

Hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů nenormativním způsobem

Ing. Milena Kubišová, Ph.D.

Teze disertační práce



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Teze dizertační práce

**Hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů
nenormativním způsobem**

**Quality Assessment of Surface of Polymer Parts
in a Non-Normative Form**

Autor: **Kubišová Milena, Ing.**

Studijní program: P3909 / Procesní inženýrství

Studijní obor: 3909V013 / Nástroje a procesy

Školitel: doc. Dr. Ing. Vladimír Pata

Oponenti: prof. Ing. Karel Kocman, DrSc.
prof. Ing. Ildikó Maňková, CSc.
prof. Ing. Zdeněk Jonšta, CSc.

Zlín, květen 2018

© Milena Kubišová

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis Summary**.
Publikace byla vydána v roce 2018

Klíčová slova: *Měření povrchů, parametry drsnosti, replika, Talysurf CLI 500*

Key words: *Surface measurement, roughness parameters, replica, Talysurf CLI 500*

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7454-739-3

ABSTRAKT

Tématem dizertační práce je zkoumání a hodnocení kvality povrchů nenormativním způsobem. Hlavní částí práce je výzkum přípravy replik povrchů, stanovení způsobu jak povrch otisknout a jak repliku vyhodnotit. Tato technologie je velmi málo probádaná z pohledu kontroly kvality povrchu výrobků.

Replikace povrchu je využívána již delší dobu. Běžně je k replikacím využíván materiál s komerčním názvem Dentacryl™. Jeho použití má však velké množství nevýhod převažujících výhody.

Práce přináší nové směry a způsoby vyhodnocování. Pro výrobu replik jsou používány otiskovací směsi využívané především ve stomatologii. V oboru stomatologie proto hledáme nejen potřebnou inspiraci pro volbu materiálu vhodného ke snímání povrchů, ale také znalosti v oblasti přípravy a samotné aplikace otiskovacích hmot. K vyhodnocování je využito bezkontaktního profiloměru Talysurf CLI 500, na kterém jsou snímány základní parametry drsnosti (Ra, Rz, Rp, Rv a Rt), jak na originálním povrchu, tak i na povrchu replikovaném. Následně jsou tyto parametry porovnávány pomocí statistických metod.

ABSTRACT

The topic of the dissertation is the examination and evaluation of surface quality in a non-normative way. The central part of the thesis is research on the preparation of surface replicas, determination of how to print the surface and how to evaluate the replica. This technology is very little explored regarding product surface quality control.

Surface replication has been used for a long time. Dentacryl™ is commonly used for replication.

However, this material has some disadvantages that outweigh the benefits.

The work brings new directions and methods for evaluation. For the production of replicas are used impression compounds used mainly in dentistry. Therefore, in the field of dentistry, we are looking not only for the necessary inspiration for the choice of materials suitable for surface sensing but also for knowledge in the field of preparation and the application of impression materials themselves. It also uses the non-contacting profile of the Talysurf CLI 500, where the underlying roughness parameters (Ra, Rz, Rp, Rv and Rt) were read on both the original surface and the surface replicated. Subsequently, these parameters are compared using statistical methods.

Obsah

ÚVOD.....	5
REŠERŠE A SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	6
CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE	7
1.1 Transformace dat	8
1.2 Faktorová analýza	8
1.3 Shluková analýza	9
1.4 Materiál použitý pro replikaci.....	9
1.5 Postup výroby repliky	11
1.6 Vícerozměrná statistická analýza dat.....	13
1.7 Závěr faktorové analýzy	13
1.8 Závěr posouzení forma versus výrobek.....	13
1.9 Replikace formy.....	14
1.10 Závěr faktorové analýzy pro repliku nové formy.....	15
1.11 Závěr dizertační práce.....	16
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	20
SEZNAM OBRÁZKŮ	21
SEZNAM TABULEK	21
SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA.....	22
ŽIVOTOPIS.....	25
REFERENCE	27

ÚVOD

Tématem dizertační práce je zkoumání a hodnocení kvality povrchů nenormativním způsobem.

Na povrchu výrobků je možné nalézt celou řadu prohlubní a vyvýšenin měřitelných až v tisícinách mikrometru. Vlastnosti povrchu mají významný vliv na to, zda je výrobek "hladký" nebo "drsňý". Parametry hladkosti a drsnosti je z důvodu vyloučení chybovosti naměřených dat potřeba matematicky vyhodnotit pomocí vzorců a grafů.

Jakostí povrchu rozumíme jeho strukturu a drsnost. Určuje se podle způsobů obrábění, vzhledu, hloubky stop po nástroji a druhu obráběného materiálu. Parametry drsností se vyhodnocují na skutečných profilech, které jsou získávány jako průsečnice kolmé, popř. šikmé, roviny se skutečným povrchem.

Vše výše uvedené je nutné k určení, jaké budou mít díly kluzné vlastnosti, jak bude vstřikovaná hmota plnit formy. Ne vždy je možné snímaný povrch umístit pod měřicí přístroj, protože je příliš velký nebo hmotný, proto se nabízí možnost povrch otisknout a otisk hodnotit samostatně. Otisk se v této práci nazývá „replika“.

Hlavní částí práce je výzkum přípravy replik povrchů, stanovení způsobu jak povrch otisknout a jak repliku vyhodnotit. Tato technologie je velmi málo probádaná z pohledu kontroly kvality povrchu výrobků. Může přinést nové směry a způsoby pro vyhodnocování. Pro výrobu replik jsou používány otiskovací směsi využívané především ve stomatologii. V oboru stomatologie proto hledáme nejen potřebnou inspiraci pro volbu materiálu vhodného ke snímání povrchů, ale také znalosti v oblasti přípravy a samotné aplikace otiskovacích hmot.

REŠERŠE A SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Můžeme konstatovat, že i přes značné vědecké rozšíření hodnocení jakosti povrchu se pouze několik světových autorů zabývá speciálně hodnocením jakosti povrchu z matematicko-statistického hlediska. Jako světově nejvýznamnějšího jsem si vybrala profesora Davida Whitehouse na jehož práci a především monografii o názvu „Handbook of surfaces and nanometrology“ přímo navazuji. Jak je uvedeno v rešeršních člancích i monografii, princip hodnocení jakosti povrchu ve 2D, respektive 3D, je založen na principu testování hypotéz a tedy na předpokladech normality daných parametrů povrchu, ať již polymerních nebo kovových. Dále je zde předpoklad zanedbatelné šikmosti a působení nulového systematického vlivu.

Tato metodika je však možná využít pouze při teoretickém hodnocení jakosti povrchu na matematické bázi a nikoliv při hodnocení reálných povrchů jako jsou formy, jejich výrobků a dnes už i repliky povrchů forem.

Rešeršní publikace:

- WHITEHOUSE, D. J., 2011. Handbook of surface and nanometrology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4200-8201-2.
- Whitehouse, D.J. Some Theoretical Aspects of Surface Peak Parameters. Precision Engineering 23 (1999) 94-102
- DAVID, Whitehouse, DUAL FUNCTION – SURFACE METROLOGY [online]. 14 - 61 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/e343/770f9d49349d08a497fb83de540ee4ebdf8b.pdf>
- WHITEHOUSE, D. J., 2012. Surface geometry, miniaturization and metrology. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences [online]. 370(1973), 4042-4065 DOI: 10.1098/rsta.2011.0055. ISSN 1364-503X. Dostupné z: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rsta.2011.0055>
- WHITEHOUSE, D. J., 2013. Theoretical enhancement of the Gaussian filtering of engineering surfaces. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences [online]. 469(2158), 20130184-20130184 DOI: 10.1098/rspa.2013.0184. ISSN 1364-5021. Dostupné z: <http://rspa.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rspa.2013.0184>

CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

Nalezení vhodné replikační látky a metodiky otiskování:

Bylo nezbytné nalézt vhodný typ látky pro replikaci povrchů forem, které jsou dezénovány (nejsou leštěné). Je možné konstatovat, že do současnosti se používá především DentakrylTM, respektive jiné otiskovací hmoty, založené na bázi pryskyřic.

Aby bylo možné replikaci provádět, bylo nezbytné navrhnout replikační přípravek. Ten byl volen s ohledem na rychlost replikací s uvažováním jejich opakovatelnosti. Pro výrobu repliky z forem, které jsou dezénovány, bylo však nutné nalézt optimální poměr mísení Siloflex plus Light s katalyzátorem.

Pro stabilitu repliky musela být nejdříve aplikována základní směs Putty, na kterou potom byla aplikována vlastní replika formy v navržených poměrech.

Nalezení vhodných parametrů jakosti replikovaných povrchů:

Další problematikou, kterou se tato práce zabývala, bylo nalezení vhodných parametrů popisujících jakost povrchu. Pro tyto účely se ve shodě s literárními zdroji jeví jako výhodné amplitudové a frekvenční parametry, které je ze statistického hlediska možné podrobit testům normality, testům šikmosti a špičatosti, případně testům existence vychýlených hodnot.

Hybridní parametry se ukazují jako nevhodné protože nemají ve většině případů normální rozdělení.

Nalezení průkazné metody pro potvrzení (vyvrácení) vhodnosti replikace:

Na rozdíl od rešerše, která byla provedena, se v této dizertační práci neporovnávají jednotlivé parametry, ale podobnost shluků jednotlivých parametrů. Aby bylo možné tyto shluky porovnávat, musí být data normální rozdělení. Takže pokud data prokazují po aplikaci testů šikmosti a špičatosti nějakou výchylnu, je nutné aplikovat nejdříve transformaci dat, aby bylo možné provádět další analýzu.

Pro tuto práci se ukázalo, jako vhodné aplikovat po testu hypotéz i analýzu faktorovou a následně shlukovou analýzu, které potvrzují vhodnost replikace.

1.1 Transformace dat

Pro tuto dizertační práci bylo zjištěno, že je naprosto nezbytné použití transformace dat. Používá se při zjištění, že data nemají normální rozdělení (šikmost) a slouží k především ke stabilizaci rozptylů. Transformací získává rozdělení symetričnost.

Jsou dva druhy transformace. Nejdříve se provádí jednoduchá mocninná transformace, která však není pro naše účely dostatečně přesná.

Druhou variantou je Box-Coxova transformace dat, která se používá pro přiblížení k normálnímu rozdělení vzhledem k šikmosti i špičatosti dat.

1.2 Faktorová analýza

Jedná se o vícerozměrnou statistickou metodu, kde podstatou je rozbor struktury vzájemných závislostí proměnných na základě předpokladu, že jsou tyto závislosti důsledkem působení určitého počtu nezměřených faktorů. Cílem této analýzy je redukce počtu proměnných a odhalení struktury vztahů mezi proměnnými. Tato analýza se snaží vysvětlit závislosti proměnných.

Pro analýzu je důležité použití Kaiserova pravidla, které je založeno na porovnávání rozptylů. Kritická hodnota nabývá hodnoty jedna. Kaiserovo pravidlo udává, kolik faktorů je potřebných k vyjádření co největší části souboru a je udáváno v procentech.

Jsou tři základní typy faktorových rotací.

První je ortogonální rotace Varimax, která minimalizuje počet faktorů potřebných pro vysvětlení jednotlivých proměnných. Jde o nejjednodušší metodu, která je dána součtem rozptylů čtverců faktorových zátěží v jednotlivých sloupcích.

Další ortogonální rotací je Quartimax, minimalizující počet faktorů, které jsou potřebné k vysvětlení jednotlivých proměnných. Simplicitní funkce je dána součtem rozptylů čtverců faktorových zátěží v jednotlivých řádcích.

Poslední metodou rotace je Equamax, která je kombinací obou předchozích metod, při níž je minimalizován jak počet proměnných s vysokou zátěží s každým společným faktorem, tak i počet faktorů, které jsou potřebné pro vysvětlení jednotlivých proměnných.

1.3 Shluková analýza

Shluková analýza (též Custerova analýza, anglicky cluster analysis) je vícerozměrná statistická metoda, která se používá ke klasifikaci objektů. Slouží k třídění jednotek do skupin (shluků) tak, aby si jednotky náležící do stejné skupiny byly podobnější než objekty z ostatních skupin. Shlukovou analýzu je možné provádět jak na množině objektů, z nichž každý musí být popsán prostřednictvím stejného souboru znaků, které má smysl v dané množině sledovat, tak na množině znaků, které jsou charakterizovány prostřednictvím určitého souboru objektů, nositelů těchto znaků. [10]

Metoda shlukování - Nejbližší soused

Metoda nejbližšího souseda (single linkage, nearest neighbor) – vzdálenost shluků je určována vzdáleností dvou nejbližších objektů z různých shluků. Při použití této metody jsou objekty taženy k sobě, výsledkem jsou dlouhé řetězce. [10]

Metoda shlukování - Nejvzdálenější soused

Metoda nejvzdálenějšího souseda (complete linkage, furthest neighbor) - vzdálenost shluků je určována naopak vzdáleností dvou nejvzdálenějších objektů z různých shluků. Funguje dobře především v případě, že objekty tvoří přirozeně oddělené shluky. Nehodí se pokud je tendence k řetězení. [10]

Metoda shlukování - Aplikace aritmetických průměrů

Párová vzdálenost (pair-group average) - vzdálenost shluků je určována jako průměr vzdáleností všech párů objektů z různých shluků. Opět může být ve vážené i nevážené podobě. [10]

Metoda shlukování - Wardova metoda

Wardova metoda - vychází z analýzy rozptylu. Slučuje takové shluky, kde je minimální součet čtverců. Obecně lze říci, že je tato metoda velmi účinná, nicméně má tendenci vytvářet poměrně malé shluky. Vzdálenosti objektů se měří čtvercovou euklidovskou vzdáleností. [10]

1.4 Materiál použitý pro replikaci

Pro výrobu repliky bylo použito otiskovacích hmot značky SILOFLEX[®] pro jejich schopnost snímat i mikrometrické detaily povrchu.

Nejdříve byla použita otiskovací hmota typu Putty[®].

Kondenzační silikonová otiskovací hmota – s velmi vysokou viskozitou, typ Putty[®].

Kondenzační silikonová otiskovací hmota s vysokou tolerancí k množství katalyzátoru ($\pm 40 \%$), s přesnou reprodukcí detailů, s výbornými aplikačními vlastnostmi, s vysokou hodnotou zotavení po deformaci a vynikající objemovou stabilitou. [14]

Následně bylo použito zpřesňující otiskovací hmoty, která dokáže díky své nízké viskozitě zaznamenat i ty nejmenší detaily.

Kondenzační silikonová otiskovací hmota - nízká viskozita, typ Light bodied[®].

Systém složený z klasického Putty[®] a Light[®] materiálu s nízkou viskozitou nabízí ještě přesnější reprodukcí detailů, příjemnou manipulaci a velmi vysokou toleranci k práci ve vlhkém prostředí. [14]

Pastový katalyzátor

Pastový katalyzátor pro kondenzační silikonové hmoty Stomaflex Putty[®] a Stomaflex Light[®]. [14]

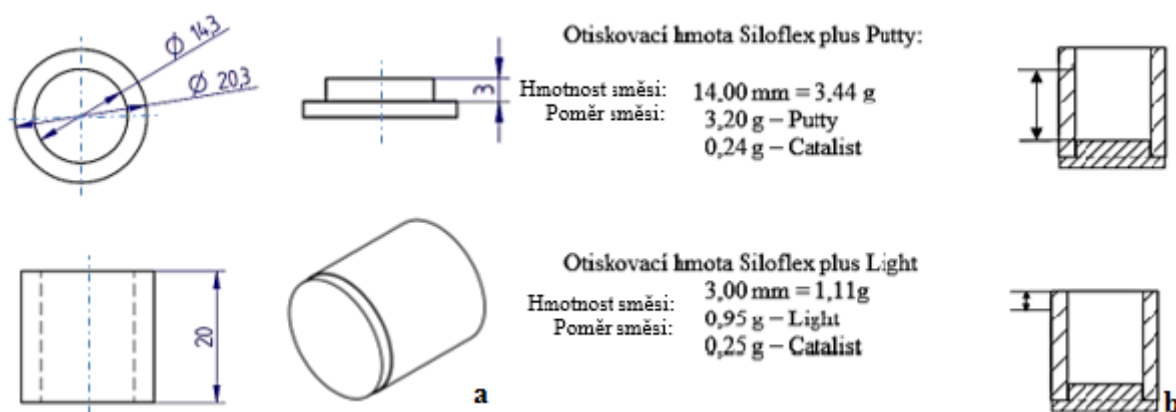
Tab. 1 Požadavky na materiál při teplotě 23°C [14]

Zkoušená vlastnost:	Siloflex Plus Putty	Siloflex Plus Light
Doba mísení	Max. 45 s	30s
Konzistence	22,0 – 26,0 mm	36,0 – 44,0 mm
Celková doba zpracovatelnosti	Min. 85 s	Min. 100 s
Doba tuhnutí	2:15 – 3:00 minut	4:00 – 4:45 minut
Zotavení po deformaci	Min. 97,5 %	Min. 98,5 %
Lineární rozměrová změna	Lepší než 0,5 %	Min. 1,3 %

C – Silikony, mezi které se řadí i otiskovací hmoty Siloflex[®] jsou izotropní a tudíž se uvádí lineární rozměrová změna α [K⁻¹]. Koeficient objemové roztažnosti β [K⁻¹] se pak snadno dopočítává.

1.5 Postup výroby repliky

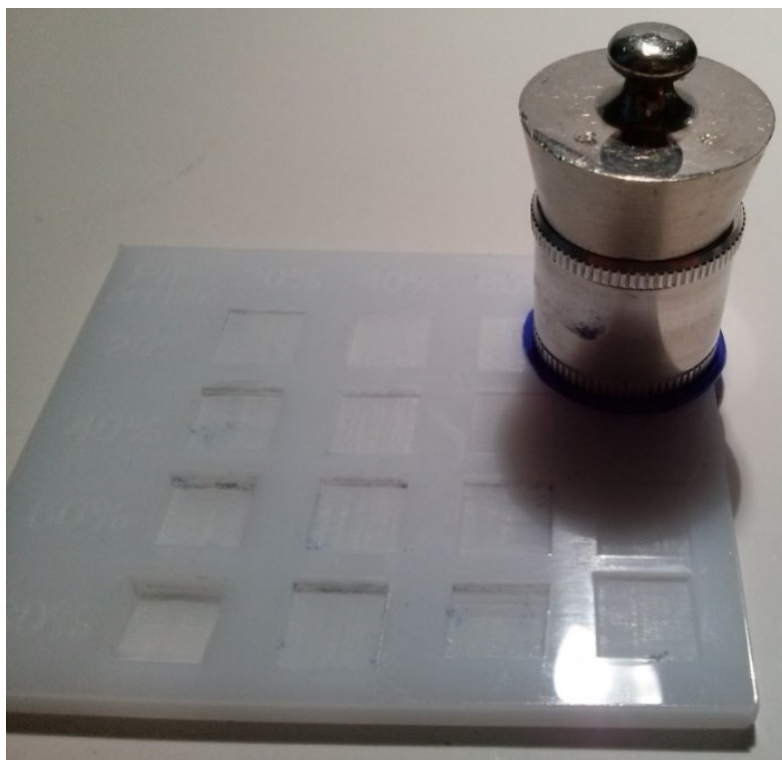
Replika je složena ze základního materiálu Putty[®] použitého pro zpevnění a Stomaflex Light[®] pro samotné otiskování repliky. Tato kombinace se ukázala jako nejstabilnější.



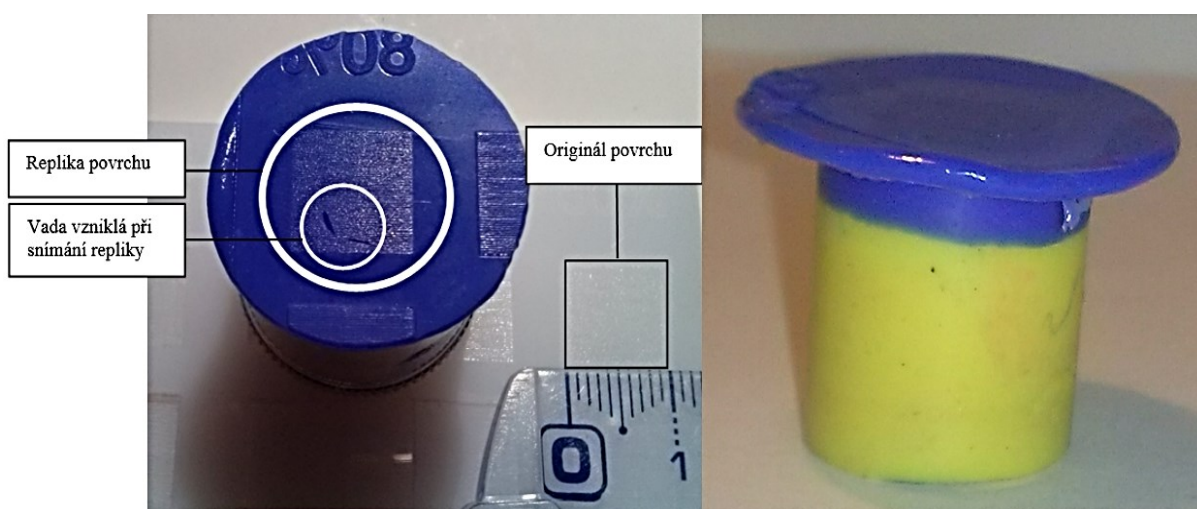
Obr. 1 a) náčrtek přípravku a b) návažek otiskovací hmoty



Obr. 2 Nanesení otiskovací hmoty do přípravku



Obr. 3 Zatížení přípravku pro vytvoření přitlaku



Obr. 4 Hotová replika DPI 1000

Na Obrázku č. 4 hotové repliky vlevo je vidět vada, která vznikla průnikem vzduchové bubliny při otiskování. Při vyjímání otisku z přípravku žlutá hmota Putty[®] zpevní celkový otisk a nedojde k jeho narušení.

1.6 Vícerozměrná statistická analýza dat

Z výše uvedených důvodů se jeví jako vhodnou metoda vícerozměrné statistické analýzy dat. Konkrétně metoda faktorové a shlukové analýzy, která umožňuje na základě využití prostorové korelační matice posoudit míru shody mezi formou a výrobkem globálně. Jako první demonstrovaná metoda je použita metoda faktorové analýzy.

1.7 Závěr faktorové analýzy

Hodnocením amplitudových parametrů: R_a , R_z , R_p , a R_v nové formy a výrobku z nové formy s využitím faktorové analýzy a 3 typů rotací konkrétně Varimax normalizovaný, Quartimax normalizovaný a Equamax normalizovaný, můžeme konstatovat, že ve všech třech případech došlo k vytvoření samostatných shluků, které jsou faktorově čisté a přináležejí jednotlivým faktorovým osám. Můžeme tedy tvrdit, že na základě příslušnosti jednotlivých shluků k rozdílným faktorům (osám) je globálně povrch formy (vyjádřen amplitudovými parametry) statistiky významně odlišný od povrchu výrobku, který vznikl v této formě. Rotací je v tomto případě míněno nalezení největší korelace mezi jednotlivými shluky.

V případě, že bychom použili pouze zobrazení amplitudových parametrů nové formy a výrobku z nové formy, obdrželi bychom boxplotový diagram tak, jak doporučuje prof. Whitehouse [1].

Z tohoto diagramu však zcela zřetelně neplyne rozdílnost jednotlivých povrchů, protože se neuvažuje korelace mezi jednotlivými parametry.

Navíc není zcela zřetelné, jak zpracovat hodnoty označené *, které mohou být extrémem, ale také hrubou chybou.

1.8 Závěr posouzení forma versus výrobek

Pomocí shlukové analýzy, konkrétně Wardovy metody, s využitím výpočtu pomocí tzv. Euklidiánské vzdálenosti, byly nalezeny shluky mezi parametry popisujícími jakost povrchu nové formy i formy použité a dále výrobků vzniklých v těchto formách.

V rámci jednotlivých shluků můžeme konstatovat, že parametry R_p , R_v respektive R_a , nám tvoří podobné shluky na základě výpočtu vzdálenosti euklidiánskou metodou.

Podobnost parametrů vzniklých na bázi aritmetických průměrů a parametrů vzniklých na bázi sumárních součtů, vyjádřená vzdáleností při posuzování opotřebené formy a výrobku z této opotřebené formy.

Parametry Rz, jež jsou funkcí parametrů Rp a Rv, tvoří samostatný shluk který je nepodobný parametrům Ra a Rsm, jež jsou funkcí aritmetických průměrů.

Na základě matice vzdáleností je možné konstatovat míru podobnosti jednotlivých parametrů popisujících jakost povrchu nové formy a výrobku z ní vzniklého (4.3) a povrchu použité formy a výrobku z ní (4.4).

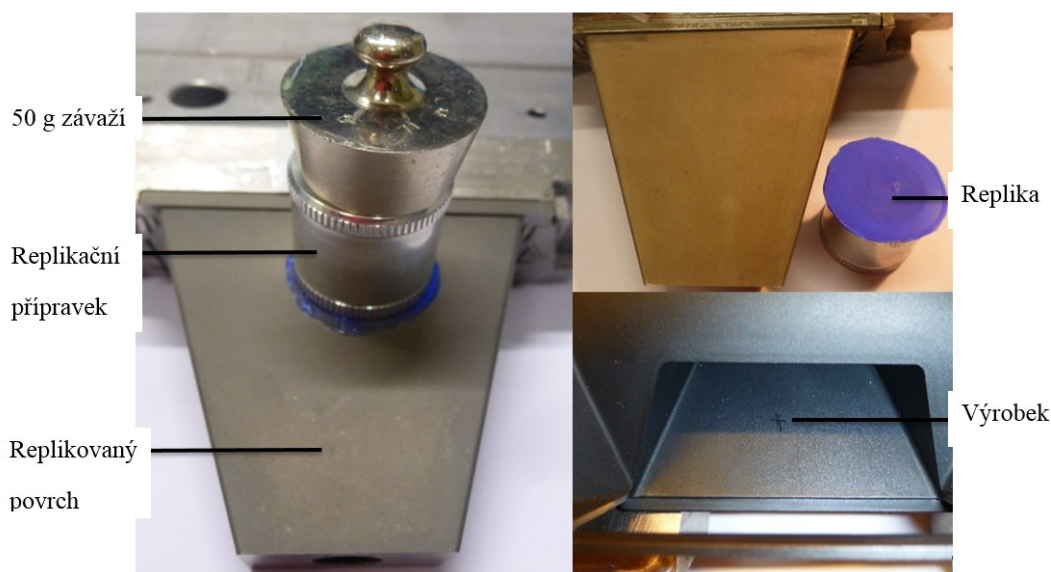
Jako měřítko kvality lze použít zvyšující, respektive snižující se, hodnotu euklidiánských vzdáleností, které jsou vyjádřené v procentech, mezi jednotlivými shluky parametrů.

Pomocí faktorové analýzy bylo prokázáno, že výrobek se od formy liší, ale hodnoty odlišností nebyly prokázány. Bylo prokázáno pouze to, že existují vyšší korelace mezi parametry vztahujícími se k výrobku a formě.

To znamená, že metodika doporučovaná prof. Whitehousem již není dostatečně průkazná a hodí se pouze na povrchy, které jsou snímány formou samostatných řezů (kontaktní profiloměry).

Při snímání prostorovém (bezkontaktním) je tato metoda nedostatečná, protože posuzujeme vícero parametrů, jež vznikly různým matematickým způsobem.

1.9 Replikace formy



Obr. 5 Provedení replikace formy

Díky velikosti formy bylo možné provést kompletní testování a tím i doložení kompletních dat do této dizertační práce. Nicméně replikace forem vznikla na základě palčivé potřeby vymyslet způsob testování velkých forem, které se nedají jednoduchým způsobem vyjmout a porovnávat.

U replikace je velmi důležité zajistit stabilní teplotní podmínky a kvalifikovanou obsluhu, aby bylo možné zajistit opakovatelnost.

V případě, že se jedná o velkou členitou formu, je nezbytné dostat od výrobce formy etalon povrchu, aby bylo možné formou replikace nezbytnou kontrolu provádět.

1.10 Závěr faktorové analýzy pro repliku nové formy

Hodnocením amplitudových parametrů: R_a , R_z , R_p , a R_v nové formy a repliky nové formy s využitím faktorové analýzy a 3 typů rotací konkrétně Varimax normalizovaný, Quartimax normalizovaný a Equamax normalizovaný, můžeme konstatovat, že ve všech těchto případech došlo k vytvoření samostatných shluků, které jsou faktorově čisté a přináležejí jednotlivým faktorovým osám. Můžeme tedy tvrdit, že na základě příslušnosti jednotlivých shluků k rozdílným faktorům (osám) je globálně povrch formy (vyjádřen amplitudovými parametry) statisticky významně odlišný od povrchu repliky této formy. Rotací je v tomto případě míněno nalezení největší kovariance mezi jednotlivými shluky.

Pomocí shlukové analýzy, konkrétně Wardovy metody s využitím výpočtu pomocí tzv. Euklidiánské vzdálenosti, byly nalezeny shluky mezi parametry popisujícími jakost povrchu nové formy a repliky vzniklé otiskem této formy.

V rámci jednotlivých shluků můžeme konstatovat, že parametry R_p , R_v respektive R_a tvoří podobné shluky na základě výpočtu vzdálenosti euklidiánskou metodou.

Parametry R_z , jež jsou funkcí parametrů R_p a R_v , tvoří samostatný shluk, který je nepodobný parametrům R_a a R_{sm} , jež jsou funkcí aritmetických průměrů.

Na základě matice vzdáleností je možné konstatovat, že stanovíme míru podobnosti jednotlivých parametrů popisujících jakost povrchu nové formy a repliky z ní vzniklé.

Jako měřítko kvality lze použít zvyšující se, respektive snižující se, hodnotu euklidiánských vzdáleností, které jsou vyjádřené v procentech, mezi jednotlivými shluky parametrů.

Pomocí faktorové analýzy jsme prokázali, že replika se liší od formy, ale neprokázali jsme, jak moc se liší. Tady pouze numericky, že existují vyšší korelace mezi parametry vztaženými k replice a formě.

Místo použití R_p , R_v , R_a a R_z pro povrch a jeho repliku, je statisticky významné použití pouhých 2 faktorů, které vyjadřují těch původních osm parametrů na 75 %. Nemusíme posuzovat jeden parametr vůči druhému (např. R_z replika versus R_z forma). Vytvoříme za pomoci faktorové analýzy 2 shluky, které popíšeme pomocí faktorů.

Jak plyne z grafu „úpatí vlastních čísel“, pomocí kritéria Kaiserovy jedničky lze konstatovat, že variabilitu všech parametrů, jak pro formu, tak pro její repliku, lze vyjádřit pomocí pouhých 2 faktorů, které vyjádří 75% variability.

Proto nazýváme „faktor 1“, faktorem popisujícím vlastnosti povrchu nové formy vyjádřené amplitudovými parametry a „faktor 2“, faktorem popisujícím vlastnosti povrchu repliky použité formy, vyjádřené amplitudovými parametry.

1.11 Závěr dizertační práce

Účelem této dizertační práce bylo nalezení postupů při hodnocení jakostí povrchů dvojic „forma a výrobek z ní vzniklý“, nebo „forma a a její replika“. Po prvotním prostudování odpovídající literatury a vytvoření příslušné rešerše je možné konstatovat, že z hlediska matematického popisu parametrů těchto dvojic jsou využívány především postupy klasické založené na principu testování hypotéz. Dále je doporučován dnes už klasický postup navržený prof. Whitehousem, který je právě na principu testování hypotéz založen.

Taktéž při využívání ISO 4288 je doporučováno takzvané pravidlo 16-ti%, kde však není specifikováno, pro který parametr je toto pravidlo navrženo a navíc se automaticky předpokládá normalita vyhodnocovaného parametru, bez uvažování šikmosti, špičatosti a vychýlení hodnot.

Z tohoto důvodu se domnívám, že výše navržené postupy jsou vhodné pouze na komparace dvojic parametrů (například R_a forma – R_a výrobek), bez nalezení dalších souvislostí.

Proto jsem navrhla doplňky k dříve navrženým postupům, s využitím Box-Coxovy transformace pro libovolné parametry povrchů, popsané v ISO 4287. Tato transformace provede datovou symetrizaci a po zpětném výpočtu retransformovaného průměru, respektive retransformované směrodatné odchylky, získáme hodnoty, které budou vyjadřovat charakteristiky parametrů dvojic povrchů, ať již formy a jejího výrobku či formy a její repliky, mnohem přesněji. Po těchto transformacích jsem dále navrhla výpočet systematických odchylek, které se především vyskytují u parametrů dvojic povrchů forma a její replika.

Po vyloučení systematických odchylek je možné již posuzovat dvojice parametrů popsanych v ISO 4287 mnohem přesněji.

Součástí mé práce bylo také nalezení vhodné hmoty, kterou bude možné replikovat formu, v případě, že z důvodů rozměrnosti či hmotnosti je přímé měření jakosti povrchu formy obtížné či nemožné.

Jako replikační hmotu jsem navrhla Siloflex[®], protože má dobré replikační vlastnosti.

Bylo však nutné navrhnout i specifický replikační přípravek nalézt odpovídající poměry mezi hmotou a katalyzátorem z důvodů separovatelnosti. Poměry jsou odlišné od doporučení výrobce, protože výrobce doporučuje užití v teplém vlhkém prostředí ústní dutiny.

Těžištěm mé dizertační práce je nalezení statistických metod, umožňujících posuzování výše uvedených dvojic povrchů nikoliv separátně, z hlediska jednotlivých parametrů, nýbrž globálně tj. jako množiny parametrů.

Posuzuji tedy nikoliv například „Ra forma – Ra výrobek“, ale množinu amplitudových parametrů naměřených na povrchu formy a výrobku, respektive repliky.

K tomuto účelu jsem navrhla a prakticky dokázala na případu reálné formy a výrobku z ní vzniklého (firma Plastika a.s. výrobek kabinový filtr do automobilu) využití faktorové analýzy amplitudových parametrů a dále analýzy shlukové pro amplitudové a frekvenční parametry jednotlivých dvojic povrchů.

S využitím faktorové analýzy a jako rozhodčího kritéria tzv. Kaiserovy jedničky, jsem dokázala, že dva faktory popíší více než 75 % rozptylů všech sledovaných parametrů a navíc vzniklé dva shluky jsou faktorově čisté.

Abychom však byly schopni posoudit rozdílnost jednotlivých dvojic povrchů globálně, použila jsem za tímto účelem shlukovou analýzu založenou na výpočtu euklidiánské vzdálenosti.

Pomocí této metody jsem již byla zcela jednoznačně schopna určit rozdílnost dvojic povrchů a to buď v bezrozměrných jednotkách či procentuálně. Při posuzování dvou forem (forma nová prošla záběhovým cyklem a forma použita mající dle firmy Plastika za sebou více jak milion cyklů) byla tato rozdílnost zcela zřetelná na tzv. dendrogramických diagramech a činila difference více jak 10% u nové a 15% u použité formy.

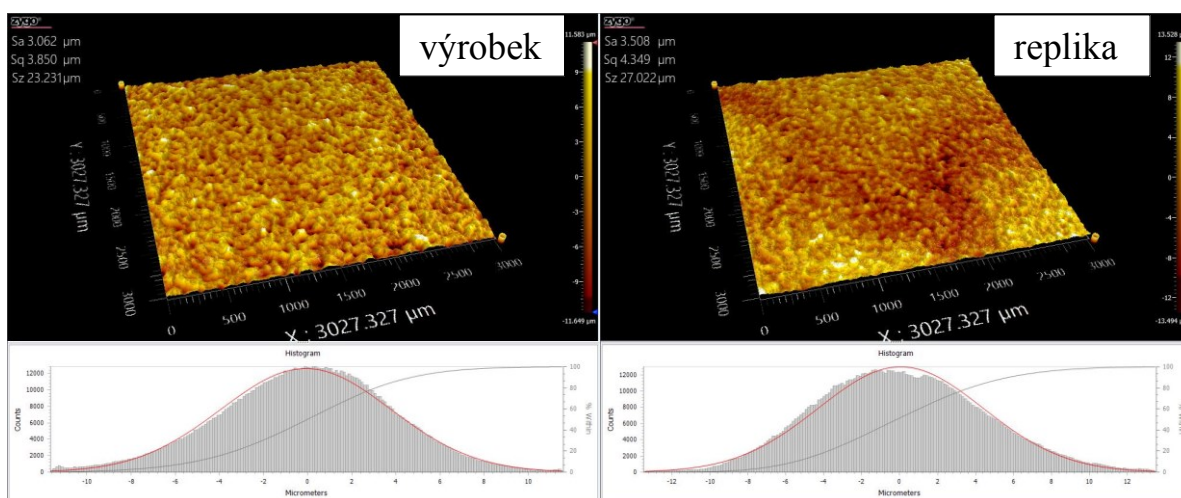
Mohu tedy konstatovat, že jsem sestavila novou metodiku hodnocení dvojic povrchů a nový postup při výrobě replikací forem a jejich hodnocení, s tímto závěrem:

Určení minimální a maximální replikace

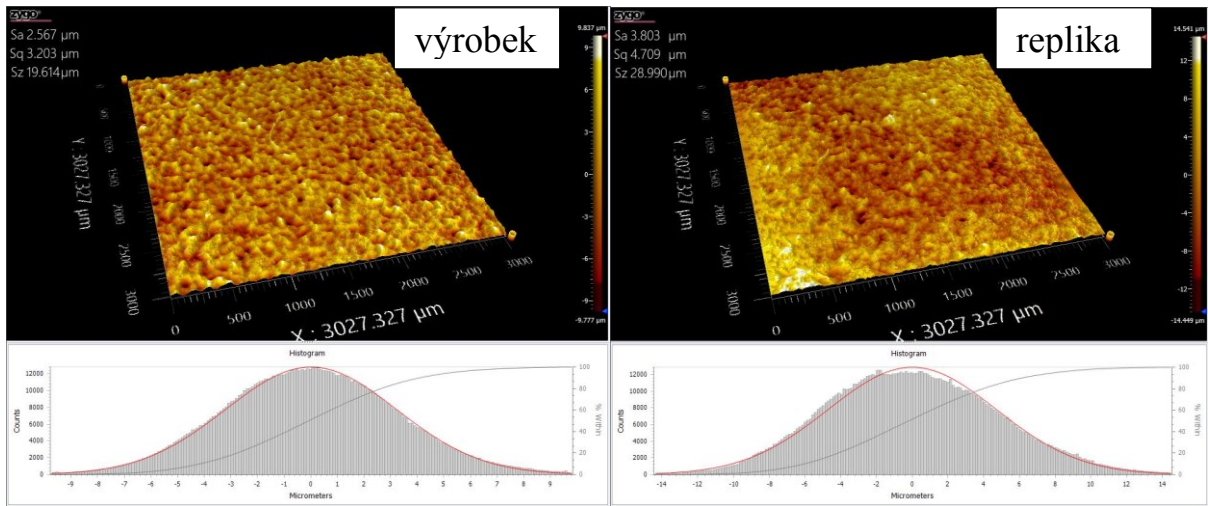
Na obrázcích 82 a 83 jsou vidět 3D skeny originálního a replikovaného povrchu vzorníku obráběného pomocí frézování. Rozdíl mezi originálem a replikou je $1,5\mu\text{m}$ u S_a což znamená, že rozdíl u R_a je přibližně $1\mu\text{m}$ a jde o systematickou odchylku.

Při testování způsobů obrábění /frézování čelní i rovinné a broušení čelní i rovinné) bylo zjištěno, že je možné replikovat povrch:

- maximum, které jsme schopni replikovat bez vady měření je $R_a 12,5\mu\text{m}$
- minimum, které jsme schopni změřit je $R_a 0,8\mu\text{m}$.



Obr. 6 Porovnání výrobku a repliky nové formy



Obr. 7 Porovnání výrobku a repliky použité formy

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Ra	Střední aritmetická drsnost
Rmr	Materiálový poměr profilu
Rp	Největší výška výstupku profilu
Rq	Střední kvadratická úchylka profilu drsnosti
Rt	Celková výška profilu
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu
Rz	Největší výška profilu
Sa	Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu
Sq	Základ průměrné výšky povrchu
Ssk	Šikmost omezené stupnice povrchu
Sku	Špičatost omezené stupnice povrchu
2D	Dvojměrný prostor
3D	Trojměrný prostor
H0	Nulová hypotéza
H1	Alternativní hypotéza
M	Medián
min	Minuta
mm	Milimetr
nm	Nanometr
μm	Mikrometr
Form new	forma nová
Form used	forma použitá
Product new	výrobek z nové formy
Product used	výrobek z použité formy
Replica new	replika nové formy
Replica used	replika použité formy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 a) náčrtek přípravku a b) návažek otiskovací hmoty	11
Obr. 2 Nanesení otiskovací hmoty do přípravku	11
Obr. 3 Zatížení přípravku pro vytvoření přítlaku	12
Obr. 4 Hotová replika DPI 1000	12
Obr. 5 <i>Provedení replikace formy</i>	15
Obr. 6 Porovnání výrobku a repliky nové formy	18
Obr. 7 Porovnání výrobku a repliky použité formy	19

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Požadavky na materiál při teplotě 23°C [14]	10
--	----

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

Publikace v databázi SCOPUS

- 1) JAKUBÍČEK, Josef, Martina HŘIBOVÁ, Jaroslav KUČERA a Milena KUBIŠOVÁ, 2016. The Influence of nucleating agents and process parameters on phase structure of isotactic polypropylene and its Copolymer with 3% ethylene. Manufacturing Technology. Univerzita J. E. Purkyne, 16(1), 103-106. ISSN 12132489. (article)
- 2) SÝKOROVÁ, Libuše, Vladimír PATA, Milena KUBIŠOVÁ a Martina MALACHOVÁ, 2016. The “Laser Machinability” of Polymeric Materials. Materials Science Forum [online]. 862, 141-147 [cit. 2018-02-07]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.862.141. ISSN 1662-9752. Dostupné z: <http://www.scientific.net/MSF.862.141> (article)
- 3) PATA, Vladimír, Libuše SÝKOROVÁ, Milena KUBIŠOVÁ a Martina MALACHOVÁ, 2016. Resolving Problems of Finding Surface Boundaries during Laser Machining. Materials Science Forum. 862, 66-71. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.862.66. ISSN 1662-9752. Dostupné také z: <http://www.scientific.net/MSF.862.66> (article)
- 4) KUBIŠOVÁ, Milena, Vladimír PATA, Libuše SÝKOROVÁ a Jana KNEDLOVÁ, 2017. Influence of laser beam on polymer material. Manufacturing Technology. Univerzita J. E. Purkyne, 17(5), 742-746. ISSN 12132489. (article)
- 5) KUBIŠOVÁ, Milena, Vladimír PATA, Libuše SÝKOROVÁ a Martina MALACHOVÁ, 2017. Use of cluster analysis for assessment of surface replicas machined by a laser beam. Manufacturing Technology. Univerzita J. E. Purkyne, 17(4), 489-493. ISSN 12132489. (article)
- 6) SÝKOROVÁ, Libuše, Oldřich ŠUBA, Vladimír PATA, Milena kubišová, Structural changes in metals during Laser cutting, 2018, Materials Science Forum. Vol. 919, 25-33. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF. 919.25. ISSN 0255-5476. Dostupné z: <http://www.scientific.net//msf.919.25> (article)
- 7) KASZONYIOVÁ Martina, František RYBNIKAŘ a Milena Kubišová, The influence of the static electrical field on the phase transformation II-I of the isotactic polybutene-1, 2018, Materials Science Forum. Vol. 919, 160-166. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF. 919.160. ISSN 0255-5476. Dostupné z: <http://www.scientific.net//msf.919.160> (article)
- 8) PATA, Vladimír, Libuše SÝKOROVÁ a Milena KUBIŠOVÁ, The influence of laser beam technological parameters on the polymethyl methacrylate surface quality, 2018, Materials Science Forum. Vol. 919, 190-1698. DOI

10.4028/www.scientific.net/MSF.919.190. ISSN 0255-5476. Dostupné z: <http://www.scientific.net//msf.919.190> (article)

9) PATA, Vladimír, Libuše SÝKOROVÁ, Oldřich ŠUBA a Milena KUBIŠOVÁ, 2016. Simulation of the Transient Temperature Field when Laser Machining Polymeric Materials. Key Engineering Materials. 686, 246-251. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.862.66. ISSN 1662-9795. Dostupné také z: <http://www.scientific.net/KEM.686.246> (Conference Paper)

10) KUBIŠOVÁ, Milena, Vladimír PATA a Libuše SÝKOROVÁ, 2017. Creating and evaluating replicas of surfaces machined by laser beam. MATEC Web of Conferences [online]. 121, 03013- [cit. 2018-02-07]. DOI: 10.1051/mateconf/201712103013. ISSN 2261-236x. Dostupné z: <http://www.matec-conferences.org/10.1051/mateconf/201712103013> (Conference Paper)

11) RUSNÁKOVÁ, Soňa, Milan ŽALUDEK, Milena KUBIŠOVÁ a Vladimír RUSNÁK, 2017. OOA composite structures applicable in railway industry. MATEC Web of Conferences [online]. 121, 01015- [cit. 2018-02-07]. DOI: 10.1051/mateconf/201712101015. ISSN 2261-236x. Dostupné z: <http://www.matec-conferences.org/10.1051/mateconf/201712101015> (Conference Paper)

12) SYKOROVÁ, Libuše, Vladimír PATA, Milena KUBIŠOVÁ a Jana KNEDLOVÁ, 2017. Effect of concentrated energy of laser beam on polymer material. MATEC Web of Conferences [online]. 121, 03021 [cit. 2018-02-07]. DOI: 10.1051/mateconf/201712103021. ISSN 2261-236x. Dostupné z: <http://www.matec-conferences.org/10.1051/mateconf/201712103021> (Conference Paper)

Publikace v databázi Web of Science

1. KUBIŠOVÁ, M., V. PATA, L. SÝKOROVÁ, L. HÝLOVÁ a O. ŠUBA, 2018. Multi-parametersurface-quality analysis. Materiali in tehnologije [online]. 52 (1), 23-26 [cit. 2018-03-17]. DOI: 10.17222/mit.2017.095.ISSN15802949.Dostupné z: <http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit181/kubisova.pdf> (article)

2. KASZONYIOVÁ, M., F. RYBNIKAR, M. KUBIŠOVÁ a D. MAŇAS, 2018. Effect of beta irradiation on the structural changes of isotactic polypropylene. Materiali in tehnologije [online]. 52 (1), 15-18 [cit. 2018-03-17]. DOI: 10.17222/mit.2017.089. ISSN 15802949. Dostupné z: <http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit181/kaszonyiova.pdf> (article)

3. ŠUBA, O., L. SÝKOROVÁ, V. PATA, O. ŠUBA JR. a M. KUBIŠOVÁ, 2018. Modelling of a transient-temperature field in plastics during laser cutting.

Materiali in tehnologije [online]. 52(1), 19-21 [cit. 2018-03-17]. DOI: 10.17222/mit.2017.091. ISSN 15802949. Dostupné z: <http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit181/suba.pdf> (article)

4. FOJTL, L., HUBA, J., KUBIŠOVÁ, M., PATA, V., MRÁČEK, A. and SEDLÁČEK, T., 2017. Modern types of PVD/PACVD coatings used for injection molds and their effects on selected physical properties of mold cavities, METAL 2017 - 26th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings 2017, pp. 1258-1263.

ŽIVOTOPIS

Jméno: Milena Kubišová

Datum narození: 9. 3. 1983

Místo narození: Zlín

Národnost: Česká

Adresa: Třída Svobody 1226, Zlín 763 02

Afilace: Ústav výrobního inženýrství, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Vavrečkova 275, 760 01 Zlín

Email: mkubisova@utb.cz

Vzdělání:

Červenec 2014
do současnosti

Doktorské studium v oboru: Nástroje a procesy, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, (téma disertační práce: Hodnocení jakosti povrchů polymerních dílů nenormativním způsobem)

2012 - 2014

Magisterské studium v oboru: Řízení Jakosti, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, (téma diplomové práce: Návrh kalibrace a renovace dílenského mikroskopu využitím laserinterferometru)

2009 - 2012

Bakalářské studium v oboru: Technologická zařízení, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně (téma bakalářské práce: Srovnání Splitting indexu a Indexu toku taveniny polymerů)

Řešené projekty:

2015	Grant UTB IGA//FT/2015/011 Výzkum snímání a vyhodnocování jakosti povrchů nenormativním způsobem Pozice: hlavní řešitel
2016	Grant UTB IGA/FT/2016/005 Výzkum snímání a vyhodnocování jakosti povrchů nenormativním způsobem Pozice: hlavní řešitel
2017 a 2018	Práce na projektech IGA/FT/2017/002 a IGA/FT/2018/004

Pedagogická činnost	T1PR – Základy výrobních procesů T4ST2 – Strojírenská technologie II. T7RJK – Řízení jakosti
---------------------	--

Obhájené bakalářské a diplomové práce

Skovajsa Zbyněk - Koncepce metrologie při výrobě malého dopravního letounu

Rožek Pavel - Kalibrace univerzálního délkoměru Carl Zeiss Jena

Jemelka Jakub - Možnosti využití 2D a 3D skenovacích metod pro snímání povlakovaných povrchů

Vítková Dominika - Porovnání 2D a 3D skenovacích metod pro snímání povrchů

Pavlík Jan - Aplikace normy ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN 4288 na polymerní materiály

Král Aleš - Statistické hodnocení nábojů a jejich vlastností při střelbě

Janošík Zdeněk - Hodnocení jakosti polymerních povrchů ve 3D

REFERENCE

1. WHITEHOUSE, D. J., 2011. Handbook of surface and nanometrology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4200-8201-2.
2. ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
3. ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
4. 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.
5. Diagram pro výběr správného testu [online].[cit. 2017-07-20]. Dostupné z WWW: http://fu.ff.cuni.cz/STAT/16_testy_strednich_hodnot.html
6. Grubbs, F. E. (February 1969). "Procedures for detecting outlying observations in samples". *Technometrics*. 11 (1): 1–21. doi:10.1080/00401706.1969.10490657
7. ISO 16269-4, Statistical interpretation of data — Part 4: Detection and treatment of outliers
8. V. Barnett, T. Lewis, "Outliers in statistical data" , Wiley (1994) (Edition: Third)
9. Meloun, Milan a Jiří Militký. Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 9788024621968.

10. Meloun, Milan a Jiří Militký. Interaktivní statistická analýza dat. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 9788024621739.
11. F test [online]. [cit. 2017-07-20]. Dostupné WWW: <https://en.wikipedia.org/wiki/F-test>
12. Talysurf CLI Systems. [online].[cit. 2017-07-20]. Dostupné z <http://www.taylor-hobson.com>
13. Bumbálek, L. a kol. Kontrola a měření. Informatorium, spol. s r.o. Praha, 2009. ISBN 978-80-7333-072-9
14. Siloflex [online].[cit. 2017-07-20]. Dostupné z <http://www.sporadental.com/cz/produkty/category-list/product-family-list/c-silikonove-hmoty>
15. Siloflex [online].[cit. 2017-07-20]. Dostupné z <http://www.sporadental.com/cz/produkty/category-list/product-family-list/technicke-materialy/metylmetakrylatova-lici-pryskyrice/dentacryl--technicky>
16. Technické meranie: Učebné texty z projektu Metromedia-Online [online]. 1.vydání. Bratislava, 2005 [cit. 2017-07-04]. Dostupné z: <http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/obsah.htm>
17. Technologie i technologie obrábění – 3. část [online]. HUMÁR, Anton. 2005. Vysoké Učení Technické v Brně: Fakulta Strojního Inženýrství Ústav Strojírenské Technologie, 2005, s. 57 [cit. 2017-08-28]. Dostupné z: http://docplayer.cz/13479-Technologie-i-technologie-obrabeni-3-cast.html#show_full_text

18. KOCMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
19. Whitehouse, D.J. Some Theoretical Aspects of Surface Peak Parameters. Precision Engineering 23 (1999) 94-102
20. DAVID, Whitehouse, DUAL FUNCTION – SURFACE METROLOGY [online]. 14 - 61 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/e343/770f9d49349d08a497fb83de540ee4ebdf8b.pdf>
21. WHITEHOUSE, D. J., 2012. Surface geometry, miniaturization and metrology. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences [online]. 370(1973), 4042-4065 DOI: 10.1098/rsta.2011.0055. ISSN 1364-503X. Dostupné z: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rsta.2011.0055>
22. WHITEHOUSE, D. J., 2013. Theoretical enhancement of the Gaussian filtering of engineering surfaces. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences [online]. 469(2158), 20130184-20130184 DOI: 10.1098/rspa.2013.0184. ISSN 1364-5021. Dostupné z: <http://rspa.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rspa.2013.0184>
23. WHITEHOUSE, David J., Jiancheng FANG a Zhongyu WANG, Changing face of surface metrology [online]. In: 2006-11-13, 63571J, DOI: 10.1117/12.716966. Dostupné z: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.716966>

Ing. Milena Kubišová

**Hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů nenormativním
způsobem**

Quality Assessment of Surface of Polymer Parts

in a Non-Normative Form

Dizertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,

nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: Ing. Milena Kubišová

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2018

Pořadí vydání: první

ISBN 978-80-7454-739-3

