Hodnocení kvality povrchu po obrábění metodou High Speed Cutting

Patrik Hynčica

Bakalářská práce
2019

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Patrik Hynčica**
Osobní číslo:	**T15015**
Studijní program:	**B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Technologická zařízení**
Forma studia:	**prezenční**
Téma práce:	**Hodnocení kvality povrchu nástrojové oceli obrobené metodou High speed cutting**

Zásady pro vypracování:

1. **Statistické nalezení a stanovení diferencí mezi vyhodnocováním povrchů ve shodě s ISO 4287, ISO 4288 a dále ISO 25 178.**
2. **Provedení průzkumové analýzy obrobených povrchů s využitím bezkontaktního profiloměru.**
3. **Statistické vyhodnocení povrchových komparací naměřených dat dle odpovídajících softwearů.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **Hodnocení kvality povrchu nástrojové oceli obrobené metodou High speed cutting**
2. **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.**
3. **BUMBÁLEK,L.– BUMBÁLEK,B.: Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně.**
4. **MELOUN, Milan. Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4**

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

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 14. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Příjmení a jméno: ……. Obor: …….

P R O H L Á Š E N Í

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 .....

.....

[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 nevýdělečně 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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

[3)] zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá hodnocením kvality povrchu po vysokorychlostním obrábění. V teoretické části jsou popsány metody obrábění, normy ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO 4288 a ČSN EN ISO 25178-2. Praktická část se zabývá vyhodnocováním jakosti povrchů obrobků po vysokorychlostním obrábění kulovou frézou.

Klíčová slova: snímání jakosti povrchu, drsnost povrchu, vysokorychlostní obrábění

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with evaluation of the surface quality after High Speed Cutting. In the theoretical part describes the methods of machining, standarts ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO 4288 and ČSN EN ISO 25178-2. The practical part deals with evaulation of surface quality of work pieces after High Speed Cutting by ball milling cutter.

Keywords: measuring of the surface quality, rougness of surface, High Speed Cutting

Tímto bych chtěl poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Mileně Kubišové Ph.D. za ochotu, čas a cenné rady při vypracovávání bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD **10**

I TEORETICKÁ ČÁST **11**

1 METODY OBRÁBĚNÍ **12**

1.1 ZÁKLADNÍ METODY OBRÁBĚNÍ 12

1.1.1 Soustružení 12

1.1.2 Frézování 14

1.1.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování 16

1.1.4 Hoblování a obrážení 18

1.1.5 Protahování a protlačování 18

1.2 ABRAZIVNÍ METODY OBRÁBĚNÍ 19

1.2.1 Broušení 19

1.2.2 Dokončovací metody obrábění 19

1.3 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ 21

1.3.1 Obrábění elektrickým výbojem 21

1.3.2 Chemické obrábění 22

1.3.3 Obrábění paprskem koncentrované energie 22

1.3.4 Mechanické procesy 23

1.4 MODERNÍ VÝROBNÍ TECHNOLOGIE 24

1.4.1 High Speed Cutting (HSC) 25

2 ÚVOD DO TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ **27**

2.1 OBROBITELNOST 27

2.1.1 Tvorba a pěchování třísky, tvorba nárůstků 27

2.1.2 Typy a tvary třísek 30

2.2 OPOTŘEBENÍ NÁSTROJE 31

2.2.1 Životnost břitu nástroje 31

3 MĚŘENÍ A HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU **32**

3.1 SLOŽKY PROFILU POVRCHU 32

3.1.1 Drsnost povrchu 32

3.2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ POVRCHU 33

3.3 CHYBY MĚŘENÍ 33

3.4 NORMY 33

3.4.1 ČSN EN ISO 4287 33

3.4.2 ČSN EN ISO 4288 36

3.4.3 ČSN EN ISO 25178-2 37

4 MATERIÁLY 39
4.1 1.0570 39
4.2 1.2312 39
4.3 1.2379 39
4.4 TOOLOX 44 39
5 CÍL PRÁCE 41
II PRAKTICKÁ ČÁST 42
6 OBROBKY 43
6.1 ŘEZNÉ PODMÍNKY 45
7 MĚŘENÍ POVRCHU 46
8 VYHODNOCENÍ 53
8.1 METODA EDA 53
8.2 GRAFY 61
8.3 DOMĚŘENÍ HODNOT 65
ZÁVĚR 75
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 76
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 80
SEZNAM OBRÁZKŮ 81
SEZNAM TABULEK 83

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá tématem hodnocení kvality povrchu po obrábění metodou High Speed Cutting.

V oblasti strojírenství stále dochází k modernizaci a zdokonalování obráběcích metod. Z ekonomického hlediska výroby je vyvíjena snaha ke zkracování doby výrobního procesu daných výrobků. V oblastech obrábění je proto vyvíjeno úsilí směřující ke zkracování obráběcích časů. Dochází k rozvoji výrobních postupů a technologií pro vysokorychlostní obrábění.

V moderním strojírenství je kladen vysoký důraz i na jakost povrchů vyráběných dílců, proto se měření povrchů stalo neodmyslitelnou součástí výroby a stále dochází k rozvoji nových moderních technologií pro snímání povrchu.

V teoretické části bakalářské práce je uveden přehled obráběcích metod. Obráběcí metody jsou kategorizovány do základních, abrazivních, nekonvenčních metod a do moderních výrobních technologií. Je zde provedeno stručné obeznámení s problematikou třískového obrábění. Dále jsou zde uvedeny a popsány složky profilu povrchu a způsoby měření povrchu. Teoretická část se zabývá i normami ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO 4288, ČSN EN ISO 25178-2. V závěru teoretické části je uvedena charakteristika materiálů, ze kterých byly vyrobeny obrobky používané v praktické části.

V praktické části jsou uvedeny řezné podmínky čtyř obrobků z odlišných materiálů získaných po vysokorychlostním obrábění kulovou frézou. Je zde uveden postup měření povrchů u obrobků na 3D optickém profilometru od společnosti Zygo. Dále je provedeno vyhodnocení naměřených hodnot a interpretováno do tabulek a grafů získaných v programu Minitab.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 METODY OBRÁBĚNÍ

Ekonomické postavení zemí se značně odvíjí od úrovně jejich výrobní aktivity. Mezinárodní soupeření zemí přináší změny a nové výrobní technologie, automatizaci systémů a jejich inovace s cílem zlepšit efektivitu strojů a obsluhy, zvýšení produktivity a snížení výrobních nákladů. Výrobní průmysl neustále vyvíjí obráběcí stroje s pokročilejším digitálním řízením, vyššími rychlostmi i přesnostmi a větší flexibilitou. V moderním průmyslu je snahou vyvíjet a testovat vysoce sofistikované systémy, které budou podporovat zcela automatické inteligentní obráběcí pracoviště, rozvíjet umělou inteligenci a počítačovou integrovanou výrobu. [1]

Dílce, které vznikly odléváním, tvářením nebo i jinými formovacími způsoby, často vyžadují další obráběcí úkony, aby bylo docíleno finálních požadovaných rozměrů a tvarů. I přes značné rozšíření plastových výrobků, bylo stále investováno do kovoobráběcích strojů, zejména kvůli jejich vysoké přesnosti a kvalitám povrchových úprav. CNC víceosá obráběcí centra značně zjednodušují a urychlují obrábění. Obráběním lze docílit rovinnosti, ostrých rohů i zrcadlových povrchů s vysokou odrazivostí. Pokrok obrábění lze pozorovat v strojních technologiích, výrobních systémech i řezných nástrojích. [1]

Náročným úkolem výrobního inženýra je vybrat nejekonomičtější kombinaci z široké škály metod k vytvoření vysoce kvalitního produktu za správnou cenu. K tomu musí mít široké znalosti o způsobech zpracování materiálů. [1]

1.1 Základní metody obrábění

Při základních metodách obrábění je materiál z obrobku ubírán v podobě třísek použitím řezných nástrojů, kterými mohou být např. soustružnické nože, frézy a vrtáky. Obrábění může probíhat ručně nebo strojně, kdy se pro strojní obrábění užívá obráběcích strojů, kterými jsou např. soustruhy, frézky, vrtačky. Obrobené dílce rozlišujeme dle použitého obráběcího stroje např. na soustružené, vrtané, frézované, hoblované. [2]

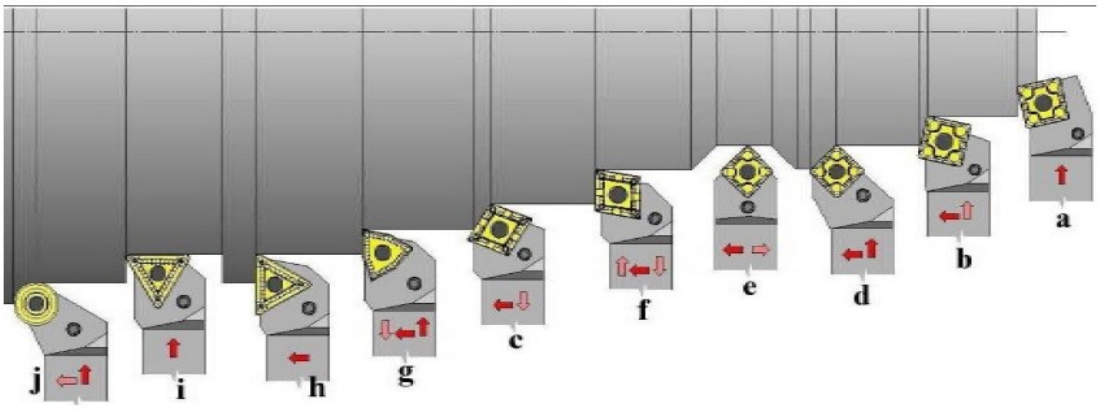
1.1.1 Soustružení

Při soustružení koná obrobek rotační pohyb proti řeznému nástroji, který vytváří požadovaný tvar. Stroje provádějící soustružení se nazývají soustruhy. Na soustruhu můžeme konat čelní soustružení, podélné tvarové soustružení, soustružení kuželové plochy, srážení hrany, zapichování, vrtání, vyvrtávání, vystružování, vroubkování, řezání vnitřních i vnějších závitů.

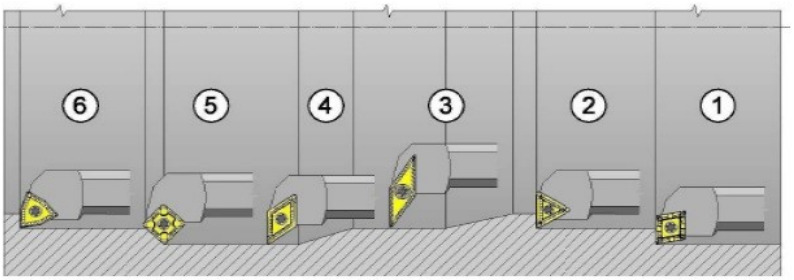
Soustružení je jednou z nejstarších technologií a stále se řadí mezi nejdůležitější základní metody obrábění. Soustruhy se vyskytují na více než 5 000 let starých ilustracích egyptských umělců, kde jsou soustruhy vyobrazeny již v pokročilejší podobě, tudíž bude existence soustruhů ještě starší. [3]

Již zmiňovaný hlavní pohyb je rotační, který vykonává obrobek a nástroj vykonává pohyby vedlejší, které jsou nazývány posuvy a přísuvy. Přísuvem zajistíme požadovanou hloubku řezu. Posuv může být podélný, který je rovnoběžný s osou otáčení a opracovává se jím válcová plocha nebo příčný, který je kolmý k ose obrobku a opracovává čelní rovinnou plochu obrobku. Nástroj může vykonávat podélný i příčný posuv zároveň. Tím vzniká obecná rotační plocha. [4]

Nástroji pro soustružení jsou soustružnické nože, které jsou obvykle jednobřité a mohou být buď celistvé, nebo s vyměnitelnou břitovou destičkou. Břity soustružnických nožů mohou být vyrobeny z nástrojových ocelí, ze slinutých karbidů, z cermetů, z řezné keramiky nebo polykrystalického nitridu boru a polykrystalického diamantu. [4]



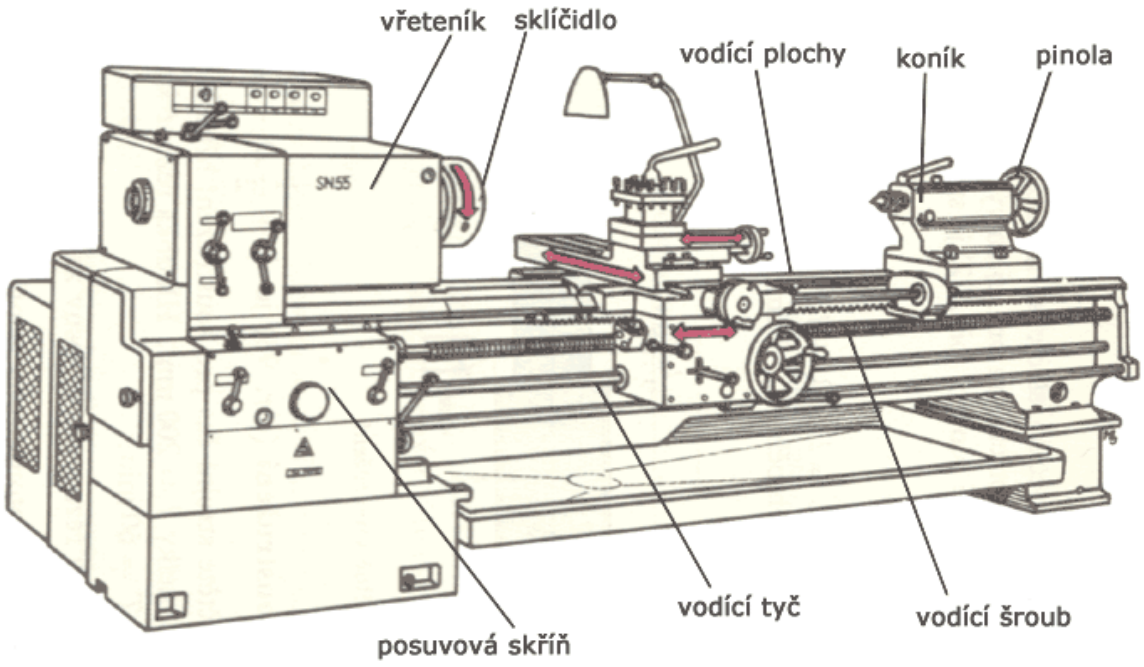
Vnější soustružnické nože,
a – ubírací nůž čelní, b – ubírací nůž přímý, c – ubírací nůž přímý, d – ubírací nůž ohnutý,
e – ubírací nůž oboustranný, f – rohový nůž, g – rohový nůž, h – ubírací nůž stranový,
i – hladicí nůž, j – radiusový nůž



Vnitřní soustružnické nože,
1 – vnitřní ubírací, 2 – vnitřní rohový, 3 – vnitřní kopírovací, 4 – vnitřní ubírací,
5 – vnitřní ubírací, 6 – vnitřní rohový

Obr. 1 Soustružnické nože [21]

Stroje využívající se pro soustružení se nazývají soustruhy, které dělíme na hrotové, čelní, svislé (karusely), revolverové, poloautomatické, automatické a soustruhy s NC řízením. [4]



Obr. 2 Popis základních částí univerzálního hrotového soustruhu [22]

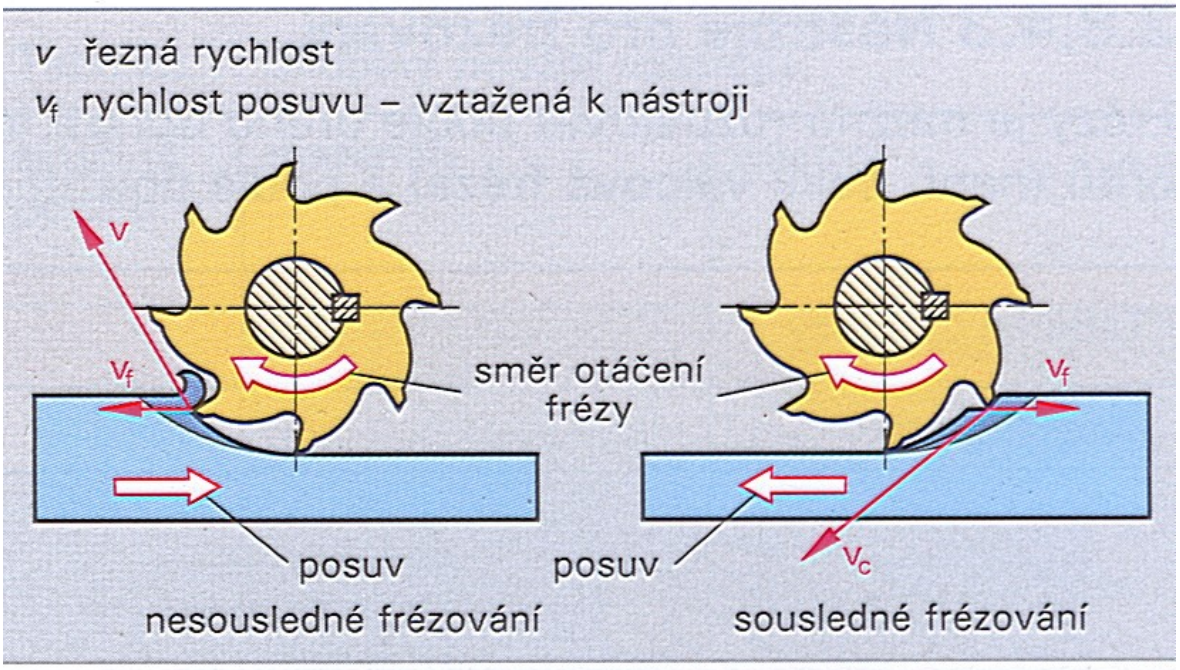
1.1.2 Frézování

Při frézování se nástrojem obrábí plochy nejrůznějších tvarů, drážky, závity, ozubená kola atd. Jedná se o velmi používanou a výhodnou metodu obrábění, při níž hlavní pohyb vykonává nástroj a vedlejší pohyb koná obrobek. Nástroj pro frézování je vícebřitý a nazývá se fréza. [2]

Frézovacím strojem je frézka, která využívá mnohozubý rotační řezný nástroj - frézu k odstranění třísky z obrobku připevněného ke stolu, který koná vertikální a horizontální posuv. První frézku, která nese základní podstatné parametry dnešního obráběcího stroje, vytvořil Eli Whitney. První zmínky o této frézce pochází z roku 1818. První využití našly frézky k výrobě střelných zbraní, hodin, parních strojů, zemědělských zařízení a šicích strojů. Frézky se prvně začaly používat v kovoprůmyslu ve Spojených státech a Velké Británii. V Evropě frézky nenašly uplatnění až do roku 1890. [3]

Frézování může probíhat obvodem válcové frézy, kdy je tříska ubírána zuby na obvodě a, nebo čelem čelní frézy. Při čelním frézování je obrobek frézován současně zuby na obvodě

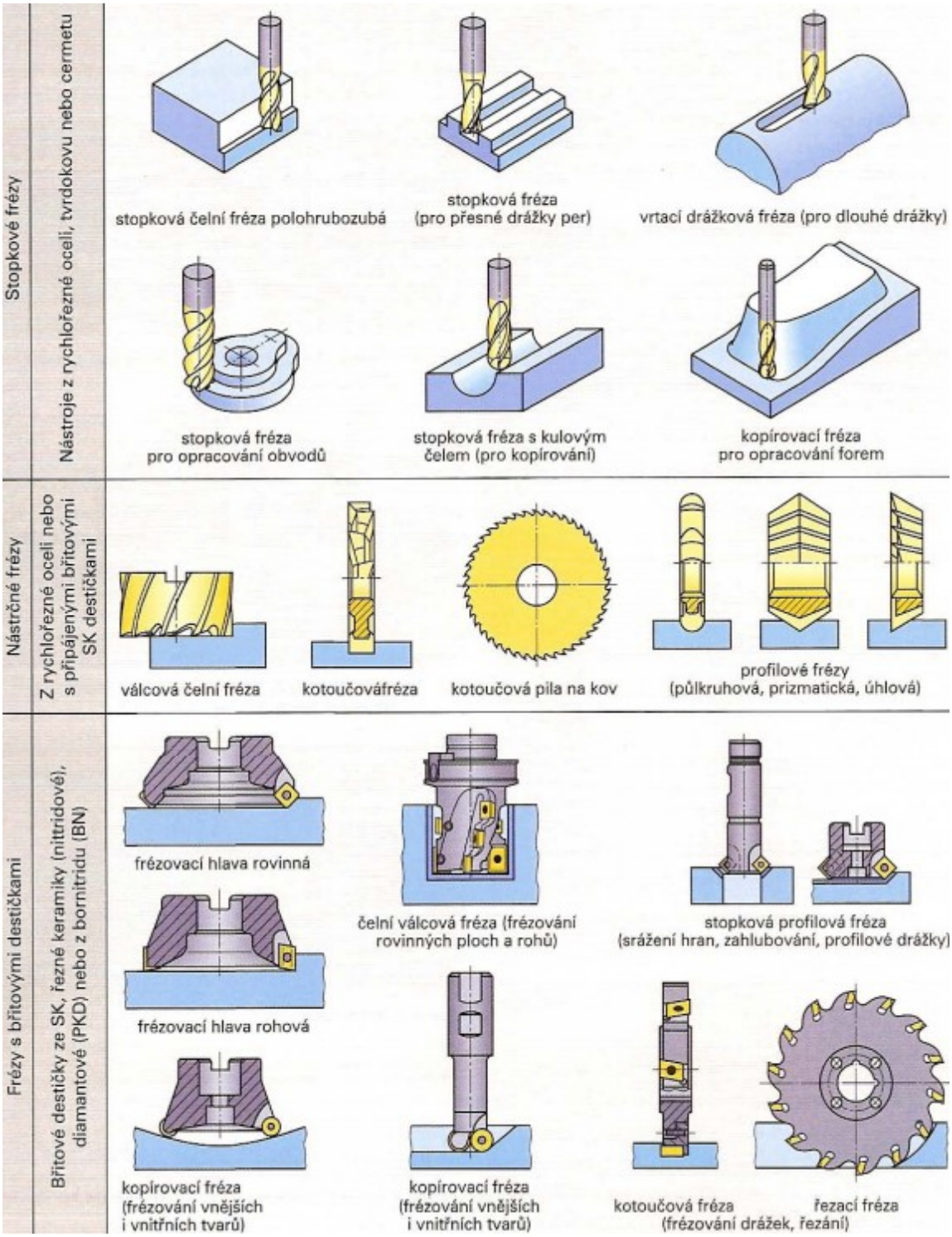
i na čele frézy. V závislosti na směru posuvu obrobku a smyslu otáčení frézy rozlišujeme frézování sousledné a nesousledné. [4]



Obr. 3 Sousledné a nesousledné frézování [23]

Stejně jako soustružnické nože mohou být frézy celistvé nebo s vyměnitelnými břitovými destičkami z rychlořezné oceli, slinutého karbidu, řezné keramiky nebo polykrystalického kubického nitridu boru. Větší celistvé frézy jsou vyrobeny z rychlořezných ocelí, menší ze slinutých karbidů. [4]

Stroji pro frézování jsou frézky, které rozlišujeme na konzolové, rovinné a speciální. Mezi speciální frézky řadíme např. frézky na drážky, frézky na vačky, pantografické frézky. [4]



Obr. 4 Druhy fréz [24]

1.1.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování

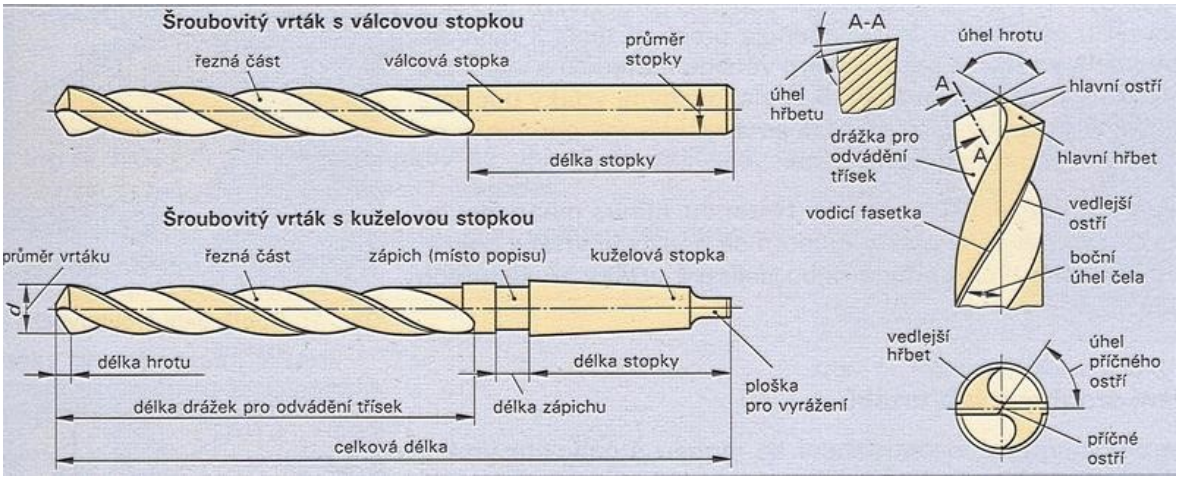
Vytváření děr do věcí za účelem jejich spojení, například svázáním, k získání jejich větší užitečnosti lidé využívali již v době kamenné. Tahle potřeba vytvářet díry stále přetrvává i v moderním obrábění. [3]

Nejpoužívanější obráběcí metodou pro vytváření děr je vrtání, kde se jako řezné nástroje používají vrtáky se dvěma nebo třemi řeznými hranami symetrickými podle osy. Nejčastěji používanými vrtáky jsou vrtáky šroubovité. [10]

Vrtání je obráběcí metodou, kdy hlavním rotačním pohybem, který vykonává obvykle nástroj, se vytváří nebo zvětšují již předvrtané díry. Posuv vrtáku probíhá ve směru osy vrtání, která je obvykle kolmá k vrtané ploše obrobku. [5]

Nástroj obvykle vykonává nejen hlavní rotační pohyb, ale i posuv ve směru osy. Při osových operacích, jako je vrtání, vyhrubování a vystružování, vzniká na obvodě nástroje nejvyšší obvodová rychlost, která klesá směrem k ose nástroje, tím má příčný břit v ose vrtáku nulovou obvodovou rychlost, neodebírá třísku a materiál jen plasticky deformuje. [4]

Vrtáky jsou řezné nástroje s drážky vedoucími k řezným hranám, které odvádí třísku. Vrtáky můžeme třídit dle materiálu, způsoby výroby, délky, tvaru hrotu, uspořádání drážek a velikosti. Výběr vhodného nástroje začíná podle velikosti díry, kterou chceme obrábět. [3]



Obr. 5 Popis vrtáku [25]

Zahlubování probíhá záhlubníky, kterými se rozšiřuje část vyvrtané díry, nebo se používají pro sražení hran. Tahle operace se využívá například při zapuštění hlavy šroubu. Záhlubníky jsou vícebřité, obsahující břity z rychlořezné oceli na čele. [4]

Vyhrubování a vystružování jsou obráběcími metodami využívanými k zpřesnění děr. Vyhrubování probíhá výhrubníky u děr větších než průměru 10 mm, poté se díry vystružují výstružníky. Díry menší než průměru 10 mm se pouze vystružují. [5]

Stroji pro vrtání jsou vrtačky. Používají se k vrtání, ale i k vyhrubování, vystružování, řezání závitů a k srážení hran vyvrtaných děr. Rozlišujeme je na stolní, stojanové, sloupové, radiální, souřadnicové a speciální. [4]

1.1.4 Hoblování a obrážení

Hoblování a obrážení je způsob obrábění vnějších případně i vnitřních rovinných nebo přímkových tvarových ploch. Oba způsoby používají jednobřitý nástroj. Při hoblování koná obrobek hlavní řezný pohyb, který je přímočarý vratný. Nástroj, kterým je u hoblování hoblovací nůž, vykonává posuvy ve vodorovném a svislém směru v rovině kolmém ke směru řezné rychlosti. Rozdílně je tomu u obrážení, kdy hlavní řezný pohyb vykonává nástroj, kterým je obrážecí nůž a posuv v rovině kolmém ke směru řezné rychlosti koná obrobek. Obrážení rozlišujeme vodorovné a svislé. Nástroj při hoblování a obrážení se pohybuje přes okraje obrobku na obě strany, přičemž při zpětném pohybu nástroj v záběru není, takže nedochází k úběru materiálu, ale dochází alespoň k jeho ochlazení. Hoblovací a obrážecí nože jsou konstrukčně podobné jako nože soustružnické, ale kvůli rázům vznikajících při záběru mají obvykle mohutnější tělesa a záporný úhel ostří. Materiálem celistvých nožů je rychlořezná ocel, v případě pájených nebo mechanicky upínaných břitových destiček se používá slinutých karbidů. Pro hoblování je strojem hoblovka, která může být jednostojanová nebo dvoustojanová. Pro obrážení se používají vodorovné nebo svislé obrážečky. [4]

1.1.5 Protahování a protlačování

Protahování a protlačování jsou velice efektivními dokončovacími obráběcími operacemi. Existuje vnitřní protahování a protlačování pro tvarové díry i vnější pro tvarové plochy. Rozdíly mezi jednotlivými způsoby jsou v konstrukcích nástroje, způsobu jeho upnutí a velikostí úběru materiálu jednoho pracovního zdvihu. [5]

Jelikož je výroba nástrojů - protahovacích a protlačovacích trnů - nákladná, má tenhle způsob obrábění uplatnění zejména v sériové výrobě. Hlavní řezný pohyb u obou úkonů je vykonáván zpravidla nástrojem. Tenhle hlavní pohyb je obvykle přímočarý, ale v případě použití kotoučových protahováků může být i otáčivý. Protahovací a protlačovací trny se skládají z upínací, vodící, řezací a kalibrovací části, případně při vyšších požadavcích na jakost obrobené plochy i hladící části. Protahovacím strojem je protahovačka, která může být svislá nebo vodorovná. [4]

1.2 Abrazivní metody obrábění

Při abrazivních metodách obrábění probíhá obrábění nástroji, které mají nedefinovanou geometrii břitu. Mezi tyto metody se řadí např. broušení, lapování, honování, leštění a využití nachází u součástí s nárokem na vysokou přesnost obrobených ploch. [5]

1.2.1 Broušení

Broušení je dokončovací operace, která přispívá k extrémní přesnosti a vytváří působivý vzhled. Broušení se používá pro vyměnitelné součásti, k ostření nářadí jako jsou důlkovače, soustružnické nože a frézy. [3]

Broušení, řadící se k nejstarším obráběcím metodám, používá brousící nástroje obsahující brousící zrna, která jsou zde umístěna náhodně a jsou spojena pojivem. Mezi zrny a pojivem se nachází nevyplněná místa, ty se nazývají póry. K broušení se využívá i volného brusiva, kde jsou volně se pohybující zrna k broušenému materiálu přitlačována například deskou. Broušením se obrábí rovinné, válcové nebo tvarové vnější a vnitřní plochy, kdy je vždy zároveň v záběru spousta zrn odebírající třísku. Zefektivněním brousících strojů a nástrojů se broušení začalo využívat nejen jako dokončovací operace, ale i jako hrubovací operace. Brousícími nástroji jsou brousící kotouče, segmenty, pásy a kameny. Nejčastěji používanými materiály brusiva jsou granát, smirek, pazourek, umělý korund, karbid křemíku, karbid boru, kubický nitrid boru a přírodní i umělý diamant. Materiály pro pojiva jsou keramická, pryžová, pryžová s textilní výztuží, z umělé pryskyřice, z umělé pryskyřice s textilní výztuží, šelaková a magnezitová, kovová, galvanická kovová. Brusky rozlišujeme hrotové, bezhroté, na díry, rovinné, nástrojařské, pásové a speciální. [4]

1.2.2 Dokončovací metody obrábění

Dokončovací metody obrábění zvyšují jakost obrobeného povrchu, zpřesňují tvary a rozměry obrobků, zlepšují mechanické a fyzikální vlastnosti a zdokonalují vzhled povrchu dílců. Dokončovací metody probíhají při malých řezných silách odebíráním drobné třísky. Mezi dokončovací operace, při kterých dochází k odebírání třísky, patří honování, lapování, superfinišování, leštění a omílání. K dokončovacím metodám řadíme i válečkování, kuličkování a otryskávání, u kterých nedochází k třískovému obrábění, ale povrch se jen plasticky deformuje. Otryskávání je společným názvem pro technologie jakými je například brokování, balotinování a hydrofiniš. [4]

⇨ **Honování**

Honováním dochází k úběru třísky pohybem brousících zrn vázaných pojivem v honovacích kamenech nebo lištách, kdy je pracovní část nástroje konající přímočarý vratný pohyb v kontaktu s povrchem obrobku. Obrobek může vykonávat otáčivý pohyb samostatně nebo společně s otáčejícím nástrojem. Honovací proces je prováděn za přívodu chladicí kapaliny. Jako materiál honovacích kamenů se volí syntetický korund, karbid křemíku, diamant, grafit, karbid boru a nitrid boru. Honování může probíhat ručně, kdy je honovací hlava upnuta do vrtačky, nebo strojně na honovačkách, které rozdělujeme na horizontální, vertikální a speciální. [4]

⇨ **Lapování**

Při lapování dochází k odebírání jemných třísek pohybem brousících zrn, která nejsou vázaná pojivem, ale jsou volně rozptýlena v kapalině nebo pastě. Lapovat můžeme ručně i strojně. Používají se brousící zrna například z karbidu křemíku, syntetického korundu, syntetického nebo přírodního diamantu, karbidu boru, nitridu boru. [4]

⇨ **Superfinišování**

Ubírání materiálu při superfinišování probíhá brousícími zrny spojenými pojivem, které se nachází v brousících kamenech, lištách nebo tyčinkách nástroje. Superfinišování využívá kombinaci několika pohybů. Nástroj vykonává přímočarý kmitavý pohyb a obrobek koná otáčivý a přímočarý posuvný pohyb. Tak jako u honování, tak i superfinišování využívá stejné druhy chladicích kapalin. Superfinišováním můžeme opracovávat povrchy z litiny, kalené oceli, konstrukční oceli, hliníku a jeho slitin, mědi, skla plastů atd. Jako materiál brousících zrn se používá syntetický korund, karbid křemíku, syntetický diamant nebo kubický nitrid boru, přičemž pojiva se používají keramická, bakelitová nebo kovová. Jako stroje používáme pro sériovou výrobu speciální poloautomaty nebo automaty, pro malosériovou výrobu využíváme stroje univerzální a kusová výroba probíhá na přídavných zařízeních pro běžné obráběcí stroje, jakými jsou soustruhy, brusky, vyvrtávačky apod. [4]

⇨ **Leštění**

Leštěním ubíráme velmi drobnou třísku materiálu z vrcholků nerovností vzniklých předcházejícími metodami obrábění a povrch získává zrcadlový lesk. Leštění může být ruční nebo i strojní. Leštění může probíhat mechanicky leštícími kotouči, otáčejícími se kartáči nebo pásy. Lze využít i chemického leštění použitím chemického roztoku a elektrochemického

leštění. Stroji pro leštění jsou univerzální leštičky, speciální jednoúčelové leštičky a leštící linky. [4]

⇨ **Omílání**

Omílání je speciálním způsobem leštění, kdy obrábění probíhá třením a nárazy leštícího prostředku (kombinace abrazivního materiálu a aktivní kapaliny) na povrch obrobku v otáčivých nebo vibračních bubnech omílacího zařízení. [4]

⇨ **Válečkování, kuličkování a otryskávání**

Válečkováním, kuličkováním a otryskáváním se získává vysoká jakost povrchu, přesnost rozměrů i tvaru plastickými deformacemi povrchu. Válečkování a kuličkování může být statické a dynamické. Statickou metodou je přitlačen otáčející se váleček nebo kulička na povrch materiálu, dynamickým způsobem váleček nebo kulička kmitají. Otryskáváním je povrch materiálu plasticky deformován proudem tvrdých tělísek. [4]

1.3 Nekonvenční metody obrábění

Při nekonvenčních metodách obrábění nedochází k vzniku třísek, jako u obrábění řeznými nástroji, ale pro obrobení materiálu se využívá fyzikálních a chemických zákonitostí. Tyto metody můžeme rozdělit podle principu na obrábění elektrickým výbojem (elektroerozivní obrábění elektrickou jiskrou a elektrickým obloukem), chemické obrábění (elektrochemické a chemické obrábění), obrábění paprskem koncentrované energie (laser, elektronový paprsek, iontový paprsek a plazma) a mechanické obrábění (obrábění ultrazvukem, kapalinovým paprskem a proudem brusiva). [9]

1.3.1 Obrábění elektrickým výbojem

⇨ **Elektroerozivní obrábění**

Elektroerozivní obrábění je způsobem obrábění elektricky vodivých materiálů probíhajícími výboji mezi katodou a anodou umístěnými v tekutém dielektriku. Výboj způsobí kráter, jehož velikost a tvar se odvíjí od energie výboje a době jeho trvání. Elektroerozivní obrábění se využívá například pro hloubení dutin zápustek a forem, leštění povrchů, k výrobě složitých tvarových povrchů a k výrobě mikrootvorů. [9]

1.3.2 Chemické obrábění

⇨ **Elektrochemické obrábění**

Elektrochemické obrábění probíhá elektrolýzou, kdy je elektricky vodivý obrobek ponořený v elektrolytu fungující jako anoda a reakcí probíhá slučování kationtů elektrolytu s anionty kovu na povrchu anody a tím dochází k úběru kovu z anody. Elektrochemické obrábění se uplatňuje například při hloubení dutin forem, tvarových otvorů, obrábění vnějších tvarových ploch, odstraňování otřepů a dělení materiálů. [9]

⇨ **Chemické obrábění**

Mezi metody chemického obrábění patří leptání a termické odstraňování otřepů. Metodou leptání dochází k vzniku chemické reakce mezi obrobkem a chemickou leptací látkou, která je při chemickém obrábění nástrojem. Jako chemická látka se používá například kyselina nebo hydroxid. Chemickou reakcí dochází v určitých časových intervalech k odleptávání částic materiálu z povrchu obrobku. Metodou lze opracovávat materiály, jako je hliník a jeho slitiny, konstrukční uhlíkové oceli, korozivzdorné oceli, titan, mosaz a měď. [9]

Při termickém odstraňování otřepů je povrch materiálu vystavován chemicko-tepelnému působení. Obrobek je umístěn v pracovní komoře, kde teplota může dosahovat až 3 500 °C. Komora je uzavřená a dochází v ní k zapalování směsi vodíku a kyslíku elektrickou jiskrou od zapalovací svíčky. [9]

1.3.3 Obrábění paprskem koncentrované energie

⇨ **Obrábění plazmou**

Tato technologie využívá k obrábění paprsek plazmy, což je elektricky vodivý stav ionizovaného plynu vznikající výboji mezi anodou a katodou. Plazma vzniká v plazmovém hořáku a průměr jejího paprsku se pohybuje kolem 1 mm. Pro obrábění lze využít metodu, kdy se plazmový hořák využije k předehřevu obrobku před řezným nástrojem, což má za následek změnu mechanických a fyzikálních vlastností obrobku a změnu průběhu obrábění. Nebo se plazmový hořák použije přímo k tavení materiálu z povrchu obrobku při teplotách i vyšších než 10 000 °C. Odtavený materiál se odvádí působením proudu asistentního plynu. První zmíněná metoda je používána pro těžkoobrobitelné materiály a extrémně dlouhé výrobky, přičemž druhá metoda se využívá jen k hrubování. Plazma se používá nejen k obrábění, ale i k řezání, svařování a nanášení povlaků. [9]

⇨ **Obrábění elektronovým paprskem**

Při obrábění působí elektronový paprsek na místo, kde dochází k tání a erupčnímu odpařování materiálu. Princip je založen na kinetické energii proudu urychlených elektronů, který vzniká v elektronovém dělu. Elektronové dělo obsahuje wolframovou katodu a anodu. Obrábění může probíhat kontinuálně (nepřerušovaně) nebo přerušovaně. Elektronovým paprskem lze svařovat, vrtat i pájet. [9]

⇨ **Obrábění iontovým paprskem**

Obráběním iontovým paprskem dochází k ubírání materiálu svazkem iontů. Iontový paprsek zvládá obrábět téměř všechny materiály a využívá se při výrobě například integrovaných obvodů, polovodičů, součástí pro mikroelektroniku a miniaturních součástí. Jelikož má obrobený povrch vysokou jakost, nalézá iontový paprsek využití i při čištění a hlazení povrchů. [9]

⇨ **Obrábění laserem**

Principem technologie laseru je přeměna světelné energie na energii tepelnou, kdy vlivem vysoké teploty nastává ohřev, tání a odpařování materiálu obrobku. Laser se skládá z laserové hlavice, výstupního zařízení, zdroje energie buzení, budícího zařízení, chladicího systému. V laserové hlavici se nachází laserové médium, rezonátor, polopropustné a nepropustné zrcadlo. Laserové médium se skládá z několika materiálů, které ovlivňují délku vlny záření. Rezonátor v laserové hlavici má za cíl zformovat a zesilovat záření. Dle typu laserového média lze lasery rozčlenit na pevnolátkové, plynové, polovodičové a kapalinové. Laser má ve strojírenství široké uplatnění například pro řezání, vyřezávání, svařování, pájení, popisování součástí, tepelné zpracování, nanášení povlaků, vrtání, soustružení, frézování a gravírování. [9]

1.3.4 Mechanické procesy

⇨ **Ultrazvukové obrábění**

Ultrazvukovým obrábění dochází k ubírání materiálu z povrchu obrobku nástrojem kmitajícím ultrazvukovou frekvencí 18 až 25 kHz přitlačujícím brousící zrna smíchaná s kapalinou. Touto metodou se obrábí materiály, jakými jsou například sklo, křemík, germanium, keramika, grafit, kevlar, slinuté karbidy, polodrahokamy, kalené oceli. Stroj vykonávající ultra-

zvukové obrábění se skládá z generátoru ultrazvukových kmitů, systému pro vytvoření mechanických kmitů, přívodu brousících zrn i kapaliny a nástroje vyrobeným z konstrukční oceli, korozivzdorné oceli, mědi nebo mosazi. [9]

- ⇨ **Obrábění kapalinovým paprskem a proudem brusiva**

Proudem kapalinového paprsku dochází k úběru částic materiálu z obrobku využitím principu přeměny kinetické energie molekul kapaliny na mechanickou práci a současně docházející kavitační korozi. Kavitační koroze se projevuje vytrháváním částic materiálu působením paprsku kapaliny, vycházejícím vysokým tlakem z pracovní trysky. Jako kapalina se může zvolit například voda či olej a může být použita samostatně nebo s abrazivem, kde je povrch materiálu vystavován ještě působení zrn brousícího materiálu. Na jiném principu funguje odlišná metoda obrábění proudem brousících zrn, kdy se materiál obrábí pouze působením volného brusiva unášeného proudem vzduchu při vysokých rychlostech. [9]

1.4 Moderní výrobní technologie

Snahou o udržení postavení na moderním výrobním trhu ohrožovaného konkurencí jsou podniky tlačeny k intenzivnímu využívání technických inovací. Při třískovém obrábění lze ušetřit část výrobních nákladů, které mohou být sníženy zejména zkrácením doby procesu obrábění a vedlejších časů a zefektivněním použití výrobních prostředků jakými jsou například chladiva. Tyto záměry vedoucí k šetření nákladů můžeme realizovat vysokorychlostním obráběním (HSC - High Speed Cutting), HPC (High Performance Cutting), MTC (Multi Task Cutting) nebo obráběním nasucho. Při vysokorychlostním obrábění (HSC) se využívají vyšší hodnoty řezné rychlosti při malých hloubkách řezu. Metoda High Performance Cutting (HPC) pracuje s nízkými řeznými rychlostmi při větším posuvu. Multi Task Cutting (MTC) se využívá u obráběcích center provádějících současně více úkonů, přičemž se používají nástroje se speciálně upravenými břity pro odběr maximálního objemu materiálu při působení malých sil. Metoda obrábění nasucho nebo s minimálním podílem mazání je založena na šetření nákladů spojenými s nákupem a odstraňováním chladících a mazacích kapalin.[6]

Využívá se i metoda rychlostního broušení, která zaručuje vysokou jakost součásti při kratší době broušení a tím pádem dochází i k vyšší produktivitě. K rychlostnímu broušení se používají odolné kotouče s pevnými tělesy vyrobenými například z ocelí, hliníkových slitin nebo uhlíkových vláken, která jsou zesílená plasty. Na povrchu kotouče je brousící materiál. Často se používá kubický nitrid boru, který dosahuje vysoké tvrdosti a tepelné i chemické stálosti.

Pojiva se využívají vícevrstvá kovová, syntetická pryskyřičná nebo keramická. Rychlostní broušení s kotouči, které využívají jako brousící materiál kubický nitrid boru, se dosahuje řezných rychlostí 80 - 250 m/s. Pro rychlostní broušení lze využít i běžné kotouče v rozsahu řezných rychlostí 50 - 100 m/s. [5]

1.4.1 High Speed Cutting (HSC)

Vysokorychlostní obrábění, které značně zkracuje dobu obrábění, vzniklo pokrokem v oblasti vřeten a vyvíjením vyšších rychlostí posuvů se spojením s moderními řeznými materiály. Vysokorychlostní obrábění se využívá zejména u neželezných kovů, protože litiny a uhlíkové i legované oceli mají své specifické vlastnosti, které omezují využití vyšších řezných rychlostí. Pokud nelze použít vyšší řezné rychlosti, jak z důvodu technologické nerealizovatelnosti nebo nepříznivého poměru cena/výkon, sníží se doba obrábění optimalizací obráběcího procesu jako celku. Pro zvýšení výkonu obrábění je vyvíjena snaha na vylepšení stávajícího postupu zpracování a nemusí nutně vyžadovat pořízení nových nákladných strojů. Důležitou částí zpracovatelského postupu je systém řezných nástrojů, který by měl umožňovat snadnou přizpůsobitelnost konkrétnímu účelu, protože systém řezného nástroje určuje úroveň obrábění a výrobní výkon. Od řezných nástrojů se vyžaduje vysoká produktivita a nízká nákladovost. [7]

Některé metody HSC můžou nahradit i broušení například frézováním. Děje se tak za použití velmi tvrdých řezných materiálů, zejména polykrystalického kubického nitridu boru. Polykrystalický kubický nitrid boru dosahuje velmi dobrých vlastností. Například vyniká svou stabilní tvrdostí až do teploty 2 000 °C, vysokou řezivostí a trvanlivostí, vysokou odolností proti teplotním šokům a mechanickému opotřebení. [5]

- ⇨ **Předpoklady pro využití HSC, její výhody a nevýhody**

Aby mohla být optimálně využita metoda vysokorychlostního obrábění, musí být zajištěny určité požadavky. Obráběcí stroj musí umožňovat realizaci vysokých posuvů, vysokého počtu otáček a zaopatřovat přesnost obvodové házivosti vřetena. Stroj také musí mít vysokou tuhost, lehkou konstrukci pohybujících se součástek a musí umožňovat práci bez větších vůlí a vibrací. Od obráběcího nástroje se očekává vysoká tuhost, dlouhá životnost, vysoká přesnost obvodové házivosti a vysoká jakost vyvážení. Obrobek by měl být upnut stabilně bez vibrací hydraulickýma, přesnýma nebo tepelnýma upínačema též s vysokou přesností obvodové házivosti. [6]

Při HSC obrábění se otáčky vřetene u frézek pohybují v rozmezí 10 000 - 80 000 ot/min (v některých případech dokonce až 200 000 ot/min), u soustruhu 5 000 - 15 0000 ot/min a potřebný výkon vřetene u obou zmiňovaných metod je v rozmezí 15 - 100 kW. Nástroj se pracovním posuvem pohybuje rychlostí 10 - 60 m/min a rychloposuvem rychlostí 90 - 120 m/min. [5]

Při zajištění optimálních podmínek pro vysokorychlostní obrábění se může předpokládat s rostoucí řeznou rychlostí výhody ve zkrácení doby obrábění, zvýšení rychlosti posuvů (5 - 10 krát), snížení síly třískového obrábění (i více než o 30%), schopností obrábět geometricky složité součásti bez vibrací nebo dokonce i v některých případech se může zcela předejít použití dalších dokončovacích úprav. [6]

Mezi nevýhody HSC obrábění se řadí vysoká nákladovost strojního vybavení, nutnost použití speciálních a drahých nástrojů, které je potřeba vyvažovat. Nástroje a obrobky vyžadují speciální upínaní a je potřeba zajistit odvod velkého objemu třísek. [5]

- ⇨ **Řezné materiály pro HSC**

Obecně se pro vysokorychlostní obrábění používají řezné materiály, u kterých se předpokládá menší citlivost na opotřebení nástroje a snižuje se riziko vzniku náhlého lomu, který může vzniknout vlivem mechanických nebo tepelných šoků. Od takového nástroje se očekávají zvýšené mechanické vlastnosti, jakými jsou tvrdost povrchu a houževnatost. Řezný materiál by měl být méně náchylný k chemickému opotřebení. Jako řezný materiál pro vysokorychlostní obrábění se používá například polykrystalický kubický nitrid boru, který se vyznačuje svou extrémní tvrdostí a lze sním obrábět materiály, jako jsou například kalené oceli, tvrdé litiny a žáruvzdorné materiály. Dalším používaným řezným materiálem jsou slinuté karbidy, které jsou složeny z tvrdých karbidů a měkké kovové pojivové fáze. Keramické materiály používající se pro obrábění například šedých a sférický litin, se vyznačují vyšší tvrdostí a vyšší tepelnou odolností než slinuté karbidy. Ale jejich hlavními nevýhodami je vyšší křehkost a nižší chemická stabilita. Nejtvrdším z řezných materiálů používajících se pro vysokorychlostní obrábění je monokrystalický a polykrystalický diamant vyznačující se svou vysokou trvanlivostí. [5]

2 ÚVOD DO TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

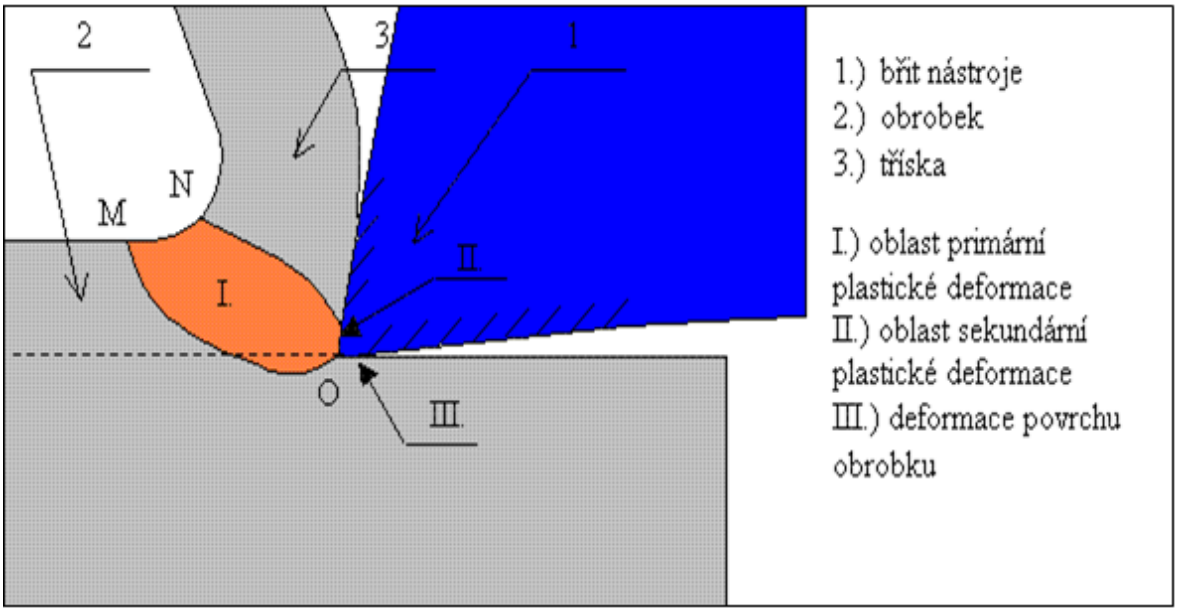
Obrábění je technologický proces probíhající v soustavě stroj - nástroj - obrobek. Při obrábění dochází k úběru třísek materiálu z obráběné plochy řeznou částí nástroje - břitem. Řezný pohyb se většinou skládá z hlavního řezného pohybu a vedlejšího řezného pohybu - posuvu, který může být podélný, příčný nebo kruhový a plynulý nebo přerušovaný. Nastavení hloubky řezu probíhá přísuvem, který se využívá např. u soustružení, hoblování, frézování a broušení. [2]

2.1 Obrobitelnost

Třískové obrábění je ovlivňováno mnoha faktory. Z hlediska obrobku se jedná zejména o použitý materiál, přesnost předešlé výroby a topografii povrchu. Obráběcí stroj ovlivňuje obrábění svojí přesností, tepelným chováním a odvodem třísky. Záleží na typu, vlastnostech a řezné geometrii řezného nástroje. Ovlivňující faktory vznikají zvolenými parametry obrábění jako je řezná rychlost, posuv, řezná síla, volba chladícího maziva. Vlivy se tvoří i obráběcím procesem, kdy dochází k třením, změnám teplot, opotřebení nástrojů, a tvorbě třísek. Ze strany produktivity ovlivňují obráběcí proces výrobní náklady, optimalizace výdajů i řezné parametry. Ovlivňující faktory mají vliv i na tvorbu třísek. [6]

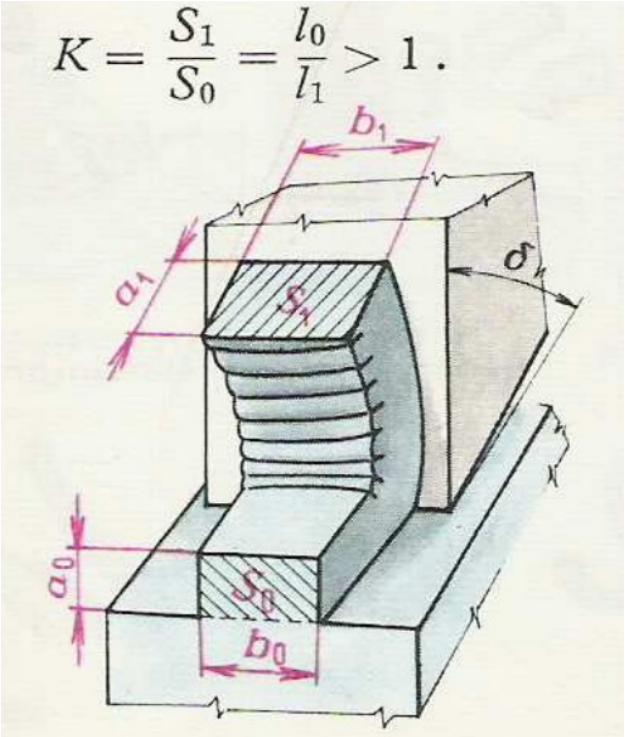
2.1.1 Tvorba a pěchování třísky, tvorba nárůstků

Při obrábění je řezem břitu nástroje materiál odřezávané vrstvy namáhán a deformován, kdy míra namáhání a deformací je závislá na druhu a vlastnostech zvoleného materiálu. Plastické deformace vznikají ve třech oblastech, ale nejvyšší vliv na deformaci materiálu odřezávané vrstvy má oblast primárních plastických deformací (obr. 6). Již zmiňovaná oblast primárních plastických deformací se vyskytuje v oblasti I. V oblasti II vznikají sekundární plastické deformace a v oblasti III vznikají plastické deformace povrchu obrobku. [2]



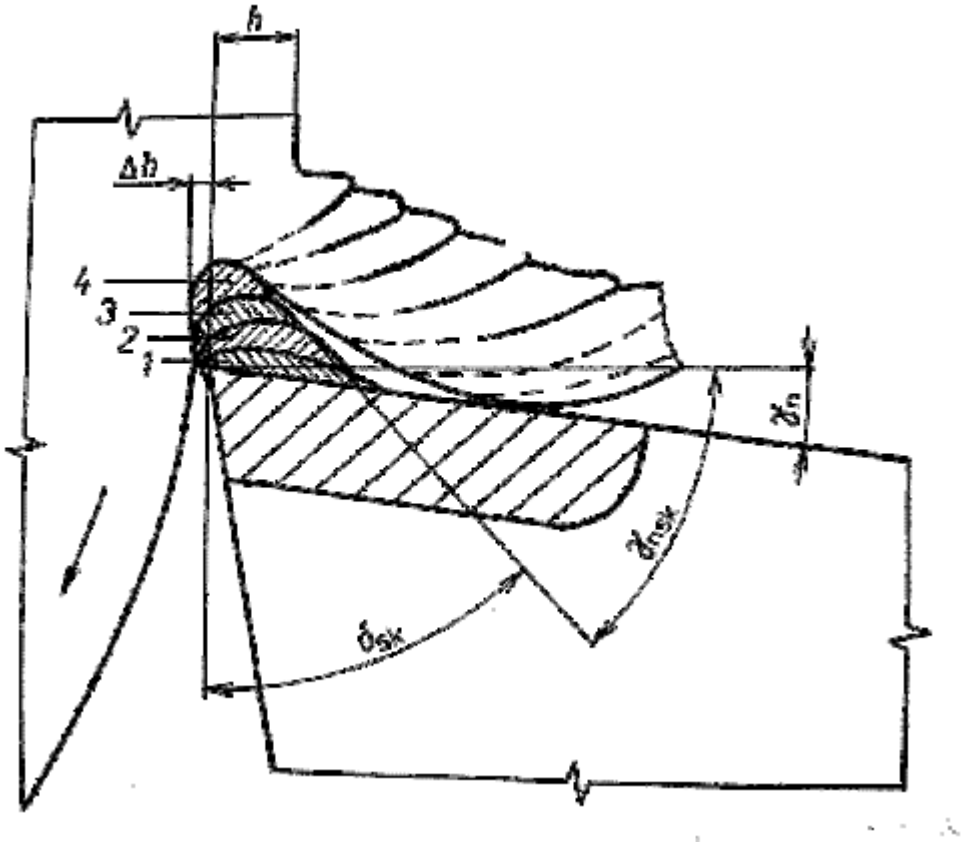
Obr. 6 Oblasti deformací [26]

Při přeměně odřezávané vrstvy na třísku dochází působením plastických deformací k tzv. pěchování třísky (obr. 7), což se projevuje změnou rozměrů. Plocha průřezu odřezávané třísky dosahuje vyšších hodnot oproti ploše průřezu odřezávané vrstvy. Ovšem délka třísky dosahuje menších hodnot než délka odřezávané vrstvy. Tyto změny můžeme vyjádřit součinitelem pěchování třísky, který získáme buď poměrem plochy průřezu třísky k ploše průřezu odřezávané vrstvy, nebo poměrem délky odřezávané vrstvy k délce třísky. [2]



Obr. 7 Pěchování třísky [27]

Důsledkem působení adhezních sil v místě dotyku odřezávané vrstvy a čela nástroje dochází k navaření třísky k čelu nástroje a poté dochází k tvorbě nárůstku (obr. 8), který má vysokou pevnost a tvrdost. Nárůstek nahrazuje funkci břitu nástroje a postupně dochází k jeho dalšímu vrstvení a tím i k změnám řezné roviny a změně poloměru zaoblení ostří. Poté může dojít k odtržení některých vrstev nárůstku. Pokud dojde k odtržení všech vrstev nárůstku, odtrhává se i část břitu nástroje. Nárůstek působí negativně na opotřebení nástroje a zhoršuje jakost povrchu. [2]



Obr. 8 Tvorba nárůstku [28]

2.1.2 Typy a tvary třísek

Typy třísek se mohou rozdělit na plynulé, dělené a drobivé (lámavé). Plynulou třískou dochází k plynulému odvodu materiálu, tříska je souvislá s hladkou spodní hranou a nerozpadá se v oblasti střihu, ale plynule se deformuje. Dělená tříska se rozpadá na nesouvislé části, což může být způsobeno například nerovnostmi v materiálu, vibracemi, velkou hloubkou řezu. Třískové lamely se ve střižné rovině nějakou dobu deformují a následně dochází k odstřižení od obrobku. Drobivá neboli lámavá tříska se v rovině střihu odtrhává již po velmi malé deformaci na drobné nesouvislé elementy třísky. Kvůli struktuře lomu má tříska drsný povrch. [6]

Tvary třísek se rozdělují na páskové, smotané, šroubové, šroubové lámavé, spirálové, dělené spirálové, drobivé nebo lámavé. Některé z těchto druhů třísek ovšem nejsou v procesu obrábění příliš vhodné. Dlouhé páskové třísky z hlediska bezpečnosti mohou zvyšovat riziko úrazu, smotané třísky mohou představovat hrozbu poškození nástroje nebo obrobku. Vhodnějšími mohou být kratší třísky, u kterých je díky menším rozměrům jednodušší odvod od

obrobku. Tvar třísky ovlivňuje řezná rychlost, posuv, hloubka řezu, úhel čela, úhel nastavení a utvářeče třísek zlepšující lámavost třísek. [6]

2.2 Opotřebení nástroje

Opotřebení obráběcích nástrojů vzniká vlivy adhezivními, abrazivními, difúzními a oxidačními. Při adhezním opotřebení dochází k rozdělení tlakem spojených míst. Při abrazi vzniká vlivem mechanického přítlaku plastická deformace. Difuzí se projevuje tribochemické opotřebení vlivem tepla a při oxidaci dochází současně, jak k tvorbě okují, tak i tribochemickému opotřebení vlivem tepla. Opotřebení obráběcího nástroje se projevuje prasknutím nástroje, plastickou deformací, vymíláním, opotřebením hřbetní plochy, vroubkováním, vylomením, hřebenovými trhlinami. Opotřebení hřbetní plochy může vzniknout nadměrnou řeznou rychlostí, vlivem nedostatečně odolného řezného materiálu proti oděru, nízkým posuvem a může vést k nárůstu řezných sil, vyšším vibracím, narůstající teplotě, zhoršení jakosti povrchu a rozměrovým nepřesnostem. Vymílání vzniká důsledkem příliš vysokých řezných rychlostí, nepřizpůsobenému posuvu, malým úhlem čela, špatným řešením přívodu chladícího maziva, volbou řezného materiálu se slabou odolností vůči opotřebení a projevuje se oslabením řezné hrany, větší deformací vzniklých třísek a vzrůstá riziko prasknutí břitu. Plastická deformace se tvoří vlivem vysoké teploty v oblasti řezné hrany a poškozením povlaku řezných destiček. Příčinami vzniku vroubkování je oxidace a zvýšený otěr a projeví se zhoršením jakostí povrchu nebo i prasknutím břitu. Tvorba hřebenových trhlin může být způsobena přerušovaným řezem, nerovnoměrným zajištěním přívodu chladících maziv a může vést k poškození obráběcího nástroje. K prasknutí břitu může dojít vlivem vibrací, slabou geometrií břitů, volbou křehkého materiálu nástroje, velkým posuvem nebo příliš hlubokým řezem, nárůstkem nebo nárazy třísek. [6]

2.2.1 Životnost břitu nástroje

Životnost je veličina udávající dobu, po kterou může být nástroj používán jako ostrý. Konec životnosti nastává v případě, pokud břit nevytváří požadovanou toleranci či jakost povrchu. Životnost se stanovuje na základě dlouhodobých testů. Dlouhodobé testy jsou ovšem časově i finančně nákladné, tak se využívají i krátkodobé zkoušky, které nejsou tolik nákladné, ale jejich výsledek je pouze orientační. Životnost nástroje je ovlivněna faktory parametrů obrábění, z nichž největší vliv má řezná rychlost, ale ovlivňuje ji i hloubka řezu, posuv, materiál obrobku či řezný materiál. [6]

3 MĚŘENÍ A HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU

Ve čtyřicátých letech 20. století začal vyvíjet E. J. Abbot první technologie pro testování kvality povrchu. Od té doby se v průmyslu stala drsnost povrchu velmi důležitou vlastností pro charakterizaci obráběného povrchu. Rostoucí vliv kvality povrchu se projevil změnami ve výrobním procesu. V posledních desetiletích došlo k významnému zpřesňování rozměrových tolerancí. [8]

3.1 Složky profilu povrchu

Povrch se skládá ze tří základních složek - tvar, vlnitost a drsnost. Na soustružených dílech vznikají odchylky tvaru například vlivem nepřímostí vodících ploch soustruhu, vlnitost je důsledkem různých vibrací obráběcího stroje i okolních zdrojů. Drsnost je důsledek geometrie posuvu nástrojů, stavu nástrojů a změnami v materiálu a tvrdosti. [8]

Protože jsou všechny tři základní složky povrchu způsobeny rozdílnými faktory a k obrobku jsou vázány rozdílnými vztahy, můžeme je během analýzy od sebe oddělit použitím filtru pro měřený profil. Nerovnosti obrobeného povrchu se projevují jako vrcholy a údolí, které byly vytvořeny obráběcími nástroji. Pro měření a následnou analýzu povrchu existuje spousta způsobů, jak vyjádřit výsledné parametry. Často pro definici povrchu nestačí pouze jeden parametr, ale je zapotřebí použití více parametrů. [8]

Nerovnosti vzniklé na povrchu dané součásti lze vyhodnocovat ze zobrazení ve 2D i 3D. Vyhodnocování ve 2D zobrazení znázorňuje profil z roviny řezu, která je kolmá k rovině povrchu. Zobrazení ve 3D je získáno zejména použitím bezdotykového způsobu vyhodnocování drsnosti povrchu. Nerovnost povrchu rozdělujeme na drsnost, vlnitost a tvar povrchu. [11]

3.1.1 Drsnost povrchu

R_t (R_{max}) je označení pro maximální hloubku drsnosti vyskytující se v celém rozsahu měřené délky l_m. Při rozdělení celé měřené délky l_m na jednotlivé segmenty délek l_e s jednotlivými hloubkami drsností Z_i je jejich střední hodnota nazývána střední hloubkou drsnosti označovanou R_z. Aritmetická střední hodnota drsnosti R_a se získá výpočtem aritmetického průměru ze všech hodnot profilu drsnosti. R_q je označení pro střední kvadratickou hodnotu drsnosti, což je střední kvadratická hodnota vypočítaná ze všech hodnot profilu drsnosti. [6]

3.2 Způsoby měření povrchu

Měřící systémy pro topografii povrchu obrobků rozlišujeme na kontaktní, které měří pouze drsnost a bezkontaktní, hodnotící tvar, vlnitost i drsnost. Kontaktní měřidla obsahují citlivý snímací hrot s diamantovou špičkou, jenž klouže po povrchu obrobku, který využívají jako referenční plochu. Bezkontaktní měřidla využívají jako referenční určitou přesnou plochu. [8]

Nejpoužívanější metodou pro měření povrchu je metoda dotyková využívající ostrého snímacího hrotu dotykového profilometru. Hrot se posouvá po povrchu v určitém směru a vytváří mechanický signál, který je indukčnostním převodníkem přetvářen na elektrický signál. Elektrický signál je výsledně zpracován a nerovnost povrchu je vyobrazena graficky nebo zvolenými číselnými charakteristikami. Na výsledku měření se projevují vlastnosti snímacího systému, kterými jsou zejména poloměr zaoblení a vrcholový úhel snímacího hrotu, měřící síla a její rychlostní změny. [11]

3.3 Chyby měření

Základní druhy chyb rozlišujeme na systematické, náhodné a hrubé. Hrubé chyby mohou vzniknout špatným postupem měření a musí být vyloučeny, protože by mohly vést až k znehodnocení výsledku. Náhodné chyby se vyskytují z neznámých důvodů a nelze je zcela odstranit, ale opakovaným měřením lze velikost náhodných chyb zmenšit. Systematické chyby lze opravit početními korekcemi nebo je eliminovat v případě odhalení důvodu vzniku. [11, 28]

3.4 Normy

V této kapitole jsou popsány normy ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO 4288 A ČSN EN ISO 25178-2.

3.4.1 ČSN EN ISO 4287

Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu

⇨ ***Termíny a definice***

Obecné termíny

Filtr profilu - filtr rozdělující profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky.

λs filtr profilu - filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu.

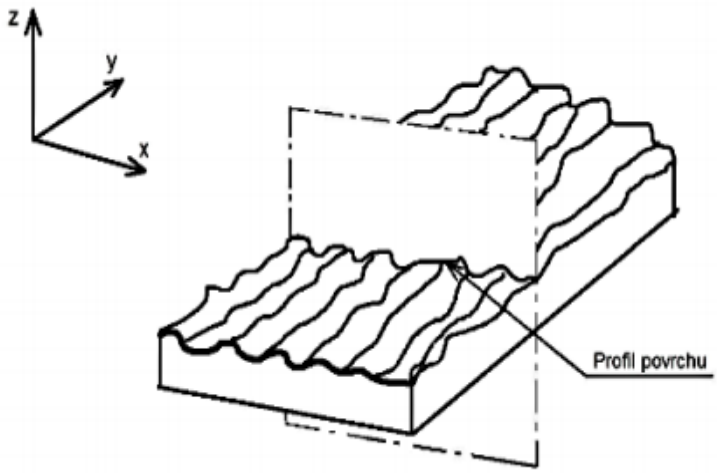
λc filtr profilu - filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti.

λf filtr profilu - filtr definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu.

Souřadnicový systém - souřadnicový systém, ve kterém jsou definovány parametry struktury povrchu.

Skutečný povrch - povrch omezující těleso a oddělující ho od okolního prostředí.

Profil povrchu - profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny (viz obr. 9).



Obr. 9 Profil povrchu [31]

Základní profil - základní profil je základem pro hodnocení parametrů základního profilu.

Profil drsnosti - profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu λc; profil je úmyslně pozměněn.

Profil vlnitosti - profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu λf a filtru profilu λc na základní profil, potlačující dlouhovlnné složky filtrem profilu λf a krátkovlnné složky filtrem profilu λc; profil je záměrně pozměněn.

Názvy geometrických parametrů

P-parametr - parametr vypočítaný ze základního profilu.

R-parametr - parametr vypočítaný z profilu drsnosti.

W-parametr - parametr vypočítaný z profilu vlnitosti.

Výstupek profilu - z povrchu ven směřující (z materiálu do okolního prostředí) část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X.

Prohlubeň profilu - dovnitř směřující (z okolního prostředí do materiálu) část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X.

Omezení výšky a/nebo rozteče - nejmenší výška a nejmenší rozteč výstupků a prohlubní posuzovaného profilu, které mohou být brány v úvahu.

Prvek profilu - výstupek profilu a přilehlá prohlubeň.

Hodnota pořadnice, Z(x) - výška posuzovaného profilu v libovolné poloze x.

Místní sklon dZ/dX - sklon posuzovaného profilu v poloze x_i.

Výška výstupku profilu, Zp - vzdálenost mezi osou X a nejvyšším bodem výstupku profilu.

Hloubka prohlubně profilu, Zv - vzdálenost mezi osou X a nejnižším bodem prohlubně profilu.

Výška prvku profilu, Zt - součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu.

Šířka prvku profilu, Xs - délka úseku osy X protínající prvek profilu.

⇨ ***Definice parametrů profilu povrchu***

Výškové parametry (výstupky a prohlubně)

Největší výška výstupku profilu, Pp, Rp, Wp - výška Zp nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky.

Největší hloubka prohlubně profilu, Pv, Rv, Wv - hloubka Zv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.

Největší výška profilu, Pz, Rz, Wz - součet výšky Zp nejvyššího výstupku profilu a hloubky Zv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [31]

3.4.2 ČSN EN ISO 4288

Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu.

- ⇨ ***Pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi***

Plochy na kontrolovaných prvcích

Struktura povrchu kontrolovaných obrobků se může jevit jako homogenní, nebo může být na jednotlivých plochách zcela rozdílná. To může být zjištěno vizuální zkouškou povrchu. V případech, kdy se struktura povrchu jeví homogenní, hodnoty parametrů určené z celého povrchu budou použity pro porovnání s požadavky uvedenými na výkresu, nebo ve výrobní dokumentaci.

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

Pro požadavky specifikované horní mezí parametru budou použity ty jednotlivé plochy na povrchu, u nichž je zřejmé, že mají největší hodnoty parametru.

Pravidlo 16%

Pro požadavky specifikované horní mezí parametru jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže ne více než 16% všech naměřených hodnot vybraných parametrů zjišťovaných na vyhodnocované délce přesahuje hodnotu uvedenou na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci.

Pro požadavky specifikované dolní mezí parametru, jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže ne více než 16% všech naměřených hodnot vybraných parametrů, zjišťovaných na vyhodnocované délce, je menších než hodnota uvedená na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci.

Při stanovení horní a dolní meze parametru bude použita značka parametru bez indexu "max".

Pravidlo maxima

Při požadavcích specifikovaných největší hodnotou parametr), nesmí v průběhu kontroly žádná z měřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu přestoupit hodnotu uvedenou na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci.

Při stanovení největší dovolené hodnoty parametru je značka parametru doplněná indexem "max." (např. $Rz^{1max.}$).

Nejistota měření

Pro dokázání shody nebo neshody se specifikací musí být měřené hodnoty parametrů porovnány se specifikovanými mezními hodnotami s uvážením nejistot měření podle pravidel daných v ISO 14253-1. V případě porovnání výsledků měření s horními a dolními mezemi jsou nejistoty měření odhadovány bez uvážení nehomogenit povrchu, které už jsou započítávány přídavkem 16%. [32]

3.4.3 ČSN EN ISO 25178-2

Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu.

- ⇨ ***Termíny a definice***

Obecné termíny:

Primární povrch - část povrchu získaný, za předpokladu, že část povrchu je reprezentována specifikovaným primárním matematickým modelem se specifikovaným indexem vnoření.

Filtr povrchu - filtrační operátor aplikovaný na povrch.

S-filtr - filtr povrchu, který odstraní malou laterální stupnici z povrchu, což je předpoklad pro dosažení primárního povrchu.

L-filtr - filtr povrchu, který odstraní velkou laterální stupnici z primárního povrchu nebo S-F povrchu.

F-operace - operace, která vyloučí vliv tvaru z primárního povrchu.

S-F povrch - povrch odvozený z primárního povrchu pomocí vyloučení vlivu tvaru použitím F-operace.

S-L povrch - povrch odvozený od S-F povrchu vyloučením vlivu velké stupnice při použití L-filtru.

Omezení stupnice povrchu - S-F povrch nebo S-L povrch.

Referenční povrch - povrch vztažený k omezené stupnici povrchu podle příslušného kritéria.

Hodnocená plocha - omezení části stupnice povrchu pro specifikování plochy s ohledem na její hodnocení.

Stanovená plocha - část plochy hodnocení pro stanovení parametrů charakterizujících omezení stupnice povrchu.

Termíny geometrického prvku:

Pik - bod na povrchu, který je vyšší než všechny ostatní body v jeho okolí.

⇨ ***Definice parametru pole***

Výškové parametry:

$$S_q = \left[\frac{1}{A}\iint_A z^2(x,y)dxdy\right] \quad (1)$$

Základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu (Sq; S_q) - vymezení průměrné hodnoty čtverce hodnot koordinace uvnitř plochy definice (A).

$$S_{sk} = \frac{1}{S_q{}^3}\left[\frac{1}{A}\iint_A z^3(x,y)dxdy\right] \quad (2)$$

Šikmost omezené stupnice povrchu (Ssk; S_{sk}) - kvocient průměrné hodnoty koordinační krychle a hodnot a krychle Sq uvnitř určené plochy (A).

$$S_{ku} = \frac{1}{S_q{}^4}\left[\frac{1}{A}\iint_A z^4(x,y)dxdy\right] \quad (3)$$

Špičatost omezené stupnice povrchu (Sku; S_{ku}) - kvocient průměrné čtvrté mocny hodnoty koordinace a hodnoty čtvrté mocniny Sq uvnitř určené plochy (A).

Maximální výška omezené stupnice povrchu (Sz; S_z) - součet maximální hodnoty výšky piku a maximální hodnoty hloubky prohlubně uvnitř určené plochy.

$$S_a = \frac{1}{A}\iint_A |z(x,y)|dxdy \quad (4)$$

Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu (Sa; S_a) - aritmetický průměr absolutních hodnot koordinace uvnitř určené plochy (A). [33]

4 MATERIÁLY

Oceli jsou slitiny železa s uhlíkem popřípadě dalších legujících prvků, kdy je ale uhlík obsažen ve slitině pouze do 2,1%. Dle chemického složení lze oceli rozdělit na legované a nelegované (uhlíkové). Nelegované oceli obsahují další prvky pouze v míře, která nepřekračuje stanovené mezní hodnoty. Oceli, které překračují stanovené mezní hodnoty, se nazývají legované. Legování u ocelí zlepšuje jejich korozní odolnosti a mechanické, fyzikální, technologické vlastnosti. Třídění ocelí může probíhat i podle její oblasti využití a zpracování nebo podle její důležité vlastnosti. Například mohou být oceli pro svařované konstrukce, pro kolejnice, k cementaci, k nitridaci, korozivzdorné, s vysokou pevností nebo nástrojové. [12]

4.1 1.0570

Konstrukční nelegovaná ocel 1.0570 (dle ČSN 11 523) je jemnozrnná s vysokou vrubovou houževnatostí a je vhodná ke svařování. Využívá se u svařovaných konstrukcí, ohýbaných konstrukcí, pro výrobu strojních součástí, základových desek lisovacích nástrojů a méně namáhaných okrajových desek vstřikovacích forem. [13, 14]

4.2 1.2312

Nástrojová legovaná ocel 1.2379 (dle ČSN 19 520) se vyznačuje výbornou obrobitelností, dobrou leštitelností a vhodností pro nitridování a cementační kalení. Využití nachází v hydroforming tažení, ve výrobě velkých a středních forem na plasty, rámů pro tlakové lití kovů a strojních součástí, které mají vysokou pevnost a dostatečnou houževnatost. [15, 16]

4.3 1.2379

Nástrojová ledeburitická chromová ocel1.2379 (dle ČSN 19 573) se vyznačuje vysokou odolností proti oděru, dobrou prokalitelností, houževnatostí, rozměrovou stálostí a vyšší korozní odolností. Materiál 1.2379 je vhodný pro použití v oblasti střižných (matrice, razníky) a lisovacích nástrojů. Dále se využívá při výrobě průmyslových nožů na zpracování dřeva, měřidel a menších vstřikovacích forem na plasty. [17, 16]

4.4 TOOLOX 44

Nástrojové oceli TOOLOX pochází od Švédské společnosti SSAB Oxelösund AB a nachází široké spektrum uplatnění. Materiál TOOLOX je dodáván tepelně zpracovaný a může být v

modifikacích TOOLOX 33, TOOLOX 40 nebo TOOLOOX 44. Při teplotě +20 °C materiál TOOLOX 33 dosahuje hodnot pevnosti v tahu 980 MPa, u TOOLOX 40 to je 1260MPa a u TOOLOX 44 je hodnota pevnosti v tahu 1450 MPa. Materiály TOOLOX dosahují dvou až třínásobně větší houževnatosti než běžně používané materiály o stejné tvrdosti, dále se vyznačují nízkým zbytkovým pnutím, rozměrovou stálostí a odolností proti únavě materiálu. Materiál je dobře obrobitelný, leštitelný a v porovnání s běžnými nástrojovými oceli je lépe svařitelný. Materiál TOOLOX se využívá oblastech tváření za tepla, lisování, výroby vstřikovacích forem na plasty, aplikacích vyžadujících vyšší teploty strojírenských součástí. [18, 19, 20]

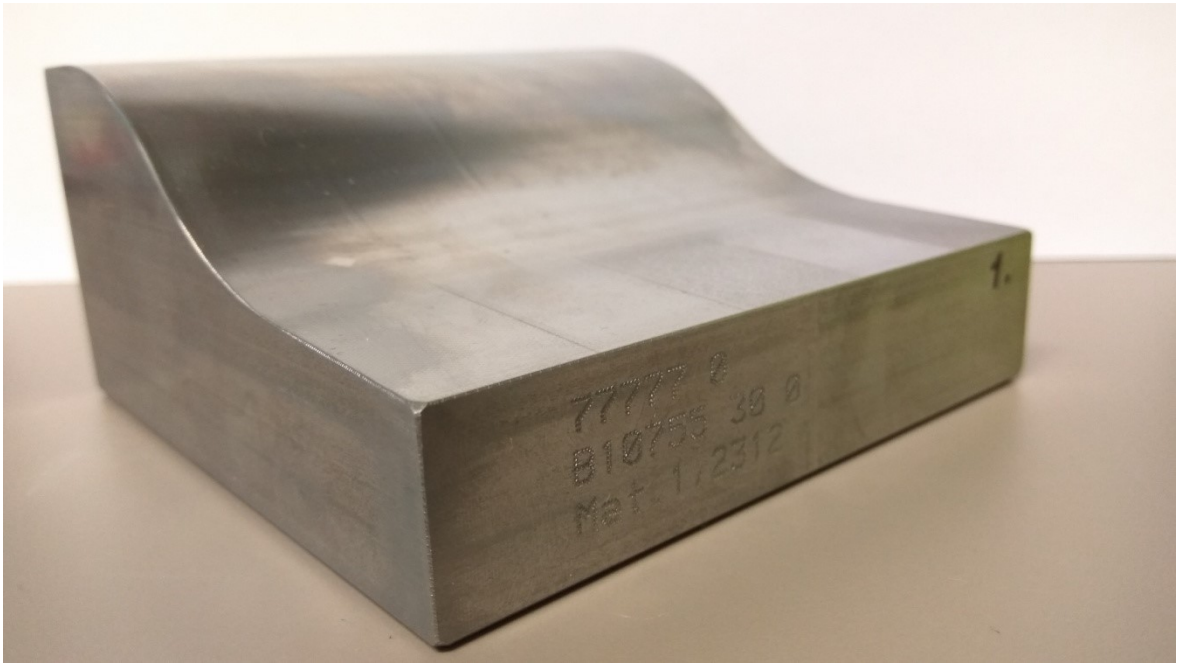
5 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je porovnání materiálů heterogenních povrchů, které jsou tvořeny rovinností, konvexností, konkávností a šikmostí. Pro měření povrchu byly použity obrobky z materiálů 1.0570, 1.2312, 1.2379 a Toolox 44, které byly vyrobeny vysokorychlostním obráběním. Obrobky obsahují oblasti odlišných řezných podmínek.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

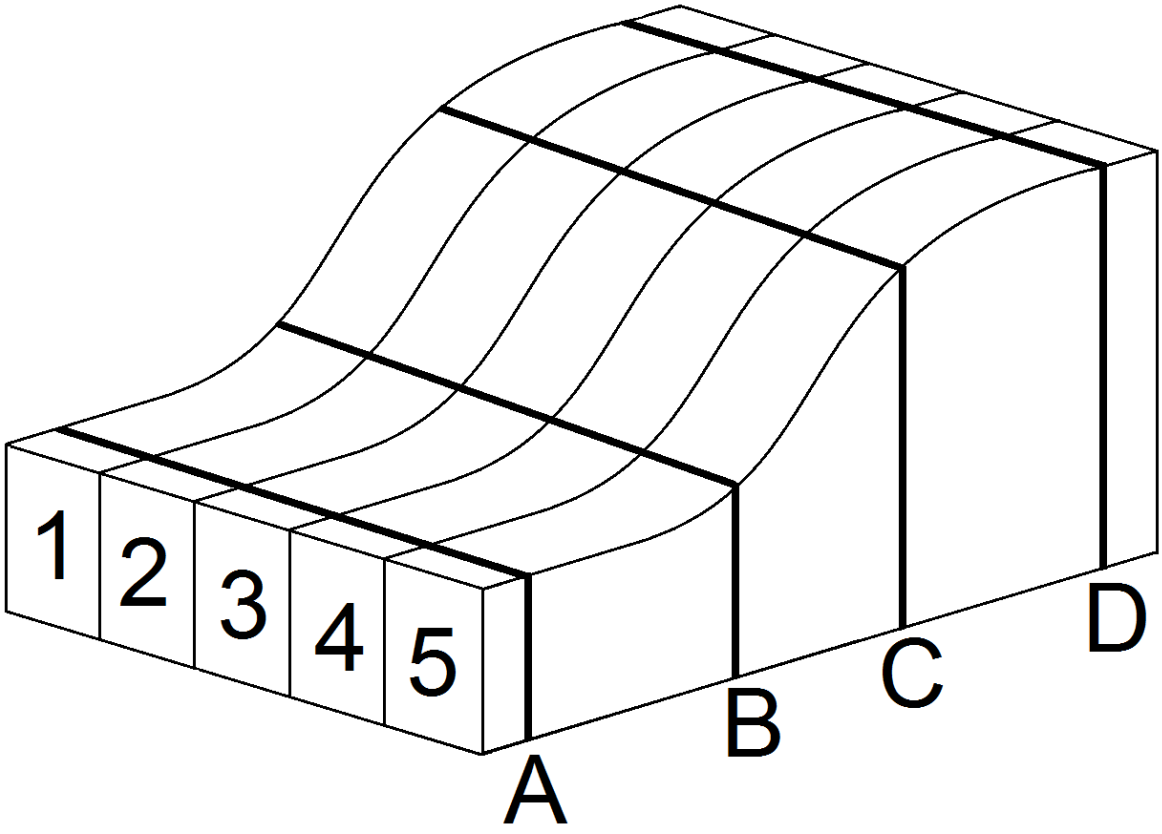
6 OBROBKY

Pro praktickou část byly použity 4 obrobky z odlišných materiálů. Jedná se o materiály 1.0570; 1.2312; 1.2379 a TOOLOX 44. Obrobky byly získány vysokorychlostním obráběním kulovou frézou o průměru 12 mm.

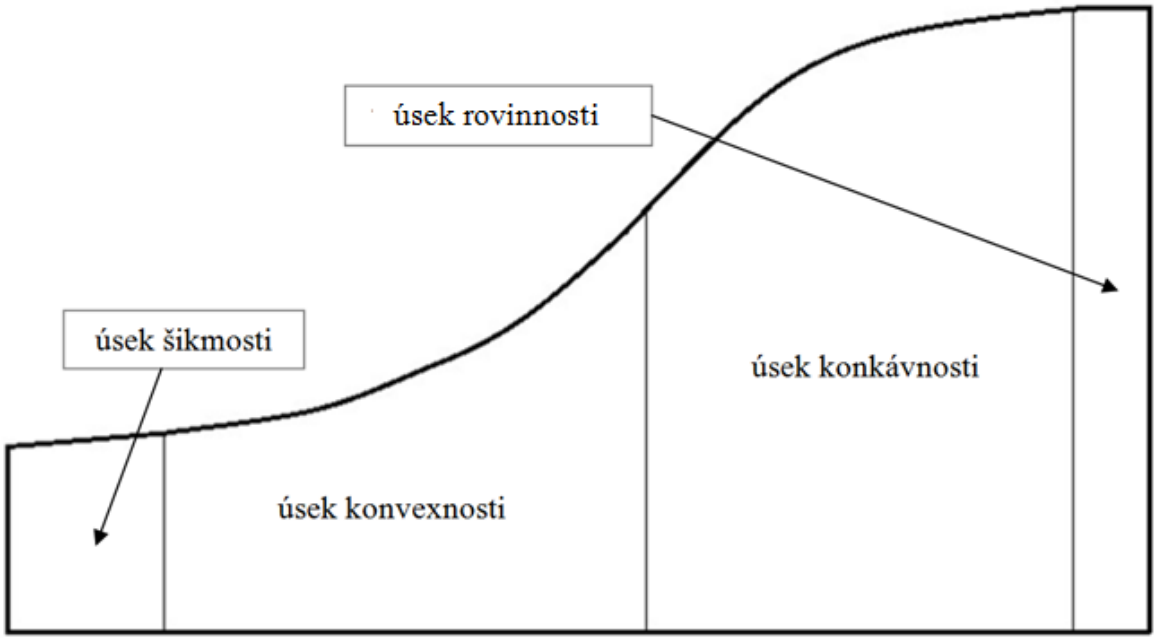


Obr. 10 Obrobek z materiálu 1.2312

Každý obrobek obsahuje oblasti 1 - 5, přičemž nastavení řezných podmínek nebylo v každé oblasti totožné. Všechny oblasti u každého obrobku mají úsek rovinnosti (A), konvexnosti (B), konkávnosti (C) a patnáctiprocentní šikmosti (D). Tyto oblasti a úseky jsou znázorněny na obr. 11.



Obr. 11 Obrobky



Obr. 12 Bokorys obrobku

6.1 Řezné podmínky

V oblastech 1 a 2 byla oproti ostatním oblastem nastavena odlišná rychlost otáček (viz tab. 1).

Tab. 1 Řezné podmínky

Oblast	Rychlost řezných otáček
1	70 %
2	130 %
3	100 %
4	100 %
5	100 %

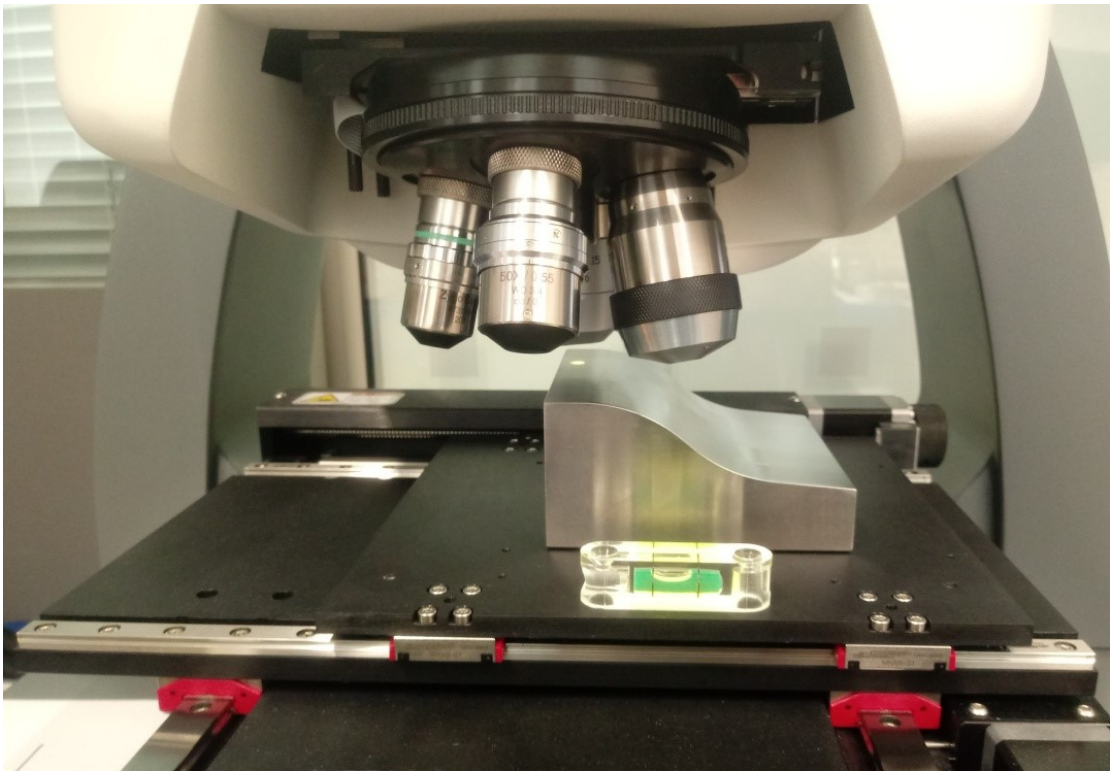
7 MĚŘENÍ POVRCHU

Pro snímání povrchu obrobku byl použit 3D optický bezkontaktní profilometr od společnosti Zygo.

Profilometry od společnosti Zygo nacházejí uplatnění například v automobilovém průmyslu, přesném obrábění, optice, fotonice, mikro-výrobě, nanotechnologiích a spotřební elektronice. 3D optické profilometry Zygo umožňují bezkontaktní povrchové měření na vysoké úrovni a dokáží zachytit až 2 miliony datových bodů. [30]

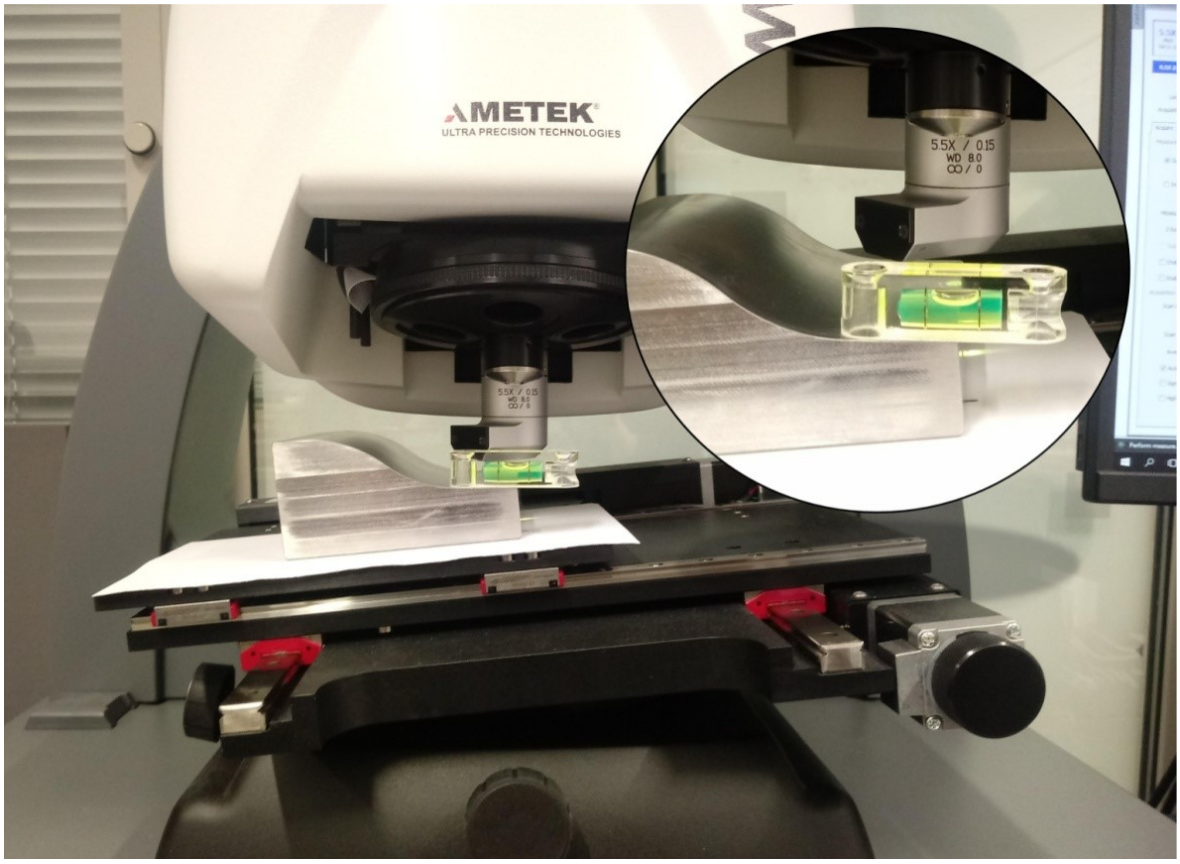
Společnost Zygo nabízí své profilometry v několika provedeních, námi použitý profilometr byl Zygo NewView.

Obr. 13 Zygo Ametek NewView

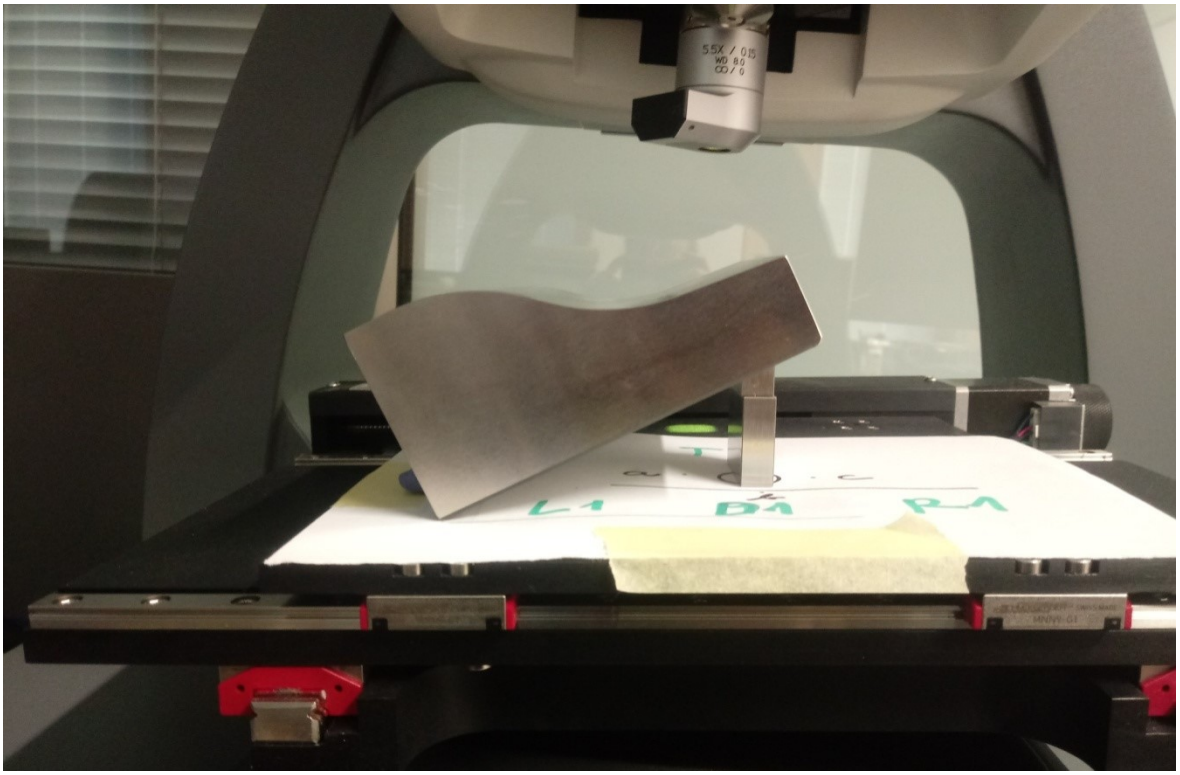


Obr. 14 Detail profilometru, obrobku, vodováhy

Měření povrchu probíhalo 5 krát na ploše 10 mm^2 v 5 oblastech na úsecích rovinnosti, konvexnosti, konkávnosti a šikmosti (viz obr. 11). Před měřením byl obrobek ve snímaném místě vyvážen podle vodováhy.

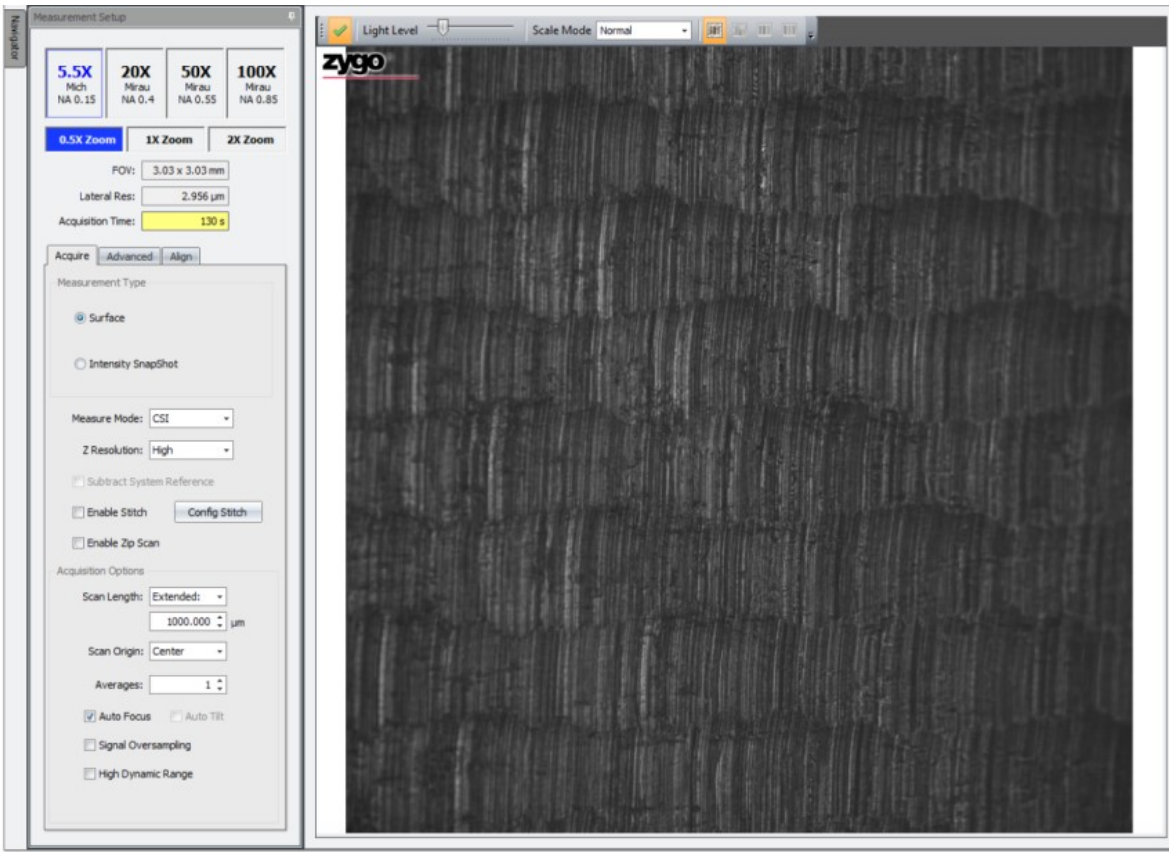


Obr. 15 Zajištění roviny měření



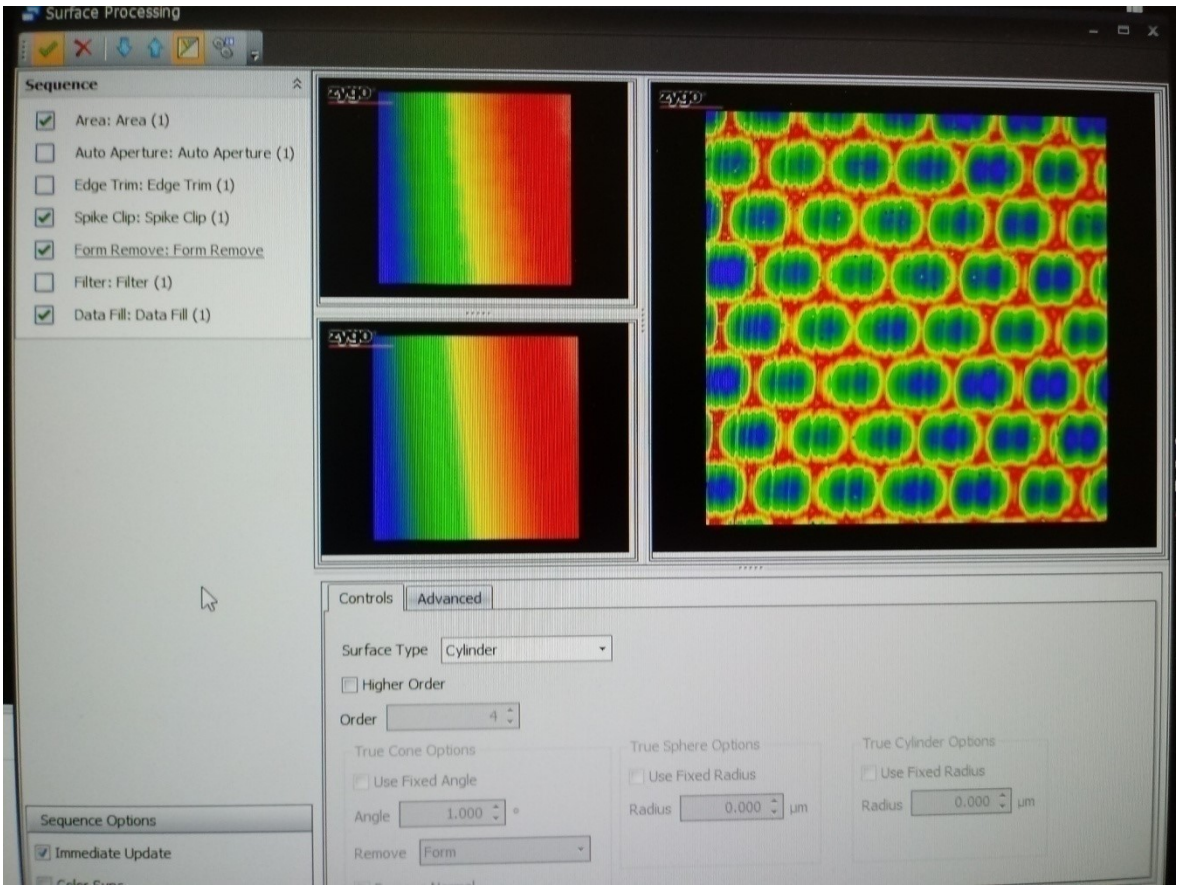
Obr. 16 Snímání povrchu

Pro měření povrchu byl použit objektiv 5.5X.

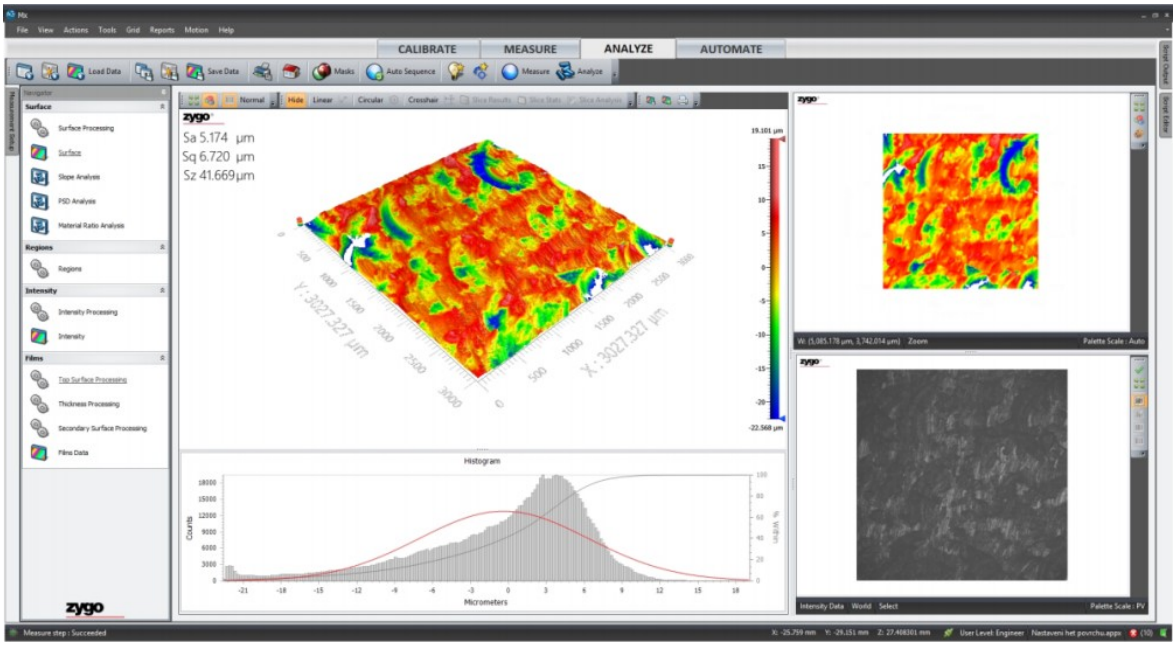


Obr. 17 Nastavení softwaru

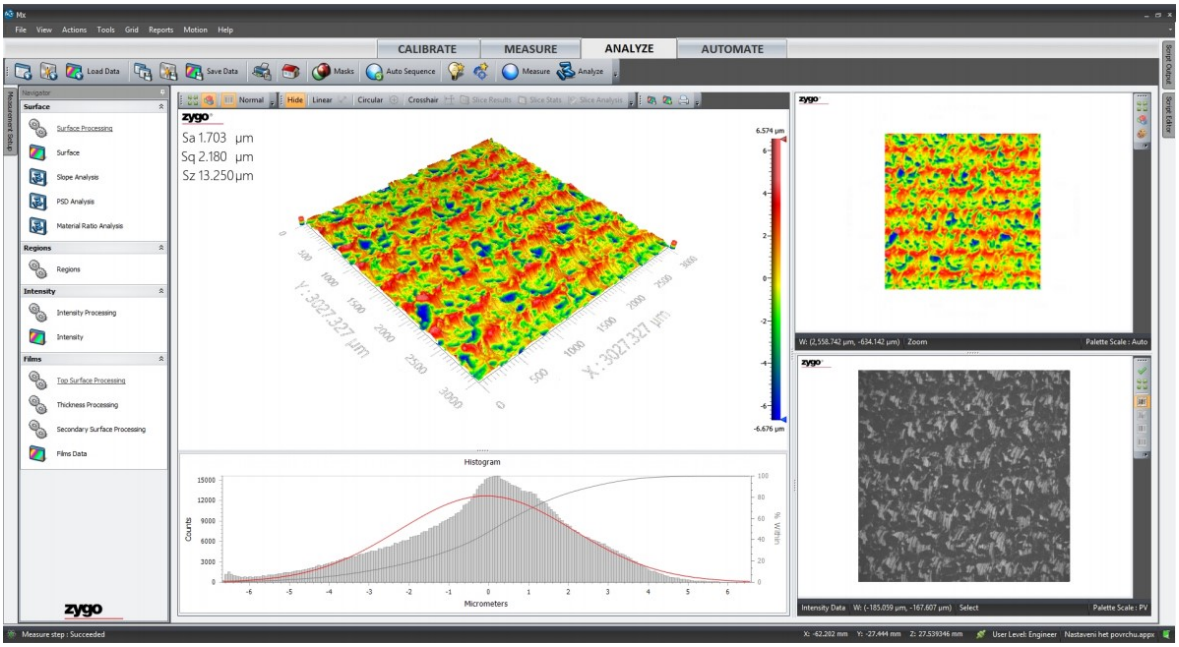
V úsecích konvexnosti a konkávnosti bylo v softwaru provedeno odstranění cylindrického tvaru.



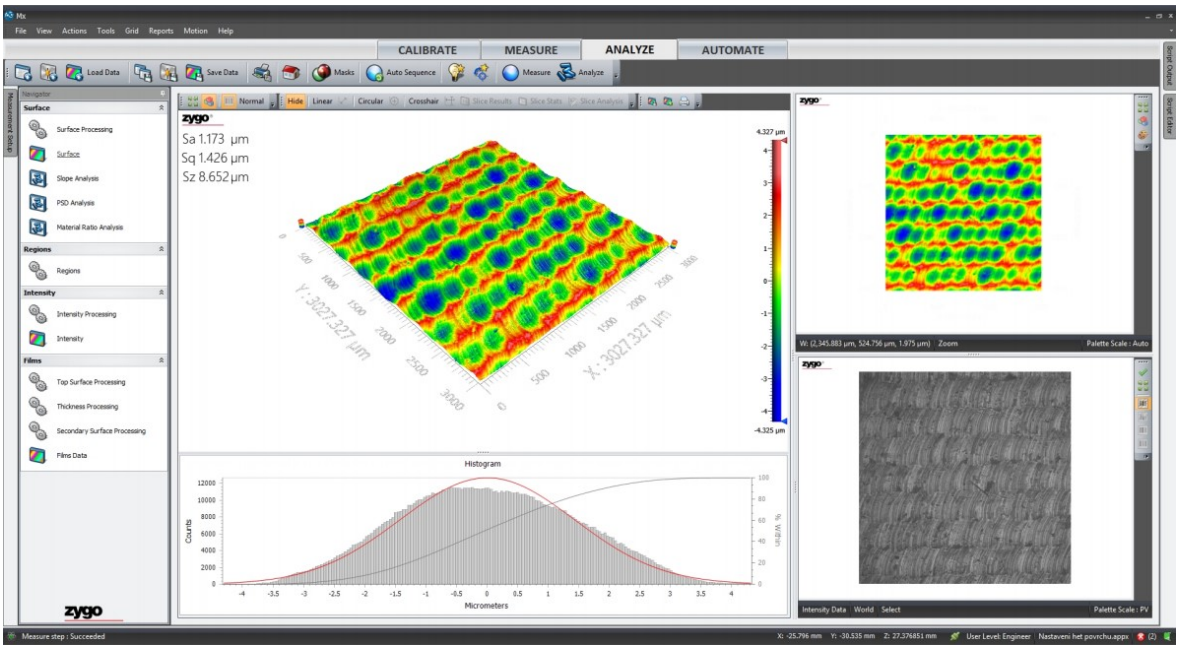
Obr. 18 Způsob odstranění tvaru zkoumaného povrchu



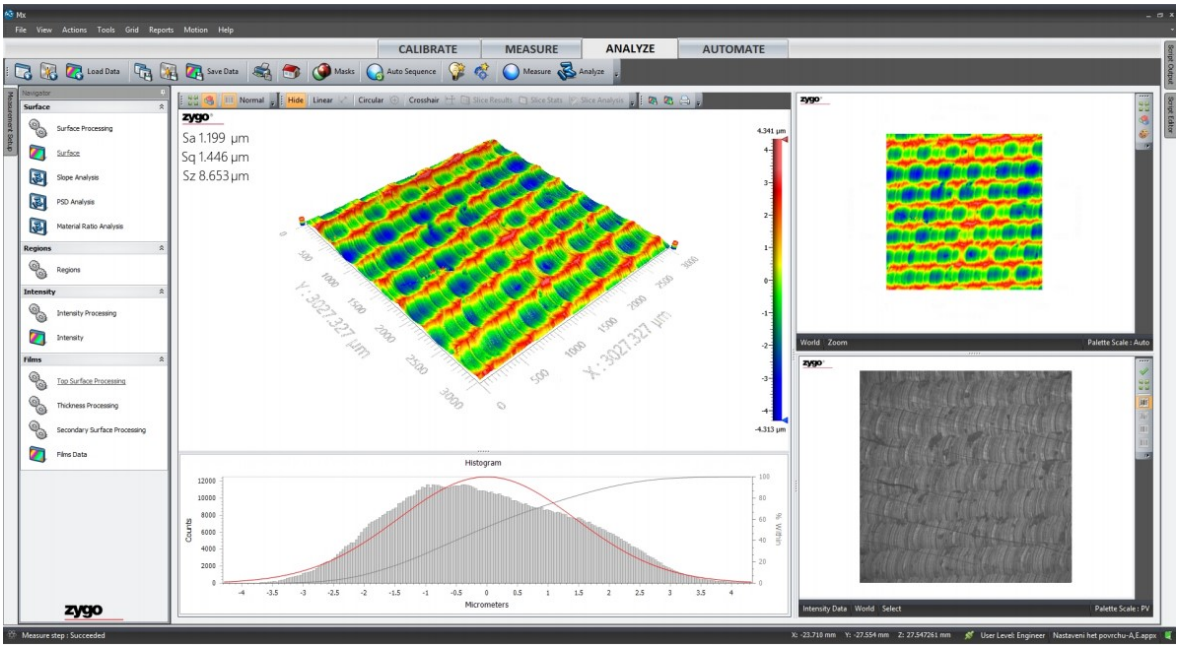
Obr. 19 Obrobek z materiálu 1.0570, naměřená oblast: 1A



Obr. 20 Obrobek z materiálu 1.2312, naměřená oblast: 1A



Obr. 21 Obrobek z materiálu 1.2379, naměřená oblast: 1A



Obr. 22 Obrobek z materiálu Toolox 44, naměřená oblast: 1A

8 VYHODNOCENÍ

Měřením povrchu byly získány hodnoty Sa - aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu, Sq - základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrhu a Sz - maximální výška omezené stupnice povrchu. Hodnoty Sa a Sz byly dále použity v metodě EDA (Explorary data analysis) - exploračí analýza dat. K vyhodnocení metody byl použit statistický program Minitab.

8.1 Metoda EDA

V tab. 2 jsou vypočítány hodnoty průměru, směrodatné odchylky, minima, prvního kvartilu, mediánu, třetího kvartilu a maxima pro naměřené hodnoty kritéria Sa. Tytéž hodnoty byly spočítány pro kritérium Sz v tab. 3.

Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=!}^{n} x_i}{n} \tag{5}$$

Výběrová směrodatná odchylka:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{6}$$

Tab. 2 Statistické vyhodnocení pro hodnoty Sa

Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	První kvartil [µm]	Medián [µm]	Třetí kvartil [µm]	Maximum [µm]
1A	1.0570	5,247	0,405	4,792	4,892	5,174	5,638	5,827
	1.2312	1,752	0,053	1,699	1,701	1,745	1,807	1,815
	1.2379	1,149	0,022	1,117	1,128	1,155	1,169	1,173
	Toolox 44	1,147	0,031	1,116	1,126	1,141	1,172	1,199
1B	1.0570	2,007	0,029	1,980	1,981	2,002	2,036	2,048
	1.2312	1,255	0,043	1,216	1,223	1,242	1,295	1,327

Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	První kvartil [µm]	Medián [µm]	Třetí kvartil [µm]	Maximum [µm]
	1.2379	1,289	0,033	1,265	1,267	1,280	1,315	1,346
	Toolox 44	1,263	0,022	1,247	1,249	1,256	1,280	1,302
1C	1.0570	1,732	0,014	1,716	1,718	1,739	1,744	1,747
	1.2312	1,167	0,048	1,116	1,121	1,158	1,217	1,220
	1.2379	1,663	0,015	1,642	1,649	1,666	1,676	1,679
	Toolox 44	1,129	0,038	1,096	1,097	1,118	1,168	1,183
1D	1.0570	3,928	0,244	3,557	3,728	3,904	4,140	4,205
	1.2312	3,397	0,033	3,344	3,369	3,404	3,423	3,430
	1.2379	1,346	0,009	1,333	1,339	1,346	1,355	1,356
	Toolox 44	2,905	0,049	2,846	2,855	2,914	2,951	2,958
2A	1.0570	2,368	0,136	2,138	2,242	2,445	2,455	2,458
	1.2312	1,185	0,025	1,149	1,166	1,183	1,205	1,218
	1.2379	1,369	0,193	1,214	1,231	1,323	1,531	1,697
	Toolox 44	1,047	0,054	1,009	1,014	1,020	1,095	1,141
2B	1.0570	1,886	0,023	1,857	1,863	1,888	1,909	1,911
	1.2312	1,243	0,009	1,233	1,235	1,240	1,252	1,254
	1.2379	1,526	0,012	1,509	1,515	1,525	1,538	1,539
	Toolox 44	1,320	0,006	1,313	1,315	1,321	1,325	1,328
2C	1.0570	1,622	0,019	1,606	1,609	1,616	1,638	1,655
	1.2312	1,205	0,047	1,122	1,170	1,222	1,233	1,234
	1.2379	1,439	0,122	1,268	1,335	1,453	1,538	1,607

Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	První kvartil [µm]	Medián [µm]	Třetí kvartil [µm]	Maximum [µm]
	Toolox 44	1,204	0,013	1,191	1,194	1,201	1,216	1,224
2D	1.0570	3,649	0,024	3,615	3,629	3,646	3,671	3,675
	1.2312	3,501	0,100	3,380	3,414	3,471	3,604	3,625
	1.2379	1,266	0,032	1,239	1,244	1,260	1,292	1,320
	Toolox 44	3,288	0,059	3,213	3,241	3,273	3,343	3,373
3A	1.0570	3,176	0,216	2,946	2,977	3,199	3,365	3,495
	1.2312	1,129	0,033	1,102	1,109	1,121	1,154	1,186
	1.2379	1,136	0,017	1,110	1,119	1,139	1,151	1,151
	Toolox 44	1,050	0,012	1,036	1,040	1,046	1,062	1,064
3B	1.0570	2,256	0,014	2,238	2,241	2,258	2,269	2,271
	1.2312	1,295	0,014	1,271	1,282	1,302	1,305	1,306
	1.2379	1,557	0,010	1,548	1,551	1,554	1,565	1,575
	Toolox 44	1,526	0,013	1,513	1,516	1,524	1,536	1,547
3C	1.0570	1,862	0,017	1,842	1,845	1,873	1,875	1,877
	1.2312	1,170	0,034	1,144	1,151	1,158	1,197	1,229
	1.2379	1,615	0,019	1,583	1,599	1,620	1,629	1,629
	Toolox 44	1,337	0,015	1,314	1,323	1,343	1,348	1,351
3D	1.0570	3,692	0,256	3,505	3,532	3,565	3,915	4,132
	1.2312	3,312	0,051	3,251	3,268	3,297	3,363	3,380
	1.2379	1,191	0,023	1,168	1,173	1,179	1,215	1,222
	Toolox 44	2,905	0,045	2,851	2,867	2,889	2,952	2,958

Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	První kvartil [µm]	Medián [µm]	Třetí kvartil [µm]	Maximum [µm]
4A	1.0570	2,234	0,091	2,077	2,161	2,253	2,297	2,306
	1.2312	1,012	0,014	0,995	1,001	1,009	1,024	1,032
	1.2379	1,895	0,014	1,874	1,882	1,901	1,907	1,908
	Toolox 44	1,018	0,005	1,012	1,013	1,019	1,022	1,023
4B	1.0570	2,361	0,018	2,341	2,343	2,369	2,376	2,382
	1.2312	1,252	0,029	1,216	1,228	1,243	1,281	1,287
	1.2379	1,307	0,022	1,288	1,291	1,296	1,329	1,341
	Toolox 44	1,214	0,115	1,145	1,149	1,171	1,301	1,417
4C	1.0570	1,813	0,008	1,801	1,807	1,812	1,820	1,823
	1.2312	1,204	0,008	1,192	1,196	1,205	1,211	1,214
	1.2379	1,303	0,012	1,286	1,293	1,302	1,313	1,317
	Toolox 44	1,188	0,031	1,151	1,163	1,178	1,218	1,230
4D	1.0570	3,606	0,085	3,475	3,534	3,603	3,679	3,700
	1.2312	3,375	0,068	3,307	3,307	3,381	3,439	3,463
	1.2379	1,376	0,042	1,304	1,343	1,385	1,405	1,411
	Toolox 44	2,912	0,025	2,882	2,888	2,912	2,937	2,938
5A	1.0570	2,258	0,148	2,005	2,139	2,281	2,366	2,368
	1.2312	1,082	0,046	1,006	1,045	1,091	1,115	1,126
	1.2379	2,197	0,042	2,152	2,165	2,191	2,233	2,265
	Toolox 44	1,203	0,036	1,168	1,177	1,190	1,237	1,262
5B	1.0570	2,112	0,059	2,028	2,060	2,110	2,165	2,182

Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	První kvartil [µm]	Medián [µm]	Třetí kvartil [µm]	Maximum [µm]
	1.2312	1,163	0,003	1,159	1,160	1,163	1,167	1,167
	1.2379	1,368	0,031	1,331	1,340	1,375	1,393	1,411
	Toolox 44	1,141	0,215	1,040	1,042	1,044	1,290	1,526
5C	1.0570	2,275	0,061	2,220	2,225	2,258	2,335	2,368
	1.2312	1,270	0,230	1,133	1,138	1,142	1,467	1,669
	1.2379	1,297	0,027	1,265	1,279	1,293	1,317	1,339
	Toolox 44	1,095	0,084	1,049	1,051	1,059	1,157	1,244
5D	1.0570	3,713	0,034	3,673	3,681	3,718	3,742	3,761
	1.2312	3,656	0,091	3,534	3,576	3,670	3,730	3,783
	1.2379	1,546	0,308	1,380	1,386	1,430	1,763	2,095
	Toolox 44	2,947	0,043	2,879	2,911	2,958	2,979	2,996

Tab. 3 Statistické vyhodnocení pro hodnoty Sz

Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	První kvartil [µm]	Medián [µm]	Třetí kvartil [µm]	Maximum [µm]
1A	1.0570	42,170	3,910	37,620	38,440	41,670	46,150	46,370
	1.2312	13,592	0,505	13,067	13,159	13,407	14,119	14,255
	1.2379	8,441	0,188	8,158	8,266	8,471	8,601	8,652
	Toolox 44	8,233	0,257	7,998	8,027	8,213	8,450	8,653
1B	1.0570	17,933	2,217	15,248	15,577	18,711	19,900	19,951

Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	První kvartil [µm]	Medián [µm]	Třetí kvartil [µm]	Maximum [µm]
	1.2312	18,120	4,660	13,900	14,040	17,720	22,400	25,310
	1.2379	22,480	5,450	17,900	18,150	19,590	28,260	30,000
	Toolox 44	19,470	4,250	14,360	15,740	19,580	23,150	25,740
1C	1.0570	14,304	1,184	13,561	13,576	13,878	15,245	16,385
	1.2312	15,140	2,560	12,350	13,210	14,090	17,580	19,060
	1.2379	15,794	1,666	13,856	14,473	15,416	17,304	18,340
	Toolox 44	11,860	0,655	11,288	11,340	11,478	12,572	12,653
1D	1.0570	44,920	3,800	40,750	41,010	46,060	48,270	49,570
	1.2312	25,540	1,191	24,060	24,297	25,880	26,613	26,777
	1.2379	10,733	0,140	10,550	10,611	10,706	10,868	10,916
	Toolox 44	20,484	0,963	19,410	19,761	20,121	21,388	21,960
2A	1.0570	20,070	1,795	17,652	18,259	20,386	21,724	21,823
	1.2312	8,630	0,196	8,366	8,473	8,640	8,783	8,915
	1.2379	9,941	1,430	8,778	9,001	9,460	11,121	12,404
	Toolox 44	7,275	0,560	6,847	6,933	7,031	7,740	8,247
2B	1.0570	21,400	5,390	15,250	16,500	20,990	26,500	29,060
	1.2312	17,210	3,800	14,320	14,430	15,050	21,070	23,060
	1.2379	20,090	3,680	16,230	16,710	19,520	23,760	25,080
	Toolox 44	20,510	4,620	12,890	16,650	21,810	23,730	25,290
2C	1.0570	18,870	5,550	11,830	14,170	16,960	24,530	24,830
	1.2312	13,910	3,180	10,620	11,730	13,040	16,540	19,180

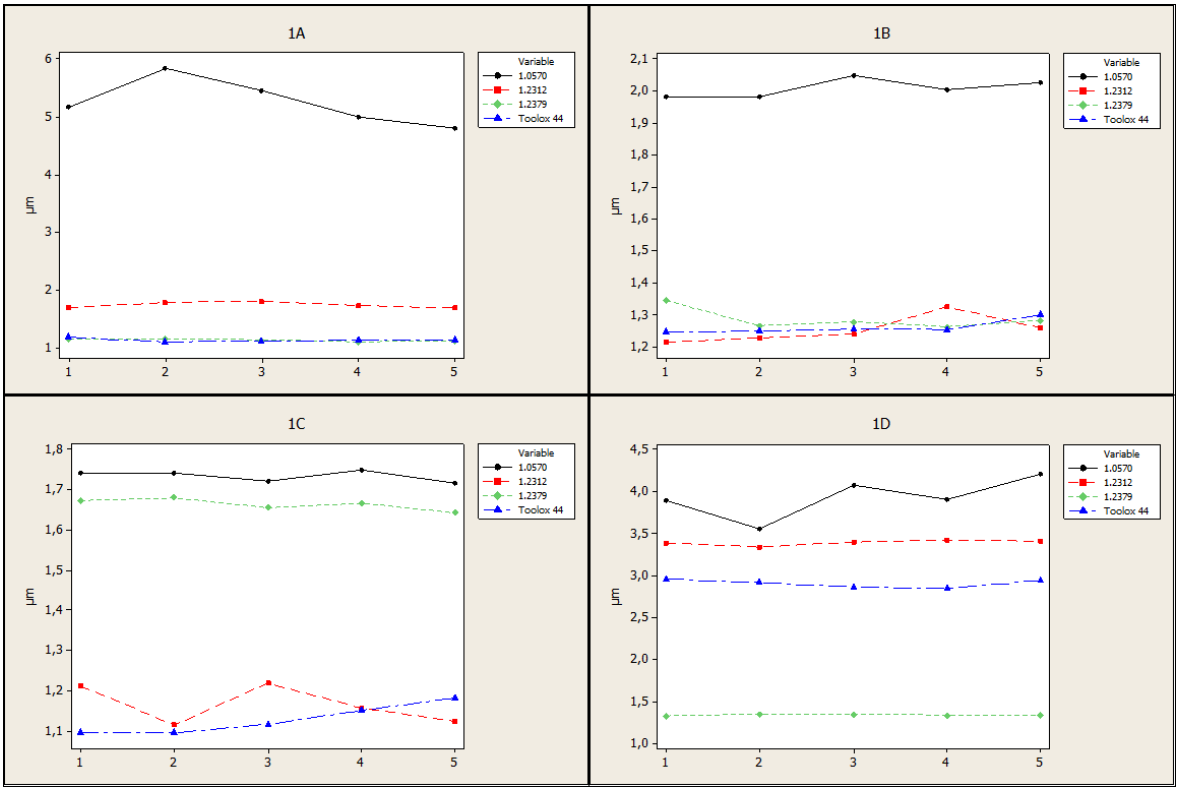
Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	První kvartil [µm]	Medián [µm]	Třetí kvartil [µm]	Maximum [µm]
	1.2379	16,250	2,840	11,990	13,720	16,690	18,560	19,710
	Toolox 44	13,090	3,730	9,390	10,210	11,430	16,800	18,720
2D	1.0570	35,400	2,560	32,490	32,820	35,540	37,910	37,950
	1.2312	25,870	3,580	22,660	22,950	25,630	28,900	31,700
	1.2379	9,810	0,241	9,631	9,644	9,761	10,002	10,226
	Toolox 44	22,917	1,649	20,969	21,226	23,160	24,487	24,610
3A	1.0570	25,673	1,411	24,157	24,286	25,958	26,919	27,588
	1.2312	8,673	0,262	8,414	8,460	8,535	8,954	8,987
	1.2379	8,316	0,078	8,199	8,247	8,317	8,386	8,402
	Toolox 44	7,465	0,251	7,017	7,290	7,566	7,591	7,604
3B	1.0570	18,790	7,270	14,540	14,940	15,790	24,140	31,730
	1.2312	21,680	5,950	12,920	16,520	21,160	27,100	28,360
	1.2379	24,920	3,660	20,960	20,980	26,760	27,940	28,590
	Toolox 44	15,552	1,308	13,498	14,328	15,854	16,626	16,809
3C	1.0570	16,560	4,080	12,840	12,990	16,040	20,380	22,770
	1.2312	11,392	1,433	9,252	9,907	12,345	12,401	12,406
	1.2379	25,740	7,760	15,280	19,340	24,290	32,860	36,210
	Toolox 44	14,430	4,700	11,060	11,380	13,340	18,030	22,640
3D	1.0570	37,510	3,520	32,280	34,430	37,190	40,740	41,200
	1.2312	22,058	0,756	20,958	21,314	22,206	22,727	22,798
	1.2379	9,400	0,182	9,120	9,244	9,389	9,562	9,580

Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	První kvartil [µm]	Medián [µm]	Třetí kvartil [µm]	Maximum [µm]
	Toolox 44	21,046	0,807	20,075	20,432	20,938	21,712	22,303
4A	1.0570	18,735	1,214	16,735	17,713	18,957	19,646	19,953
	1.2312	7,327	0,310	6,797	7,082	7,408	7,531	7,606
	1.2379	12,520	0,950	10,971	11,647	12,820	13,244	13,379
	Toolox 44	6,588	0,512	6,095	6,235	6,448	7,010	7,449
4B	1.0570	22,140	4,790	15,100	17,780	22,600	26,270	27,880
	1.2312	16,870	5,060	12,240	13,280	15,360	21,220	25,370
	1.2379	24,390	3,920	19,630	20,660	24,270	28,180	29,350
	Toolox 44	26,900	9,570	12,830	19,410	26,070	34,800	39,400
4C	1.0570	15,795	1,254	13,598	14,840	16,125	16,584	16,704
	1.2312	13,646	1,553	12,105	12,188	13,328	15,264	15,415
	1.2379	16,830	2,520	14,410	14,690	15,790	19,490	20,190
	Toolox 44	17,040	5,250	11,520	12,530	16,550	21,790	25,110
4D	1.0570	26,245	1,955	23,900	24,270	26,816	27,935	28,700
	1.2312	21,141	0,977	20,442	20,475	20,597	22,080	22,739
	1.2379	11,068	0,380	10,396	10,769	11,231	11,286	11,287
	Toolox 44	20,111	1,106	19,214	19,390	19,867	20,953	22,029
5A	1.0570	18,220	1,470	15,978	16,732	18,931	19,353	19,413
	1.2312	7,598	0,554	6,625	7,171	7,768	7,940	7,984
	1.2379	12,786	0,236	12,481	12,550	12,821	13,004	13,057
	Toolox 44	7,454	0,364	7,196	7,204	7,246	7,808	8,043

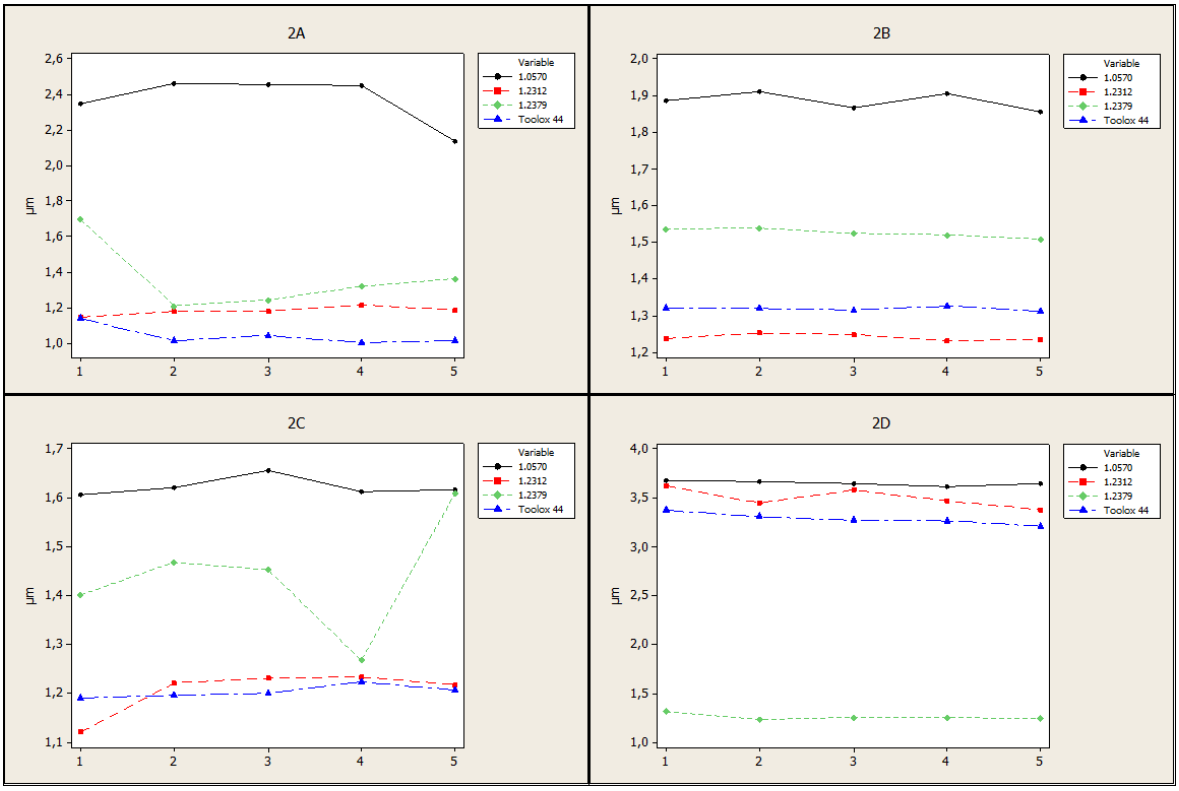
Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	První kvartil [µm]	Medián [µm]	Třetí kvartil [µm]	Maximum [µm]
5B	1.0570	20,300	5,780	15,660	16,490	17,560	25,470	30,080
	1.2312	18,060	6,730	12,530	13,270	15,700	24,020	29,390
	1.2379	25,910	3,080	21,310	23,090	26,050	28,660	29,220
	Toolox 44	20,825	1,094	19,419	19,910	20,531	21,888	22,265
5C	1.0570	21,581	1,408	19,811	20,543	21,471	22,674	23,747
	1.2312	15,170	2,860	12,080	12,530	14,520	18,140	18,510
	1.2379	26,510	8,710	17,770	18,470	24,240	35,680	35,750
	Toolox 44	16,920	5,480	11,090	11,870	17,790	21,550	25,020
5D	1.0570	24,499	2,221	21,864	22,247	24,785	26,608	27,003
	1.2312	23,985	1,649	22,806	22,836	23,624	25,316	26,825
	1.2379	12,238	1,803	11,222	11,276	11,475	13,583	15,446
	Toolox 44	21,449	0,950	19,778	20,714	21,778	22,020	22,105

8.2 Grafy

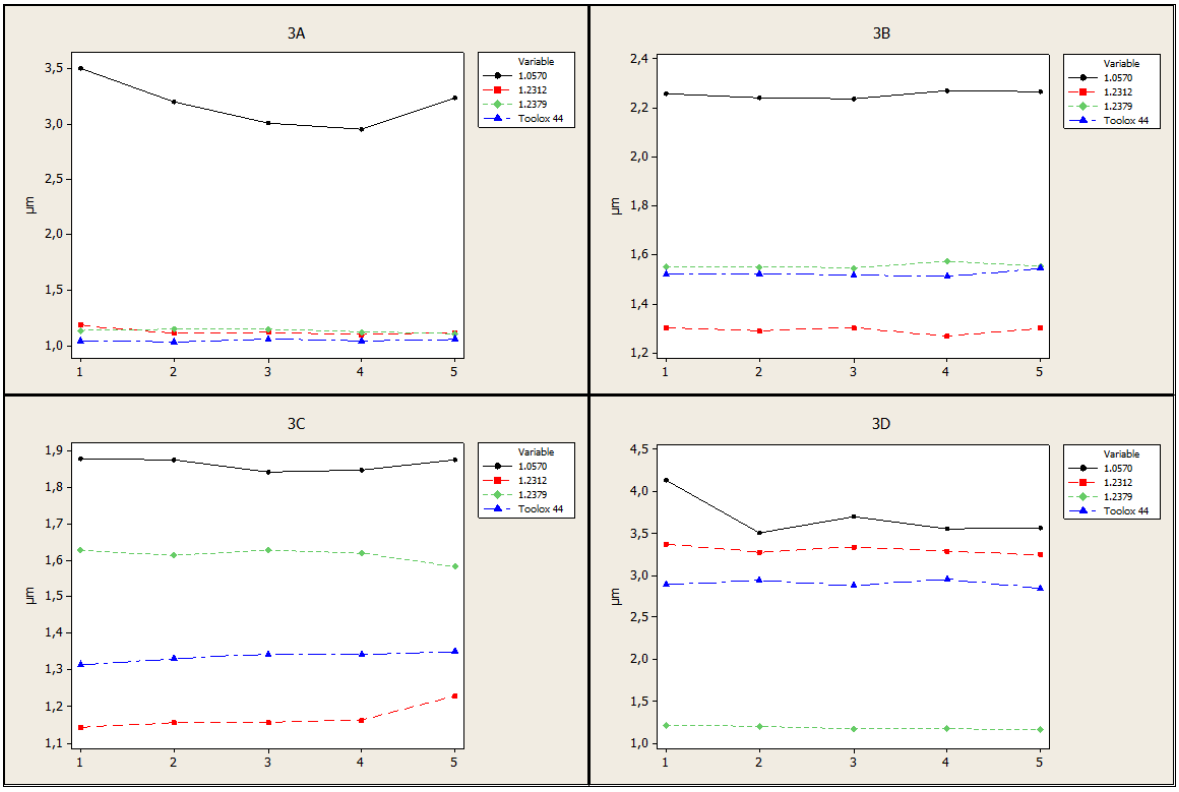
Ve statistickém programu Minitab byly vytvořeny grafy Time Series Plot znázorňující hodnoty kritéria Sa pro jednotlivé materiály v daných oblastech 1 - 5, v úsecích A - D pro 5 provedených měření.



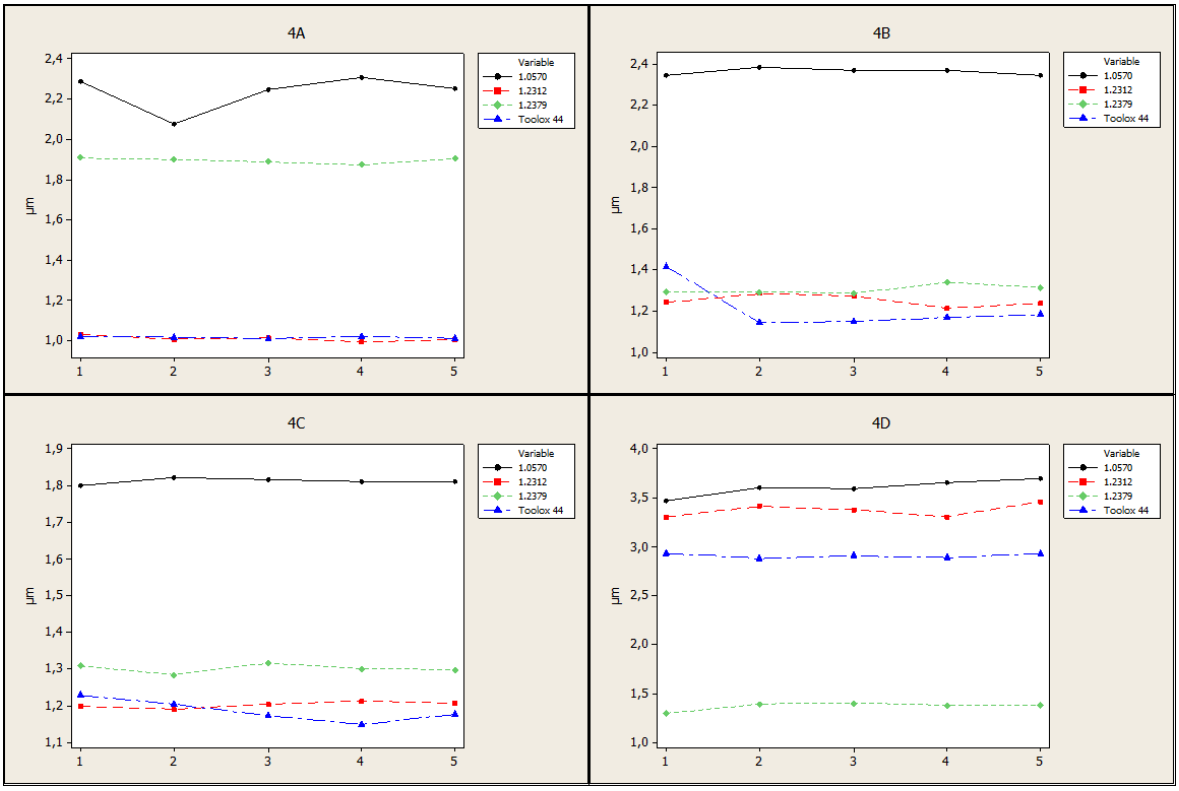
Obr. 23 Grafy hodnot Sa v oblastech 1A, 1B, 1C, 1D pro všechny 4 materiály



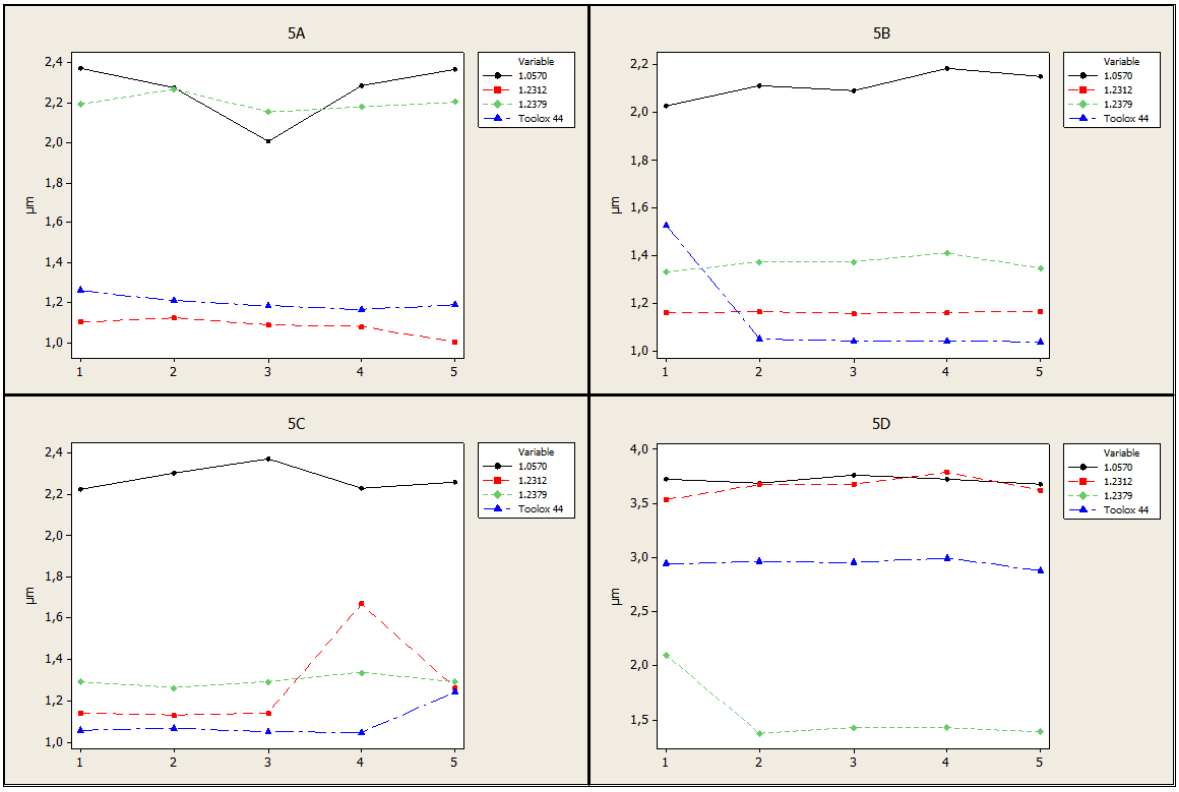
Obr. 24 Grafy hodnot Sa v oblastech 2A, 2B, 2C, 2D pro všechny 4 materiály



Obr. 25 Grafy hodnot Sa v oblastech 3A, 3B, 3C, 3D pro všechny 4 materiály



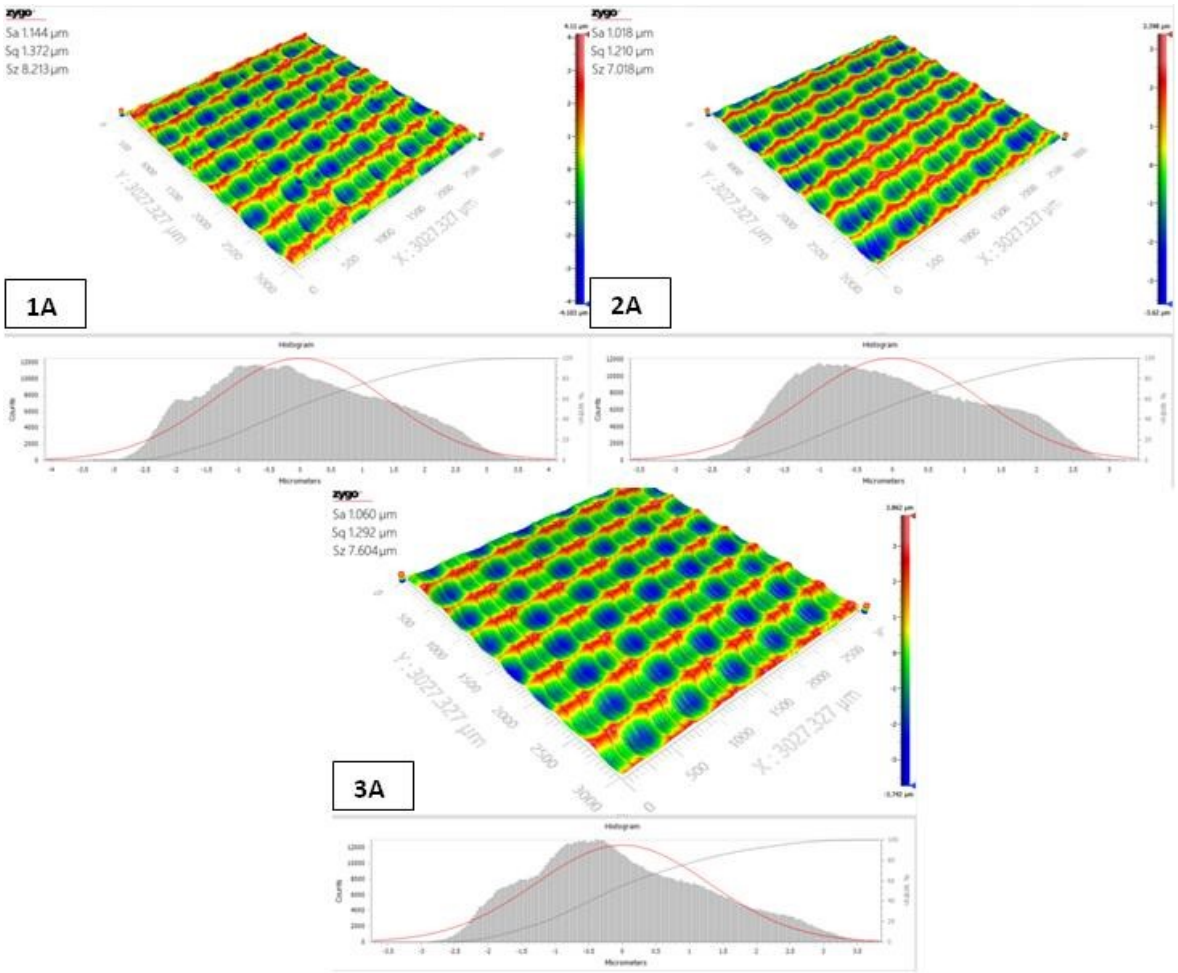
Obr. 26 Grafy hodnot Sa v oblastech 4A, 4B, 4C, 4D pro všechny 4 materiály



Obr. 27 Grafy hodnot Sa v oblastech 5A, 5B, 5C, 5D pro všechny 4 materiály

8.3 Doměření hodnot

Z důvodu nejednoznačnosti interpretace výsledků měření proběhlo pro oblasti 1, 2 a 3 doměření hodnot. Stejně jako u původního souboru hodnot probíhalo měření v úsecích rovinnosti (A), konvexnosti (B), konkavity (C) a šikmosti (D). Původní měření čítalo na oblast 10 mm^2 pouze 5 naměřených hodnot, nové měření čítalo na stejnou oblast 50 měření.



Obr. 28 Ukázka doměřených hodnot pro materiál Toolox 44 v úseku A

V tab. 4 je provedeno vyhodnocení kritéria Sa pro doměřený soubor hodnot prostřednictvím průměru, směrodatné odchylky, minima a maxima.

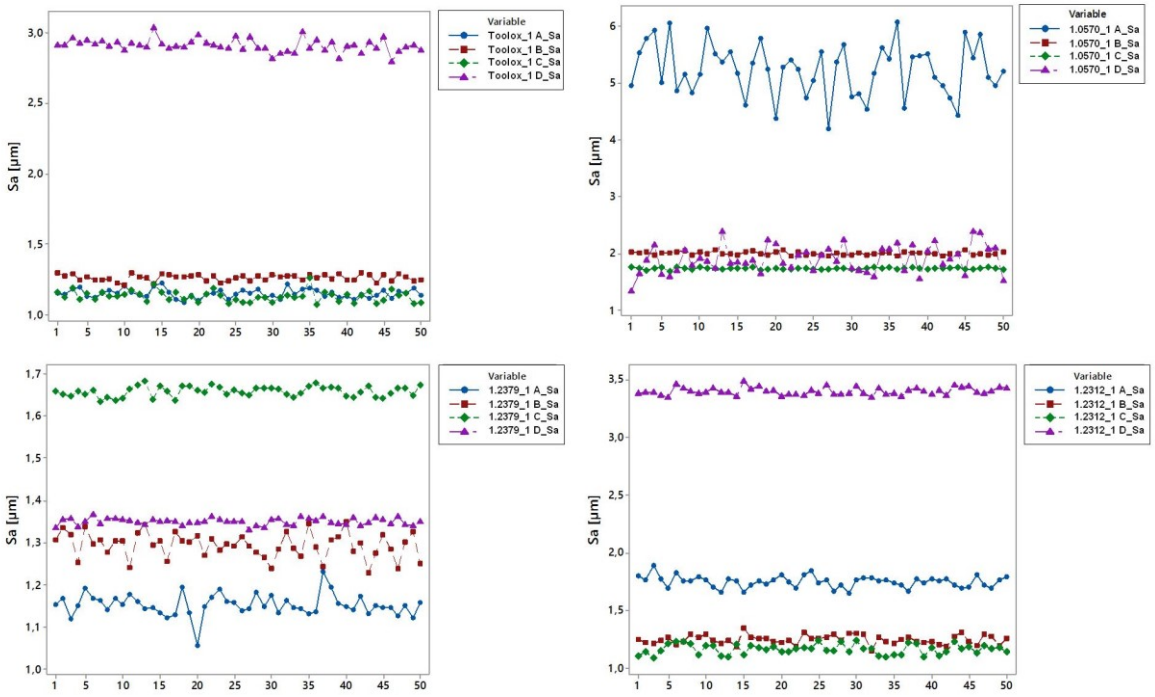
Tab. 4 Vyhodnocení doměřených hodnot Sa

Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	Maximum [µm]
1A	1.0570	5,241	0,459	4,198	6,087
	1.2312	1,747	0,049	1,643	1,887
	1.2379	1,152	0,026	1,055	1,231
	Toolox 44	1,149	0,031	1,084	1,222
1B	1.0570	2,002	0,029	1,946	2,072
	1.2312	1,245	0,039	1,146	1,346
	1.2379	1,294	0,030	1,230	1,350
	Toolox 44	1,261	0,023	1,207	1,298
1C	1.0570	1,733	0,016	1,690	1,759
	1.2312	1,161	0,044	1,087	1,241
	1.2379	1,658	0,012	1,635	1,685
	Toolox 44	1,129	0,039	1,072	1,258
1D	1.0570	1,903	0,246	1,347	2,387
	1.2312	3,401	0,033	3,352	3,489
	1.2379	1,350	0,008	1,329	1,366
	Toolox 44	2,911	0,046	2,800	3,036
2A	1.0570	2,378	0,142	2,069	2,712
	1.2312	1,185	0,024	1,134	1,241
	1.2379	1,369	0,235	0,752	1,982
	Toolox 44	1,050	0,048	0,966	1,150
2B	1.0570	1,884	0,023	1,838	1,938
	1.2312	1,245	0,008	1,227	1,260

Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	Maximum [µm]
	1.2379	1,524	0,011	1,502	1,550
	Toolox 44	1,320	0,006	1,310	1,334
2C	1.0570	1,620	0,019	1,570	1,663
	1.2312	1,211	0,051	1,095	1,293
	1.2379	1,463	0,121	1,191	1,725
	Toolox 44	1,203	0,012	1,168	1,226
2D	1.0570	3,643	0,024	3,591	3,705
	1.2312	3,500	0,115	3,245	3,764
	1.2379	1,276	0,029	1,230	1,347
	Toolox 44	3,295	0,065	3,145	3,429
3A	1.0570	3,141	0,249	2,561	3,646
	1.2312	1,131	0,036	1,043	1,192
	1.2379	1,139	0,015	1,098	1,172
	Toolox 44	1,050	0,011	1,025	1,072
3B	1.0570	2,254	0,013	2,227	2,287
	1.2312	1,295	0,015	1,262	1,324
	1.2379	1,555	0,011	1,530	1,575
	Toolox 44	1,524	0,013	1,491	1,553
3C	1.0570	1,864	0,015	1,816	1,896
	1.2312	1,165	0,029	1,096	1,236
	1.2379	1,616	0,017	1,588	1,665
	Toolox 44	1,341	0,015	1,305	1,379
3D	1.0570	3,629	0,246	3,126	4,207

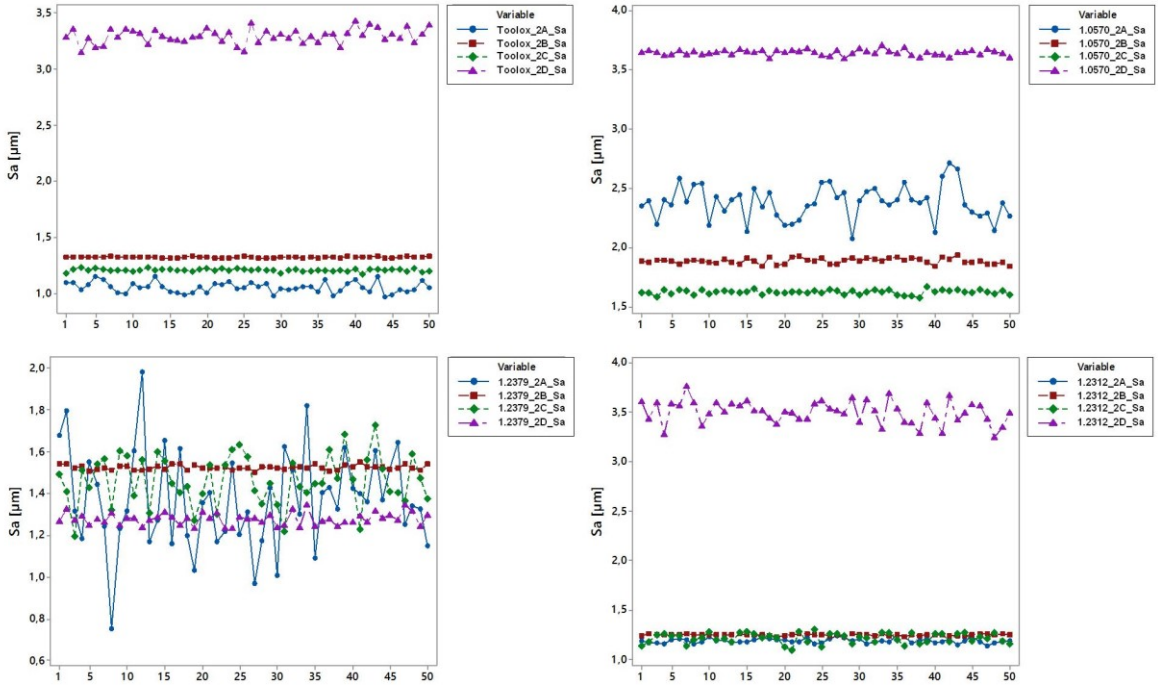
Oblast	Materiál	Průměr [µm]	Směrodatná odchylka [µm]	Minimum [µm]	Maximum [µm]
	1.2312	3,328	0,051	3,217	3,442
	1.2379	1,195	0,024	1,149	1,241
	Toolox 44	2,910	0,043	2,812	3,058

Stejně jako u původního souboru naměřených hodnot byly i pro doměřený soubor vytvořeny grafy Times Series Plot kritéria Sa. Grafy jsou seskupeny dle jednotlivých oblastí.



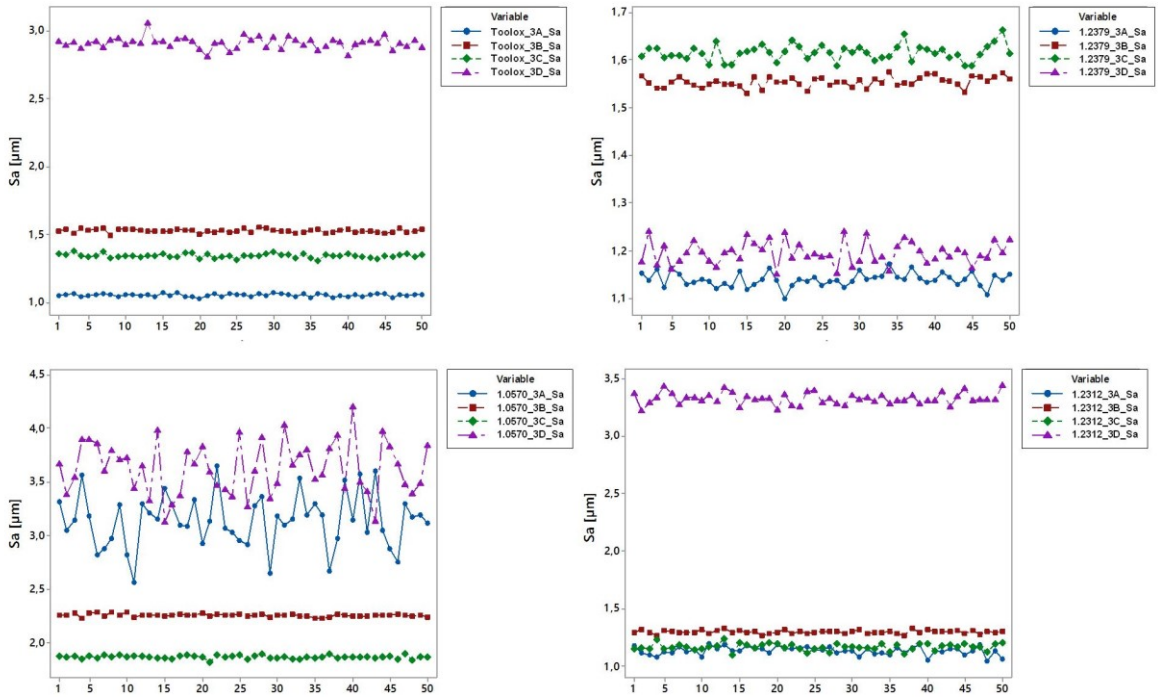
Obr. 29 Doměřené hodnoty pro oblast 1

V oblasti 1, kde byla rychlost řezných otáček 70%, byly celkově nejvyšší hodnoty kritéria Sa naměřeny u materiálu 1.0570 v úseku šikmosti (A). Při porovnání hodnot v rámci jednotlivých materiálů Toolox 44 a 1.2312 dosahuje veličina Sa jednoznačně vyšších hodnot v úseku rovinnosti (D).



Obr. 30 Doměřené hodnoty pro oblast 2

V oblasti 2, kde byla rychlost řezných otáček 130%, lze v grafech pro materiály Toolox 44, 1.0570 a 1.2312 vidět jednoznačně nejvyšší hodnoty kritéria Sa v úsecích rovinnosti (D).

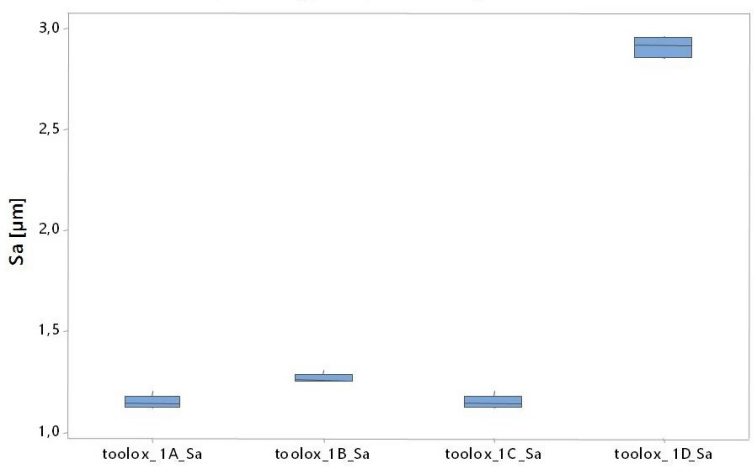


Obr. 31 Doměřené hodnoty pro oblast 3

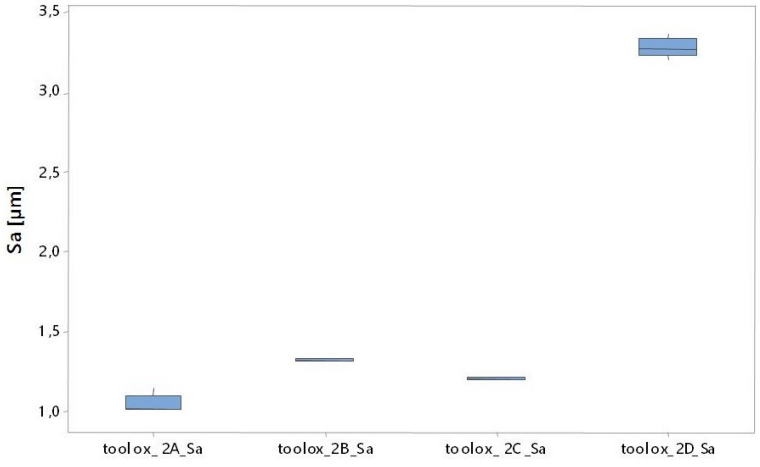
V oblasti 3 v grafech pro materiály Toolox 44, 1.0570 a 1.2312 dosahovala veličina Sa nejvyšších hodnot v úsecích rovinnosti (D).

Ze získaných grafů Time Series Plot veličiny Sa lze vypozorovat vyšší hodnoty v oblastech rovinnosti (D) případně i v oblasti šikmosti (A), což odpovídá povaze kulové frézy, která je vhodná spíše pro složitější tvarové plochy, které zde přestavují úseky konvexnosti (B) a konkávnosti (C).

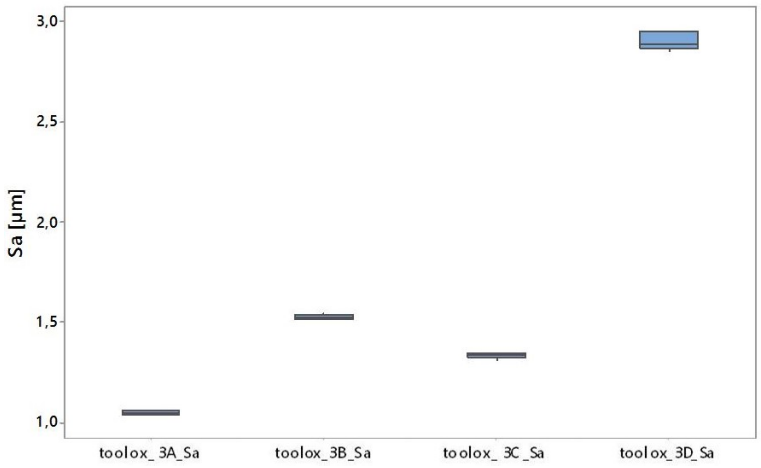
Dále byly vytvořeny grafy typu Boxplot pro kritérium Sa v jednotlivých oblastech.



Obr. 32 Materiál Toolox 44 - oblast 1

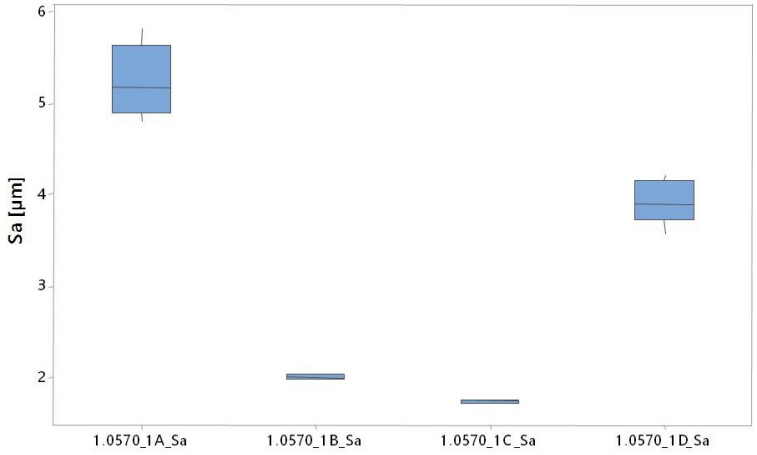


Obr. 33 Materiál Toolox 44 - oblast 2

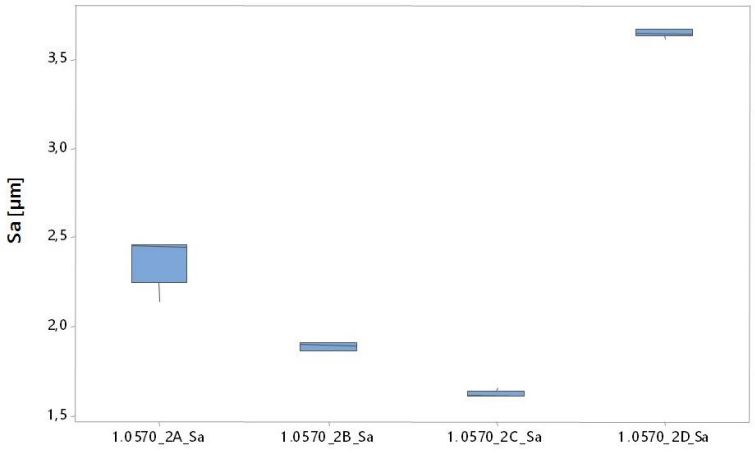


Obr. 34 Materiál Toolox 44 - oblast 3

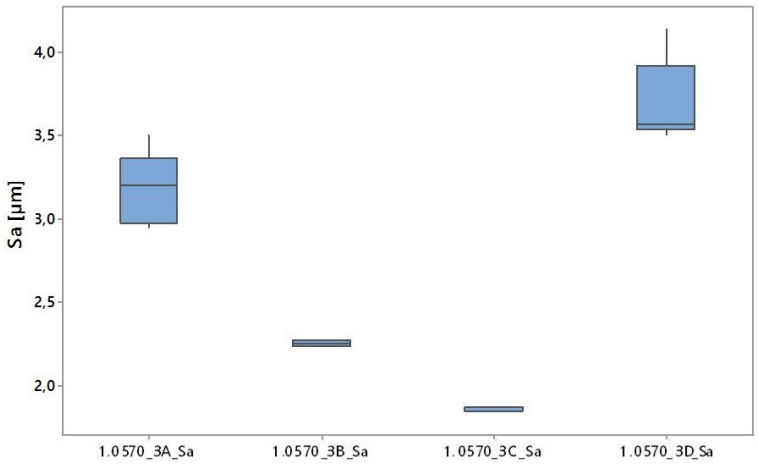
Pro materiál Toolox 44 jsou v grafech typu Boxplot viditelné vyšší hodnoty veličiny Sa v úseku rovinnosti (D) ve všech třech oblastech, ve kterých měření probíhalo.



Obr. 35 Materiál 1.0570 - oblast 1

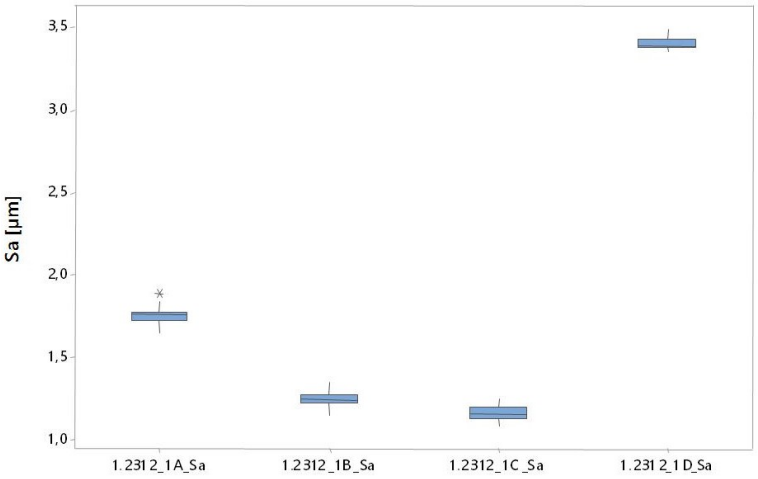


Obr. 36 Materiál 1.0570 - oblast 2

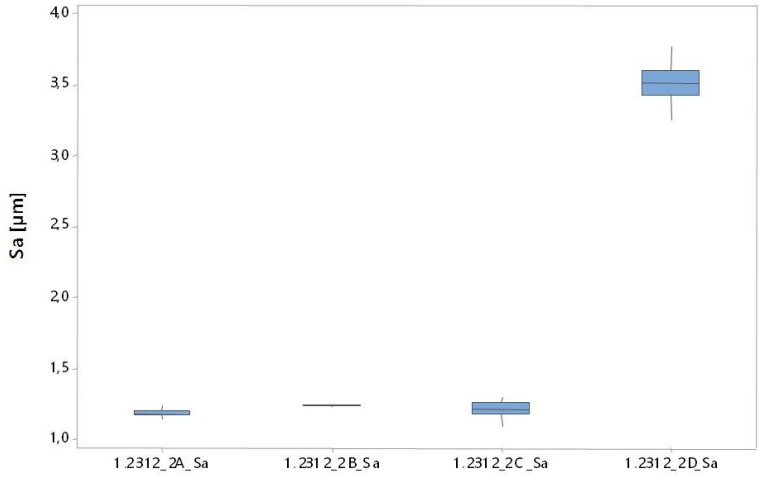


Obr. 37 Materiál 1.0570 - oblast 3

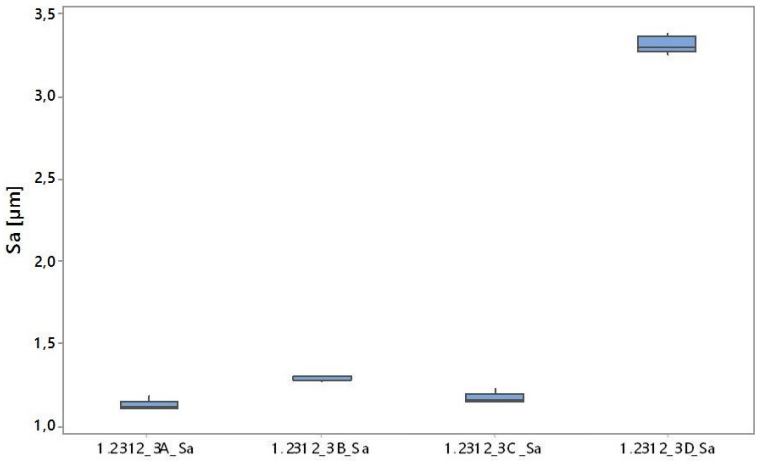
U materiálu 1.0570 jsou vyšší hodnoty kritéria Sa naměřeny nejen v úsecích rovinnosti (D), jako to bylo u materiálu Toolox 44, ale i v úsecích patnáctiprocentní šikmosti (A). Ve všech třech oblastech měření jsou nejnižší hodnoty veličiny Sa pro materiál 1.0570 naměřeny v úsecích konkavity (C).



Obr. 38 Materiál 1.2312 - oblast 1

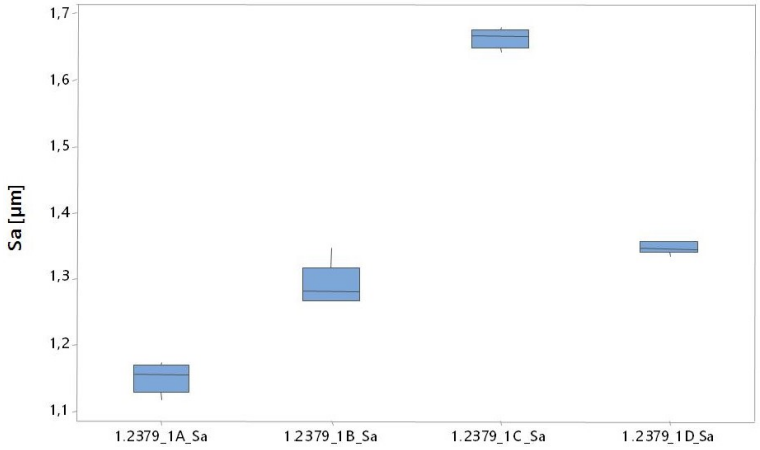


Obr. 39 Materiál 1.2132 - oblast 2

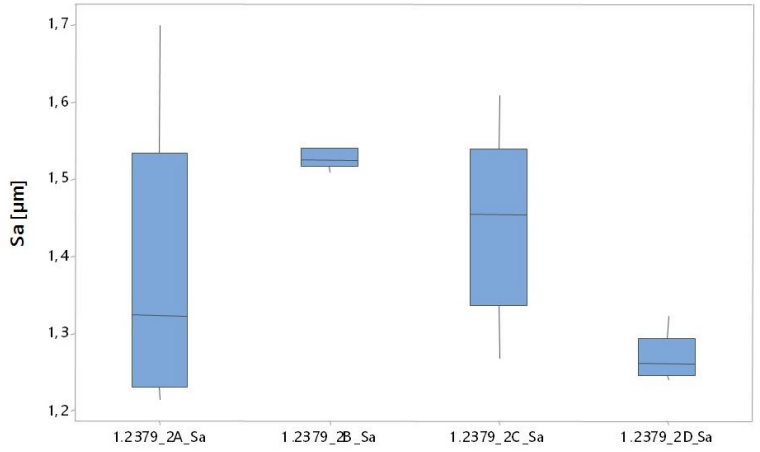


Obr. 40 Materiál 1.2312 - oblast 3

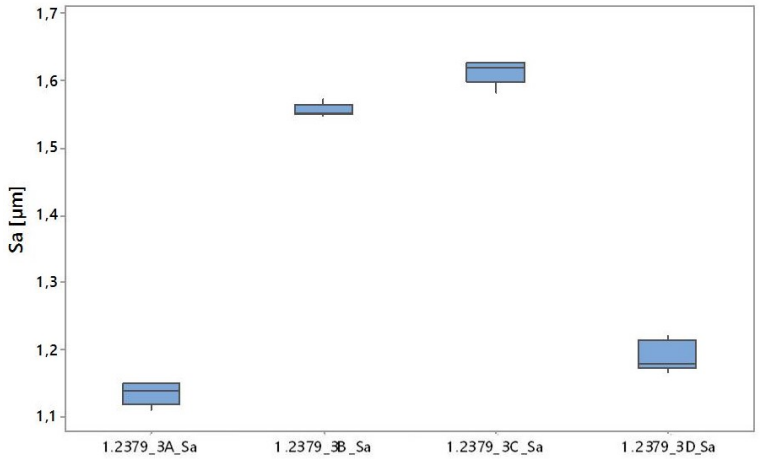
U materiálu 1.2312 se nachází ve všech třech měřených oblastech skupina hodnot úseku rovinnosti (D) ve výrazně vyšších hodnotách oproti zbylým úsekům. Podobné výsledky vykazoval i materiál Toolox 44.



Obr. 41 Materiál 1.2379 - oblast 1



Obr. 42 Materiál 1.2379 - oblast 2



Obr. 43 Materiál 1.2379 - oblast 3

Materiál 1.2379 v grafech nevykazuje jednoznačně opakující se trend vyšších hodnot v závislosti na určité úseky měření, jako to bylo u ostatních materiálů.

ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce byly představeny metody obrábění. Teoretická část se dále zabývala měřením a hodnocením kvality povrchu, kde byly popsány složky profilu povrchu, způsoby měření povrchu, chyby měření i normy ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO 4288 a ČSN EN ISO 25178-2. Byly zde charakterizovány materiály, které byly použity pro obrobky v praktické části.

V praktické části byly popsány obrobky z materiálů 1.0570; 1.2312; 1.2379 a TOOLOX 44, na kterých probíhalo měření povrchu. Byl zde popsán princip práce na profilometru Zygo Ametek NewView, pomocí kterého se získaly hodnoty Sa, Sq a Sz. Dále jsem uvedl tabulky s hodnotami průměru, směrodatné odchylky, minima, prvního kvartilu, mediánu, třetího kvartilu a maxima. Pro veličinu Sa byly vytvořeny grafy Time Series Plot.

Pro oblasti 1, 2 a 3 proběhlo doměření hodnot z důvodů nemožnosti jednoznačné interpretace závěrů měření. Stejně jako u původního souboru hodnot probíhalo měření v úsecích rovinnosti (A), konvexnosti (B), konkavity (C) a šikmosti (D). Původní soubor hodnot byl složen z 5 měření na ploše 10 mm^2. Při doměření bylo na ploše 10 mm^2 provedeno 50 měření. Rovněž jako u původního souboru hodnot jsem vytvořil tabulku se statistickým hodnocením a grafy typu Times Series Plot pro kritérium Sa.

Z obou získaných typů grafů byly vypozorovány u materiálů Toolox 44 a 1.2312 opakující se vyšší hodnoty kritéria Sa v oblastech rovinnosti (D). U materiálu 1.0570 se tyto vyšší hodnoty projevovaly nejen v oblasti rovinnosti (D), ale i v oblasti patnáctiprocentní šikmosti (A). Kulová fréza nachází uplatnění zejména pro složitější tvarové plochy. Tyto plochy na použitých obrobcích nejvíce představují úseky konvexnosti (B) a konkávnosti (C), kde výsledky naznačují u materiálů Toolox 44, 1.2312 a 1.0570 nejvyšší povrchovou jakost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] Grzesik, Wit. (2008). *Advanced Machining Processes of Metallic Materials - Theory, Modelling and Applications*. Elsevier. Retrieved from https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpAMPMMTM1/advanced-machining-processes/advanced-machining-processes

[2] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2.* 1. díl, Polotovary a jejich technologičnost. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-7183-244-8.

[3] Meyers, Arthur R. Slattery, Thomas J.. (2001). *Basic Machining Reference Handbook (2nd Edition). Industrial Press*. Retrieved from https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpBMRHE001/basic-machining-reference/basic-machining-reference

[4] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. díl, Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění. Praha: Scientia, 2001, 221 s. ISBN 80-7183-227-8.

[5] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.

[6] *GARANT PŘÍRUČKA OBRÁBĚNÍ*. 843 s. ISBN 3-00-016882-6.

[7] Erdel, Bert P.. (2003). *High-Speed Machining. Society of Manufacturing Engineers (SME).* Retrieved from https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHSM00013/high-speed-machining/high-speed-machining

[8] Tabenkin, A. (2004). *Surface finish measurement basics. Quality, 43(9), 20-21*. Retrieved from https://search.proquest.com/docview/235212277?accountid=15518

[9] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. díl, Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění. Praha: Scientia, 2001, 221 s. ISBN 80-7183-227-8.

[10] JURKO, Jozef a Imrich LUKOVICS. *Vŕtanie: technologická metóda výroby dier*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 191 s. Edícia vedeckej a odbornej literatúry: Monografia. ISBN 978-80-7318-488-9.

[11] BUMBÁLEK, Leoš. *Kontrola a měření: pro SPŠ strojní*. Praha: Informatorium, 2009, 206 s. ISBN 978-80-7333-072-9.

[12] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006, 185 s. ISBN 8070806001. Dostupné také z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-600-1/pages-img/

[13] *1.0570* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.preciz.cz/component/fabrik/details/7/16

[14] *ČSN 11 523, 1.0570, ST 52.3* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.jkz.cz/cs/produkty/konstrukcni-oceli/csn-11-523-10570-st523/

[15] *1.2312* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://toolsteel.cz/1-2312-40crmnmos8-6-19-520s/

[16] *Nástrojové oceli* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.bohler.cz/media/oceli_Bohler.pdf

[17] *1.2379* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://toolsteel.cz/1-2379-19-573-x153crmov12-x155crvmo12-1/

[18] *Moderní nástrojové oceli* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/moderni-nastrojove-oceli_16442.html

[19] *Why? What are the advantages with Toolox?* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://ssabwebsitecdn.azureedge.net/-/media/files/en/toolox/ssab-toolox-too-good-to-be-true-612_en.pdf?m=20161014133451

[20] *Use of Toolox in engineering applications* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://ssabwebsitecdn.azureedge.net/-/media/files/en/toolox/601-uk-use_of_toolox_in_engineering_applications.pdf?m=20150915143528

[21] *Soustružnické nože* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/23072/soustru_nick__no_e.jpg

[22] *Hrotový soustruh* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/Img/02000.gif

[23] *Frézování* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/12532/zpusoby_frezovani.JPG

[24] *Druhy fréz* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://int.spsoa-ub.cz/projekty/ov3000/STROJ/OBRABEC%20KOVU/OKI-Nove%20typy%20nastroju%20pro%20frezovani.pdf

[25] *Šroubovitý vrták* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/15924/content_popis_sroubovitehо_vrtaku.jpg

[26] *Teorie obrábění: Fyzikální podstata procesu obrábění* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://sst.opava.cz/pernikar/nove_www/teorie_obrabeni_soubory/podstata.htm

[27] *Základy obrábění* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Z%C3%A1klady%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD.pdf

[28] *Teorie obrábění: Nárůstek* [online]. [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: https://sst.opava.cz/pernikar/nove_www/teorie_obrabeni_soubory/narustek.htm

[29] TŮMOVÁ, Olga. *Metrologie a hodnocení procesů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 231 s. ISBN 978-80-7300-249-7

[30] *3D Optical Surface Profilers* [online]. [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: https://www.zygo.com/?/met/profilers/

[31] *ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu.* Praha: Český normalizační institut, 1999.

[32] 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.

[33] ČSN EN ISO 25178-2. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D		Dvourozměrný prostor
3D		Třírozměrný prostor
CNC		Computer Numeric Control
NC		Numeric Control
HSC		High Speed Cutting
MTC		Multi Task Cutting
HPC		High Performance Cutting
R_t	[µm]	Maximální hloubka drsnosti
l_m	[mm]	Měřená délka
l_e	[mm]	Jednotlivé segmenty délky
Z_i	[µm]	Jednotlivé hloubky drsnosti
R_z	[µm]	Střední hloubka drsnosti
R_a	[µm]	Aritmetická střední hodnota drsnosti
R_q	[µm]	Střední kvadratická hodnota drsnosti
Sa	[µm]	Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu
Sq	[µm]	Základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu
Sz	[µm]	Maximální výška omezené stupnice povrchu
S_{sk}	[µm]	Šikmost omezené stupnice povrchu
S_{ku}	[µm]	Špičatost omezené stupnice povrchu
$\bar{x}$	[-]	Aritmetický průměr
s	[-]	Směrodatná odchylka
a	[µm]	Výběrová šikmost
b	[µm]	Výběrová špičatost

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Soustružnické nože [21] 13
Obr. 2 Popis základních částí univerzálního hrotového soustruhu [22] 14
Obr. 3 Sousledné a nesousledné frézování [23] 15
Obr. 4 Druhy fréz [24] 16
Obr. 5 Popis vrtáku [25] 17
Obr. 6 Oblasti deformací [26] 28
Obr. 7 Pěchování třísky [27] 29
Obr. 8 Tvorba nárůstku [28] 30
Obr. 9 Profil povrchu [31] 34
Obr. 10 Obrobek z materiálu 1.2312 43
Obr. 11 Obrobky 44
Obr. 12 Bokorys obrobku 44
Obr. 13 Zygo Ametek NewView 46
Obr. 14 Detail profilometru, obrobku, vodováhy 47
Obr. 15 Zajištění roviny měření 48
Obr. 16 Snímání povrchu 48
Obr. 17 Nastavení softwaru 49
Obr. 18 Způsob odstranění tvaru zkoumaného povrchu 50
Obr. 19 Obrobek z materiálu1.0570, naměřená oblast: 1A 50
Obr. 20 Obrobek z materiálu 1.2312, naměřená oblast: 1A 51
Obr. 21 Obrobek z materiálu 1.2379, naměřená oblast: 1A 51
Obr. 22 Obrobek z materiálu Toolox 44, naměřená oblast: 1A 52
Obr. 23 Grafy hodnot Sa v oblastech 1A, 1B, 1C, 1D pro všechny 4 materiály 62
Obr. 24 Grafy hodnot Sa v oblastech 2A, 2B, 2C, 2D pro všechny 4 materiály 62
Obr. 25 Grafy hodnot Sa v oblastech 3A, 3B, 3C, 3D pro všechny 4 materiály 63
Obr. 26 Grafy hodnot Sa v oblastech 4A, 4B, 4C, 4D pro všechny 4 materiály 63
Obr. 27 Grafy hodnot Sa v oblastech 5A, 5B, 5C, 5D pro všechny 4 materiály 64
Obr. 28 Ukázka doměřených hodnot pro materiál Toolox 44 v úseku A 65
Obr. 29 Doměřené hodnoty pro oblast 1 68
Obr. 30 Doměřené hodnoty pro oblast 2 69
Obr. 31 Doměřené hodnoty pro oblast 3 69
Obr. 32 Materiál Toolox 44 - oblast 1 70

Obr. 33 Materiál Toolox 44 - oblast 2 70
Obr. 34 Materiál Toolox 44 - oblast 3 71
Obr. 35 Materiál 1.0570 - oblast 1 71
Obr. 36 Materiál 1.0570 - oblast 2 71
Obr. 37 Materiál 1.0570 - oblast 3 72
Obr. 38 Materiál 1.2312 - oblast 1 72
Obr. 39 Materiál 1.2132 - oblast 2 73
Obr. 40 Materiál 1.2312 - oblast 3 73
Obr. 41 Materiál 1.2379 - oblast 1 74
Obr. 42 Materiál 1.2379 - oblast 2 74
Obr. 43 Materiál 1.2379 - oblast 3 74

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Řezné podmínky 45
Tab. 2 Statistické vyhodnocení pro hodnoty Sa 53
Tab. 3 Statistické vyhodnocení pro hodnoty Sz 57
Tab. 4 Vyhodnocení doměřených hodnot Sa 66