac{\alpha}{2})}(n-1)$

4.3 Chyby měření

Jako chyby měření lze charakterizovat rozdíl mezi výsledkem měření a pravou hodnotou měřené veličiny. Chyby se zpravidla dělí do tří tříd na chyby systematické, náhodné a hrubé.

Systematická chyba je to rozdíl mezi průměrem, který vznikl z nekonečného počtu měření jedné veličiny za podmínek opakovatelnosti a pravé hodnoty. Je způsobena metodou měření, kvalitou měření a kvalitou přístrojů. Tato chyba se vyskytne při srovnání jednoho měření s měřením, u kterého byl změněn operát, přístroj nebo metoda.

Odečteme-li od výsledku měření průměr, který vznikl z nekonečného počtu měření stejné hodnoty za podmínek opakovatelnosti dostaneme *náhodnou chybu*. Mění se náhodným způsobem při opakovaném měření stejné veličiny za rovných podmínek. Budeme-li opakovat měření, chyba se zmenší. [13]

Hrubé chyby, resp. omyly jsou způsobeny výjimečnou příčinou, zapsáním špatného výsledku, selháním měřících zařízení. Měřená hodnota se výrazně liší od ostatních a musí být vždy vyloučena. [13,14]

5 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je vyrobení repliky povrchu kovové vstřikovací formy. Nejdříve se provede kontrola povrchu pomocí mikroskopu, poté se nasnímají povrchy formy před použitím a repliky vyrobené z této formy. Následně celé měření proběhne znovu pro formy, jež byly použity a repliky vyrobené z těchto forem. Všechny naměřené hodnoty budou vyhodnoceny podle požadavků normy a statistického vyhodnocení.

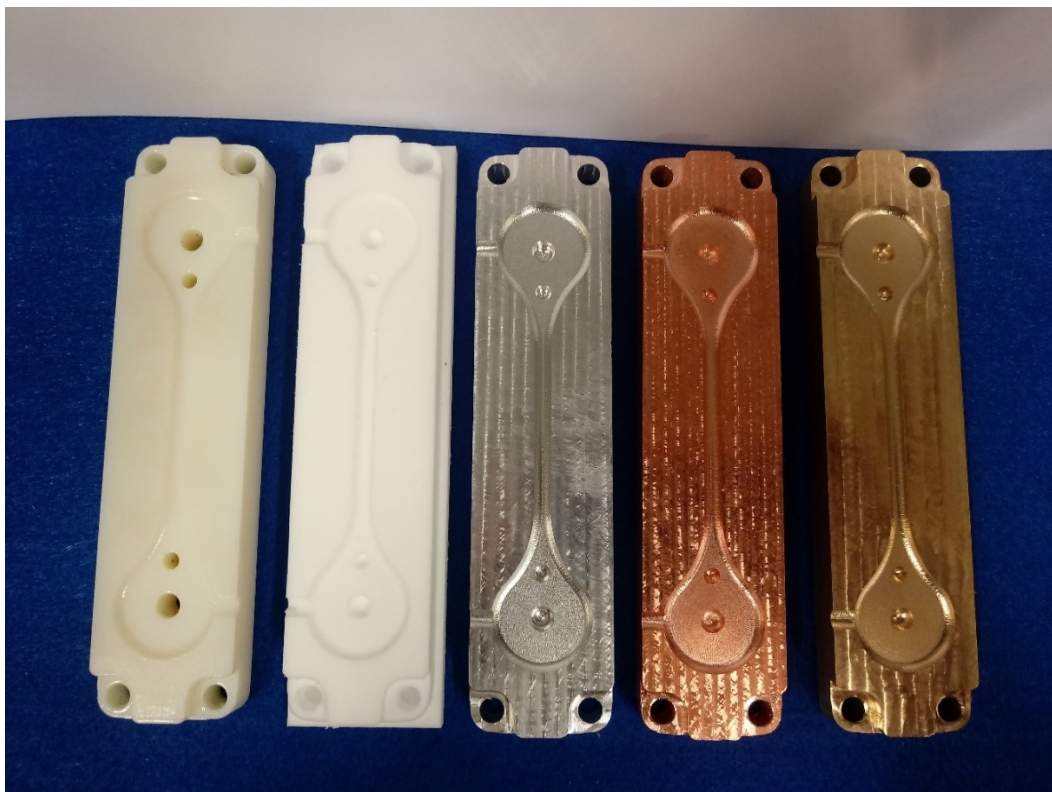
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 VÝROBA REPLIK

Pro výrobu replik v této bakalářské práci byly použity stomatologické otiskovací hmoty Siloflex Plus Putty, Siloflex Plus Light a katalyzátor Siloflex Plus Catalyst.

6.1 Replikovaný povrch

Na výrobu replik byly použity tři kovové vstřikovací formy, které byly vyrobeny z hliníku, mosazi a mědi. Díky velikosti a hmotnosti forem byla snadná manipulace při výrobě replik a tím jsme nebyli nijak omezeni.



Obr. 8 Formy k replikaci

6.2 Materiál replik

Siloflex Plus Putty je otiskovací hmota s velmi vysokou viskozitou. Výsledný otisk se vyznačuje dobrou objemovou stabilitou i vytvořenými detaily.[18]

Siloflex Plus Light je otiskovací hmota nízké viskozity. Výsledný otisk se vyznačuje velmi dobrými detaily [18]

Siloflex Plus Catalyst je pastovitý katalyzátor určený pro otiskovací hmoty Putty a Light. [18]

6.3 Postup výroby

Nejprve byla použita jako základová vrstva hmota Putty pro lepší stabilitu. Poměr směsi byl 97 % Putty a 3 % Catalyst. Poté byla jako otiskovací hmota, která byla samostatná replika, použita hmota Light. Poměr této směsi byl 79 % Light a 21 % Catalyst. Promíchání hmoty a katalyzátoru musí být důkladné, zároveň co nejrychlejší, aby nedocházelo k předčasnému tuhnutí. Směs se promíchala na jednorázové plastové podložce do doby, než hmota získala jednotnou barvu. Poté se pečlivě špachtlí nanese na formu, zatížila a přesahující okraje byly oříznuty. U základové směsi Putty byly odříznuty i všechny výstupky, které vznikly při její výrobě obtiskem formy. Doba tuhnutí byla zhruba 5 minut. Poté byl stejný postup proveden u hmoty Light. Jakmile byla nanese na formu, přiložila se již vyrobená základní vrstva a opět se zatížila. Doba tuhnutí byla zhruba 7 minut. Díky základové vrstvě se u repliky nevykytuje tolik chyb.



Obr. 9 Replikace forem

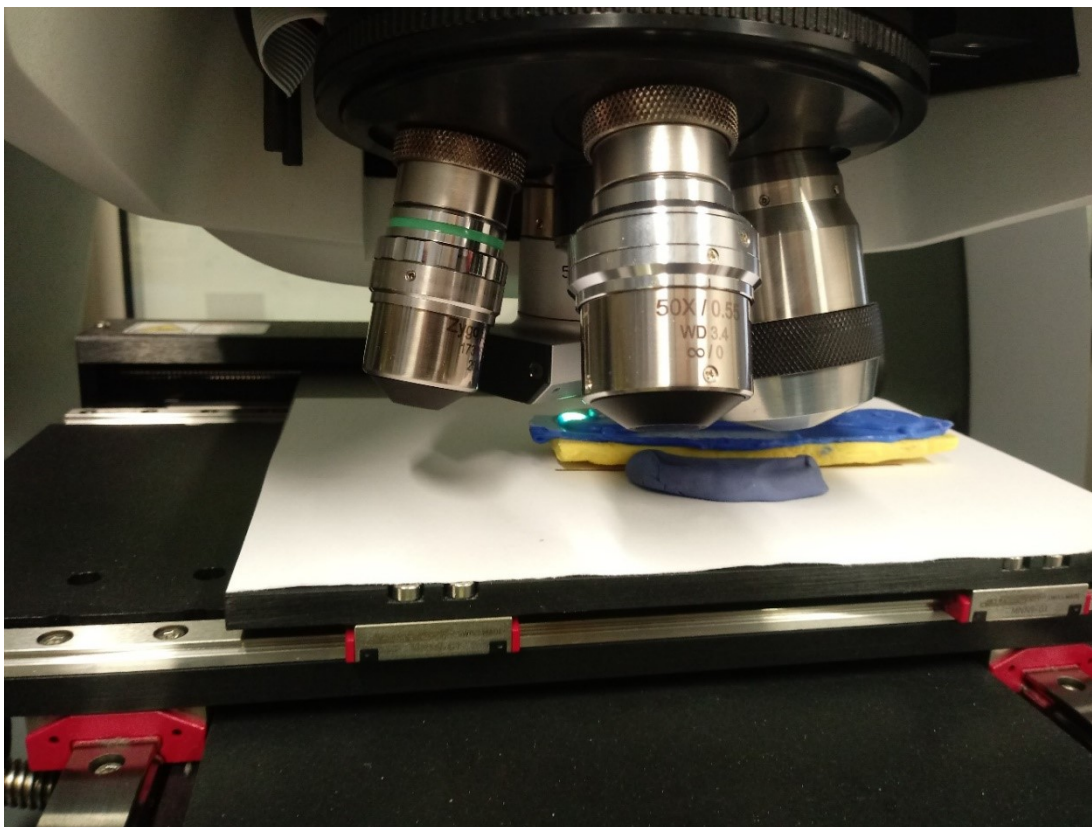
7 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Pro měření povrchu byl použit 3D optický bezkontaktní profilometr NewView™ 9000 od výrobce Zygo. Tento měřicí přístroj disponuje velkou rychlostí, jednoduchostí a flexibilitou měření. Lze snadno měřit hladké, hrubé, ploché, šikmé i stupňovité povrchy. Všechny měření jsou rychlé, nedochází ke zničení měřeného vzorku a není potřeba jej připravovat na měření. [17]

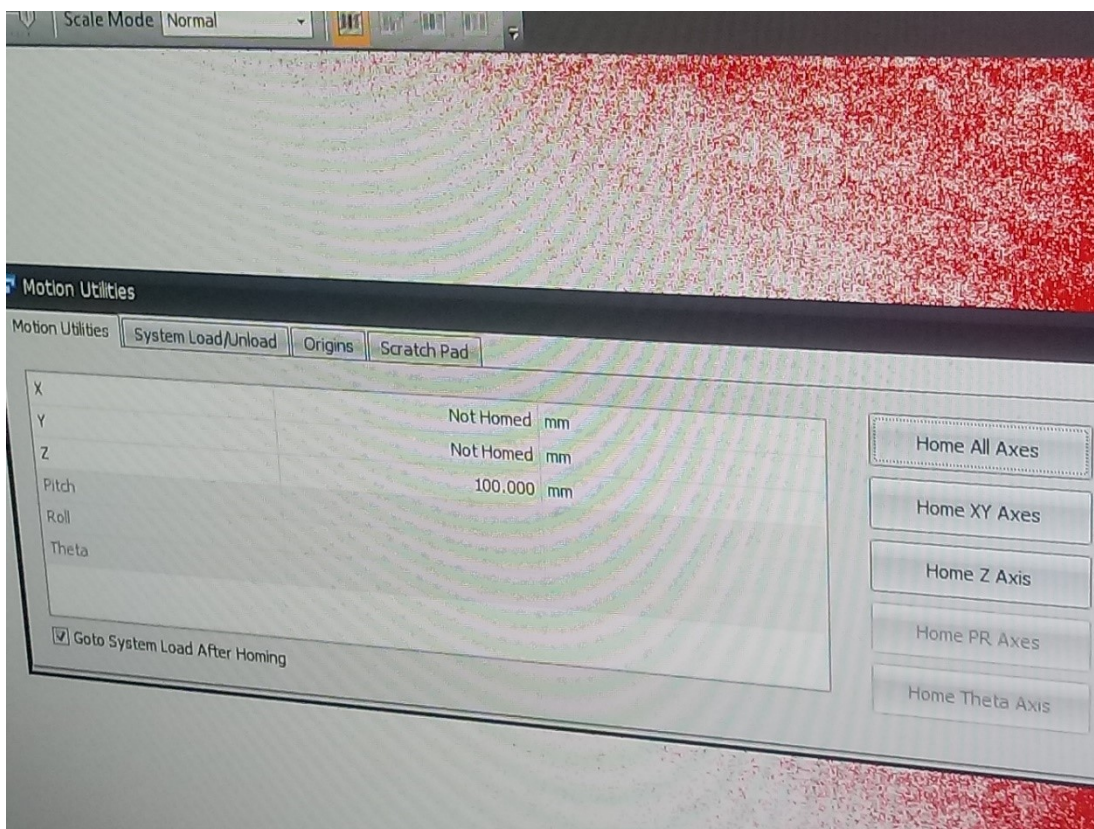
Pro měření byl použit objektiv s 5,5 násobným zvětšením. Snímaná plocha byla 3x3 mm.



Obr. 10 Měřicí zařízení Zygo



Obr. 11 Průběh měření



Obr. 12 Kalibrace zařízení

8 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

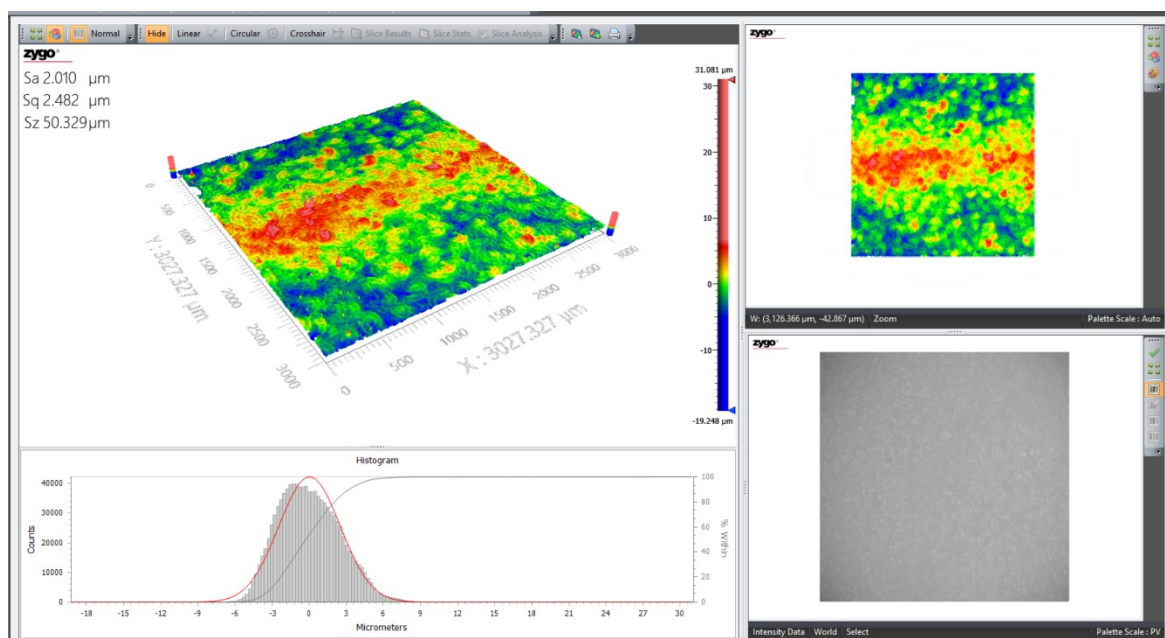
Veškeré vyhodnocování naměřených dat bylo provedeno v programu Minitab.

8.1 Hliník

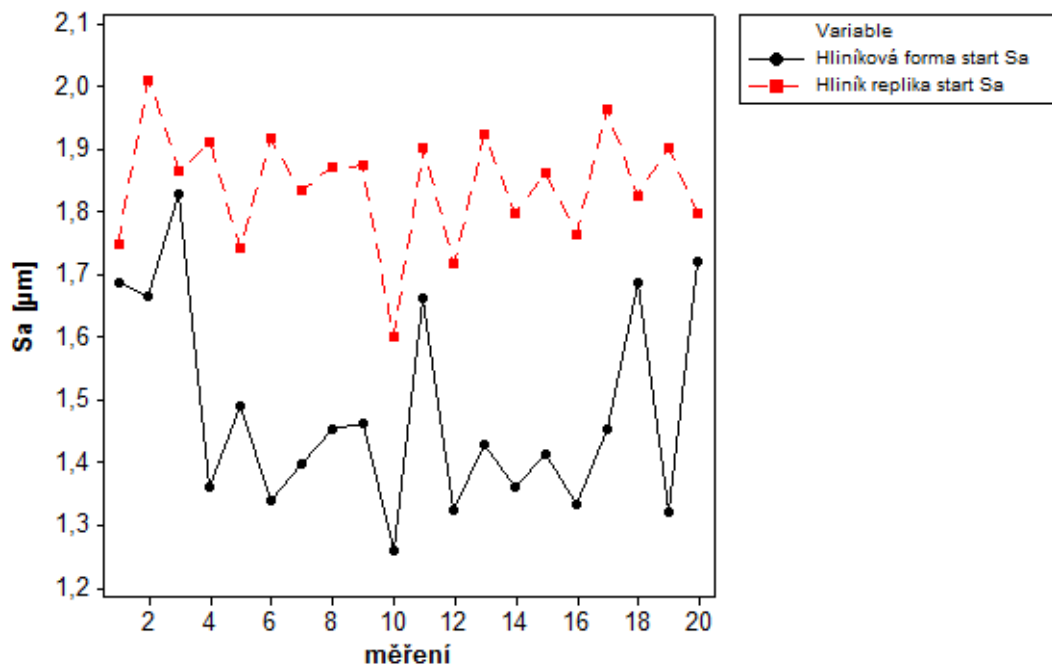
Tab. 2 Tabulka hodnot pro formu a repliku hliníku

Název	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Minimum [μm]	Q1 [μm]	Medián [μm]	Q3 [μm]	Maximum [μm]
Forma start Sa	1,4822	0,1649	1,260	1,3440	1,440	1,6648	1,828
Forma konec Sa	1,4815	0,1561	1,308	1,3515	1,430	1,6003	1,802
Forma start Sz	19,370	6,2800	12,34	12,840	17,88	24,960	29,60
Forma konec Sz	17,540	6,6300	11,80	13,100	15,01	20,190	36,30
Replika start Sa	1,8418	0,0957	1,60	1,7733	1,8635	1,9108	2,010
Replika konec Sa	1,6711	0,1529	1,38	1,5475	1,6900	1,7943	1,936
Replika start Sz	43,90	19,25	21,04	30,59	40,22	50,32	102,59
Replika konec Sz	63,43	15,51	30,84	58,54	66,57	75,04	81,94

V tabulce jsou uvedeny hodnoty průměru, směrodatné odchylky, minima, maxima, mediánu, první a třetího kvartilu parametrů Sa a Sz pro hliníkové formy před a po použití a replik vyrobených z těchto forem.

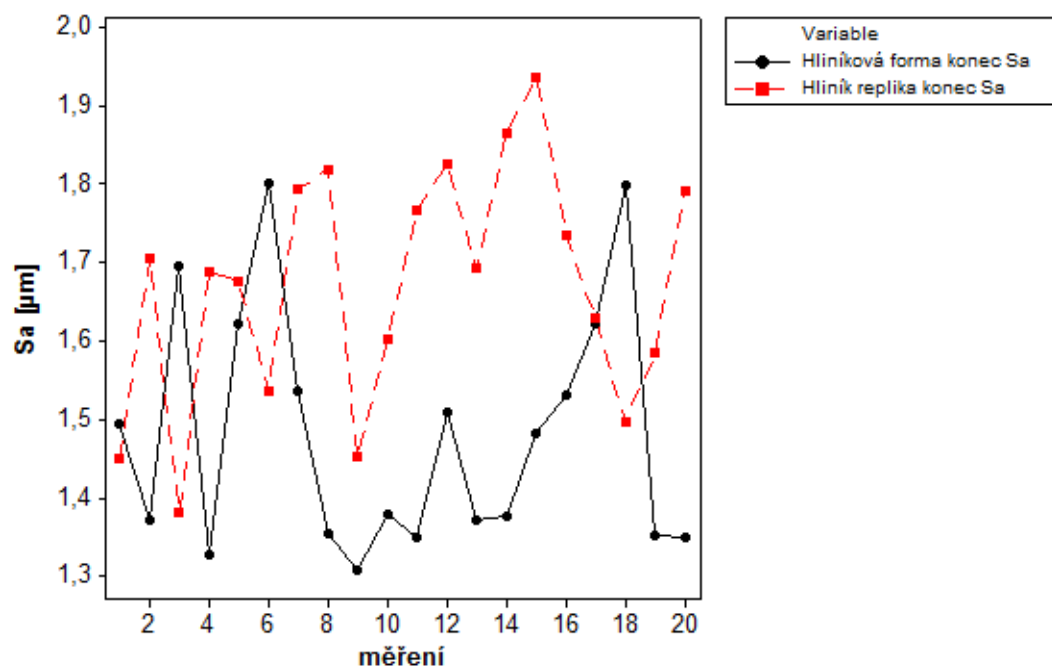


Obr. 13 Výsledek měření – replika před použitím



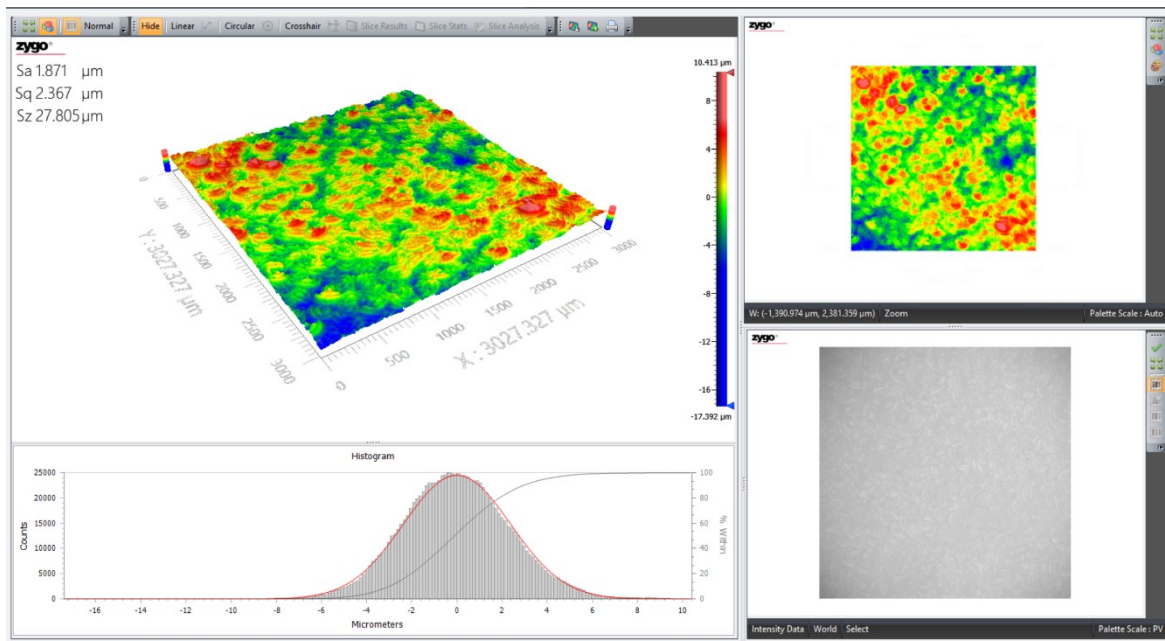
Obr. 14 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku hliníku před použitím

Z grafu časové řady (Obr. 14) lze vypočítat malé rozdíly dat. Avšak tyto rozdíly jsou minimální. Lze usoudit že tyto odlišnosti vznikly při výrobě replik, konkrétně u odseparování, kdy docházelo k „odtrhání“ hmoty.



Obr. 15 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku hliníku po použitím

Při pohledu na graf časové řady (Obr. 15) vidíme, že získaná data z replik, které byly vyrobené z forem po použití jsou v blízké shodě s daty získaných z forem po použití. Při odseparování nedocházelo k „odtrhání“ směsi.



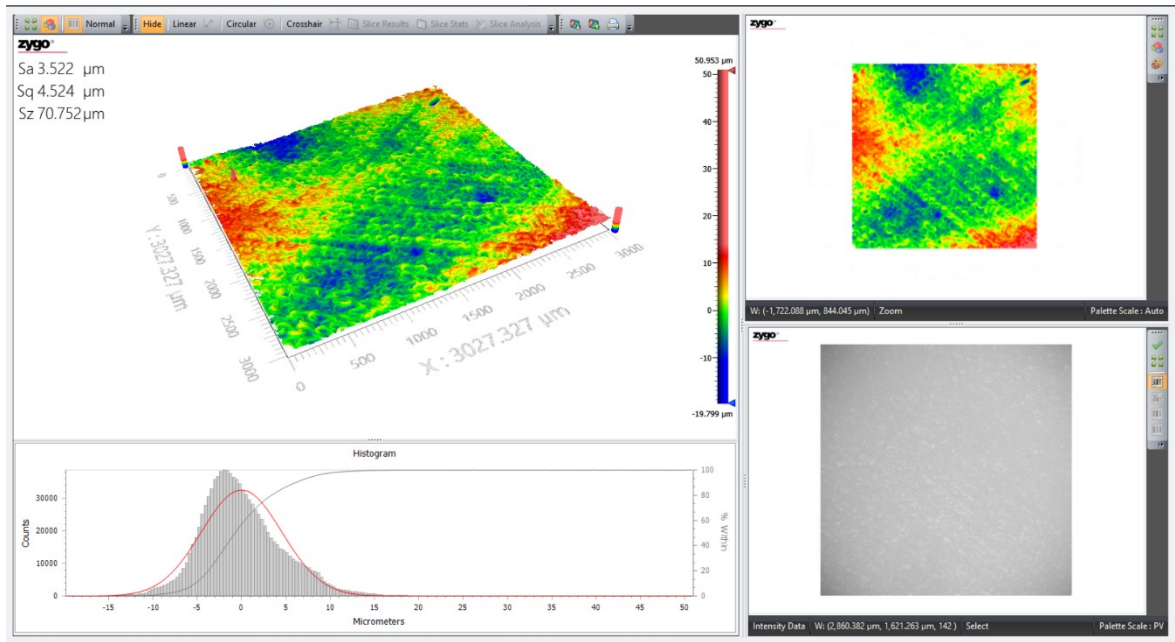
Obr. 16 Naměřený povrch – replika po použití

8.2 Mosaz

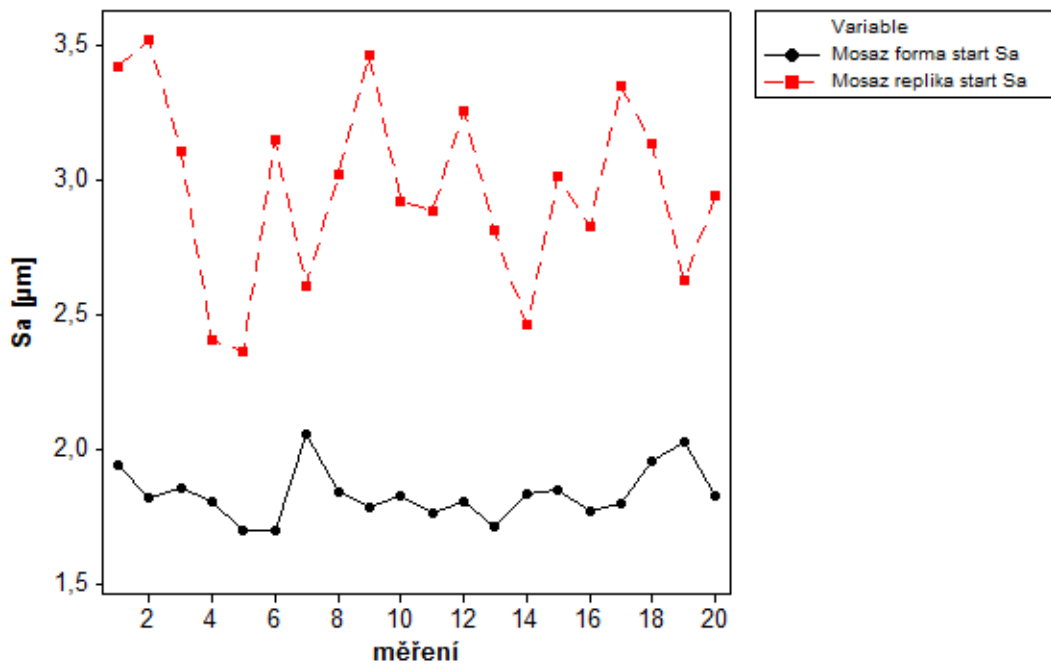
Tab. 3 Tabulka hodnot pro formu a repliku mosazi

Název	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Minimum [μm]	Q1 [μm]	Medián [μm]	Q3 [μm]	Maximum [μm]
Forma start Sa	1,8350	0,0974	1,701	1,7738	1,8230	1,8533	2,0600
Forma konec Sa	1,7429	0,1053	1,591	1,6930	1,7145	1,7753	2,0000
Forma start Sz	20,927	1,729	19,431	19,57	20,062	21,718	25,251
Forma konec Sz	36,050	18,490	15,730	21,06	26,760	51,250	71,350
Replika start Sa	2,9664	0,3484	2,368	2,6743	2,9800	3,2293	3,5220
Replika konec Sa	1,9689	0,1745	1,723	1,8205	1,9455	2,1083	2,3240
Replika start Sz	77,09	25,66	30,73	51,43	82,38	93,43	128,74
Replika konec Sz	80,45	17,21	61,57	67,62	75,77	86,51	129,70

V tabulce jsou uvedeny hodnoty průměru, směrodatné odchylky, minima, maxima, mediánu, první a třetího kvartilu parametrů Sa a Sz pro formy před a po použití a replik vyrobených z mosazi.

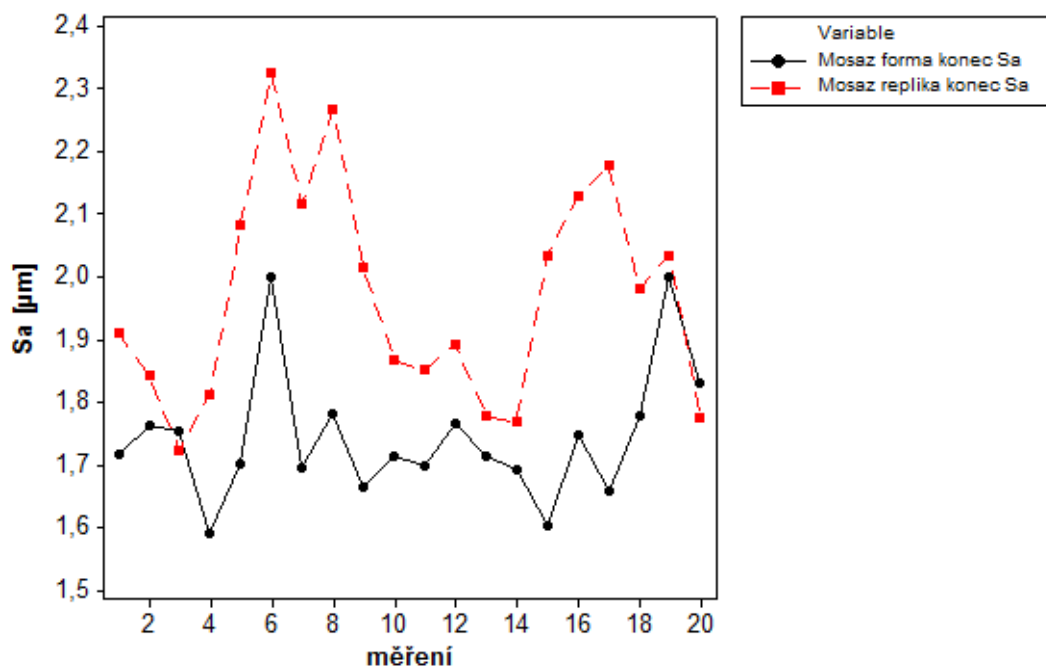


Obr. 17 Naměřený povrch – replika před použitím



Obr. 18 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku mosazi před použitím

Největší rozdíly naměřených dat se vyskytly u formy a repliky vyrobené z mosazi před použitím. Ovšem tyto rozdíly jsou minimální.



Obr. 19 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku mosazi po použití

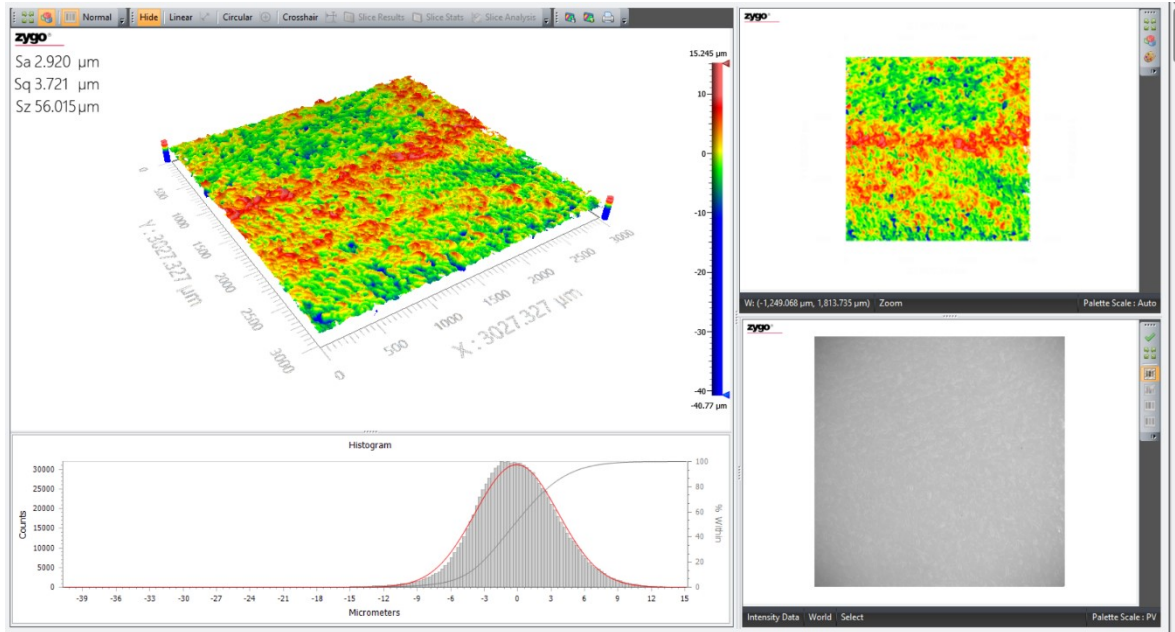
Poté co byla forma použita, následně znovu změřena spolu s vyrobenou replikou se data k sobě přibližují.

8.3 Měď

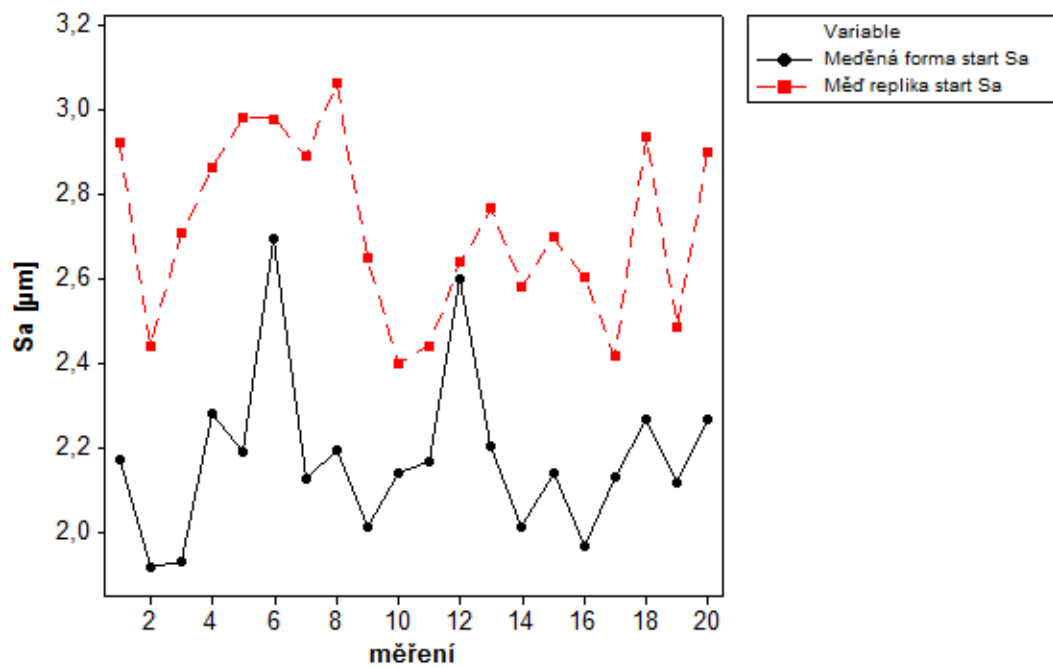
Tab. 4 Tabulka hodnot pro formu a repliku mědi

Název	Průměr [μm]	Směrodatná odchylka [μm]	Minimum [μm]	Q1 [μm]	Medián [μm]	Q3 [μm]	Maximum [μm]
Forma start Sa	2,1753	0,1938	1,915	2,0375	2,1535	2,2495	2,694
Forma konec Sa	2,3946	0,2219	2,083	2,2280	2,3150	2,5375	2,831
Forma start Sz	38,88	20,96	22,02	22,64	28,03	51,72	81,82
Forma konec Sz	38,49	12,74	24,57	29,92	35,18	43,33	79,66
Replika start Sa	2,7177	0,2149	2,398	2,5090	2,7025	2,9153	3,063
Replika konec Sa	2,1698	0,1162	2,023	2,0493	2,1600	2,2508	2,384
Replika start Sz	48,46	15,45	26,9	36,95	48,34	55,49	83,67
Replika konec Sz	53,87	33,22	30,0	36,52	38,97	55,01	131,67

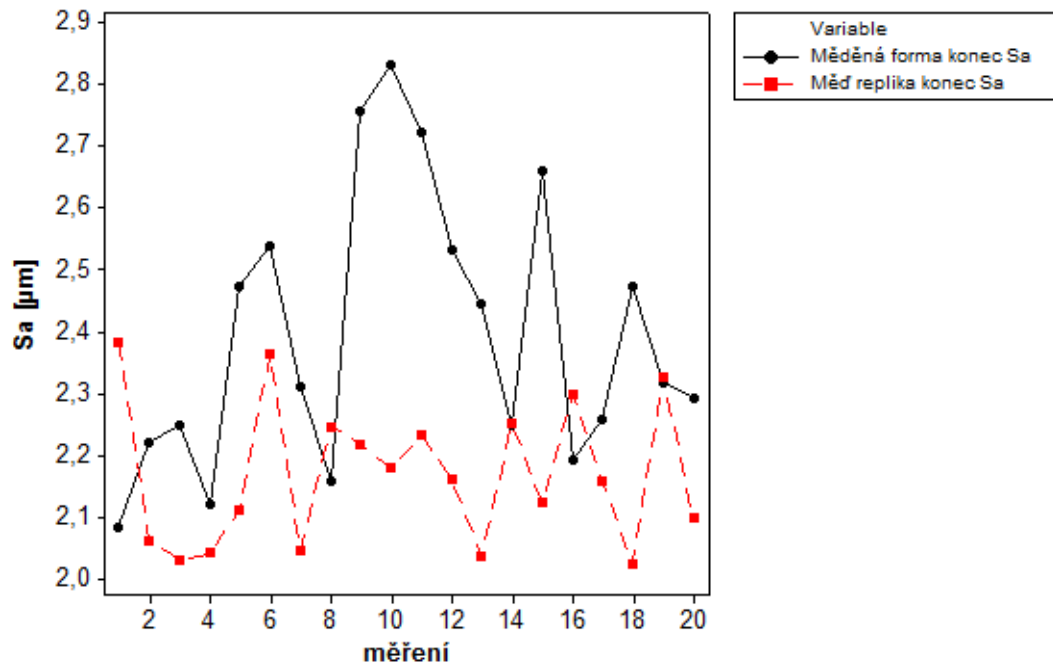
V tabulce jsou uvedeny hodnoty průměru, směrodatné odchylky, minima, maxima, mediánu, první a třetího kvartilu parametrů Sa a Sz pro formy před a po použití a replik vyrobených z mědi.



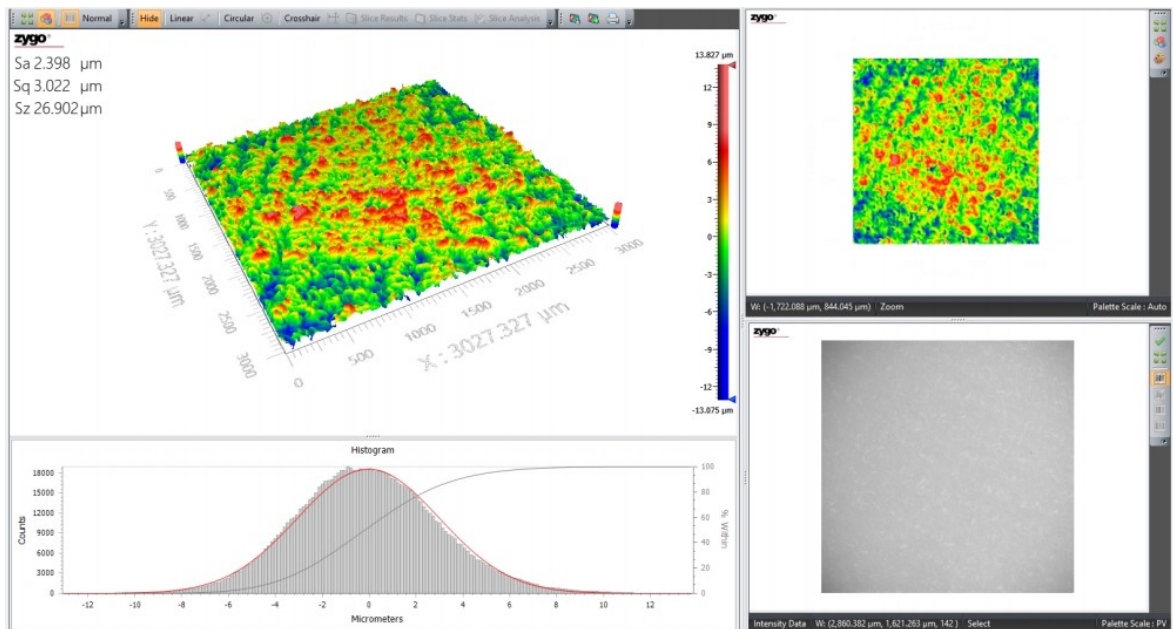
Obr. 20 Naměřený povrch – replika před použití



Obr. 21 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku mědi před použitím



Obr. 22 Výsledky měření parametru S_a pro formu a repliku mědi před použitím. Stejně jako u hliníku naměřená data repliky a formy před a po použití jsou v těsné shodě.



Obr. 23 Naměřený povrch – replika po použití

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provedení replikace povrchu kovových vstřikovacích forem, které byly následně nasnímány a naměřená data vyhodnoceny.

V teoretické části této práce byly popsány materiály vstřikovacích forem, ze kterých byly vyráběny repliky. Normy, které stanovují definice, termíny, parametry, pravidla a postupy jak pro profilovou, tak plošnou metodu snímání povrchu. Předposlední kapitola je zaměřena na popis metod obrábění a závěrečná kapitola se zabývá popisem statistického vyhodnocování.

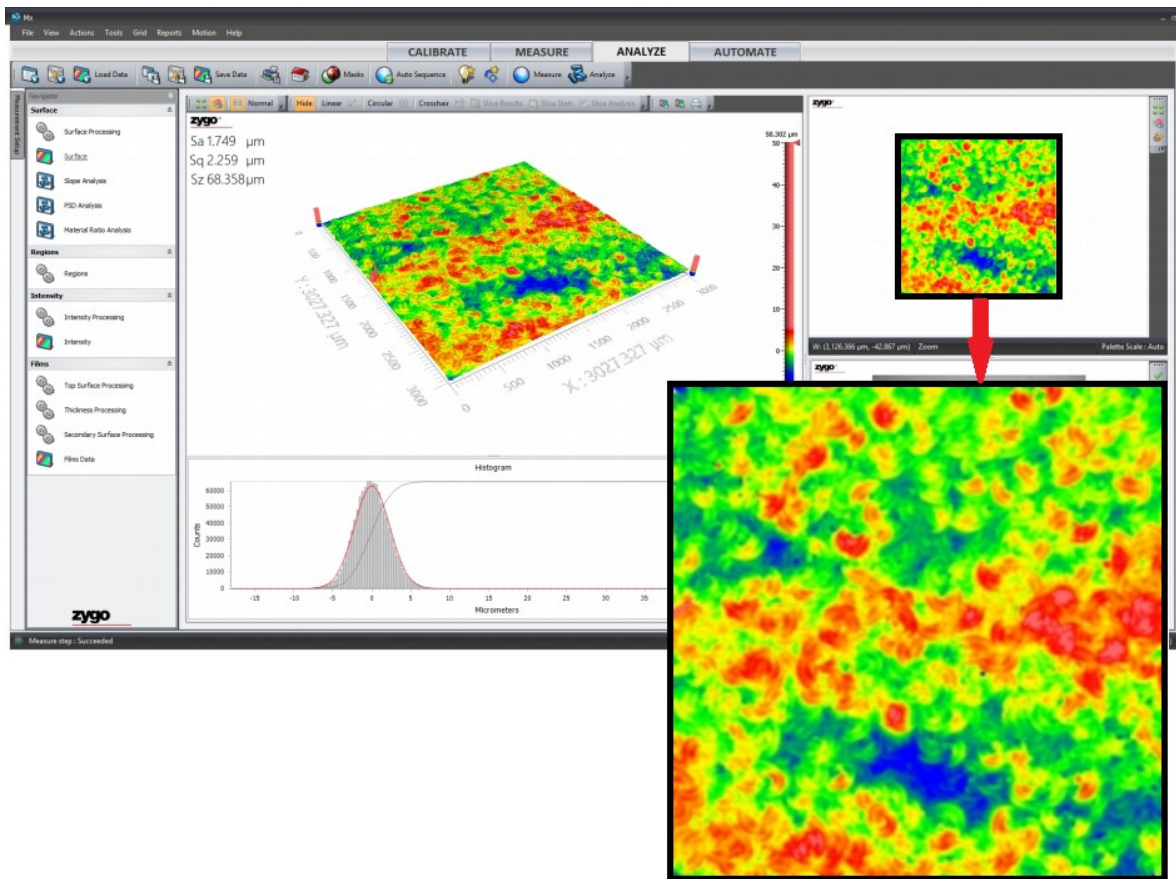
Praktická část byla zaměřena na výrobu replik povrchu kovových vstřikovacích forem. Nejprve byl popsán způsob výroby replik pomocí stomatologických hmot Siloflex, základové Putty, která sloužila pro lepší stabilitu vyráběné repliky a Light z které byla vyráběna samostatná replika. Následně bylo ukázáno měření povrchů pomocí bezkontaktního profiloměru Zygo NewView™ 9000. Poslední část práce se věnuje samostatnému vyhodnocení naměřených hodnot pomocí průzkumové analýzy dat. Data byla zaznamenána do grafů časové osy měření vždy ve dvojici forma-replika pro jednotlivé materiály, a to před a po použití.

Průměr, směrodatná odchylka, minimum, první kvartil, medián, třetí kvartil a maximum bylo určeno pomocí funkce Basic Statistic v programu Minitab. Rovněž byly v programu vytvořeny grafy pomocí funkce Time Series Plot.

Z vyhodnocených dat lze vyčíst, že u minima byla nejbližší replika a forma po použití vyrobená z mědi. U formy byla nejmenší naměřená hodnota 2,083 μm , u repliky 2,023. Naopak největšího rozdílu minima bylo u repliky a formy před použitím vyrobené z mosazi. Hodnota repliky byla 2,308 μm a hodnota formy 1,701 μm .

Z grafů lze vyčíst, že všechny naměřená data jsou v těsné shodě. Nejmenší rozdíly nastaly u replik a forem z hliníku a mědi. Naopak největší rozdíly nastaly u mosazi. I přesto tyto rozdíly byly minimální. Z vyhodnocených dat lze říci, že replikace a její následné statistické vyhodnocení je vhodnou alternativou pro případy, kde z důvodu velkých rozměrů či hmotnostní není možné povrch změřit.

Replikace byla prováděna i u formy vyrobené pomocí technologie 3D tisku a formy z teflonu. Ovšem tyto repliky nevykazovaly žádné chyby při měření, tudíž nebylo možno daný povrch statisticky vyhodnotit. Nevykazování chyb bylo způsobeno tím, že povrch byl příliš jemný.



Obr. 24 Detail snímané plochy repliky vyrobené z hliníkové formy před použitím

Z obrázku 24 je patrné, že u nasnímané repliky jsou stopy po řezném nástroji, které vznikly při frézování. To dokazuje, že replika dokáže nasnímat i mikroskopické detaily

SEZNAM POUŽITÉ 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] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [5] STEPHENSON, David A. a John S. AGAPIOU. *Metal cutting theory and practice.* Third edition. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, [2016]. ISBN 1466587539.
- [6] *Metody obrábění* [online]. [cit 2019-30-3.]. Dostupné z: <https://www.steeltec.cz/metody-obrabeni/?fbclid=IwAR1TA8KgsW-BvRYqbxFeeQeu97w7MK7RbaChpInhqdiIQScvu6JbRtzW4s4>
- [7] *Hliník a možnosti jeho svařování* [online]. [cit 2019-30-3.]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/hlinik-a-moznosti-jeho-svarovani/>
- [8] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II.* 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [9] MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Strojírenské materiály.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02798-8.
- [10] *Frézování* [online]. [cit 2019-30-3.]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1824>
- [11] *Podstata broušení* [online]. [cit 2019-30-3.]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1241>
- [12] PATA, Vladimír. *Přednášky předmět: Jakost a metrologie.* Zlín, 2019
- [13] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat.* Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.
- [14] *Příručka CNC programování* [online]. [cit 2019-30-3.]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf

- [15] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Interaktivní statistická analýza dat*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2173-9.
- [16] BARNETT, Vic a Toby LEWIS. *Outliers in statistical data*. 3rd ed. New York: Wiley, c1994. ISBN 0471930946.
- [17] *NewView™ 9000* [online]. [cit 2019-10-5.]. Dostupné z: <https://www.zygo.com/?/met/profilers/newview9000/>
- [18] *Siloflex™ Plus Putty* [online]. [cit 2019-10-5.]. Dostupné z: <https://www.pentron.com/cs-cz/impression/siloflex-plus-putty-c-silicones#>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

g	Gram
cm	Centimetr
°C	Stupeň Celsia
%	Procento
Al	Hliník
Mg	Hořčík
Si	Křemík
Mn	Mangan
Cu	Měď
Ni	Nikl
Zn	Zinek
Ti	Titan
Li	Lithium
Rm	Pevnost v tahu
Mpa	Megapascal
Rp	Největší výška výstupku profilu
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu
Rz	Největší výška profilu
Rc	Průměrná výška prvků profilu
Ra	Střední aritmetická drsnost
Rq	Střední kvadratická úchylka profilu drsnosti
Rsk	Šikmost posuzovaného profilu
Rsm	Průměrná šířka
Rt	Celková výška profilu

Sa	Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu
Sq	Základ průměrné výšky povrchu
Ssk	Šikmost omezené stupnice povrchu
Sku	Špičatost omezené stupnice povrchu
Vc	Řezná rychlost
t	Rozteč
L	Délka
CNC	Computerized numerical control
mm	Milimetr
μm	Mikrometr

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Profil povrchu [1]</i>	17
<i>Obr. 2 Největší výška profilu [1]</i>	17
<i>Obr. 3 Průměrná výška prvků profilu [1]</i>	18
<i>Obr. 4 Celková výška profilu [1]</i>	18
<i>Obr. 5 Průměrná aritmetická úchylka [1]</i>	19
<i>Obr. 6 Průměrná šířka prvků profilu [1]</i>	20
<i>Obr. 7 Rozdíl mezi sousledným a nesousledným frézováním [11]</i>	23
<i>Obr. 8 Formy k replikaci</i>	32
<i>Obr. 9 Replikace forem</i>	33
<i>Obr. 10 Měřicí zařízení Zygo</i>	34
<i>Obr. 11 Průběh měření</i>	35
<i>Obr. 12 Kalibrace zařízení</i>	35
<i>Obr. 13 Výsledek měření – replika před použitím</i>	36
<i>Obr. 14 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku hliníku před použitím</i> ..37	
<i>Obr. 15 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku hliníku po použitím</i>	37
<i>Obr. 16 Naměřený povrch – replika po použití</i>	38
<i>Obr. 17 Naměřený povrch – replika před použitím</i>	39
<i>Obr. 18 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku mosazi před použitím</i> ..39	
<i>Obr. 19 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku mosazi po použitím</i>	40
<i>Obr. 20 Naměřený povrch – replika před použitím</i>	41
<i>Obr. 21 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku mědi před použitím</i>	41
<i>Obr. 22 Výsledky měření parametru Sa pro formu a repliku mědi před použitím</i>	42
<i>Obr. 23 Naměřený povrch – replika po použití</i>	42
<i>Obr. 24 Detail snímané plochy repliky vyrobené z hliníkové formy před použitím</i>	44

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Kritické oblasti testů polohy hypotézy H_0 [14]</i>	28
<i>Tab. 2 Tabulka hodnot pro formu a repliku hliníku</i>	36
<i>Tab. 3 Tabulka hodnot pro formu a repliku mosazi</i>	38
<i>Tab. 4 Tabulka hodnot pro formu a repliku mědi</i>	40