

Aplikace normy ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4287 na polymerní materiály

Jan Pavlík

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Pavlík**
Osobní číslo: **T14075**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Aplikace normy ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN 4288 na polymerní materiály**

Zásady pro vypracování:

1. Popište základní principy kontaktního a bezkontaktního snímání jakosti, se zřetelem k ČSN EN ISO 4288
2. Popište základní parametry jakosti povrchu s uvažováním normy ČSN EN ISO 4287
3. Praktická část:
4. Zvolte optimální počet snímání na naměřeném dílci včetně počtu základních délek
5. Dílce změřte kontaktně a bezkontaktně, včetně vyhodnocení dle ČSN EN ISO 4287

Rozsah bakalářské práce:

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. David J. Whitehouse. Surfaces and their measurement. Taylor & Francis, 2002

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milena Kubišová

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2017

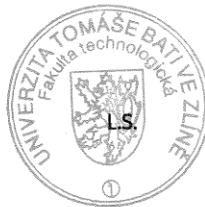
Termín odevzdání bakalářské práce:

19. května 2017

Ve Zlíně dne 31. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: Pavlík Jan

Obor: Technologické zařízení

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, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 16.5.2017

Pavlík

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 nevydělečně 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 nahlížení 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 vzdělávacímu 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 jakostí povrchu forem a vstřikovaného výrobku.

V teoretické části jsou popsány základní parametry norem ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288. V praktické části jsou vyhodnocené výsledky, podle těchto norem, pro čtyři formy s jinou povrchovou úpravou a jejich výrobky.

Klíčová slova: Jakost povrchu, drsnost povrchu, korelace, bezkontaktní měření povrchu.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the quality of the mold surface and the injection molded product. In the theoretical part are described the basic parameters of the standard ČSN EN ISO 4287 and ČSN EN ISO 4288. In the practical part are evaluated the results for four molds with a different coating and their products.

Keywords: Surface quality, surface roughness, correlation, non-contact surface measurement.

Tímto bych chtěl především poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Mileně Kubišové za trpělivost, ochotu, odborné vedení a cenné rady, které jsem dostal při psaní této bakalářské práce. Dále děkuji mé rodině za trpělivost a podporu po celou dobu mého studia.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 JAKOST POVRCHU	11
1.1 DŮLEŽITÉ NORMY PRO PUSUZOVÁNÍ TEXTURY POVRCHU.....	11
2 NORMA ČSN EN ISO 4287	13
2.1 OBECNÉ POJMY A DEFINICE	13
2.2 GEOMETRICKÉ PARAMETRY	16
2.3 PARAMETRY PROFILU POVRCHU	18
3 NORMA ČSN EN ISO 4288	21
3.1 ODHADOVÁNÍ PARAMETRŮ	21
3.2 DEFINOVANÉ PARAMETRY NA VYHODNOCOVANÉ DÉLCE	21
3.3 PRAVIDLA PRO POROVNÁVÁNÍ MĚŘENÝCH HODNOT S TOLERANČNÍMI MEZEMI	21
3.4 HODNOCENÍ PARAMETRŮ	22
4 ZPŮSOBY SNÍMÁNÍ POVRCHU	23
4.1 DOTYKOVÉ SNÍMÁNÍ POVRCHU	23
4.2 BEZDOTYKOVÉ SNÍMÁNÍ POVRCHU.....	24
5 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	26
5.1 KORELACE	26
5.2 NEKORELOVANÁ DATA	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	28
6 VÝROBEK	29
6.1 VSTRÍKOVACÍ FORMY	29
Forma č. 1.....	30
Forma č. 2.....	30
Forma č. 3.....	30
Forma č. 4.....	30
6.2 CHARAKTERISTIKA NANÁŠENÍ POVLAKŮ.....	31
Nanášení vrstev PVD	31
7 MEŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ	32
7.1 TALYSURF CLI 500.....	32
8 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY	33
8.1 VÝSLEDKY VÝROBKU 1 A FORMY 1	33
8.2 VÝSLEDKY VÝROBKU 2 A FORMY 2	39
8.3 VÝSLEDKY VÝROBKU 3 A FORMY 3	45
8.4 VÝSLEDKY VÝROBKU 4 A FORMY 4	50
ZÁVĚR	56
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	61

ÚVOD

Abychom lépe dokázali pochopit současné pojetí jakosti a kvality, je vhodné se otočit a podívat do minulosti.

Už ve starověku v prvních státních útvarech docházelo k rozvoji řemesel. Začaly vznikat kontrolní orgány, které měly za úkol ochranu zájmů, a to jak panovníka, tak obchodníků. Názorným příkladem této doby, tj. 2500 let př. n. l. v Egyptě, při stavění pyramid musela být osoba zodpovědná za rozměry a výdrž kamenů. Z České historie je to například Václav IV, který na přelomu 14. a 15. století podnikal inspekční cesty ve společnosti svého kata a nepoctivé obchodníky vždy po zásluze potrestal.

Jakost a kvalita povrchu materiálu se zpočátku dala zkoumat jen omezenými možnostmi pro každou dobu. V dávných dobách, například při výrobě meče, hodnotily kvalitu jeho čepele hlavně vzhledem a hmatem, zda je dostatečně ostrý, vyrovnaný, vyvážený, odolný apod.

V dnešní době nám už nestačí pouhý zrak a hmat ke kontrole materiálu. Používají se nej-různější přístroje a zařízení. Abychom dosáhli opakovatelnosti výsledků, musíme se držet podle přesně stanovených pravidel, neboli norem.

Norma je uznávaný a schválený dokument, který stanovuje pravidla pro reprodukovatelnost dosažených výsledků. Tyto dokumenty vycházejí z ověřených výsledků vědy, techniky a praxe.

Cílem této práce je porovnat výsledky měření drsnosti povrchu forem a jejich vstříkovaných výroků podle norem ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288. Výsledky jsou v praktické části této práce znázorněny a porovnány.

I. TEORETICKÁ ČÁST

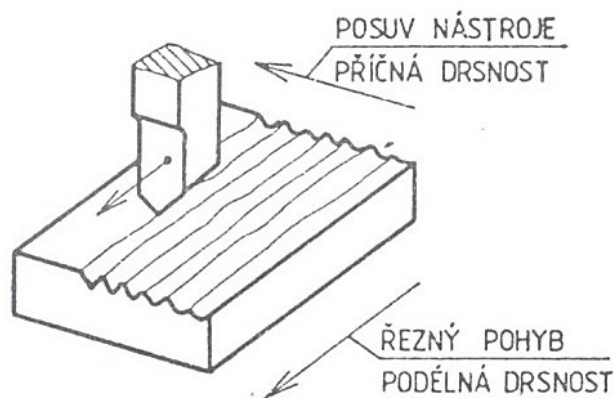
1 JAKOST POVRCHU

Jakost jako celek je souhrn vlastností výrobku, který splňuje předem stanovené potřeby.

Povrch je definován jako vrstva makroskopického objektu výrobku, tvořící hranici mezi základním materiálem a okolím. Tvoří rozhraní mezi dvěma fázemi a určuje vzhled povrchu [1].

Jakost je definovaná strukturou obráběného povrchu nebo jeho drsností. Drsnost povrchu je určena především zvolenou technologií výroby a následným opracováním materiálu, jsou to nerovnosti s malou roztečí. Drsnost nedefinuje vady, které vznikají ojedinělým poškozením, vadami materiálu či špatným např. důlky, propadliny, praskliny.

Drsnost se posuzuje ve dvou směrech, a to v příčném a podélném směru.



Obr. 1 Parametry pro posuzování drsnosti [2]

1.1 DŮLEŽITÉ NORMY PRO POSUZOVÁNÍ TEXTURY POVRCHU

Všechny níže uvedené normy jsou doposud platné. V této bakalářské práci se budeme převážně zabývat normou ČSN EN ISO 4287 [3] a ČSN EN ISO 4288 [4].

- **ČSN EN ISO 4287** – mezinárodní norma stanovující obecné definice, termíny a parametry pro určování struktury povrchu (drsnosti, vlnitosti, ...) profilovou metodou [3].

- **ČSN EN ISO 4288** – zabývá se pravidly a postupy pro posuzování struktury povrchu. Najdeme zde například způsoby odhadování parametrů pomocí výpočtů, postupy a pravidla pro kontrolu dotykovými přístroji [4].
- **ČSN EN ISO 8785** – norma popisující druhy nedokonalosti povrchu (koroze, mikrotřhliny, ořepy, póry, rýhy, atd.), parametry nedokonalosti povrchu (délka, šířka, počet a celková plocha nedokonalosti povrchu, ...) a potřebné termíny a definice [5].
- **ČSN EN ISO 13 565** – norma se zabývá filtrací povrchu a všeobecnými podmínkami pro měření. Vyskytuje se zde například směr snímání, výběr mezní vlnové délky cut – off λ_c a vyhodnocované délky \ln , proces filtrace pro určení profilu drsnosti. Norma je určena pro povrchy mající poměrně veliké prohlubně pod mnohem jemněji dokončenými ploškami s velmi malou vlnitostí [6].
- **ČSN EN ISO 3274** – Využívá se pro měření dotykovým způsobem, dané úchytky zkoumá snímací hrot, který je dále vypočítává a zaznamenává [7].

2 NORMA ČSN EN ISO 4287

Tato mezinárodní norma z roku 1998 obsahuje 42 parametrů profilu a je tak nejrozsáhlejší a jednou z nejpoužívanějších norem. Celkově je definováno 65 parametrů profilu.

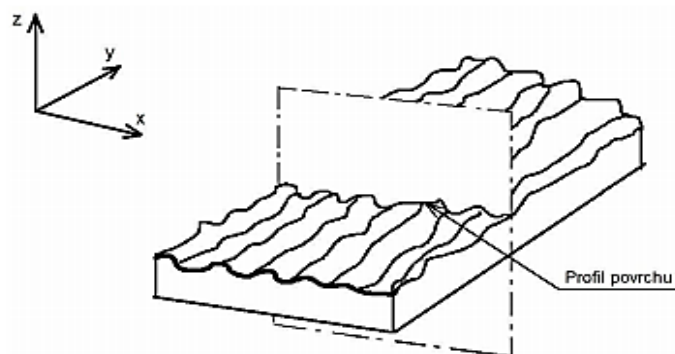
2.1 OBECNÉ POJMY A DEFINICE

Reálný povrch – Reálný povrch, který dělí těleso od okolního prostředí.

Souřadnicový systém – V tomto souřadnicovém systému jsou přesně definovány všechny parametry struktury zkoumaného povrchu. Nejčastěji se využívá pravoúhlý souřadnicový systém, kde osy jsou tvořeny pravotočivou kartézskou soustavou. Osa X ve směru snímání je souběžná se střední čarou, osa Y leží také na skutečném povrchu a osa Z směřuje z materiálu ven do okolí [3].

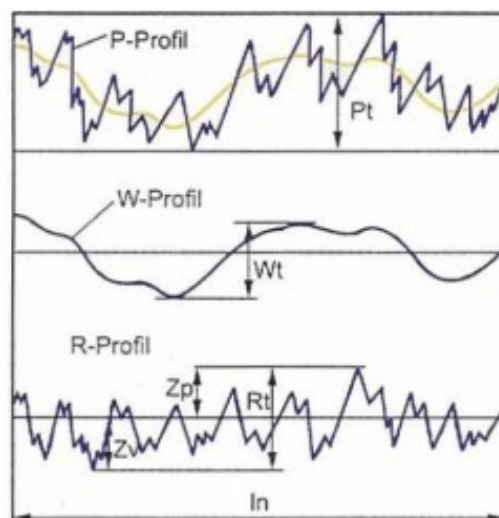
Nedokonalosti povrchu – Vady vznikající pouze ojediněle. Můžou vzniknout během výroby, opotřebením materiálu, skladováním apod., jsou to například: rýhy, trhlinky, koroze. Tyto vady se nezahrnují do vyhodnocení jakosti povrchu.

Profil povrchu – Profil je pomyslná průsečnice dané roviny se skutečným povrchem. Tato rovina je kolmá ke skutečnému povrchu ve vhodném směru (viz. Obr. 2). Profil povrchu je základním zdrojem informací pro další posuzování struktury povrchu [3].



Obr. 2 Profil povrchu [3]

- Základní profil (P-profil) – hlavní základ pro hodnocení tzv. P/parametrů (viz Obr. 3). Tvar tohoto povrchu vzniká nedostatečnou tuhostí, špatnou přímostí vodících ploch nebo teplem které způsobuje deformaci obrobene plochy [3].
- Profil drsnosti (R-profil) – mikro-nerovnost, ze které vychází hodnocení parametrů profilu povrchu struktury, tzv. R-parametrů (viz Obr. 3). Drsnost povrchu je způsobena blízkými nerovnostmi, které vznikají především během výrobního procesu [3].
- Profil vlnitosti (W-profil) – tyto makro-nerovnosti jsou základním parametrem pro hodnocení profilu vlnitosti, tzv. W-parametrů (viz Obr. 3). Vlnitost povrchu je nejčastěji způsobena deformací, chvěním nebo zpevněním materiálu [3].



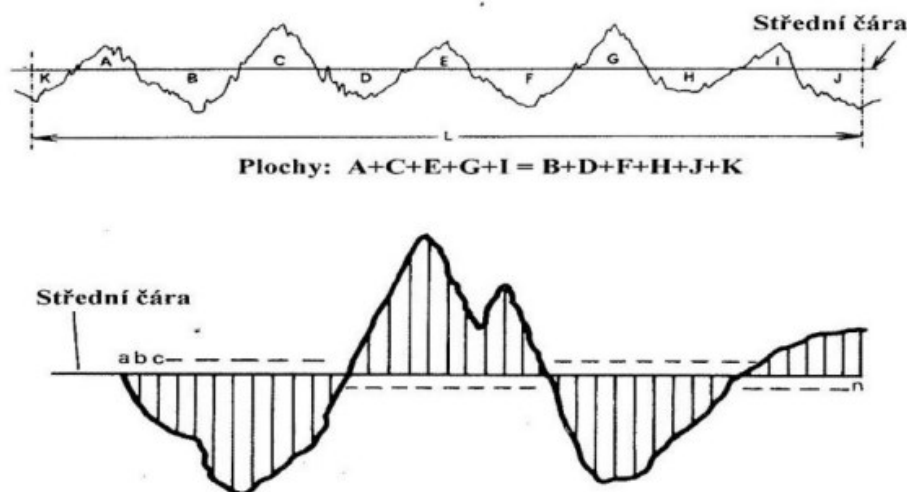
Obr. 3 Profil povrchu [3]

Struktura povrchu – Malé nerovnosti od přesné geometrie povrchu, jsou nahodilé nebo opakované a tvoří trojrozměrnou topografii povrchu.

Struktura povrchu se dělí podle velikosti rozteče těchto úchylek:

- Základní profil – Velká rozteč
- Vlnitost povrchu – Střední rozteč
- Drsnost povrchu – Malá rozteč

Struktura čáry – Čára, která probíhá středem naměřených vrcholů a prohlubní tak, aby součet ploch pod touto čarou byl roven součtu ploch pod ní (obr. 4).



Obr. 4 Aplikace střední čáry [3]

Základní délka

Tato délka slouží k rozpoznávání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil, měří se ve směru osy X [3].

Vyhodnocovaná délka

Používá se k posouzení vyhodnocovaného profilu, měří se ve směru X. Obsahuje jednu nebo více základních délek [3].

Střední čára základního profilu

Čára tvořená nejmenšími čtverci, která přiléhá jmenovitému tvaru základního profilu [3].

Střední čára profil drsnosti

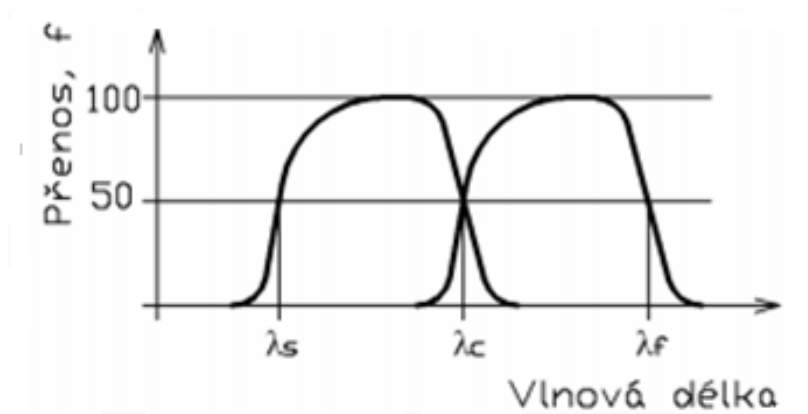
Tato čára odpovídá dlouhovlnné složce profilu potlačeného filtrem profilu λc [3].

Střední čára profilu vlnitosti

Tato čára odpovídá dlouhovlnné složce profilu potlačeného filtrem profilu λ_f [3].

Filtr profilu – Strukturu povrchu dělíme podle rozteče, a abychom jí mohli rozdělit, musíme ji nejdříve separovat. Ta se provádí filtrováním profilu [8].

- Filtr profilu λ_s, L_s – definuje rozhraní mezi úplně nejkratšími složkami vln přítomnými na povrchu a drsností (viz obr. 1-4).
- Filtr profilu λ_c, L_c – určuje rozhraní mezi drsností a vlnitostí (viz obr. 1-4).
- Filtr profilu λ_f, L_f – vyznačuje rozhraní mezi delšími složkami vln přítomnými na povrchu a vlnitostí (viz obr. 1-4).
- Cut – off – vlnová délka vymezující filtr profilu.



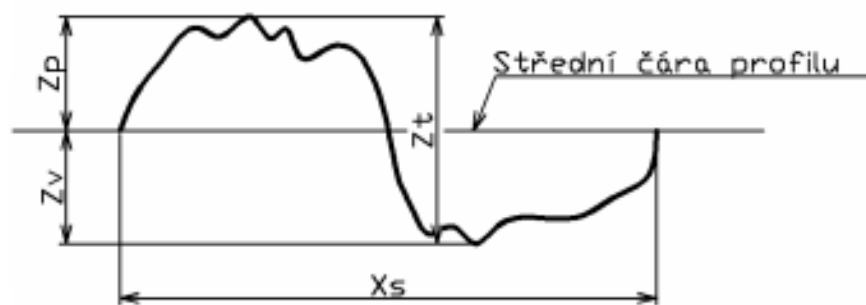
Obr. 5 Charakteristika přenosu filtrace profilu [3]

2.2 GEOMETRICKÉ PARAMETRY

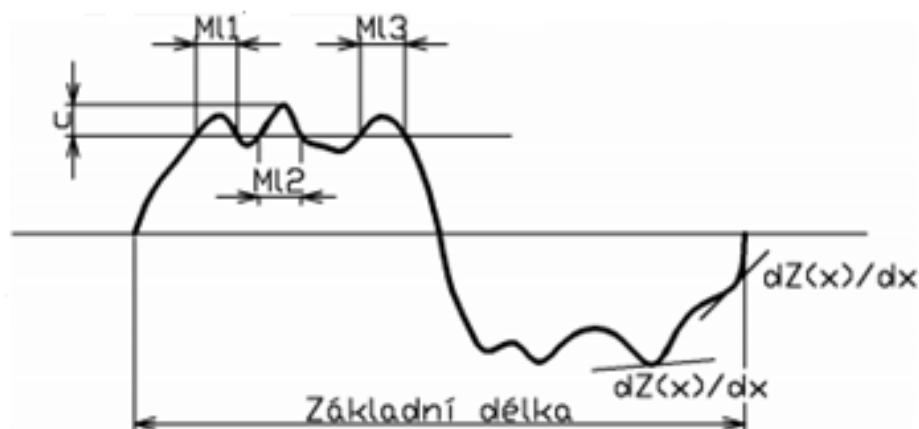
Prvek profilu – Je to profilový výstupek a přilehlá prohlubeň (Obr. 6). Základní prvky profilu.

- Hodnota souřadnice $Z(x)$ – přibližně naznačí výšku posuzovaného profilu v libovolné poloze X [3].
- Místní sklon dZ/dX – posuzovaný profil je zobrazen na Obr. 7 [3].

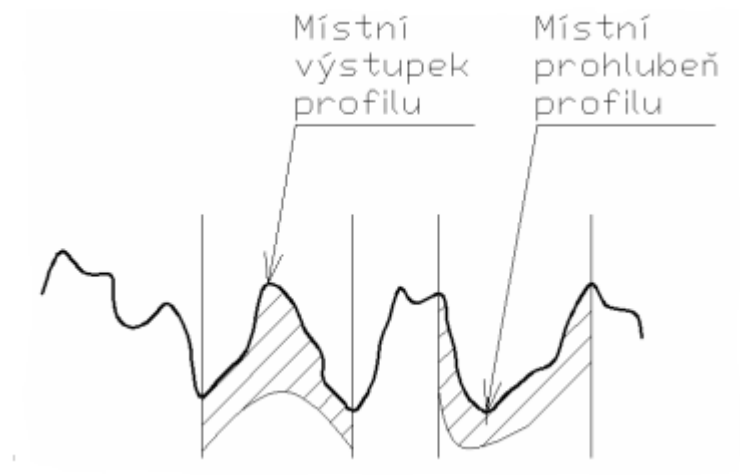
- Výška výstupku profilu Z_p – vzdálenost střední čáry k nejvyššímu výstupku (viz Obr. 6) [3].
- Hloubka prohlubně profilu Z_v – vzdálenost střední čáry k nejnižšímu výstupku (viz Obr. 6) [3].
- Výška prvku profilu Z_t – vzdálenost od největší hloubky k nejvyšší výšce, $Z_p + Z_v$ (viz Obr. 6) [3].
- Šířka prvku profilu X_s – délka úseku osy x v prvku profilu (viz Obr. 6) [3].
- Místní výstupek profilu – celá část profilu mezi dvěma přilehlými prohlubněmi (viz Obr. 8) [3].
- Místní výstupek profilu – celá část profilu mezi dvěma výstupky (viz Obr. 8) [3].



Obr. 6 Prvek profilu 1 [3]



Obr. 7 Prvek profilu 2 [3]

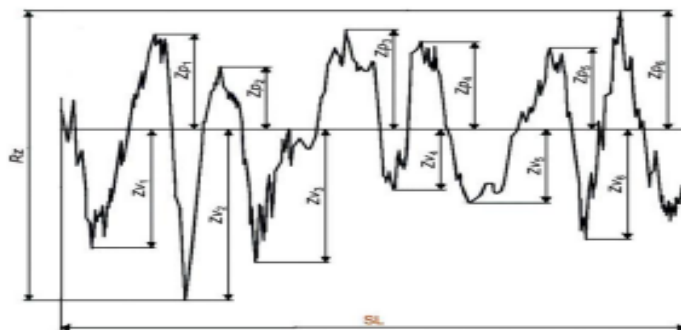


Obr. 8 Výstupek a prohlubeň [3]

2.3 PARAMETRY PROFILU POVRCHU

Výškové parametry – Pomocí výškových parametrů dokážeme určit hodnoty prohlubní a výstupků.

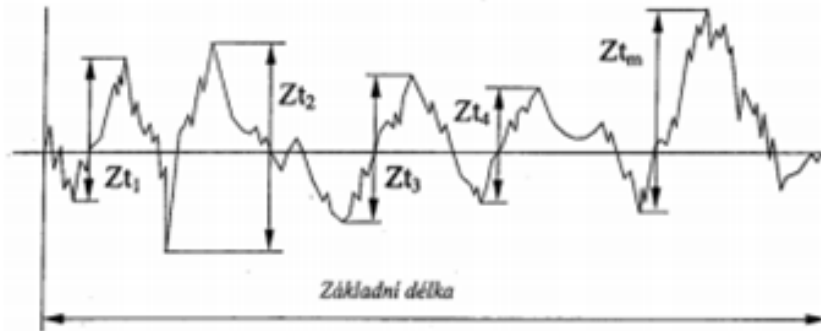
- Nejvyšší výstupek R_p profilu – výška Z_p nejvyššího výstupku profilu a rozsahu základní délky (viz Obr. 9) [3].
- Nejhlubší prohlubeň R_v profilu - hloubka Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky (viz Obr. 9) [3].
- Nejvyšší R_z profil – součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky (viz Obr. 9) [3].



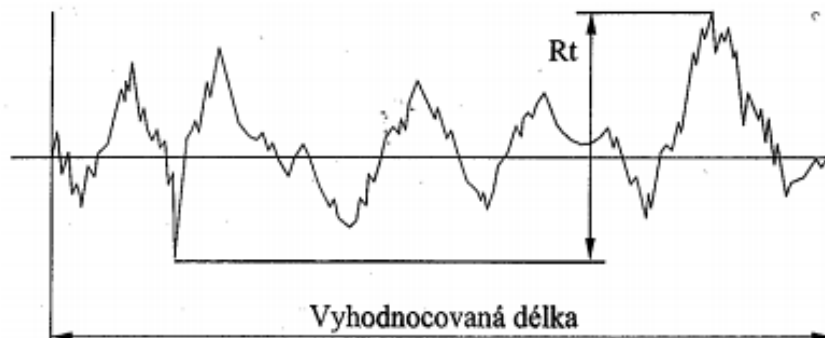
Obr. 9 Výšky výstupního profilu [3]

- Prvky profilu Rc a jejich průměrná výška – průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky (viz Obr. 10) [3].

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



Obr. 10 Průměrná výška prvků [3]



Obr. 11 Celková výška R_t profilu [3]

- Výška celkového R_t profilu – součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky (viz. Obr. 11) [3].

Jeden s nejdůležitějších parametrů pro drsnost povrchu pro výšku je označován R_a

- Úchylka aritmetického průměru posuzovaného profilu, R_a – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnice $Z(x)$ v rozsahu délky l_r (viz. Obr. 12) [3].

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



Obr. 12 Průměr úchylky Ra [3]

- Úchylka kvadratického průměru posuzovaného profilu, Rq – kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu délky l_r [3].

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

- Šikmost Rsk a špičatost Rku posuzovaného profilu – šikmost je podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnice $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty Rq v rozsahu délky l_r . Špičatost je podíl poměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnice $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky l_r [3].

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

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

Parametry délky

- Aritmetický průměr šířky prvků profilu RSm - aritmetický průměr všech šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky (viz Obr. 13).

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

3 NORMA ČSN EN ISO 4288

Jak již bylo zmíněno, tato mezinárodní norma nám určuje postupy a pravidla pro posuzování struktury povrchu profilovou metodou.

3.1 Odhadování parametrů

Odhad parametrů a průměrných hodnot na základní délce

Odhad hodnot parametrů vypočítáme z naměřených hodnot na jedné základní délce [4].

Odhad průměrných hodnot parametrů se vypočítá podle aritmetických průměrů ze všech jednotlivých základních délek [4].

3.2 Definované parametry na vyhodnocované délce

Odhad hodnoty daného parametru se vypočte z naměřených dat délek, který je podle normy roven počtu základních délek [4].

3.3 Pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi

Plochy na zkoumaných prvcích

Vizuální zkouška povrchu nám napoví, jestli se základní struktura jeví jako homogenní nebo jestli je na jednotlivých plochách zcela rozdílná.

- Pro homogenní plochy se hodnoty parametrů z celého povrchu porovnají s požadavky ve výrobní dokumentaci.
- Je-li struktura povrchu nápadně rozdílná, budou porovnání s dokumentací brány tyto plochy jednotlivě.
- Pokud máme specifikovanou horní mez, budeme porovnávat jednotlivé plochy na povrchu s největšími hodnotami parametrů.

Pravidlo maxima

Pokud máme na výkrese nebo ve výrobní dokumentaci zadanou maximální hodnotu, pak nesmí kontrolovaný povrch v žádném z bodů tuto hodnotu překročit. Abychom tuto hodnotu ve výkrese dobře poznali, je doplněna o index “max.“ [4].

Nejistota měření

Podle pravidel normy ISO 14253-1 se musí dokázání shody nebo neshody měřených parametrů porovnávat se specifikovanými mezními hodnotami s uvažáním nejistot měření [4].

3.4 Hodnocení parametrů

Všeobecné

Na popis vad povrchu nelze použít parametry struktury povrchu. Z tohoto důvodu póry, rýhy a jiné vady povrchu nejsou při kontrole struktury brány v potaz.

Spolehlivost měření, zda povrch vyhovuje nebo ne, závisí na počtu naměřených délek na vyhodnocované délce neboli na počtu měření [4].

4 ZPŮSOBY SNÍMÁNÍ POVRCHU

Snímání povrchu dělíme na metody kvantitativní, které se spíše využívají u velkovýroby a kvalitativní, které jsou přesnější, dále se dělí podle způsobu snímání a to na bezdotykové a dotykové.

4.1 Dotykové snímání povrchu

Výhody

V běžné strojírenské výrobě má dotykové snímání povrchu oproti optickému značnou výhodu, dokáže tolerovat znečištění, nečistoty a nevadí mu ani menší vrstva oleje na měřeném povrchu. Oproti tomu opticky snímáný povrch vyžaduje opravdu čistý povrch. Proto se v praxi hojně využívá dotykové měření, především tedy v kovovém průmyslu [9].

Další výhody:

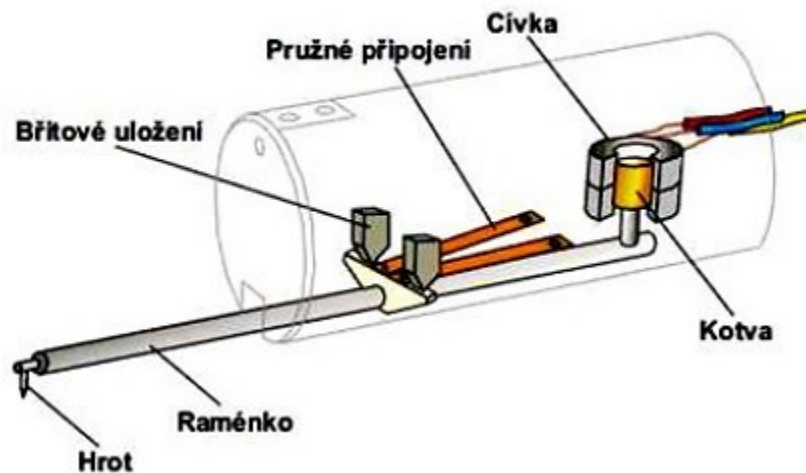
- Jednoduchá obsluha.
- Přesnost zařízení a malé rozměry snímače.
- Hrotu nevadí nečistoty na měřeném povrchu.
- Okolní prostředí nám neovlivní měřený výsledek.

Nevýhody

- Pravděpodobné znehodnocení měřené plochy.
- Spousta materiálů není vhodná pro měření kontaktní metodou, např.: elastomery.
- Diamantový hrot omezuje měření mikro-nerovností.
- Opatření a nenávratné poškození hrotu snímače.

Snímací hrot

Nejdůležitější součástí dotykových měřících přístrojů je snímací hrot. Pohyb tohoto hrotu je předem přesně definován, obecně platí čím přesnější pohyb tím přesnější měření. Získané výsledky jsou ovlivněny mnoha faktory, především snímacím systémem, přesností a rychlostí snímání. Velká rychlost může způsobit nechtěné poškození povrchu nebo hrotu [10].



Obr. 13 Schéma indukčního systému [9]

Nejčastěji se v praxi hojně využívá diamantový hrot. Norma ČSN EN ISO 3274 definuje základní parametry diamantového hrotu. Diamantový hrot nalezneme na konci raménka, a to je pevně uloženo v těle systému. Raménko se dá měnit podle potřeby a použití [9].

4.2 Bezdotykové snímání povrchu

Bezdotykové snímání funguje na principu využití světelných paprsků, které se promítají na povrch snímaného výrobku. Snímaný povrch pak rozptýlí tyto paprsky podle nerovností a nerovnosti se určí podle rozptylu světla. Na hladkém povrchu je světlo rozptýleno především v zrcadlovém směru. Na ideálně hladkém povrchu nedojde k žádnému rozptylu světla. Čím je hladší zkoumaný povrch, zrcadlová složka stoupá a tím se zmenšují rozptylové složky. Je-li výška nerovností menší než vlnová délka rozptýleného světla, používá se k určení drsnosti povrchu vektor difrakce a skalární Bechmannova teorie. U parametrů platí Gaussovo rozdělení, ze kterého získáme přesné elektromagnetické okrajové podmínky [10].

Výhody

- Rychlé snímání v obou směrech.
- Nehrozí destrukce kontrolovaného materiálu.
- Nejsme omezeni radiusem špičky hrotu (můžeme měřit mikro-nerovnosti).
- Měří i měkké a citlivé materiály.
- Měřidlo se neopotřebovává jako u dotykových metod.

- Bezpečné měření hran a dalších jevů.

Nevýhody

- Možnost ztráty nebo nepřesných dat (špatné odražení paprsku).
- Velký vliv okolního prostředí např.: světlo, vibrace apod.).
- Před každým měřením musí být měřený povrch důkladně vyčištěn.

5 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

5.1 Korelace

Korelace je metoda pro zpracování náhodných dat, určuje vzájemný vztah mezi x a y .

Korelační analýza zjistí existenci závislosti, měří její těsnot a ověřuje hypotézy o statistické významnosti [11].

- Aritmetický průměr – Je to součet všech hodnot, který se vydělí počtem těchto hodnot. Ve statistice je to velice užitečná, avšak velice snadno ovlivnitelná hodnota.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (7)$$

- Medián – Tato hodnota rozděluje soubor přesně na polovinu, pokud se medián liší jen málo od aritmetického průměru, tak mají data malý rozptyl. Pokud se medián výrazně liší od aritmetického průměru, hovoříme o velkém rozptylu, zde je vhodné zvážit a otestovat odlehlé hodnoty.

$$\frac{n}{2} < \bar{X} < \frac{n}{2} \quad (8)$$

- Směrodatná odchylka – Toto číslo nám charakterizuje rozptyl výběrového aritmetického průměru \bar{X} .

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (9)$$

- T – test – Test nulové hypotézy, používá se pro odlehlé hodnoty. Pomocí tohoto testu zjistíme, zda hodnota patří do výběru nebo jde o chybu, která by nám statisticky ovlivnila náš výsledek.

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} \quad (10)$$

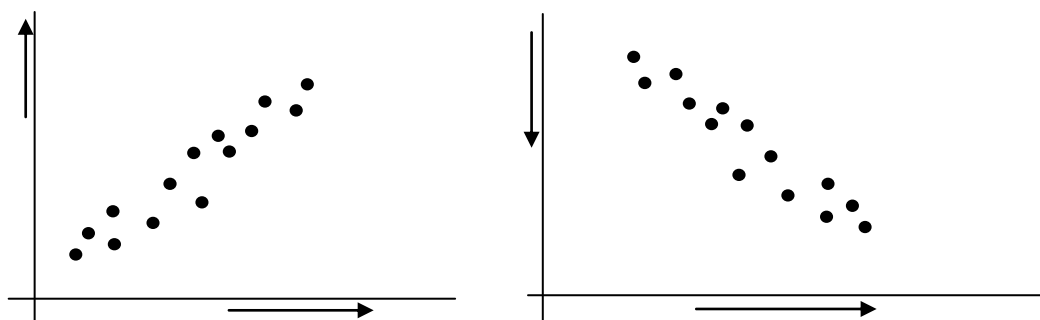
- Korelační koeficient – Předpokladem pro korelační koeficient je, že obě proměnné jsou náhodného charakteru. Bezrozměrná míra lineární korelace může nabýt hodnoty $R = \langle -1 \text{ až } +1 \rangle$. Čím více se blíží absolutní hodnota k jedné, tím těsnější máme vztah mezi měřenými veličinami.

$$r_{xy} = r_{yx} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2\right) \times \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2\right)}} \quad (11)$$

- Koeficient determinace – Je to druhá mocnina korelačního koeficientu r_{xy} . Obvykle se násobí, abychom rozptyl vyjádřili v procentech.

Typy korelace podle smyslu hodnot

- Kladná – se zvětšením hodnot na ose x se zvětšuje i y.
- Záporná – se snižováním hodnot na ose x se snižuje i y.



Obr. 14 Typy korelace podle hodnot

Typy korelace podle tvaru závislosti

- Lineární – data mající lineární závislost graficky spojuje lineární trend (přímka).
- Nelineární – data mající nelineární závislost spojuje nelineární trend (křivka).

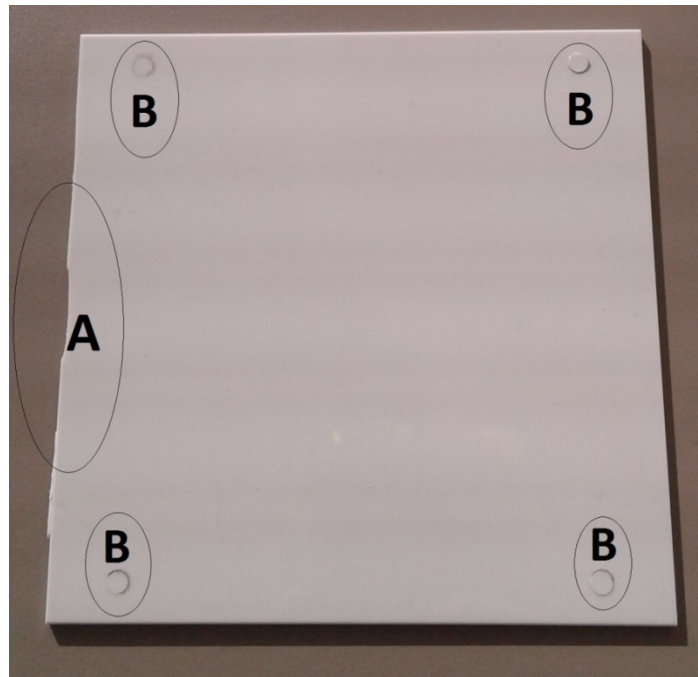
5.2 Nekorelovaná data

Pokud je soubor dat měřený v příliš malém intervalu nelze u něj prokázat korelaci. Na obrázku 15 můžeme vidět data, mezi nimiž je naprosto nahodilá závislost. Tyto data nelze korelovat.

Pokud se $r=0$ ještě neznamená, že data nemají žádnou závislost, Můžou mít jinou než lineární závislost [11].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 VÝROBEK

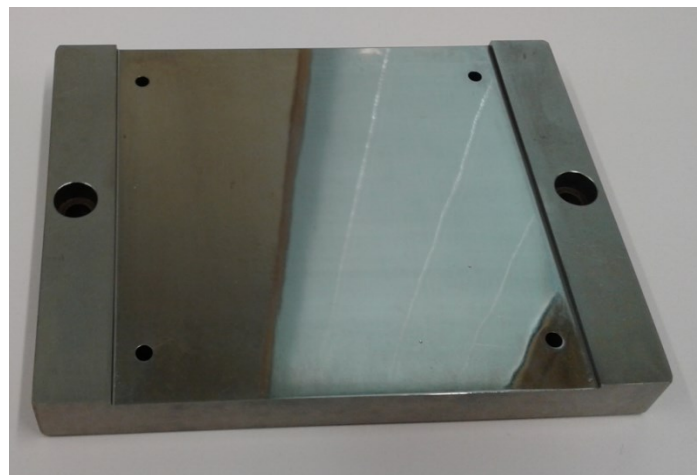


Obr. 15 *Plastový výrobek*

Na obrázku 16 můžeme vidět jeden ze čtyř výrobků, které byly použity při měření jakosti na přístroji Talysurf CLI 500. Destička má výsledný tvar dutiny vstříkovací formy.

Bod A na obrázku 16 nám znázorňuje místo vstřiku, a proto je v tomto místě nerovnoměrnost (zuby). Body B upozorňují na otlacení po vyhazovacím zařízení formy.

6.1 Vstříkovací formy



Obr. 16 *Část vstříkovací formy*

Na obrázku 17 vidíme část jedné ze čtyř forem. Každá forma má jinou povrchovou úpravu.

Forma č. 1

Tato forma je také bez povlaku a je z ušlechtilé oceli: 1.2083

Dle ČSN: nemá a DIN: X42Cr13

- Charakteristika – Martenzitická ocel s vysokým obsahem chromu, korozi odolná, dobrá leštitelnost a odolnost proti opotřebením. Použití je pro Formy, které mohou být vystaveny agresivním plastickým hmotám [12].

Forma č. 2

Dutina formy má povlakovou vrstvu z **TiAlN**. Hliník titannidrid patří do skupiny metastabilních tvrdých povlaků

- Charakteristika – Mikrotvrdość mezi 25 až 30 Gpa. Zajišťuje zvýšenou odolnost vůči oxidaci při vysokých teplotách, výborný poměr mezi tvrdostí a houževnatostí. Charakteristická je fialová nebo černo – šedá barva [13].

Forma č. 3

Dutina formy má povrchovou vrstvu z **CrN**. Chromnitrid je anorganická sloučenina dusíku a chromu.

- Charakteristika – Má velmi vysokou tvrdost a extrémní odolnost vůči korozi a oxidaci. Vyznačuje se velkou odolností proti otěru. Má nízké napětí a dobrou chemickou odolnost. Charakteristická je stříbrná až šedá barva [14].

Forma č. 4

Dutina poslední formy má hydrogenovaný povlak A-C:H. Jedná se o amorfni uhlovodíkovou vrstvu. Patří do tzv. (DLC) neboli diamantové vrstvy.

- Charakteristika – Materiál především využíván v biomedicíně, jehož hlavní rysy jsou velká korozivzdornost a odolnost proti opotřebením. Dále má nízké parametry proti únavě, extrémní tvrdost a nízký součinitel tření. Vlastnosti této vrstvy se mění v závislosti na prostředí. Např. při použití vakua se snižuje výrazně tření. Charakteristická barva je černá [15].

6.2 Charakteristika nanášení povlaků

Jedinečné vlastnosti těchto povrchů nacházejí stále větší využití ve všech možných odvětvích. Charakteristická je chemická stálost, extrémně vysoká tvrdost a nízký koeficient tření.

Nanášení vrstev PVD

Tyto tenké vrstvy (1 μm) se nepoužívají jen na nástrojové oceli, ale i na plasty, součástky z hliníku, tenké fólie z PP, PE a další.

Reaktivní napařování je jedna z častých fyzikálních metod pro nanesení PVD povlaku. Vypařený kov reaguje v systému s přivedeným plynem (CH_4 , O_2 , N_2 , apod.), a tak vytváří deposit chemické sloučeniny. V reakční zóně se udržuje doutnavý výboj. Pro zvýšení reaktivity jsou přiváděné plyny ionizovány [16].

7 MEŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

7.1 Talysurf CLI 500

Výrobce je Taylor Hobson, který se zaměřuje na ultra přesné měřicí zařízení. Na poli výroby přesných metrologických zařízení jsou už od roku 1886.

Talysurf CLI 500 – Tento bezkontaktní měřicí přístroj snímá jakost a kvalitu povrchu. Je určen pro měření menších výrobků a jeho měřicí prostor je v ose: $X = 50$ mm, $Y = 50$ mm, $Z = 50$ mm. A maximální nosnost udávaná výrobcem je 10 kg. Celkové osově rozlišení je 5 μ m a maximální rychlost měření je až 30 mm/s. Hmotnost samotného přístroje je 55 kg, a pro jeho malý rozměr (500 x 310 x 450 mm) se vejde do každé laboratoře [17].



Obr. 17 Talysurf CLI500 [17]

Přístroj využívá ke své funkci program na analýzu povrchu TalyMap.

TalyMap – Pro své jednoduché rozhraní usnadňuje a urychluje celý proces měření. Analýzu lze snadno sledovat v každém kroku v dokumentaci procesu. Program dokáže zpracovat data ve 2D, 3D až dokonce 4D, která se využívá zejména při opotřebení, korozi, při tepelných změnách apod [18].

8 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

Měření proběhlo na přístroji Talysurf CLI 500 jehož výrobce je firma Taylor Hobson.

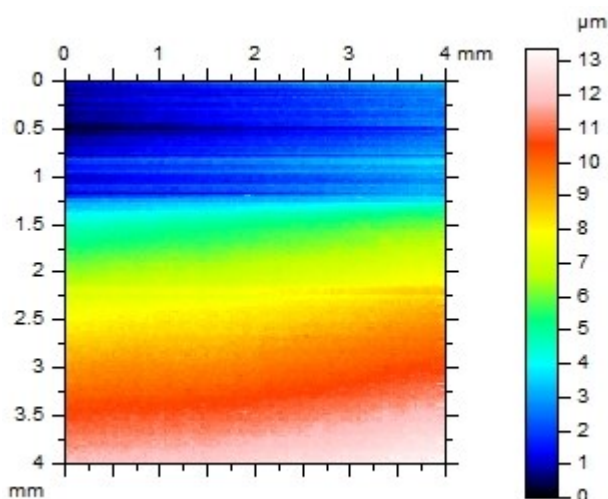
Naměřená data vyhodnotil program TalyMap pro 2D podle ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288. Pro 3D podle ČSN EN ISO 25178.

Celkově bylo provedeno měření na pěti výrobcích a jeho formách, z tohoto měření jsme následně získaly parametry Ra, Rz a Rt.

8.1 Výsledky výrobku 1 a formy 1

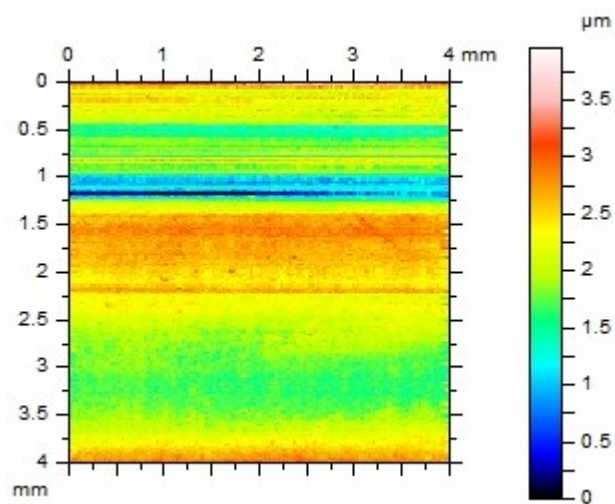
Na snímané ploše o velikosti 4x4 mm bylo provedeno 161 příčných a 161 podélných řezů a to ve směru osy X (North – South) a osy Y (West – East).

Nasnímané výsledky pro výrobek:

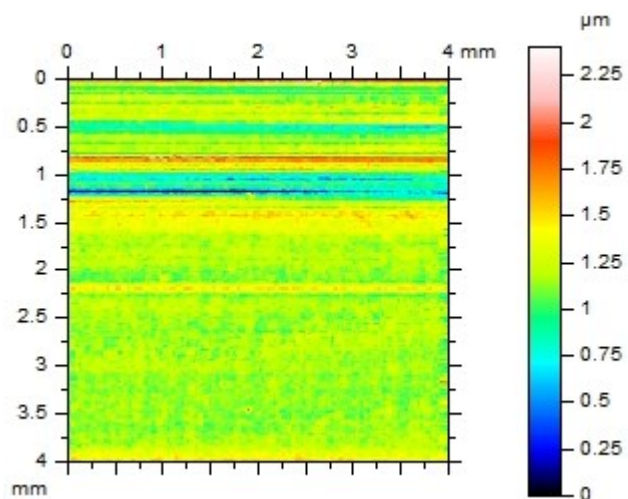


Obr. 18 Tvar, vlnitost, drsnost destičky 1

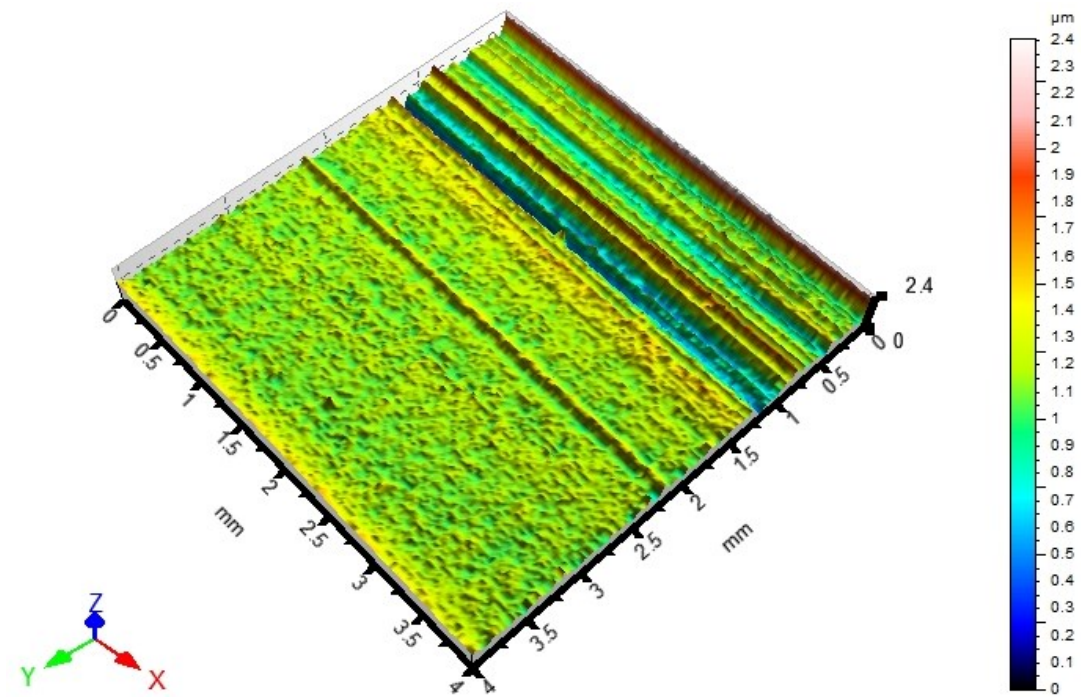
Program TalyMap nejprve nasnímá tvar, drsnost a vlnitost. Poté je zapotřebí odfiltrvat tvar a vlnitost, abychom dostali námi požadovanou drsnost.



Obr. 19 Vlnitost, drsnost destičky 1



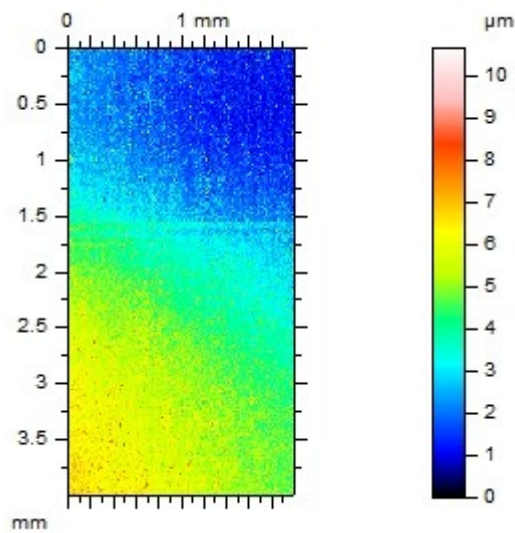
Obr. 20 Drsnost destičky 1



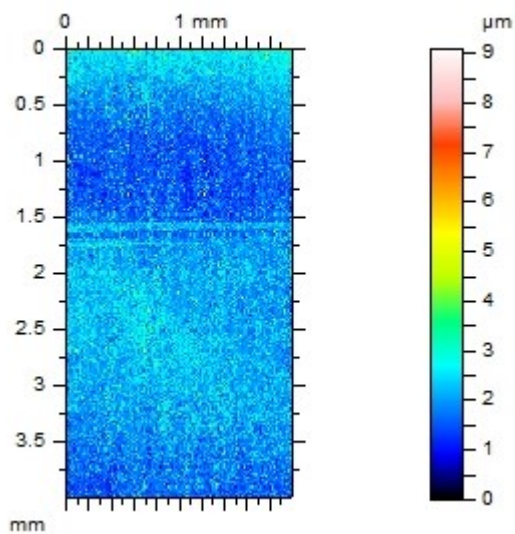
Obr. 21 pohled na 3D snímek výrobku 1

Snímaná plocha formy má rozměr 4 x 2 mm. Bylo provedeno 201 příčných a 201 podélných řezů, a to ve směru osy X (North – South) a osy Y (West – East).

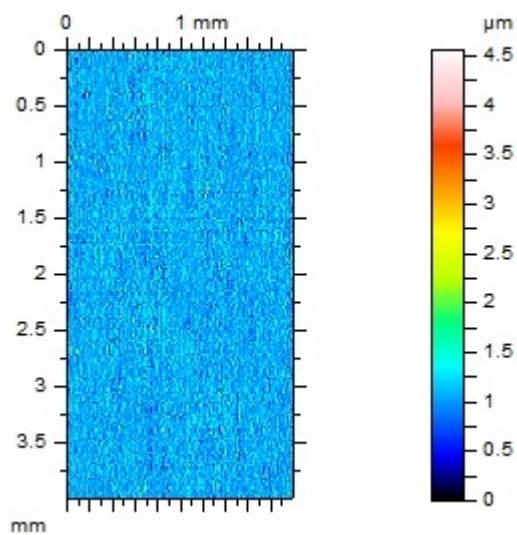
Nasnímané výsledky pro formu:



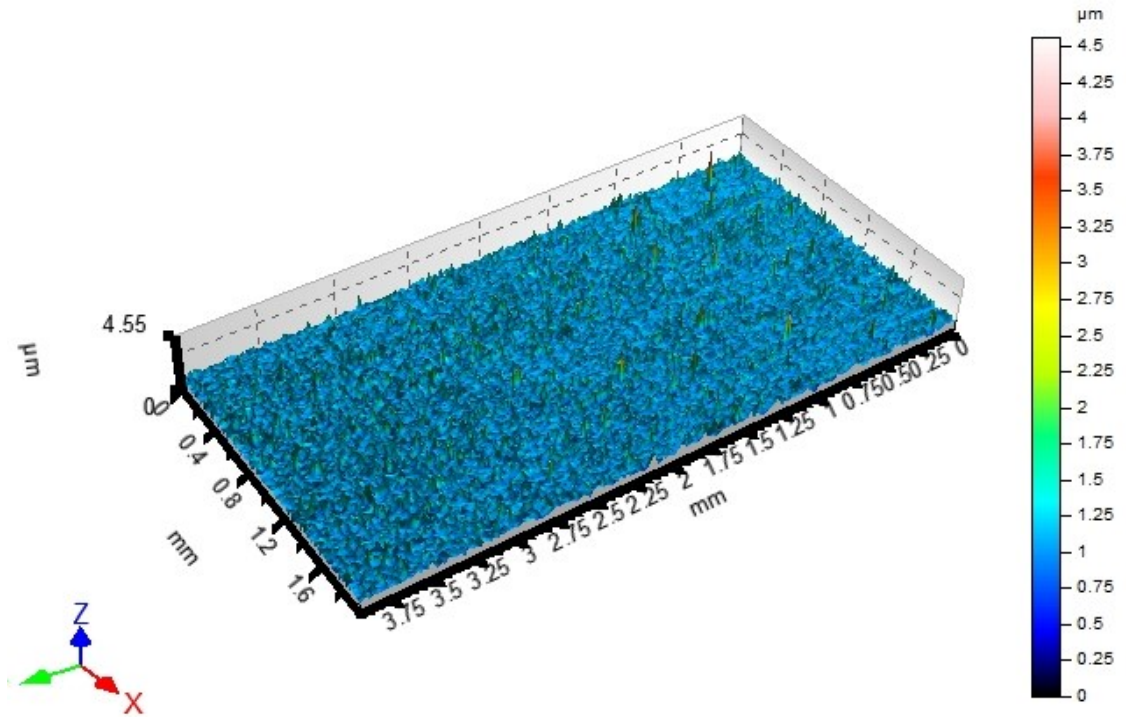
Obr. 22 Tvar, vlnitost, drsnost formy 1



Obr. 23 Vlnitost, drsnost formy I

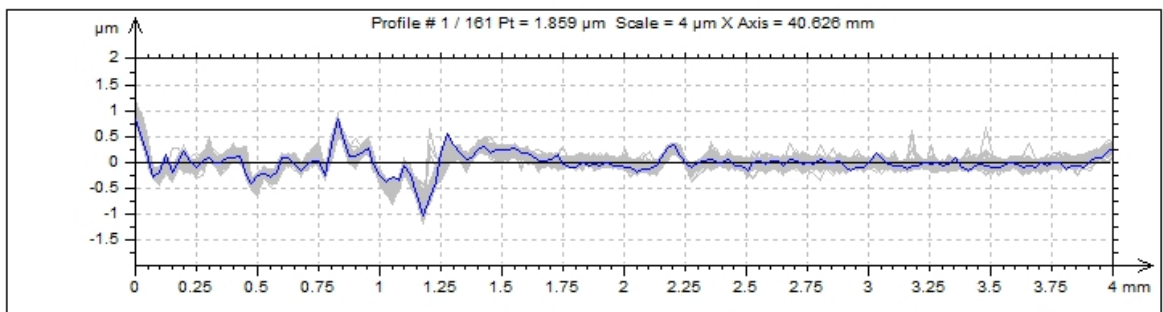


Obr. 24 Drsnost formy I

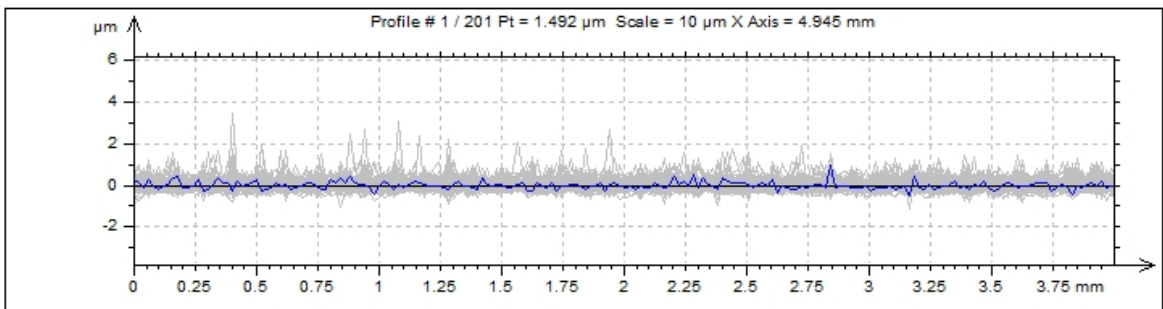


Obr. 25 Pohled na 3D snímek formy 1

Porovnání výsledků v ose X:



Obr. 26 Zobrazení 161 řezů výrobku 1 v ose X

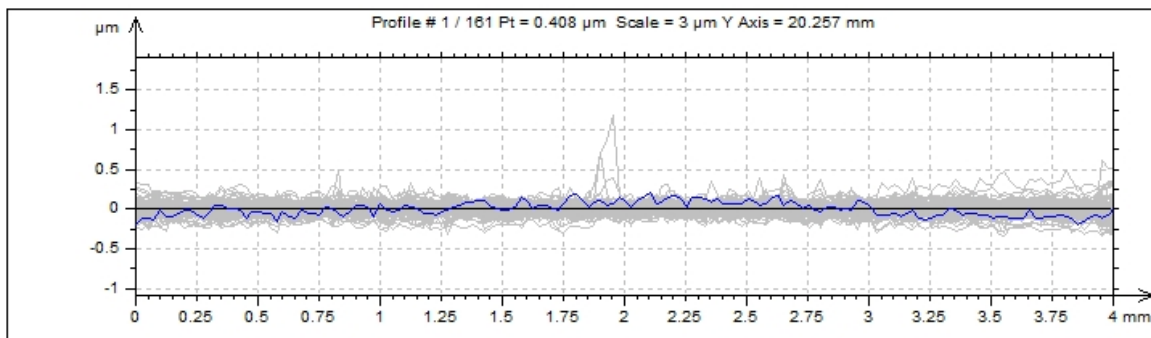


Obr. 27 Zobrazení 201 řezů formy 1 v ose X

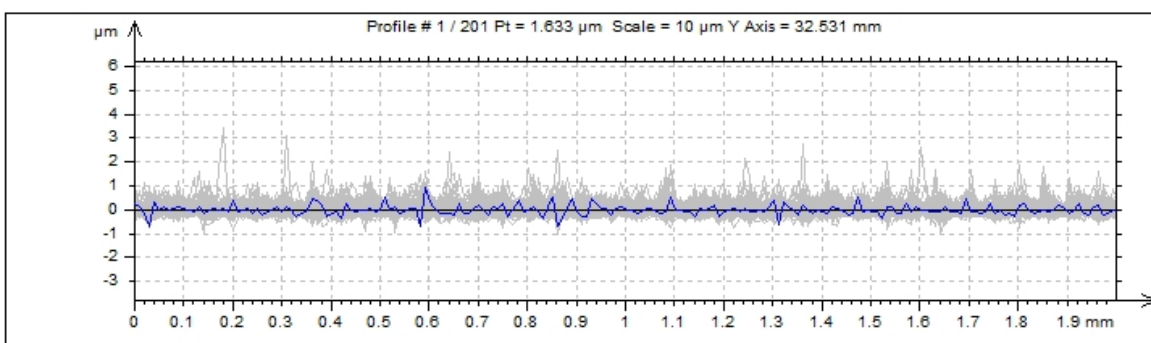
Tab. 1 Výsledku výrobku a formy 1 v ose X

Výrobek	jednotka	\bar{x}	S	Forma	jednotka	\bar{x}	S
Ra	(μm)	0,117	0,006	Ra	(μm)	0,110	0,028
Rt	(μm)	1,249	0,220	Rt	(μm)	1,049	0,393
Rz	(μm)	0,707	0,095	Rz	(μm)	0,731	0,214

Porovnání výsledků v ose Y:



Obr. 28 Zobrazení 161 řezů výrobku 1 v ose Y



Obr. 29 Zobrazení 201 řezů výrobku 1 v ose Y

Tab. 2 Výsledku výrobku a formy 1 v ose Y

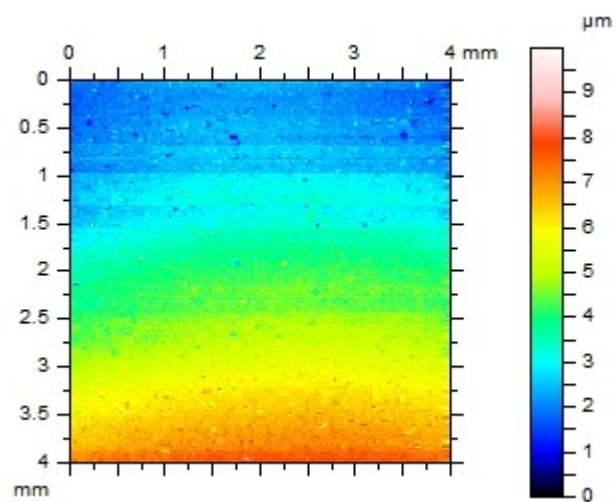
Výrobek	jednotka	\bar{x}	S	Forma	jednotka	\bar{x}	S
Ra	(μm)	0,035	0,007	Ra	(μm)	0,118	0,027
Rt	(μm)	0,254	0,101	Rt	(μm)	1,061	0,390
Rz	(μm)	0,185	0,048	Rz	(μm)	0,967	0,342

Vyhodnocení – Forma je zhotovena z ušlechtilé nástrojové oceli 1.2083. Na obrázku 27 a 28, kde máme zobrazení jednotlivých řezů pro osu X, můžeme pozorovat nepatrné rozdíly mezi formou a výrobkem. V tab. 1 až 4 pak vidíme jednotlivé rozdíly mezi výsledky pro formu a výrobek pro tyto parametry Ra (Průměrná aritmetická úchylka prolu), Rt

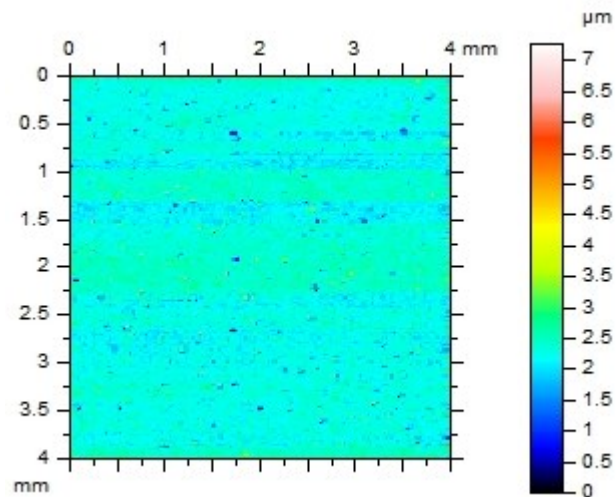
(Největší výška profilu), a Rz (Celková výška profilu). Na obrázku 22 při pohledu na 3D snímek pozorujeme v jeho okraji nadměrnou drsnost, ale tuto část nezahrnujeme do vypočítaných výsledků.

8.2 Výsledky výrobku 2 a formy 2

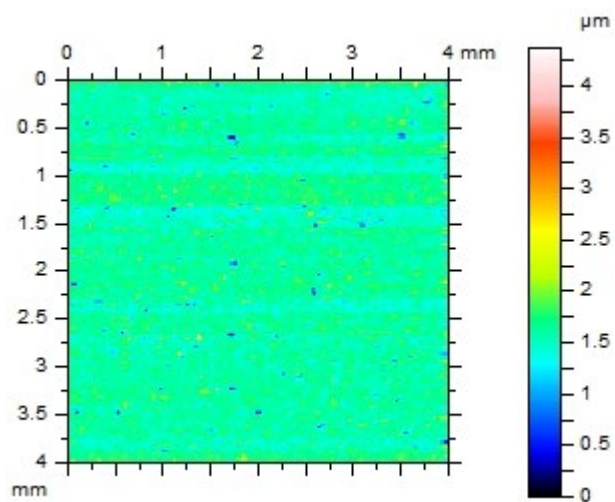
Nasnímané výsledky pro výrobek:



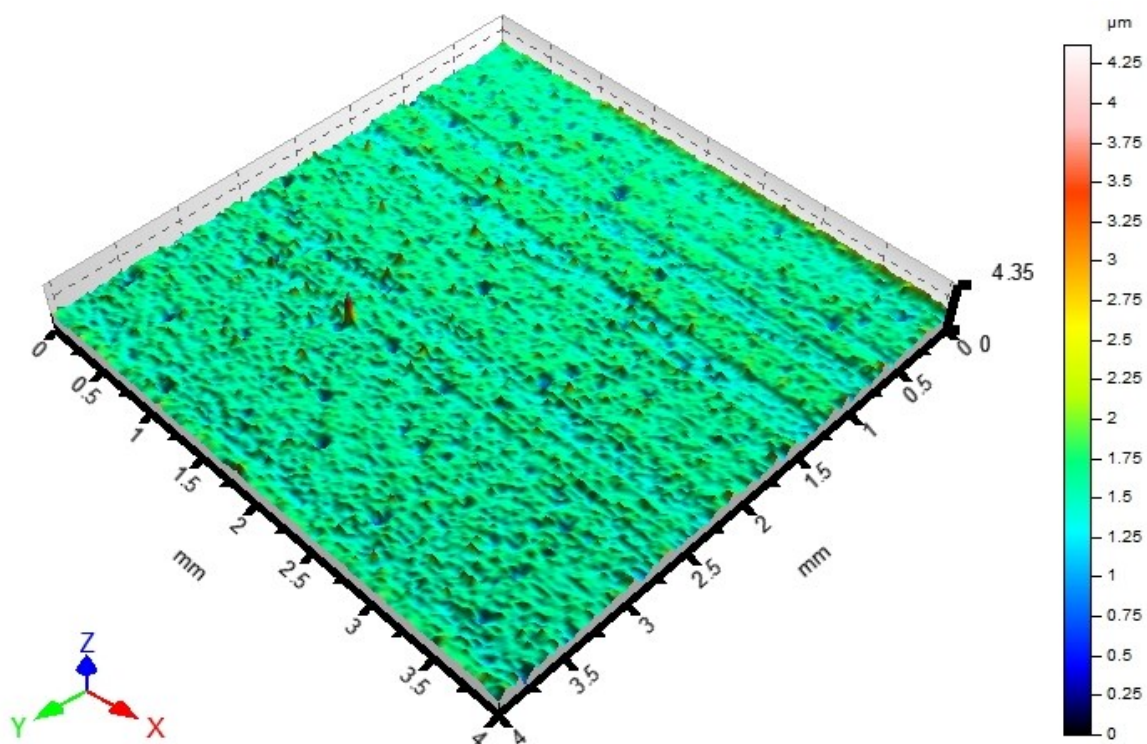
Obr. 30 Tvar, vlnitost, drsnost destičky 2



Obr. 31 Vlnitost, drsnost destičky 2

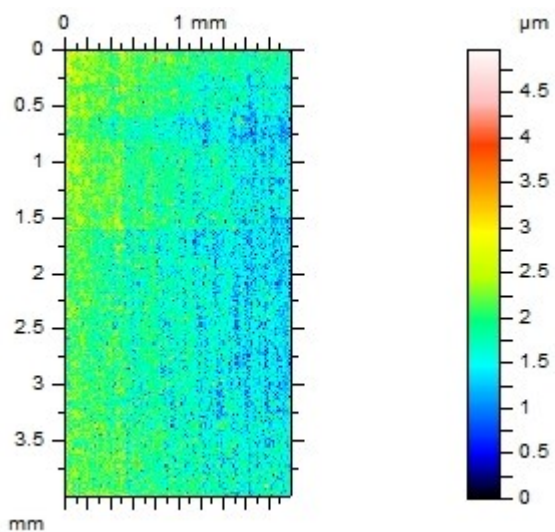


Obr. 32 Drsnost destičky 2

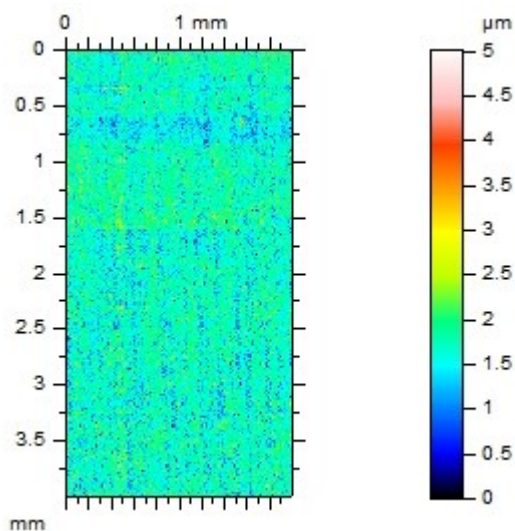


Obr. 33 Pohled na 3D snímek výrobek 2

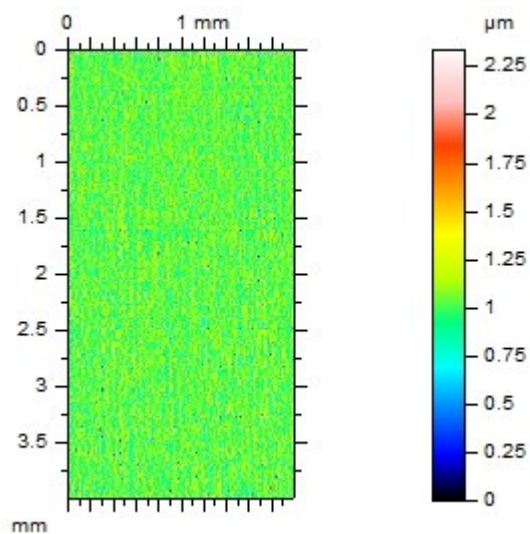
Nasnímané výsledky pro formu:



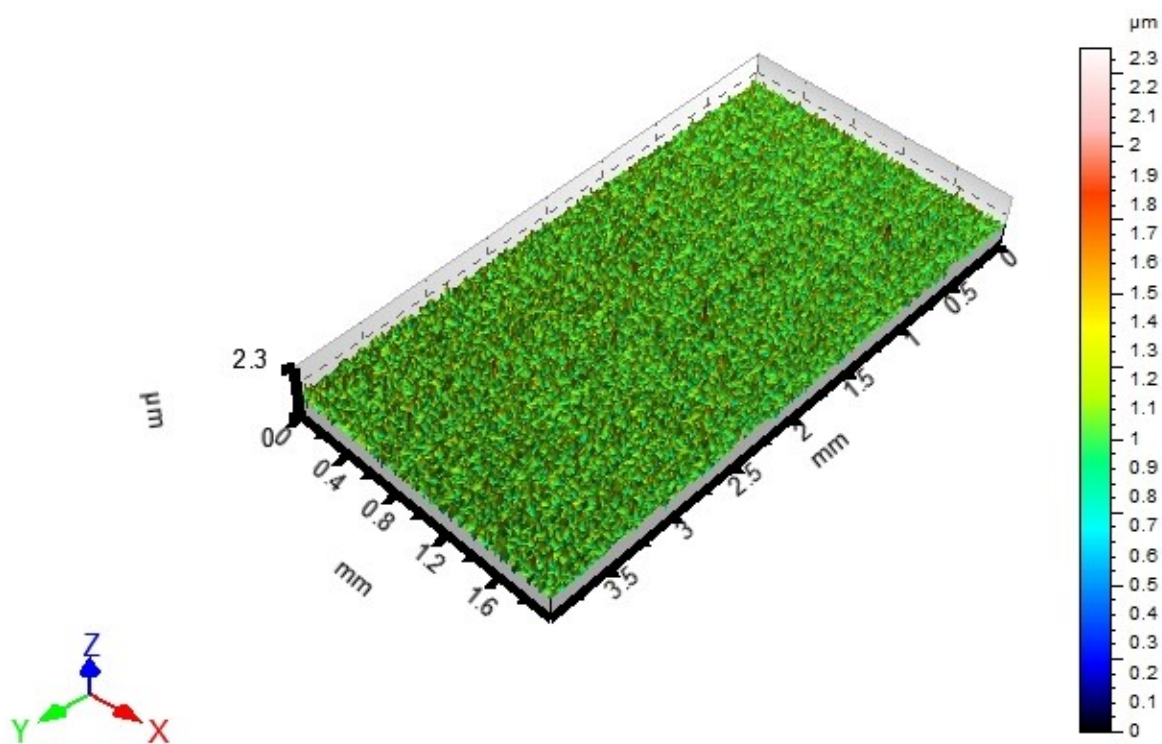
Obr. 34 Tvar, vlnitost, drsnost formy 2



Obr. 35 Vlnitost, drsnost formy 2

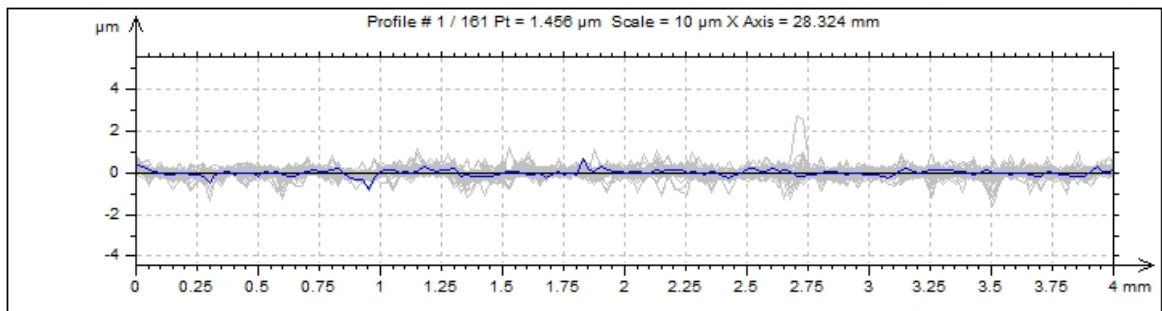


Obr. 36 Drsnost formy 2

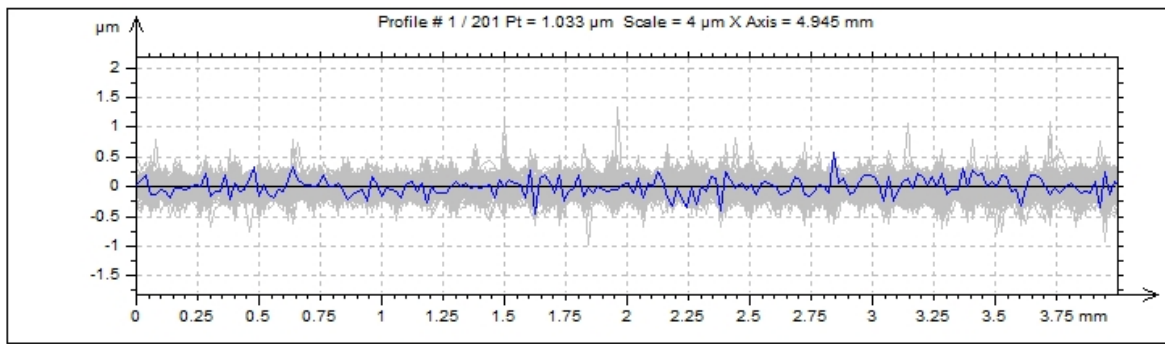


Obr. 37 Pohled na 3D snímek forma 2

Porovnání výsledků v ose X:



Obr. 38 Zobrazení 161 řezů výrobku 2 v ose X

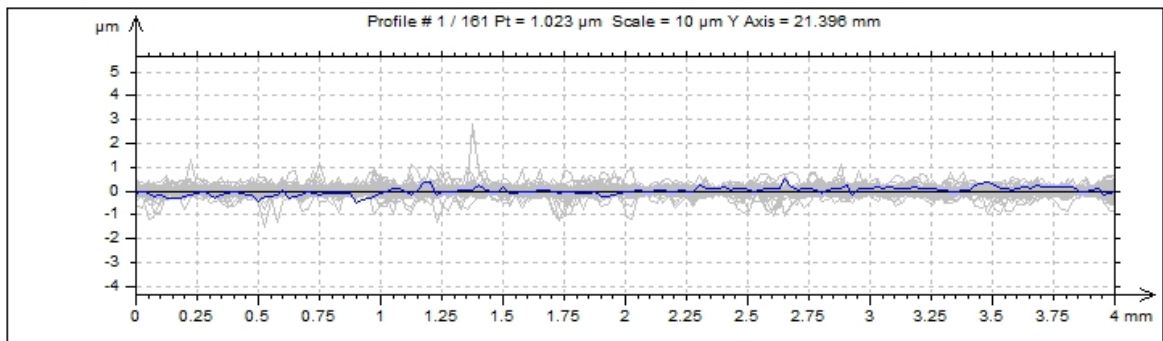


Obr. 39 Zobrazení 201 řezů formy 2 v ose X

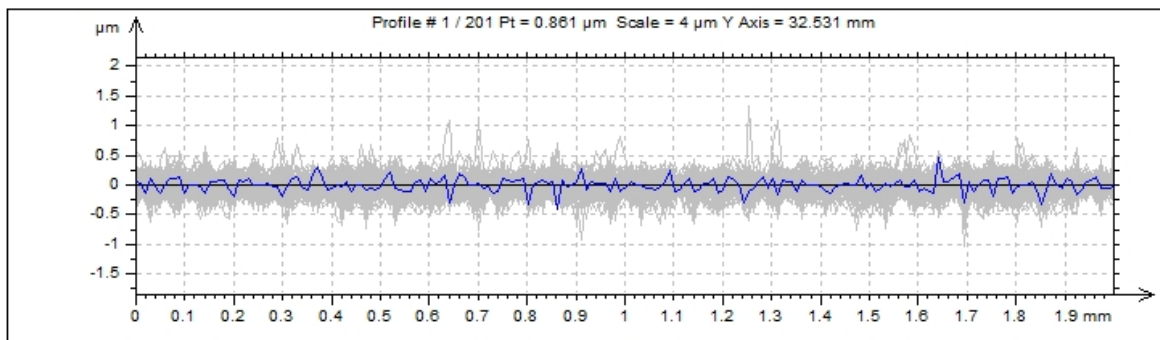
Tab. 3 Výsledku výrobku a formy 2 v ose X

Výrobek	jednotka	\bar{x}	S	Forma	jednotka	\bar{x}	S
Ra	(μm)	0,096	0,016	Ra	(μm)	0,075	0,016
Rt	(μm)	0,867	0,318	Rt	(μm)	0,617	0,170
Rz	(μm)	0,558	0,155	Rz	(μm)	0,456	0,107

Porovnání výsledků v ose Y:



Obr. 40 Zobrazení 161 řezů výrobku 2 v ose Y



Obr. 41 Zobrazení 201 řezů výrobku 2 v ose Y

Tab. 4 Výsledku výrobku a formy 2 v ose Y

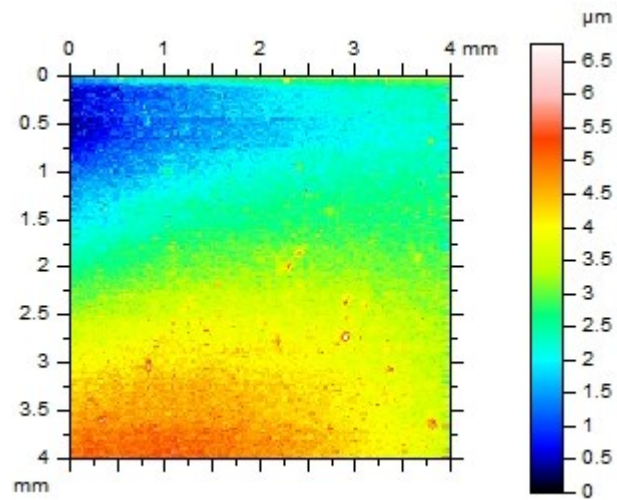
Výrobek	jednotka	\bar{x}	S
Ra	(μm)	0,074	0,018
Rt	(μm)	0,783	0,327
Rz	(μm)	0,484	0,168

Forma	jednotka	\bar{x}	S
Ra	(μm)	0,086	0,019
Rt	(μm)	0,633	0,186
Rz	(μm)	0,598	0,173

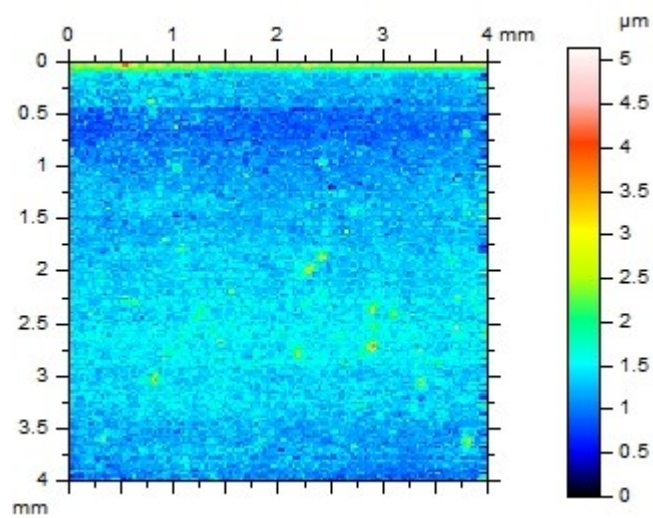
Vyhodnocení – Dutina formy má TiAlN povlak fialové barvy. I když se na první pohled na obrázek 41 a 42 může zdát, že povlakovaná forma má znatelně větší drsnost, tak musíme brát v potaz velikost rozptylu na ose Y. Ten byl u výrobku zvolen větší z důvodu výstupku přesahujícího 3 μm .

8.3 Výsledky výroby 3 a formy 3

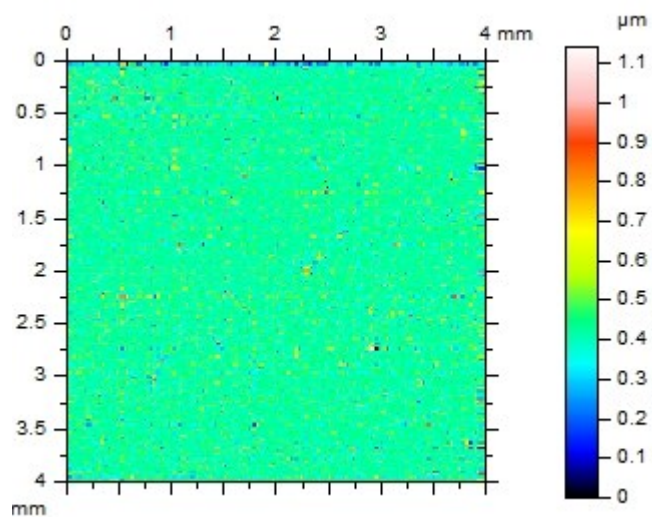
Nasnímané výsledky pro výrobek:



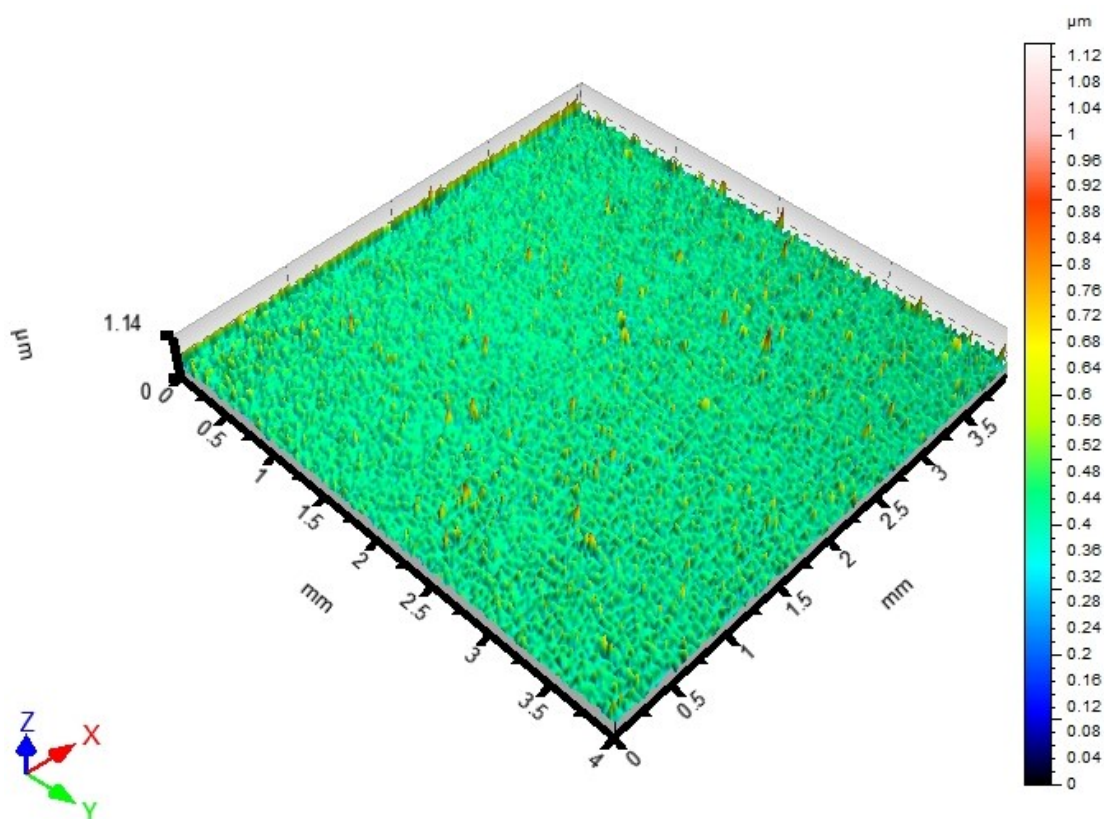
Obr. 42 Tvar, vlnitost, drsnost destičky 3



Obr. 43 Vlnitost, drsnost destičky 3

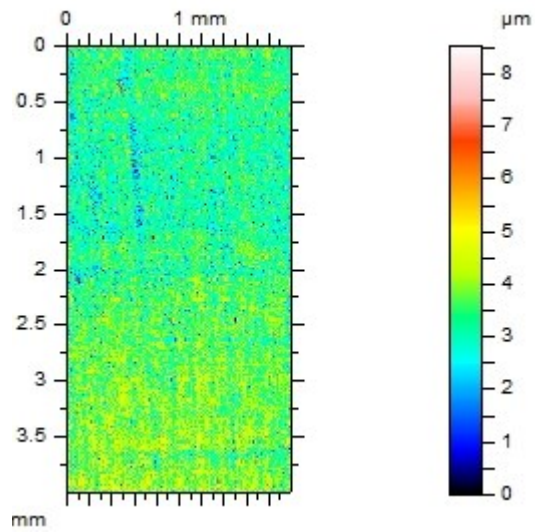


Obr. 44 Drsnost destičky 3

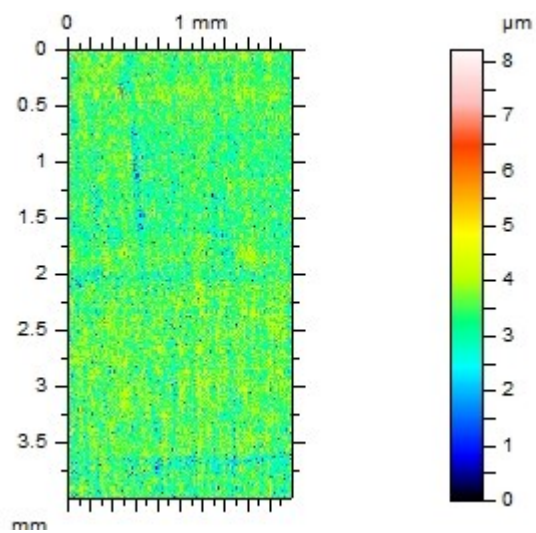


Obr. 45 Pohled na 3D snímek výrobek 3

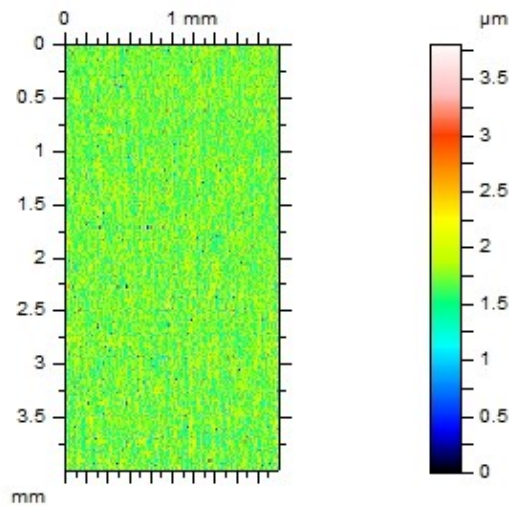
Nasnímané výsledky pro formu:



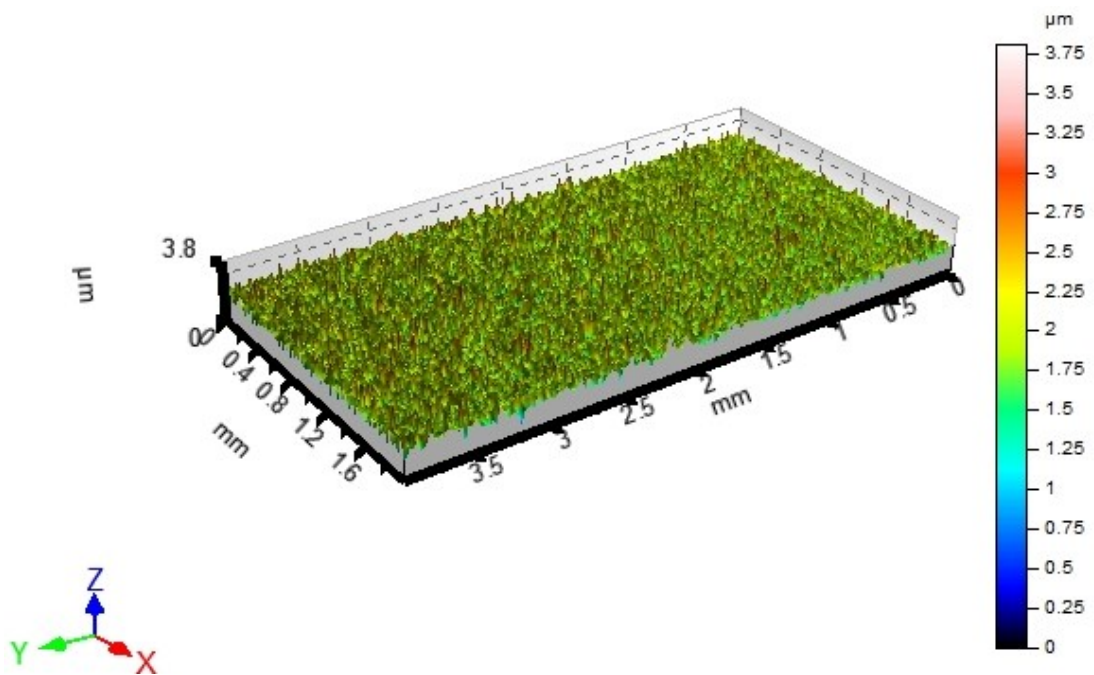
Obr. 46 Tvar, vlnitost, drsnost formy 3



Obr. 47 Vlnitost, drsnost formy 3

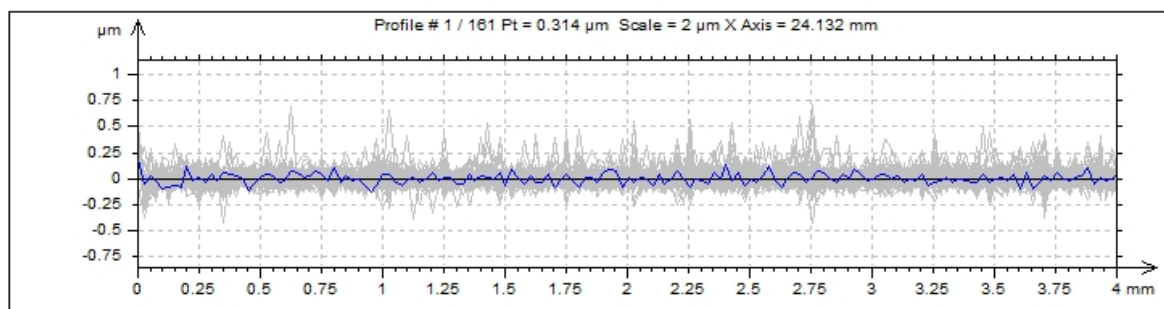


Obr. 48 Drsnost formy 3

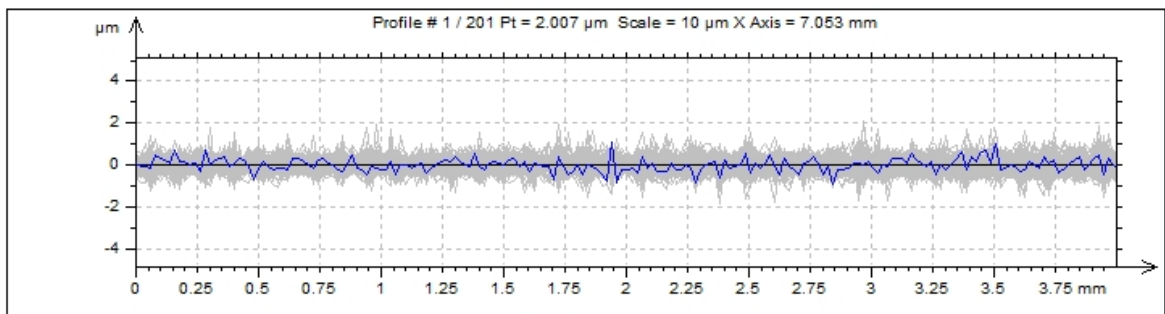


Obr. 49 Pohled na 3D snímek forma 3

Porovnání výsledků v ose X:



Obr. 50 Zobrazení 161 řezů výrobku 3 v ose X



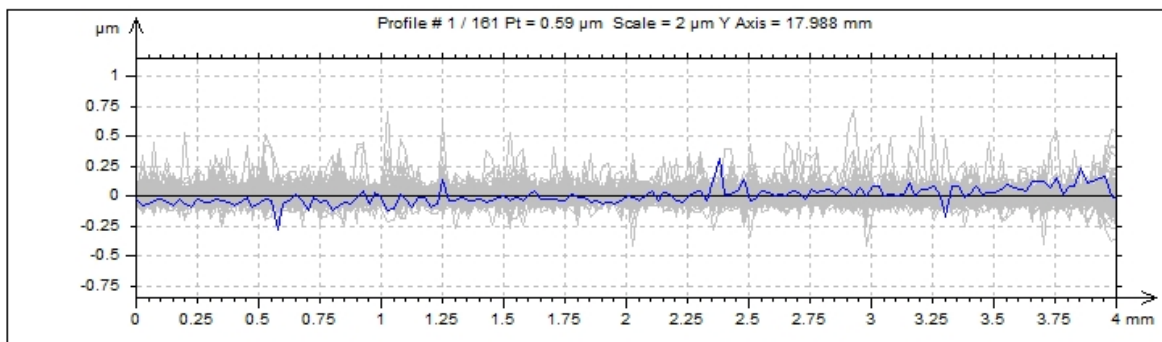
Obr. 51 Zobrazení 201 řezů formy 3 v ose X

Tab. 5 Výsledku výrobku a formy 3 v ose X

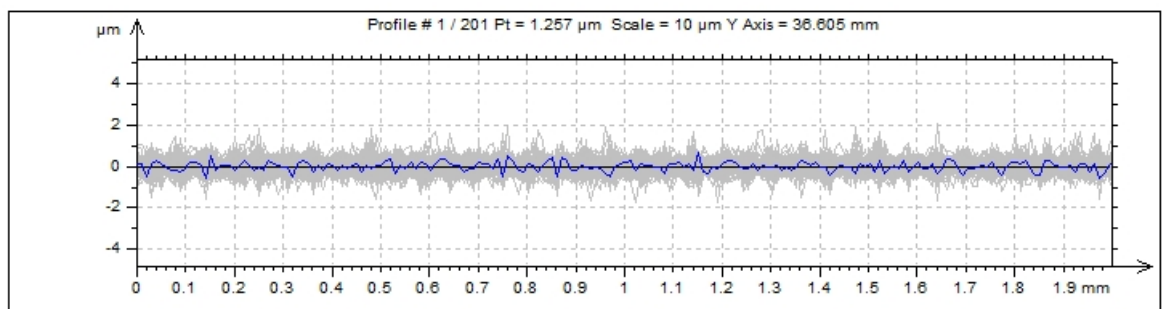
Výrobek	jednotka	\bar{x}	S
Ra	(μm)	0,032	0,007
Rt	(μm)	0,306	0,150
Rz	(μm)	0,205	0,061

Forma	jednotka	\bar{x}	S
Ra	(μm)	0,162	0,035
Rt	(μm)	1,350	0,324
Rz	(μm)	0,988	0,208

Porovnání výsledků v ose Y:



Obr. 52 Zobrazení 161 řezů výrobku 3 v ose Y



Obr. 53 Zobrazení 201 řezů formy 3 v ose Y

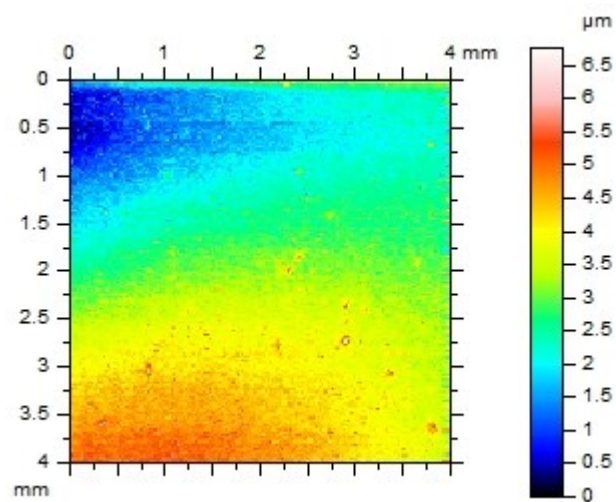
Tab. 6 Výsledku výrobku a formy 3 v ose Y

Výrobek	jednotka	\bar{x}	S	Forma	jednotka	\bar{x}	S
Ra	(μm)	0,032	0,008	Ra	(μm)	0,181	0,046
Rt	(μm)	0,303	0,119	Rt	(μm)	1,343	0,378
Rz	(μm)	0,202	0,056	Rz	(μm)	1,244	0,337

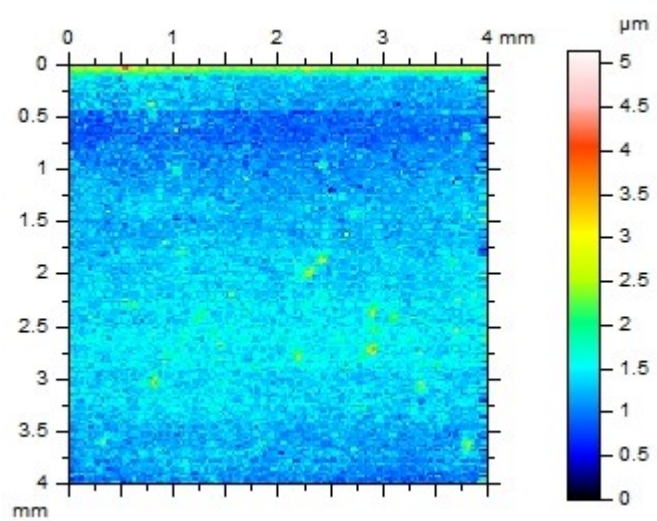
Vyhodnocení – Dutina má povlak stříbrné barvy z CrN. V tabulkách 9, 10 a 11, 12 vidíme, že aritmetický průměr výrobku vyšel stejný ($R_a = 0,032 \mu\text{m}$) jak v ose X tak v ose Y což je dobrý výsledek i přes to, že drsnost formy je členitější.

8.4 Výsledky výrobku 4 a formy 4

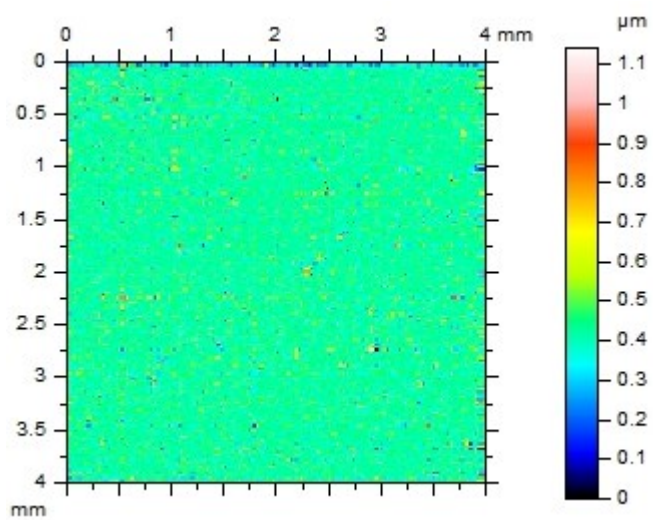
Nasnímané výsledky pro výrobek:



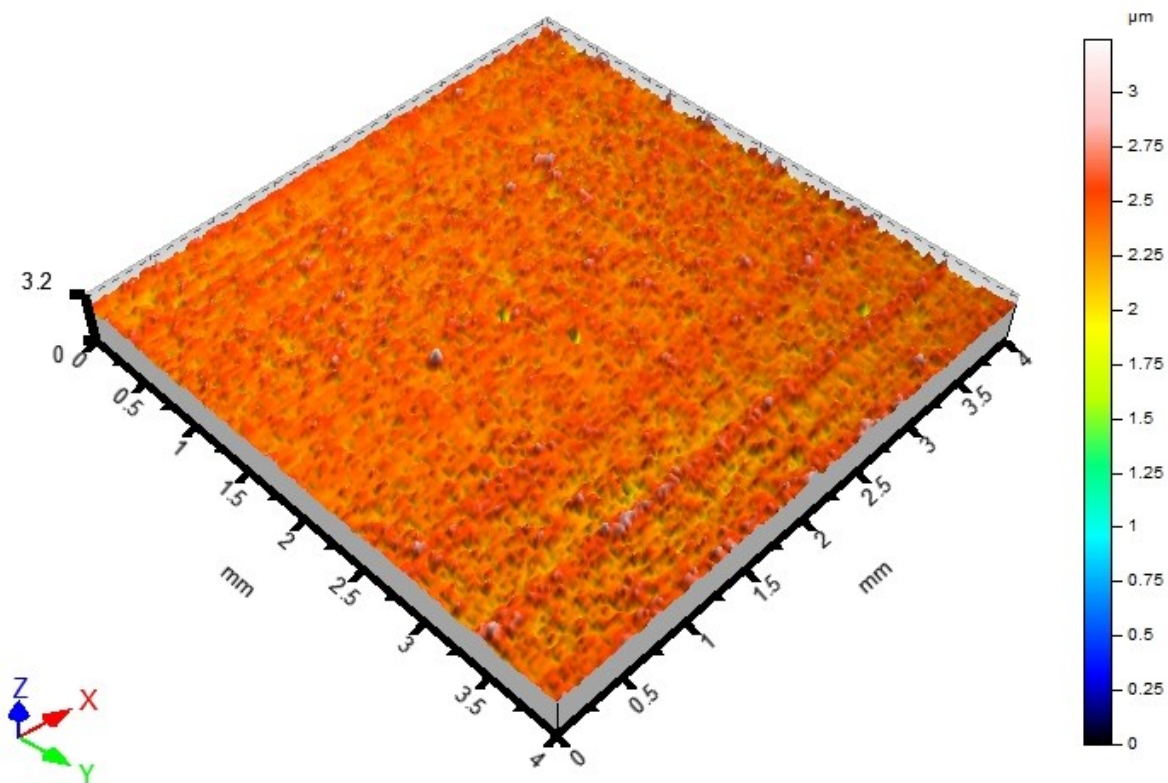
Obr. 54 Tvar, vlnitost, drsnost destičky 4



Obr. 55 Vlnitost, drsnost destičky 4

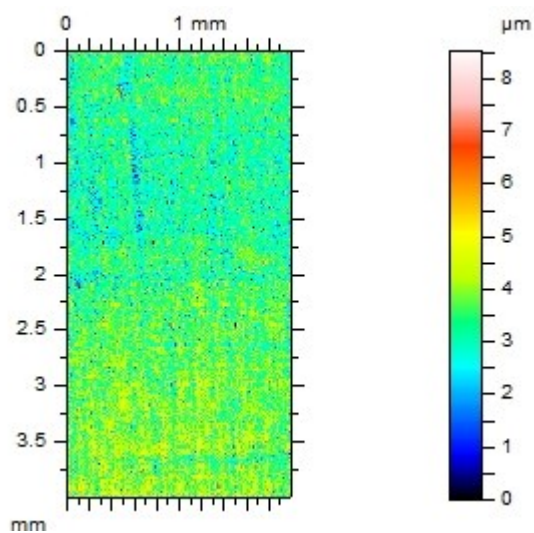


Obr. 56 Drsnost destičky 4

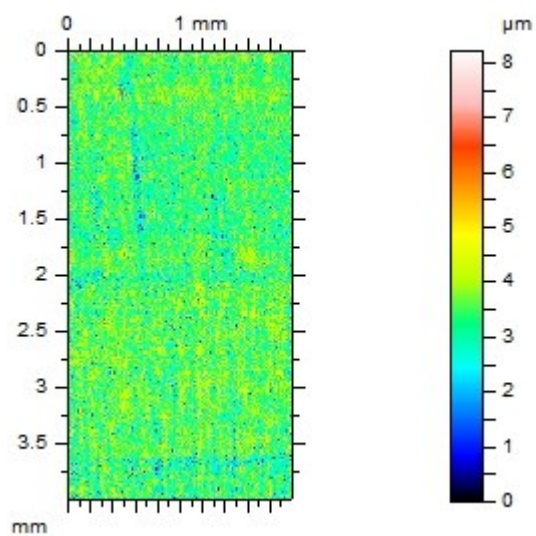


Obr. 57 Pohled na 3D snímek výrobek 4

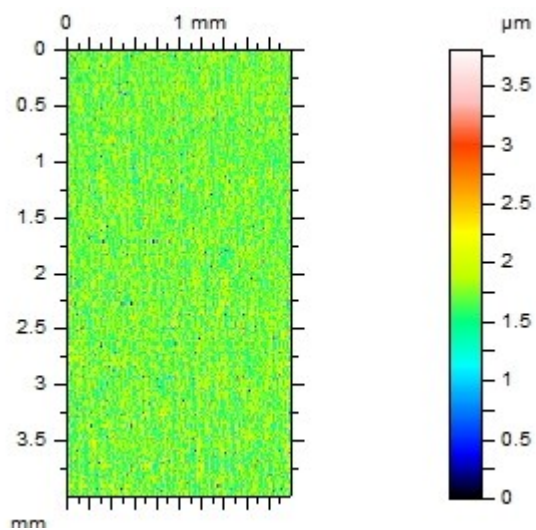
Nasnímané výsledky pro formu:



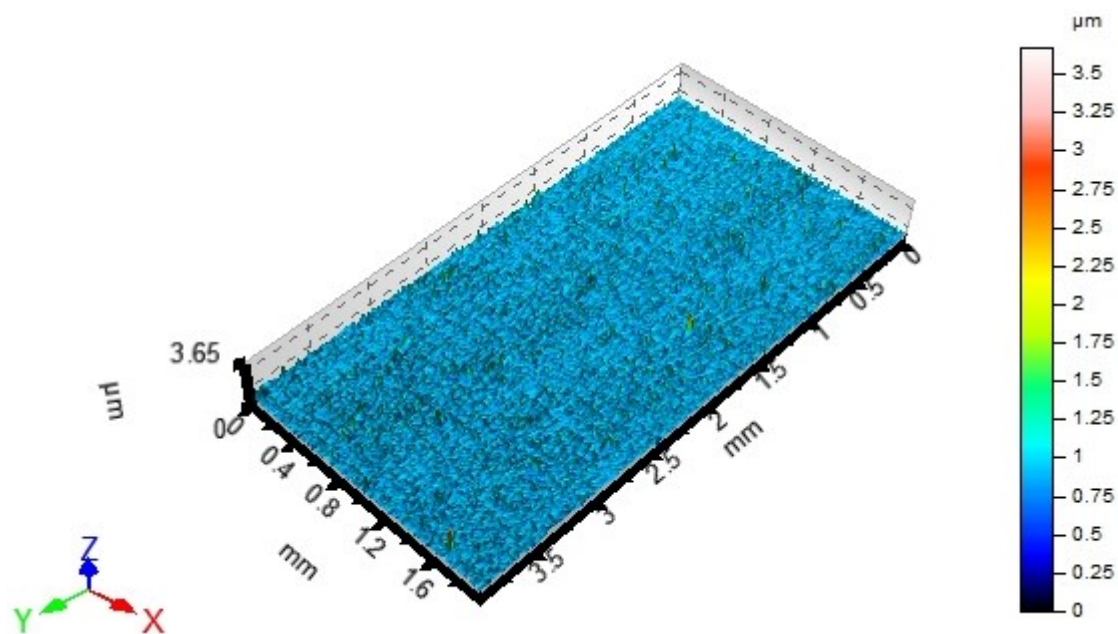
Obr. 58 Tvar, vlnitost, drsnost formy 4



Obr. 59 Vlnitost, drsnost formy 4

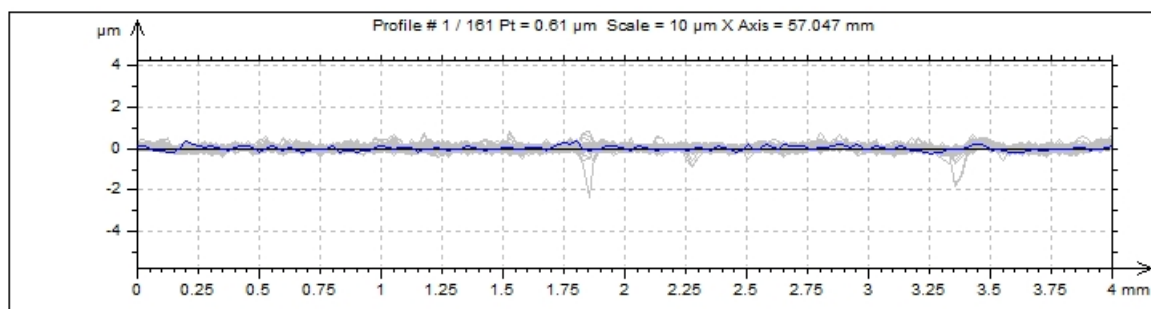


Obr. 60 Drsnost formy 4

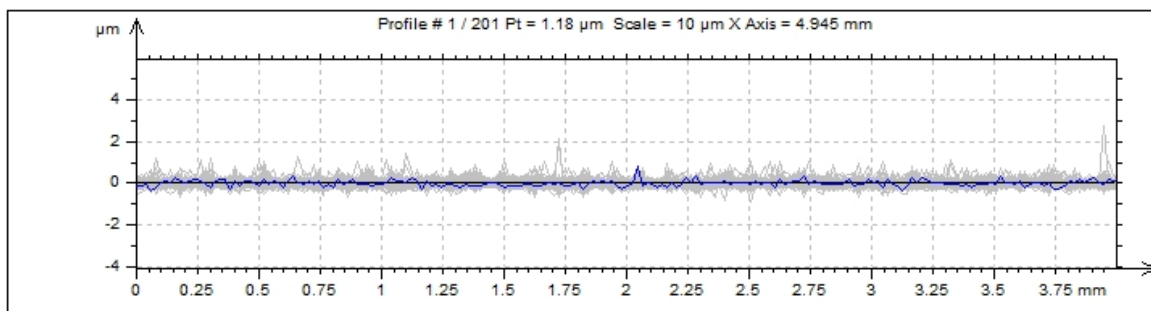


Obr. 61 Pohled na 3D snímek forma 4

Porovnání výsledků v ose X:



Obr. 62 Zobrazení 161 řezů výrobku 4 v ose X

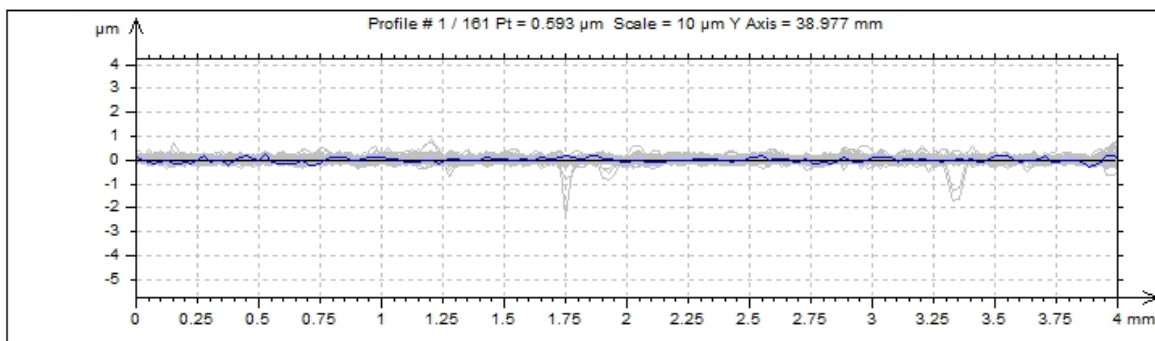


Obr. 63 Zobrazení 201 řezů formy 4 v ose X

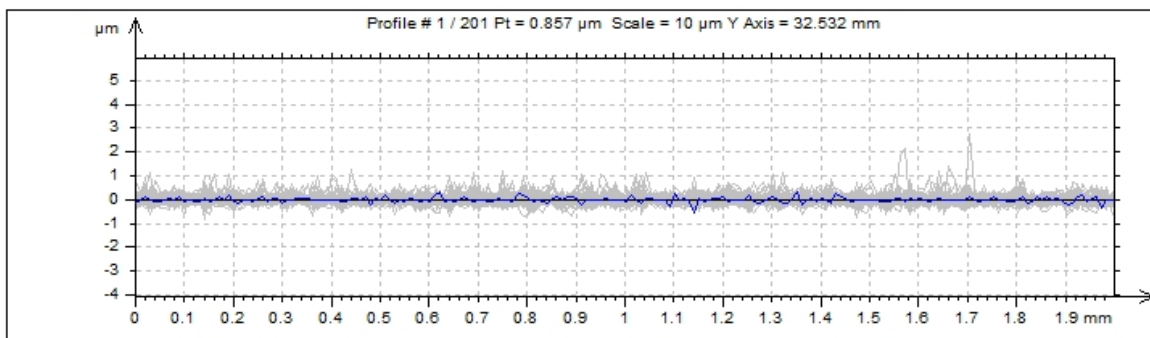
Tab. 7 Výsledku výrobku a formy 4 v ose X

Výrobek	jednotka	\bar{x}	S	Forma	jednotka	\bar{x}	S
Ra	(μm)	0,061	0,013	Ra	(μm)	0,069	0,016
Rt	(μm)	0,545	0,234	Rt	(μm)	0,698	0,239
Rz	(μm)	0,358	0,100	Rz	(μm)	0,472	0,133

Porovnání výsledků v ose Y:



Obr. 64 Zobrazení 161 řezů výrobku 4 v ose Y



Obr. 65 Zobrazení 201 řezů výrobku 4 v ose Y

Tab. 8 Výsledku výrobku a formy 4 v ose Y

Výrobek	jednotka	\bar{x}	S	Forma	jednotka	\bar{x}	S
Ra	(μm)	0,060	0,012	Ra	(μm)	0,073	0,016
Rt	(μm)	0,475	0,222	Rt	(μm)	0,686	0,250
Rz	(μm)	0,328	0,09	Rz	(μm)	0,610	0,226

Vyhodnocení – Forma má hydrogenovaný povlak A-C:H. Všechny tři zkoumané parametry pro výrobek i pro formu mají podobné hodnoty a nijak se výrazně neliší. Můžeme proto říct, že forma i výrobek mají podobnou drsnost.

ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce bylo cílem pochopit a popsat jednotlivé metody, podle kterých se zkoumá jakost povrchu. Především byly specifikovány dvě normy. První z nich je ČSN EN ISO 4287, která specifikuje parametry, termíny a obecné definice pro určení struktury povrchu. Druhou normou je ČSN EN IS 4288, která se zabývá především pravidly a postupy posuzování nedokonalostí. Tato norma zahrnuje i výpočty a odhadování parametrů. Dále byly v teoretické části přiblíženy principy korelace a způsoby snímání povrchu.

V praktické části bakalářské práce byly popsány jednotlivé vstříkovací formy a jejich povlaky v dutině formy. Dále bylo popsáno měřicí zařízení Talysurf CLI 500 od Firmy Taylor Hobson a výpočtový program TalyMap. Na tomto měřicím zařízení byly dále naměřeny hodnoty. Nás nejvíce zajímaly hodnoty parametrů Ra (průměrná aritmetická úchylka profilu), Rt (největší výška profilu), a Rz (celková výška profilu) ve směru X a Y.

Naměřené výsledky nám ukázaly rozdíly mezi formou a jejím vstříknutým výrobkem. Největší rozdíl mezi formou a výrobkem nalezneme na formě a výrobku 3. Forma je stříbrné barvy s povlakem CrN, kde se Ra výrobku a Ra formy liší až o 0,151 μm . Nejnižší hodnotu má pak forma a výrobek 4. Tady se aritmetický průměr posuzovaného výrobku a formy liší jen o 0,008 μm .

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BUMBÁLEK, L.; BUMBÁLEK, B. Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně.
- [2] LEINVEBER, Jan a Josef ŠVERCL. *Technické kreslení a základy deskriptivní geometrie*. 3. přeprac. vyd. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-162-X.
- [3] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999
- [4] ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu 1999
- [5] ČSN EN ISO 8785. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Nedokonalosti povrchu – Termíny, definice a parametry. 2000
- [6] ČSN EN ISO 13 565. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda; povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti - Část 1: Filtrace a všeobecné podmínky měření. 1999
- [7] ČSN EN ISO 3274:1999. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů. ÚNMZ, Praha, 1999.
- [8] CHLACHULA, P.: Charakteristika pro popis struktury třecích povrchů. Brno, VUT-FSI., 2007, 34 s.
- [9] Dotykové, nebo bezdotykové měření struktury povrchu?: Dotykový způsob měření. *MM: průmyslové spektrum*. 2005(6). Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dotykovne-nebo-bezdotykovne-mereni-struktury-povrchu.html>
- [10] JURENA, Pavel. Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem: laserový snímač. Zlín, 2011. Dostupné z: https://portal.utb.cz/wps/PA_StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=19095. Diplomová práce. UTB ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Vladimír Pata.
- [11] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. Kompedium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-1008-4.

- [12] DIN X42Cr13/1.2083. Csteels [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://www.ccsteels.com/Tool_steel/873.html#comment_iframe
- [13] LEYENDECKER, T., O. LEMMER, S. ESSER a J. EBBERINK. The development of the PVD coating TiAlN as a commercial coating for cutting tools. *Surface and Coatings Technology* [online]. 1991, 48(2), 175-178 [cit. 2017-05-16]. DOI: 10.1016/0257-8972(91)90142-J. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/025789729190142J>
- [14] D'ANS, Lax a HERAUSGEGEBEN VON R. BLACHNIK. *Taschenbuch für Chemiker und Physiker*. 4., neubearbeitete und revidierte Aufl. Berlin: Springer, 1998. ISBN 3642588425.
- [15] Cvrček L.: a-C:H – Od polymerů po tvrdé ošetrivostné vrstvy. *MM Průmyslové spektrum* 04. 2003.
- [16] ANDRITSCHKY, M., M. ATFEH a K. PISCHOW. Multilayered decorative a-C:H/CrC coating on stainless steel. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2009, 203(8), 952-956 [cit. 2017-05-16]. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2008.08.046. ISSN 02578972. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0257897208008128>
- [17] Talysurf CLI: *3D Surface Profiling Systems*. [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: http://www.f-di.hu/cli_systems.pdf
- [18] TalyMap. *Imeco-th* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://www.imeco-th.cz/img/files/Taly_map_cz_low.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	[-]	Dvourozměrný prostor
3D	[-]	Třírozměrný prostor
4D	[-]	Čtyřrozměrný prostor
Lc	[μm]	Rozhraní mezi drsností a vlnitostí
Lf	[μm]	Rozhraní pro povrch a vlnitost
lr	[mm]	Rozsah základní délky
Ls	[μm]	Rozhraní pro povrch a drsnost
n	[-]	Počet měření
r	[-]	Koeficient korelace
r^2	[%]	Koeficient determinace
Ra	[μm]	Průměrná aritmetická úchylka profilu
Rc	[μm]	Průměrná výška prvku profilu
Rku	[μm]	Špičatost profilu
Rp	[μm]	Největší výška výstupku profilu
Rq	[μm]	Průměrná kvadratická úchylka profilu
Rsk	[μm]	Šikmost profilu
RSm	[μm]	Průměrná šířka prvků profilu
Rt	[μm]	Největší výška profilu
Rv	[μm]	Nevětší výška prohlubně
Rz	[μm]	Celková výška profilu
S	[-]	Směrodatná odchylka
t	[-]	Test odlehlých hodnot
\bar{X}	[-]	Aritmetický průměr
\tilde{X}	[-]	Medián
Xs	[μm]	Šířka prvku profilu

$Z(x)$	[-]	Hodnota pořadnic
Z_p	[μm]	Výška výstupku profilu
Z_t	[μm]	Výška prvku profilu
Z_v	[μm]	Hloubka prohlubně profilu
λ_s	[mm]	Vlnová délka vymežující povrch a drsnost
λ_c	[mm]	Vlnová délka vymežující drsnost a vlnitost
λ_f	[mm]	Vlnová délka vymežující povrch a vlnitost

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Parametry pro posuzování drsnosti [2]</i>	11
<i>Obr. 2 Profil povrchu [3]</i>	13
<i>Obr. 3 Profil povrchu [3]</i>	14
<i>Obr. 4 Aplikace střední čáry [3]</i>	15
<i>Obr. 5 Charakteristika přenosu filtrace profilu [3]</i>	16
<i>Obr. 6 Prvek profilu 1 [3]</i>	17
<i>Obr. 7 Prvek profilu 2 [3]</i>	17
<i>Obr. 8 Výstupek a prohlubeň [3]</i>	18
<i>Obr. 9 Výšky výstupního profilu [3]</i>	18
<i>Obr. 10 Průměrná výška prvků [3]</i>	19
<i>Obr. 11 Celková výška Rt profilu [3]</i>	19
<i>Obr. 12 Průměr úchylky Ra [3]</i>	20
<i>Obr. 14 Schéma indukčního systému [9]</i>	24
<i>Obr. 15 Typy korelace podle hodnot</i>	27
<i>Obr. 16 Plastový výrobek</i>	29
<i>Obr. 17 Část vstřikovací formy</i>	29
<i>Obr. 18 Talysurf CLI500 [17]</i>	32
<i>Obr. 19 Tvar, vlnitost, drsnost destičky 1</i>	33
<i>Obr. 20 Vlnitost, drsnost destičky 1</i>	34
<i>Obr. 21 Drsnost destičky 1</i>	34
<i>Obr. 22 pohled na 3D snímek výrobku 1</i>	35
<i>Obr. 23 Tvar, vlnitost, drsnost formy 1</i>	35
<i>Obr. 24 Vlnitost, drsnost formy 1</i>	36
<i>Obr. 25 Drsnost formy 1</i>	36
<i>Obr. 26 Pohled na 3D snímek formy 1</i>	37
<i>Obr. 27 Zobrazení 161 řezů výrobku 1 v ose X</i>	37
<i>Obr. 28 Zobrazení 201 řezů formy 1 v ose X</i>	37
<i>Obr. 29 Zobrazení 161 řezů výrobku 1 v ose Y</i>	38
<i>Obr. 30 Zobrazení 201 řezů výrobku 1 v ose Y</i>	38
<i>Obr. 31 Tvar, vlnitost, drsnost destičky 2</i>	39
<i>Obr. 32 Vlnitost, drsnost destičky 2</i>	39
<i>Obr. 33 Drsnost destičky 2</i>	40

<i>Obr. 34</i> Pohled na 3D snímek výrobek 2	40
<i>Obr. 35</i> Tvar, vlnitost, drsnost formy 2	41
<i>Obr. 36</i> Vlnitost, drsnost formy 2	41
<i>Obr. 37</i> Drsnost formy 2	42
<i>Obr. 38</i> Pohled na 3D snímek forma 2	42
<i>Obr. 39</i> Zobrazení 161 řezů výrobku 2 v ose X	43
<i>Obr. 40</i> Zobrazení 201 řezů formy 2 v ose X	43
<i>Obr. 41</i> Zobrazení 161 řezů výrobku 2 v ose Y	44
<i>Obr. 42</i> Zobrazení 201 řezů výrobku 2 v ose Y	44
<i>Obr. 43</i> Tvar, vlnitost, drsnost destičky 3	45
<i>Obr. 44</i> Vlnitost, drsnost destičky 3	45
<i>Obr. 45</i> Drsnost destičky 3	46
<i>Obr. 46</i> Pohled na 3D snímek výrobek 3	46
<i>Obr. 47</i> Tvar, vlnitost, drsnost formy 3	47
<i>Obr. 48</i> Vlnitost, drsnost formy 3	47
<i>Obr. 49</i> Drsnost formy 3	48
<i>Obr. 50</i> Pohled na 3D snímek forma 3	48
<i>Obr. 51</i> Zobrazení 161 řezů výrobku 3 v ose X	48
<i>Obr. 52</i> Zobrazení 201 řezů formy 3 v ose X	49
<i>Obr. 53</i> Zobrazení 161 řezů výrobku 3 v ose Y	49
<i>Obr. 54</i> Zobrazení 201 řezů formy 3 v ose Y	49
<i>Obr. 55</i> Tvar, vlnitost, drsnost destičky 4	50
<i>Obr. 56</i> Vlnitost, drsnost destičky 4	51
<i>Obr. 57</i> Drsnost destičky 4	51
<i>Obr. 58</i> Pohled na 3D snímek výrobek 4	52
<i>Obr. 59</i> Tvar, vlnitost, drsnost formy 4	52
<i>Obr. 60</i> Vlnitost, drsnost formy 4	53
<i>Obr. 61</i> Drsnost formy 4	53
<i>Obr. 62</i> Pohled na 3D snímek forma 4	54
<i>Obr. 63</i> Zobrazení 161 řezů výrobku 4 v ose X	54
<i>Obr. 64</i> Zobrazení 201 řezů formy 4 v ose X	54
<i>Obr. 65</i> Zobrazení 161 řezů výrobku 4 v ose Y	55
<i>Obr. 66</i> Zobrazení 201 řezů výrobku 4 v ose Y	55

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Výsledku výrobku a formy 1 v ose X.....	38
Tab. 2 Výsledku výrobku a formy 1 v ose Y.....	38
Tab. 3 Výsledku výrobku a formy 2 v ose X.....	43
Tab. 4 Výsledku výrobku a formy 2 v ose Y.....	44
Tab. 5 Výsledku výrobku a formy 3 v ose X.....	49
Tab. 6 Výsledku výrobku a formy 3 v ose Y.....	50
Tab. 7 Výsledku výrobku a formy 4 v ose X.....	55
Tab. 8 Výsledku výrobku a formy 4 v ose Y.....	55