

Hodnocení vlivu kmitání technologické soustavy na jakost dílů plastikářských forem

Bc.Radomír Pěchovič

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radomír Pěchovič**
Osobní číslo: **T12599**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hodnocení vlivu kmitání technologické soustavy na jakost dílů plastikářských forem**

Zásady pro vypracování:

1. Základní technologie výroby forem
2. Hodnocení jakosti výrobků
3. Metody hodnocení kmitání technologické soustavy
4. Experimentální určení vlivu kmitání na jakost

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

RAGAN, E. aj.: Vstrekovanie a spracovanie plastických hmot. Prešov. 2009, 549 s., ISBN 978-80-553-0102-0.

ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. Vyd. 1. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989, 637 s.

LUKOVICS, Imrich. Konstrukční materiály a technologie. 1. vyd. Brno: VUT, 1992, 273 s. ISBN 8021403993.

BUMBÁLEK, Bohumil, Vladimír ODVODY a Bohuslav OŠŤÁDAL. Drsnost povrchu. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989, 338 s.

NESLUŠAN Miroslav, Stanislav TUREK aj.: Experimentálne metódy v trieskovom obrábání. Žilina: Žuedis, 2007, ISBN 978-80-8070-711-8

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, 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 nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

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

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

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

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

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-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 diplomová práce se zabývá vlivem kmitání technologické soustavy na jakost dílů plastických forem.

Měření vlivu kmitání se provádělo na horizontální rovinné brusce BRH 20.03F. Při broušení vzorků se měnily rychlosti posuvu a hloubka úběru materiálu a kmitání se zaznamenávalo přístrojem Balantron. Po změření amplitudy kmitání následovalo zhodnocení jakosti povrchu.

Klíčová slova: kvalita povrchu, jakost, technologická soustava, broušení, kmitání

ABSTRACT

This diploma thesis is concerned with an impact of the technological system oscillation on the quality of moulded plastic parts.

The oscillating impact was measured when the material was processed with horizontal surface grinder BRH 20.03F. When grinding the etalons, we were changing the rate of feed and the depth of reduction and the oscillating was recorded by equipment Balantron. After the amplitude of oscillation was measured, the surface quality was evaluated.

Keywords: surface quality, quality, technological system, grinding, oscillating

PODĚKOVÁNÍ

Velmi rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce, panu prof. doc. Ing. Imrichu Lukovicsovi CSc, za odborné vedení, poskytnuté rady a připomínky při tvorbě diplomové práce.

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

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 FORMY	11
1.1 MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM.....	15
1.2 STROJE PRO VÝROBU FOREM.....	19
2 HODNOCENÍ JAKOSTI VÝROBKŮ	34
2.1 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU.....	39
3 METODY HODNOCENÍ KMITÁNÍ TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVY	41
3.1 AKCELOMETRY.....	42
II PRAKTICKÁ ČÁST	44
4 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	45
4.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ - NEOROVNANÝ KOTOUČ.....	49
4.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ - OROVNANÝ KOTOUČ.....	58
4.3 SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT OROVN. Y NEOROVN. KOTOUČE.....	67
ZÁVĚR	74
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	75
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
SEZNAM OBRÁZKŮ	79
SEZNAM TABULEK	80
SEZNAM GRAFŮ	81

ÚVOD

V současné době se při výrobě součástí z polymerních materiálů klade velký důraz na kvalitu povrchu výstřiku. Na kvalitu povrchu součástí má mimo jiné technologické faktory velký vliv i jakost povrchu vstříkovací formy. Z tohoto důvodu je velmi důležité, aby povrch vstříkovací formy byl přesně a kvalitně opracován.

Výslednou kvalitu povrchu formy a jeho vlastnosti ovlivňuje nejen volba technologického postupu výroby, materiálu, stroje, nástroje, nebo správně zvolené řezné parametry, ale i celková tuhost a kmitání soustavy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 FORMY

Zpracování plastů a kaučukových směsí vyžaduje použití speciálního operačního nářadí a přípravků, mezi kterými zaujímají formy významné postavení. Forma dává po ochlazení taveniny výrobku výsledný tvar a rozměr, při zachování požadovaných mechanických a fyzikálních vlastností.[1] Forma musí odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výrobky o přesných rozměrech, musí umožnit snadné vyjmutí výrobku a musí pracovat automaticky po celou dobu své životnosti. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti, ale i na finanční náklady.[2]

Základní požadavky na formu jsou:

- technické: zaručují správnou funkci formy, jenž musí vyrobit požadovaný počet dílců v předepsané přesnosti a kvalitě a zároveň splňovat podmínku snadné obsluhy a manipulace při výrobě dílce.
- ekonomické: nízká pořizovací cena, snadná a rychlá výroba dílů při vysoké produktivitě práce.
- společenskoestetické: vyžadují nutnost dodržet všechny bezpečnostní zásady při konstrukci, výrobě a provozu formy.[1]

Forma po dosedu dosedacích ploch vytváří dutinu formy. Hlavními částmi formy jsou zpravidla tvárník a tvárnice. Tvárník vytváří vnitřní povrch formy a tvárnice vnější povrch formy. Dutinu formy vytváří jádro nebo trn. Pro snadnější vyjímání výrobku z dutiny se používají úkosy a zešikmení. Jednotlivé části formy proti sobě středí vodící čepy, které zasahují do vodících pouzder. Snadné vyjímání výrobku z formy zajišťuje vyhazovací systém.[3] Formy mají rozmanitou konstrukci a lze je rozdělit do několika skupin.

Rozdělení dle násobnosti formy:

- jednonásobné
- vícenásobné [2]

Rozdělení forem dle zpracovávaného materiálu:

- pro zpracování reaktoplastů
- pro zpracování termoplastů
- pro zpracování kaučukových směsí [3]

Rozdělení dle konstrukčního řešení a druhu zaformování:

- dvoudeskové
- třídeskové
- etážové
- čelist'ové
- vytáček [2]

Rozdělení forem dle pracovního postupu:

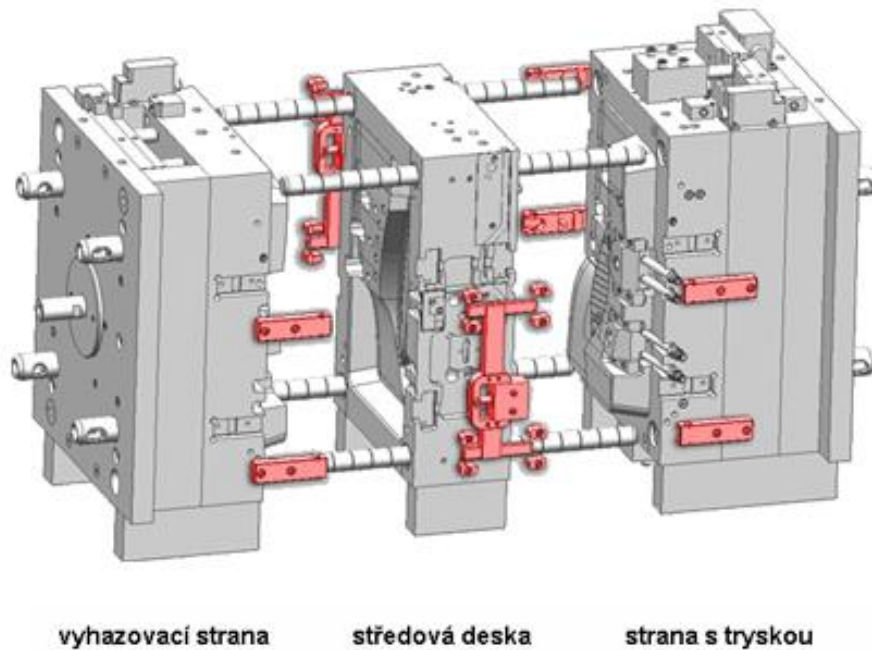
- vstřikovací
- vyfukovací
- tvarovací
- lisovací
- máčecí
- tabletovací
- přetlačovací
- lící [3]



Obr.1 Tvárník a tvárnice formy [4]

Forma pro plastikářskou výrobu se skládá z dílů vymezujících tvarovou dutinu formy, z chladičho systému, z vtokové soustavy, z vyhazovacího systému a z vodicích a upínacích elementů. Jednotlivé části vstřikovací formy se můžou rozdělit do dvou skupin a to na části konstrukční a části funkční. Konstrukční části zabezpečují správnou činnost nástroje.

Funkční části se stýkají s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar.[2]



Obr.2 Vstřikovací forma [5]

Hlavní části formy:

Tvarová dutina:

Tvarovou dutinu tvoří tvárník a tvárnice. Tvárník je část formy, která tvaruje vnitřní část tvarované součásti, tvárnice dává tvar vnější části dílce. Nejčastěji jsou vyráběny z nástrojové chrom-manganové oceli.

Vtokový systém:

Jeho uspořádání závisí na konstrukci formy a počtu tvarových dutin. Umístění vtoku má velký vliv na proudění taveniny ve formě, tvorbu studených spojů, rovnoměrnost krystalizace a povrchový vzhled. Ústí vtoku musí být vyřešeno tak, aby se forma naplnila v co nejkratším čase a bez teplotních a tlakových ztrát. Pokud je forma vícenásobná, musí být naplněny všechny dutiny současně.

Vyhazovací systém:

Při chladnutí taveniny dochází k ulpívání výstřiků na tvarových částech formy. Z tohoto důvodu je nutný vyhazovací systém, který zajistí vyhození výstřiku z formy. Aby se zamezilo deformaci nebo poškození výstřiku musí být výstřik vysouvám souměrně. Tvar, počet a umístění vyhazovačů je závislý na tvaru výstřiku.

Temperační systém:

Temperační systém je tvořen soustavou temperačních kanálků. Jejich účelem je udržet konstantní teplotu formy. Temperační systém může mít funkci jak chladící tak vyhřívací. Temperovat můžeme celou formu, nebo jen její části.[3]

Desky:

Opěrné a upínací desky slouží k upnutí formy do stroje. Jsou méně namáhané a proto se nejčastěji vyrábí z konstrukční ocele ČSN 11 523 a 11 600.



Obr.3 Přístrojová deska osobního automobilu [6]

1.1 Materiály pro výrobu forem

Volba materiálu formy je závislá na druhu zpracovávaného plastu, na výrobní technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na tepelné odolnosti, odolnosti proti opotřebení a korozi, na velikosti série, na ceně, apod.[7] Důležitou podmínkou a předpokladem dlouhé životnosti je správná konstrukce, dimenzování, vhodné vložkování a údržba. Vhodným vyvložkováním exponovaných částí lze podstatně prodloužit životnost formy při minimálních nákladech. Velmi důležitým faktorem pro životnost formy je provedené tepelné zpracování na jejích tvarových částech. Jakost povrchu tvarových částí a jeho vliv na správnou funkci formy je všeobecně znám. Při nekvalitním povrchu dochází k problémům s vyjímáním hlubokých a žebrovaných výlisků a v opačném případě může bezvadně vyleštěný povrch způsobit příliš vysokou adhezi. Leštění formy slouží zároveň jako částečná ochrana proti korozi.[8] Pro výrobu forem se tedy využívají materiály, které v optimální míře splňují provozní požadavky. Široký výběr materiálů se zredukoval na úzký sortiment a dává se přednost univerzálním materiálům s širokým rozsahem vlastností.

Takové materiály představují:

- oceli vhodných jakostí
- neželezné slitiny kovů - měď, hliník
- ostatní materiály – izolační, tepelně nevodivé

Nejvýznamnějším materiálem pro výrobu forem jsou oceli. Pro svou pevnost a mechanické vlastnosti se dají jen těžko nahradit.[9]

Cementační ocel

Předností cementačních ocelí je, že uhlíkem nasycený povrch je po tepelném zpracování tvrdý a velmi odolný proti opotřebení. Jádro je měkké a houževnaté a tvrdý povrch se dá velmi kvalitně vyleštit. Důležitou vlastností u cementačních ocelí je jejich kalitelnost a prokalitelnost, jenž po zakalení určují pevnost jádra. Cementační oceli mají při kalení jen malou náchylnost k praskání a v žíhaném stavu jsou dobře obrobitelné. Nevýhodou však je po tepelném zpracování větší deformace než u ocelí přímo kalitelných. Cementací a zakalením funkční povrchové vrstvy dosáhneme tvrdost až přes 700 HV. Pro široké spektrum

použití se nejčastěji používá chrom-manganová nástrojová ocel ČSN 19 487. Je určena pro kalení v oleji, má střední prokalitelnost, vysokou houževnatost a dobrou odolnost proti otěru. Velmi podobná je chrom-manganová nástrojová ocel ČSN 19 486, která je však používána podstatně méně. Důvodem je nižší obsah uhlíku, který má po tepelném zpracování za následek menší pevnost jádra asi o 200 MPa.[8] Pro své vlastnosti se dané oceli s výhodou využívají na výrobu tvárnic, vyráběných vtlačováním za studena, pouzdra a kolíky. Méně náročné díly se vyrábí se tyto vysocejakostní ocele nahrazují méně jakostními cementačními oceli ČSN 12 010 a 12 020 nebo legovanými oceli ČSN 14 220 a 14 221.[9]

Kalitelné oceli

Jejich hlavní využití spočívá ve výrobě forem pro zpracování abrazivních plastů, chemicky agresivních plastů, případně pro výrobu velkých tvárnic a tvárnků. Jedná se hlavně o manganové oceli ČSN 19 312 a 19 314. Obě oceli mají podobné vlastnosti. Jsou houževnaté, dobře obrobitelné, dobře prokalitelné a vykazují při kalení menší deformace. Pro formy s nejvyšší náročností abrazivního opotřebení se používá nástrojová chrom-wolfram-vanadová ocel ČSN 19 437, která je určena pro kalení v oleji i na vzduchu. Vyznačuje se velkou prokalitelností a vysokou odolností proti opotřebení, má však sníženou houževnatost a horší obrobitelnost ve stavu žíhaném naměkko. Velmi podobnými vlastnostmi a tepelným zpracováním se vyznačuje i chromová nástrojová ocel ČSN 19 436. Hojně používaná je i chrom-molybden-vanadová nástrojová ocel ČSN 19 550. Charakteristická vlastnost pro tuto ocel je její výborná prokalitelnost a získání vysoké tvrdosti po kalení i nad 60 HRC. Z moderních typů se používá chrom-molybden-vanadová ocel ČSN 19 572 a 19 581. Jsou určeny pro práci za tepla i za studena, mají velkou prokalitelnost, dobrou odolnost proti opotřebení a dobrou stálost rozměrů při kalení. Vyznačují se ale nižší houževnatostí a horší opracovatelností ve stavu žíhaném naměkko. V ojedinělých případech se používají nástrojové ocele ČSN 19 452, 19 733 a 19 421.

Antikorozní oceli

Antikorozní oceli se používají na tvarové části forem, jenž zpracovávají chemicky agresivní plasty jako CA nebo PVC. Nejpoužívanější je ocel ČSN 17 029. Jedná se o nástrojovou,

nerezavějící, chromovou ocel, která je určena ke kalení v oleji. Má velkou prokalitelnost, dobrou stálost rozměrů při kalení a zvýšenou odolnost proti korozi. Tuto ocel nelze použít bez tepelného zpracování. Po kalení dosahuje tvrdosti pouze 51 HRc a proto není vhodná proti abrazivnímu opotřebení. Užívanou metodou povrchových úprav tvarových částí bývá i tvrdé chromování, které se provádí po předchozím tepelném nebo tepelně-chemickém zpracování. Tvrdým chromováním se zvýší tvrdost a ochrana povrchu proti chemicky agresivním plastům, zvýší se lesk a sníží se lepivost výlisků na tvarové části formy. Tato metoda se dá použít i při opravách forem, např. při zatékání v dělicí rovině. Tvrdé chromování se nanáší na tvrdý a dobře vyleštěný povrch ve vrstvě 20 – 30 mikrometrů.

Oceli k nitridování

Těchto ocelí se využívá především ke zvýšení otěruvzdornosti u dílů, u kterých postačí nižší pevnost v jádře. Nitridováním se zvětší tvrdost povrchové vrstvy u dobře zakalených i popuštěných dílů. Nitridování probíhá při teplotě 500 – 560 °C a výsledkem je tvrdost 800 -1200 HV. Aby nepoklesla tvrdost v jádru, musí být oceli dostatečně odolné proti popouštění. Nitridovaná vrstva je kolem 0,02 – 0,05 mm. Vhodné jsou hlavně oceli legované AL, V a Cr. Tuto podmínku splňují především oceli ČSN 19 436, 19 573, 19 550, 15 230 a 15 340. [9]

Slitiny mědi

Kromě ocelí se na výrobu forem začínají stále častěji využívat slitiny mědi. Používají se pro tvarové vložky, chladící trny, vytáčeční matice, středící a vodící pouzdra, vyhazovací kolíky a šrouby.

Hlavními výhodami oproti ocelím jsou:

- výborná tepelná vodivost
- dobrá chemická odolnost
- dobré kluzné vlastnosti

Využitím těchto vlastností můžeme dosáhnout:

- zkrácení pracovního času
- vyšší kvalitu výstřiku
- větší funkční bezpečnost



Obr.4 Měděné vodící pouzdro [10]

Tepelná vodivost je ve srovnání s ocelí cca 4x vyšší. Jelikož chladicí čas u ocelových forem tvoří asi 70 % celého cyklu, můžeme použitím Cu slitin tento proces zkrátit o 20 - 50 %. Dosáhneme tím zkrácení celého pracovního cyklu a tím i nižší ceny výstřiku. Jejich výhodou je také jednodušší třískové obrábění, nevýhodou je naopak horší opracovatelnost elektroerosivními metodami. Kladnou vlastností je i nízký třecí koeficient, který je výhodný pro pohyblivé součásti, snadnější odformování a větší pracovní bezpečnosti. Čistá měď se používá velmi zřídka. Měď tvoří slitiny nejčastěji s Al, Fe, Mn a Zn. Záleží na tom, která kritéria při výběru optimální slitiny se upřednostní. [9]

Slitiny hliníku

Formy z hliníku nejsou tak pevné a odolné proti opotřebení jako formy z oceli. Mají velkou tepelnou vodivost a korozivzdornost a proto mají své speciální využití – hlavně pro formy na strukturní pěny. Tyto formy nevyžadují tak velkou pevnost, neboť vstřikovací tlaky jsou zde až 10x nižší než u forem na vstřikování plastů. Vyžadují však velký chladicí účinek a

dobrou chemickou odolnost proti korozi a ostatním činidlům. Díky schopnosti dosáhnout vytvrzením poměrně vysokou pevnost, se pro výrobu funkčních dílů forem osvědčila hlavně válcovaná slitina ČSN 424203.6. Jedná se o slitinu AL, Cu a Mg.

Tepelné zpracování dílů forem

Tepelné zpracování představuje sled operací, při nichž materiál získává požadované vlastnosti. Tepelné zpracování je u materiálu provázeno změnou struktury, která ovlivňuje hlavně mechanické vlastnosti.

Nejdůležitější způsoby tepelného zpracování:

- kalení
- žihání
- popouštění po kalení
- chemickotepelné zpracování – cementování, nitridování

Průběh a způsob tepelného zpracování je u každé metody specifický a probíhají i za rozdílných teplot. Obecně však platí, že ohřev součásti má být pozvolný a prodlevy na jednotlivých stupních ohřevu umožňují dosažení stejné teploty v celém průřezu součásti a vyrovnání rozdílných struktur. Tím dosáhneme v materiálu snížení pnutí. [9]

1.2 Stroje pro výrobu forem

Číslicově řízené obráběcí stroje

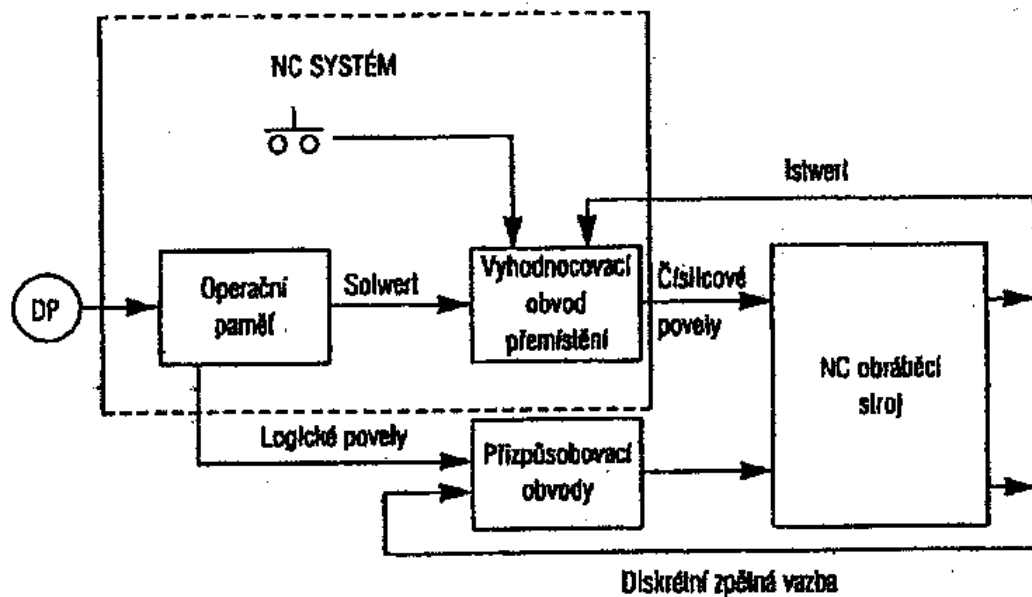
Nosný prvek pružné automatizace obráběcích procesů představují číslicově řízené obráběcí stroje. Jejich využití najdeme v malosériové, středněsériové ale často také v kusové výrobě. Při opakované výrobě můžeme využít již dříve zpracovaný, snadno aplikovatelný řídicí program. Číslicově řízené stroje daleko překračují funkci jednoho stroje a umožňují navázat na ostatní obráběcí systémy. Číslicové řízení velmi výhodně využívá všech možností a předností výpočetní techniky a zasahuje do organizace a struktury výroby. Technologické postupy při aplikaci číslicově řízených obráběcích strojů mají řadu specifických složek, avšak rezný proces probíhá analogicky jako na standardním obráběcím stroji. Průběh pra-

covního procesu u CNC strojů je řízen číslicovými informacemi o směru, otáčkách, dráze, řezných podmínkách a pomocných funkcích, které jsou stroji předávány postupně v průběhu operace. [11]

Programování CNC strojů lze dvěma způsoby:

- systém online: programování přímo na CNC stroji, hlavní využitelnost je v malosériové a kusové výrobě jednoduchých dílů
- Offline programování: program se tvoří mimo řídicí systém, nejčastěji v CAM systému, který se orientuje na některý z řady software

Pro číslicově řízené obráběcí stroje a příslušnou technologii se používají normované symboly a pojmy. CNC stroje jsou univerzální obráběcí stroje, které jsou vybavené vysokým stupněm automatizace, jenž je schopna se pružně přizpůsobit změnám výroby. Data potřebná pro změnu pracovní činnosti jsou často uložena přímo v paměti stroje.



Obr.5 Schéma CNC řídicího systému [11]

CNC obráběcí stroje můžeme rozdělit do 3 skupin:

1) Dle stupně konstrukce:

a) stroje první generace: Tyto stroje jsou odvozeny od běžných obráběcích strojů a jsou málo přizpůsobitelné pro zapojení řídicího systému. Pro dnešní výrobu jsou již nevyhovující, protože konstrukce těchto původně ručně řízených strojů je nedostatečně přizpůsobená pro automatické řízení.

b) stroje druhé generace: Konstrukce těchto strojů byla již vyvíjena pro číslicové řízení. Výměna obrobků a nástrojů v revolverových hlavách je prováděna ručně, ale některé typy strojů již mají automatickou výměnu nástrojů (AVN). Jsou to poloautomatické stroje, které zcela nezplňují všechny podmínky, aby mohly být zařazeny do plně automatizovaných systémů.

c) stroje třetí generace: Významným konstrukčním prvkem těchto strojů je jejich stavebnicová konstrukce, což umožňovalo zlevnit jejich výrobu. Vyznačují se svým uzpůsobením pro strojní systémy s vyšším stupněm automatizace. Tyto stroje jsou vybaveny automatickou výměnou obrobků (AVO), ale výměna nástrojů v zásobníku je ruční.

d) stroje čtvrté generace: Tyto stroje lze již plně charakterizovat jako automaty s automatickou manipulací s obrobky, nástroji i třískami. Jejich konstrukce bývá často řešena jako stavebnicová. Často je v takových systémech vyžadován třisměnný provoz bez obsluhy, a proto musí mít aktivní kontrolu.

2) Dle tvaru obráběných dílů:

a) stroje pro výrobu plochých dílů – vrtačky, frézky

b) stroje pro výrobu dílů rotačního tvaru – soustruhy

3) Dle počtu výrobních operací stroje:

a) stroje pro jeden druh operace – jsou schopny při jednom upnutí obrobku vykonat jen operaci jednoho typu – vrtačky

b) stroje pro více druhů operací – jsou to tzv. operační centra, která jsou schopna na jedno upnutí obrobku provést několik operací

Každý CNC stroj je tvořen dvěma samostatnými celky:

1) Řízeným strojem, který je vybaven zařízením, jenž mu umožňuje vykonávat požadovaný průběh výrobního procesu. Podle řídicích signálů, které přijímají jednotlivé části zařízení jsou prováděny jednotlivé činnosti stroje.

2) Řídicím systémem, který na základě programu generuje na výstupu signály pro řízený stroj. Program může být uložen na vnitřní paměti, vnějším médiu nebo může být po částech předáván do vyrovnávací paměti.

K těmto základním celkům patří ještě přizpůsobovací obvody, které umožňují vzájemné propojení mezi řídicím systémem a řízeným strojem.[12]



Obr.6 CNC soustruh [13]

Nutné informace k řízení CNC stroje:

- 1) Informace o technologii obrábění: jsou charakterizovány řídicími funkcemi, které musí stroj vykonávat v určitých fázích obráběcího procesu – číslo nástroje, posuv, otáčky. Je to soupis řezných podmínek, které CNC stroj použije při obrábění.
- 2) Informace o geometrii obrábění: tyto informace udávají dráhu nástroje k obrobku a určují rozměry obráběné součásti.
- 3) Informace pomocné: zabezpečují chod přídatných pracovních funkcí – fixace suportu, zapínání chladicího okruhu apd.

Všechny informace potřebné k řízení CNC stroje jsou zaznamenávány na nosiče informací, ze kterých je lze snímat. Používanými nosiči informací jsou:

Děrné pásky: Jsou to již málo používané nosiče informací, které jsou vyráběny z různých materiálů a v různých rozměrech a barvách. Nejlevnější jsou papírové pásky a nejdražší jsou pásky plastické, které mohou být pokryty tenkou hliníkovou vrstvou. Předností děrných pásek je jejich tuhost a odolnost proti nečistotám a prachu. Nevýhodou je jejich choulostivost na teplo.

Magnetofonová páska: Tyto nosiče informací jsou již také málo využívány. Přenos z pásky je spolehlivý, umožňuje předávání velkého počtu informací a čtecí zařízení je jednoduché a levné. Nevýhodou je, že snímací zařízení musí být v neprašném a čistém prostředí, tedy mimo výrobní provoz.

Magnetická disková paměť: V současné době jednoznačně nejpoužívanější nosič informací. Umožňuje snímat velký počet informací v relativně krátkém čase. Má však velké požadavky na čistotu a stálost teploty, takže čtecí zařízení je často v místnosti mimo technologický provoz.

Definování souřadného systému CNC stroje:

Pro zadávání pojezdových drah nástrojů je nezbytné, aby byly jednoznačně určeny souřadné osy pracovního prostoru stroje.

Definice souřadné soustavy je dána normami (ČSN ISO 841)

Pravouhlá souřadná soustava: - osy X, Y, Z – označují směr posuvu

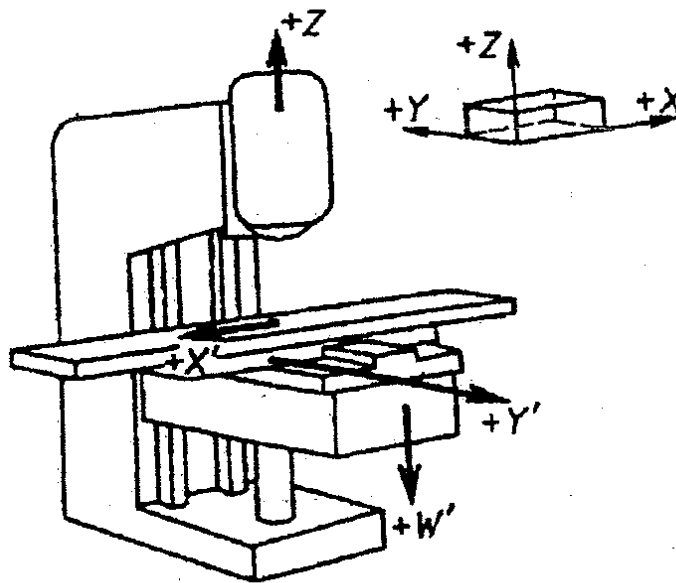
- osy A, B, C – označují směr rotace kolem os X, Y, Z

Hlavní osou CNC stroje je osa Z, která je rovnoběžná např. s osou vřetene stroje.

Osa X je hlavní osou v rovině upínání obrobku.

CNC stroj je charakterizován pohybovými osami, které můžeme rozdělit na osy:

- posuvové
- rotační [12]



Obr.7 Osy posuvu stroje [11]

Programování NC strojů

Zaváděním výpočetní techniky do výrobních procesů došlo k důležitým změnám ve výrobních technologiích. Při zvyšování výkonnosti počítačů se začaly úměrně zvyšovat i počty technických aplikací pro různé fáze procesu od konstrukce až po konečnou realizaci nového dílce. Programování obráběcích NC strojů je vysoce kvalifikovaná a náročná činnost, která patří do technické přípravy výroby. Kvalita řídicích programů je ovlivněna řídicím systémem NC stroje a znalostí programátora. Nároky na práci programátora se úměrně zvyšují s technickým růstem a složitostí CNC strojů a výpočetní techniky. S větší náročností a složitostí řídicích programů souvisí i možnost výskytu chyby z důvodu nepozornosti programátora.[12]

Řídicí program NC obráběcího stroje je soubor číselných informací o pracovní činnosti stroje, které jsou uloženy na nositeli informací. Tyto informace jsou NC stroji v průběhu operace postupně předávány.

Řídicí program je tvořen znaky, které se řadí do jednotlivých slov:

Informační slova jsou v následující posloupnosti:

- funkce přípravná
- funkce rozměrová
- funkce posunová
- funkce pro ovládání rychlosti otáčení vřetene
- funkce nástroje
- funkce pomocné

Adresová část slova: vyjadřuje funkci, kterou má stroj na daný signál provést, je vyjádřena písmenem

Významová část slova: Tvoří ji číslo, které vyjadřuje velikost funkce. V současnosti používají řídicí systémy proměnnou délku bloku – blok obsahuje jen funkce, které se mění nebo jsou v programu nové. Významové části slov můžeme dle charakteristiky rozdělit na slova rozměrová a slova bezrozměrová.

Adresa G: Označuje velký soubor přípravných funkcí. Tyto funkce připravují řídicí systém NC stroje na daný režim práce.

G – funkce se dělí do devíti hlavních skupin:

1. skupina – volby druhu interpolace
2. skupina – časové prodlevy
3. skupina – volby roviny interpolace
4. skupina – volby korekce na poloměr nástroje
5. skupina – volby posunutí počátku
6. skupina – volby programovacích jednotek

7. skupina – volby způsobu programování

8. skupina – předvolby zadání posuvu

9. skupina – předvolby funkcí vřetene

Všechny skupiny G – funkcí se dělí do dalších podskupin. G – funkce jsou základní funkce, které musí obsahovat každý řídicí systém, a proto jsou jednotlivá čísla funkcí uvedena v normě DIN 66025.

Adresa M: označuje pomocné funkce, kterými se vyvolávají činnosti jednotlivých mechanismů stroje. Tyto funkce jsou často označovány jako smíšené, protože se část těchto funkcí týká i řídicího systému.

Můžeme je rozdělit do čtyř skupin:

1. skupina – přerušení automatického cyklu

2. skupina – ukončení programu

3. skupina – ovládání vřetene

4. skupina – funkce dílčích mechanismů stroje

Adresa H: označuje přídavné funkce, protože se pod touto adresou většinou programují funkce přídavných zařízení

Adresa T: označuje funkci nástroje. Jedná se o čtyřmístné číslo u něhož první dvojčíslí určuje číslo nástroje a druhé dvojčíslí udává číslo příslušné nástrojové korekce z tabulky korekcí.

Adresa D: určuje číslo korekce nástroje, při programování zvláštním slovem.

Adresy L a P: označují volání podprogramu a určení hodnoty jeho opakování

Adresa R: značí tzv. parametr, neboli symbolické vyjádření významové části slova. Parametry se používají při modifikaci podprogramů, kterých můžou dnešní řídicí systémy používat stovky.

Rozšířená adresa: používá se jen u velmi složitých NC strojů, které mají velký počet souřadných os. V takových případech se musí adresy indexovat.

Systém CAM

CAM je systém počítačové podpory obrábění, jenž připravuje programy a data pro řízení CNC strojů pro automatickou výrobu dílů. CAM využívá informace o geometrii a další informace, které byly vytvořeny v programu CAD jako návrh. Systém CAM představuje automatizované řízení výroby na dílenské úrovni a obsahuje i sběr dalších dat jako skutečný stav výrobního procesu, NC řízené výrobní systémy, automatické dopravníky a sklady. CAM systém je schopen simulovat postup technologických operací při samotné výrobě součástí. Lze nasimulovat práci řezných nástrojů při obráběcích operacích jako je soustružení, frézování, vrtání, řezání vodním paprskem apod. Po ověření bezpečného chodu výroby dílu je modulem vytvořen program pro řízení NC a CNC strojů. Výsledkem CAM modulu je partprogram.

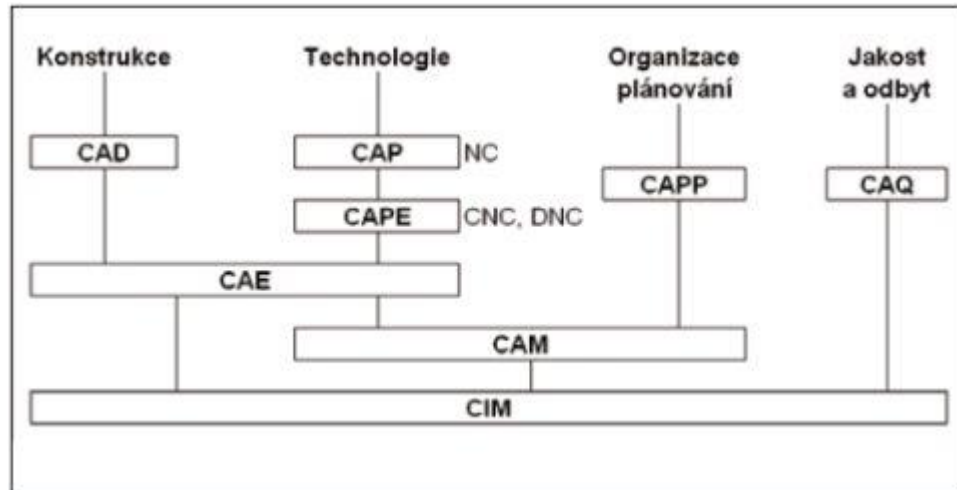
Partprogram je sled příslušných adres, který obsahuje kódový zápis technologie a geometrie součástí. Partprogram jasně udává obráběcí postup, který postprocesor upravuje pro konkrétní NC stroj. Při vytváření partprogramu musíme vycházet z údajů o geometrii nástrojů, geometrii polotovaru, geometrii výsledné součásti, technologických a řezných podmínkách a ostatních podmínkách, které jsou důležité pro činnost obráběcího stroje jako jsou korekce a pozice nástrojů.

Postprocesor zpracovává data z technologického a geometrického procesoru už s ohledem na určitý řídicí systém a NC obráběcí stroj. Postprocesor upravuje program k možnostem pracovního stroje a rozmísťuje pozice nástrojů v zásobníku. Jsou upraveny dráhy nástrojů do souřadného systému stroje, otáčky vřetene, rychlost posuvu a pak je program uložen na nosič informací. Velmi užitečnou součástí CAM systému je možnost získání informací o času, který je nutný pro výrobu určité součásti. S použitím daných informací můžeme přesněji stanovit nákladovost zakázky.

CAM udává čas na:

- celkovou dobu posuvu
- čas přejezdů
- čas na výměnu nástrojů

Nejnámějšími CAM systémy jsou Catia, SolidCAM/InventorCAM, CAD/CAM, Alpha-CAM, NX CAM a HSMWorks. [14]



Obr.8 Schématické znázornění vzájemné návaznosti jednotlivých systémů [15]

Frézování

Frézování je obráběcí metoda, při ní se materiál obráběné součásti odebrává břity otáčejícího se nástroje.[11] Proces probíhá dvěma na sebe vzájemně vázanými pohyby – rotačním pohybem nástroje a posuvným pohybem obrobku. Díky moderním obráběcím strojům lze posuvný pohyb obrobku měnit plynule ve všech směrech. Řezný proces je přerušovaný a nástroj – fréza má větší počet zubů a při obrábění odebrává každý zub určité množství materiálu. Břity, které nejsou v záběru se chladí. V současnosti se frézování charakterizuje vysokým výkonem, vysokou kvalitou obráběného povrchu, velkou přesností rozměrů a flexibilitou při obrábění tvarově složitých dílů. Frézováním můžeme obrábět rovné plochy, tvarové části i drážky.

Důsledkem neustále se zvětšující mnohostrannosti obráběcích strojů, řídicích systémů a řezných nástrojů se frézování mění ve stále univerzálnější metodu. Třískové obrábění má ve výrobě důležitou roli a i s příchodem moderních technologií jako je obrábění laserem, nebo vodním paprskem není pochyb, že ji bude mít i v budoucnu. Stroje se vyvinuly od klasických jednoúčelových frézek až po moderní vícené CNC stroje, jejich rozmanitost obrábění je se stále zdokonaluje.

Dle požadavků na součást a výkresu obrobku je zvolen způsob obrábění a nástroj. Podle vhodnosti pro výrobu pak vybereme svíslou, vodorovnou, nebo univerzální frézku, nebo CNC stroj.

Problémem při třískovém obrábění reznými nástroji je jejich stabilita, přesnost stroje a jeho celkový stav. Stabilita stroje je důležitá nejen pro kvalitu obrobku, ale také pro trvanlivost břitu nástroje.[17]



Obr.9 Frézy [16]

Při řezném procesu je důležité správně zvolit řeznou rychlost nástroje a posuvný pohyb obrobku. Tyto dva faktory obrábění jsou na sobě vzájemně závislé a jejich správnou volbou docílíme hospodárného obrábění a hladký a přesný povrch součásti.

Rovné plochy můžeme frézovat dvojím způsobem:

- válcovou frézou
- čelní frézou

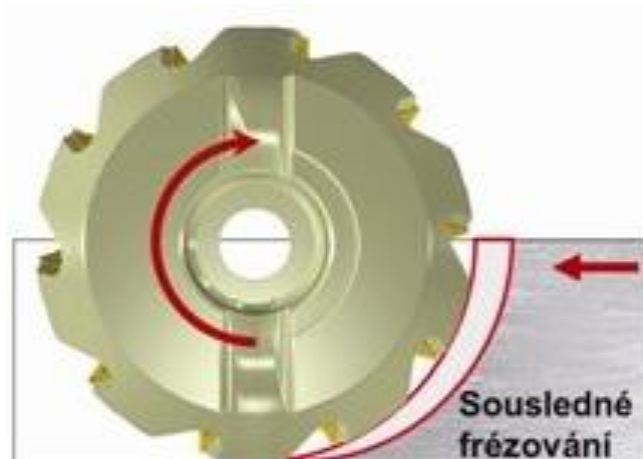
Sousledné frézování

Při sousledném frézování se fréza otáčí ve směru posuvu stolu s obráběným dílcem. Průřez třísky a její tloušťka se zmenšují z maxima na minimální hodnoty. Při tomto způsobu frézování mohou vznikat rázy, které jsou důsledkem snahy frézy vtahovat obrobek pod sebe. Tento negativní jev však může poškodit ústrojí frézky, a proto se při sousledném frézování využívají speciální zařízení, kterými lze vymezit vůli mezi posuvovým šroubem stolu a jeho maticí. Při použití tohoto zařízení je posuv pracovního stolu klidný a je zaručena dobrá jakost obráběné plochy. Uplatňuje se na frézkách tuhé konstrukce a používá se při obrábění měkkých a houževnatých materiálů.

Sousledné frézování má o 30 – 50 % větší výkon než frézování nesousledné při stejné trvanlivosti nástroje. Dalšími výhodami jsou příznivější podmínky pro upínání obrobku a menší drsnost povrchu než u nesousledného frézování.

Charakteristika sousledného frézování:

- menší sklon ke chvění
- třísky mění svůj průřez z maximálních hodnot do minimálních
- řezná síla působí převážně do obrobku
- nižší sklon k vytváření nárůstku
- obráběná plocha je tvořena při výjezdu zubu ze záběru
- příznivější zbytkové pnutí [17]



Obr.10 Průběh sousledného frézování [18]

Nesousledné frézování

Při nesousledném frézování se řezný nástroj otáčí proti směru posuvu obrobku. Obráběná plocha je se vytváří při vnikání nástroje do obrobku. Průřez třísky a její tloušťka se postupně zvětšuje z nulové hodnoty až na hodnotu maximální. K oddělení třísky dochází až po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předešlým zubem. U nesousledného frézování vznikají při řezném procesu silové účinky a deformace, které způsobují zvýšené opotřebení břitu nástroje. Při tomto typu obrábění má řezná síla složku, která působí směrem nahoru a má snahu odtažovat obrobek od upínacího stolu.

Nesousledné frézování je zvláště výhodné pro obrábění výkovků, vylisků a odlitků, které mají tvrdý a nečistý povrch. U tohoto druhu frézování není nutné žádné další zařízení k vymezování vůle v posuvovém ústrojí stroje, a proto je nesousledné frézování nejpoužívanějším způsobem frézování.

Charakteristika nesousledného frézování:

- třísky mění svůj průřez z minimálních hodnot do maximálních
- řezná síla působí převážně ven z obrobku
- lepší odvod třísek
- horší jakost povrchu
- nutné vyšší upínací síly
- není nutné vymezovat vůli v posuvovém ústrojí [17]



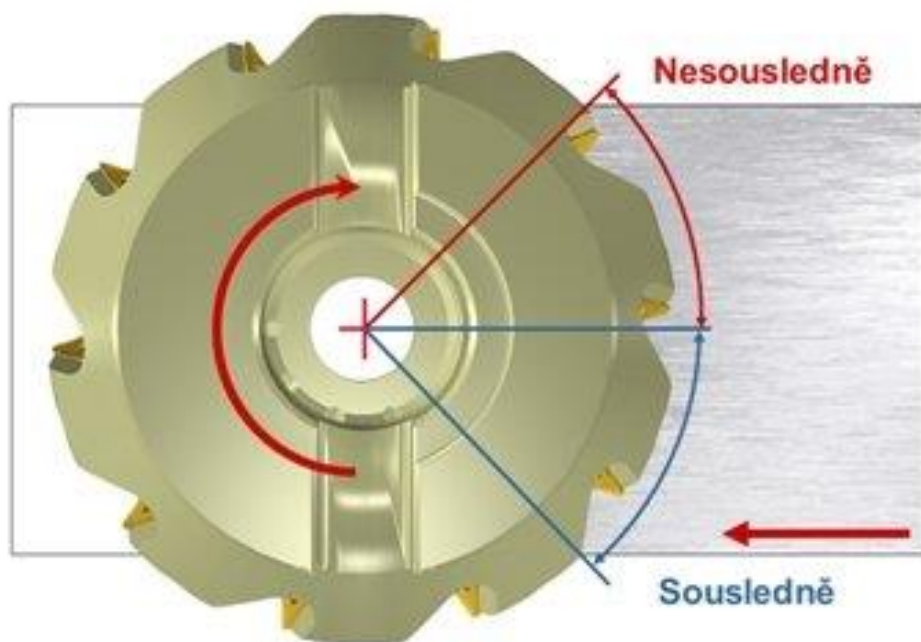
Obr.11 Průběh nesousledného frézování [18]

Čelní frézování

Při čelním frézování je osa obráběcího nástroje kolmá k obráběné ploše. Největší díl materiálu je odebrán břity, které jsou po obvodu nástroje. Břity na čele frézy povrch jen dokončují a hladí. Z toho důvodu je kvalita obrobené plochy lepší než u válcových fréz při sousledném a nesousledném frézování. Dalším důvodem je to, že při frézování je v záběru současně víc zubů a zatížení stroje a nástroje je rovnoměrné a nevzniká chvění. Čelní válcové plochy se používají především na vertikálních frézách, ale lze je využívat i na frézách horizontálních. Dle polohy osy frézy k frézované ploše dělíme frézování na symetrické a nesymetrické. Při řezném procesu u čelního frézování pracuje fréza zároveň sousledně i nesousledně.

Charakteristika čelního frézování:

- je produktivnější než válcové frézy
- upnutí nástroje je tužší
- menší chvění
- klidnější pracovní chod [17]



Obr.12 Průběh čelního frézování [18]

Frézky

Frézky jsou frézovací stroje, na nichž se můžou obrábět rovinné i tvarové plochy. S použitím vysoce výkonných nástrojů s keramickými reznými destičkami a slinutými karbidy je tato metoda obrábění vysoce produktivní. Frézky se vyrábějí v několika velikostech. Nej důležitější je rozměr upínacího stolu a vzdálenost mezi vřetenem a stolem. Ta určuje maximální výšku frézovaného dílu, svislou, příčnou a podélnou délku pohybu stolu, rozsah posuvů, rozsah otáček vřetene, výkon motoru apod.

Dle polohy vřetena frézky dělíme na:

- horizontální
- vertikální

Dle konstrukce a účelu frézky dělíme na:

- konzolové: vodorovné, svislé a univerzální
- rovinné: jsou určeny pro obrábění největších obrobků
- stolové: vodorovné a svislé, pro obrábění větších součástí
- portálové: mají příčník, dva stojany a čtyři vřeteníky, které jsou natáčecí. Můžou se zde obrábět vodorovné, šikmé i svislé plochy.
- speciální: kopírovací, číslicově řízené s revolverovou hlavou a obráběcí centra [11]



Obr.13 Frézka [19]

2 HODNOCENÍ JAKOSTI VÝROBKŮ

Kvalita povrchu součásti je celkový souhrn chemických a geometrických vlastností povrchu posuzované plochy. Jakost povrchu každé z ploch hotového dílu se odvíjí od způsobu zpracování materiálu na polotovaru a na způsobu konečného obrábění. Dle toho můžeme na součásti rozlišovat plochy obrobené a neobrobené, s povrchovou úpravou a nebo bez povrchové úpravy. Kvalita povrchu součásti má vliv na trvanlivost a přesnost stroje. U kvality povrchu strojních součástí se musí rozlišovat druh povrchu, jeho vlnitost a drsnost.

Povrch může být:

- obrobený: plochy vznikají obráběním
- neobrobený: plochy jsou z původního polotovaru
- ideální: je definován v technické dokumentaci
- skutečný: pravidelné velmi jemné nerovnosti rozložené po celé ploše

Kvalita povrchu se volí dle funkčních vlastností součástí. Závisí na ní funkční vlastnosti strojů, jejich životnost, výrobní náklady i vzhled. Při sériové výrobě je stejná kvalita povrchu jedna z podmínek vyměnitelnosti součástí.

Strojní součásti mají dva základní typy ploch:

- stykové: při vzájemném styku dvou součástí ovlivňuje jejich jakost funkčnost celé soustavy
- volné: nejsou ve vzájemném styku s jinými součástmi

S postupným zvyšováním jakosti povrchu se snižuje drsnost a zvětšuje se nosný podíl obrobené plochy, ale zároveň se zvyšují výrobní náklady. Hodnota drsnosti ovlivňuje velikost tření a tím i opotřebením součástí. I když jsou obráběcí stroje v současné době na velmi vysoké technické úrovni, není možno současnou technologií vyrobit dokonale hladký a rovný povrch.

Tvar povrchu: obecný tvar povrchu při vyloučení drsnosti a vlnitosti. Tyto úchytky mohou být způsobeny špatnou přímostí vodících ploch, nedostatečnou tuhostí nebo tepelnou deformací obráběné plochy.[20]



Obr.14 Tvar povrchu [20]

Vlnitost povrchu: je nepravidelnost povrchu, která je způsobena společným působením soustavy stroj – nástroj – obrobek. Ručně obrobený povrch je vlnitý, při strojním obrábění má povrch malou vlnitost a velmi rovnoměrného povrchu se dosáhne jen velmi přesnou strojovou výrobou nebo přelícováním . [21]



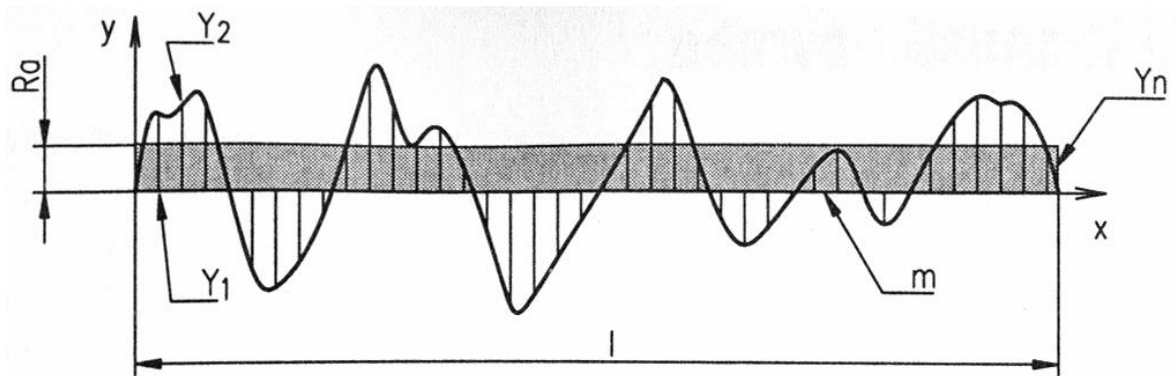
Obr.15 Vlnitost povrchu [20]

Drsnost povrchu: jsou nepravidelnosti, které vznikly během výrobního procesu (je to výsledek vzájemného pohybu mezi nástrojem a obrobkem). Povrch je ale ovlivněn i mechanismem vytváření třísky, což se projevuje vytrháváním částic materiálu a to ovlivňuje charakter povrchu.



Obr.16 Drsnost povrchu [20]

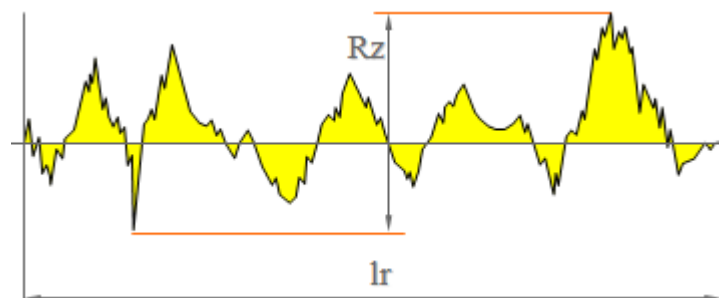
Metodiku hodnocení kvality povrchu udává norma ČSN EN ISO 4287 a 4288.



Obr.17 Parametry drsnosti [20]

- l** ... základní délka
- Ra** ... střední aritmetická úchylka profilu
- Rz** ... výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů
- Ry** ... největší výška nerovnosti profilu
- Sm** ... střední rozteč nerovností profilu
- S** ... střední rozteč místních výstupků profilu
- lp** ... nosný podíl profilu

Největší výška profilu Rz: patří mezi výškové parametry. Je to součet výšky nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižšího profilu v rozsahu základní délky.



Obr.18 Výška Rz profilu [20]

Průměrná šířka prvků profilu R_{sm} : patří mezi *frekvenční* parametry. Je to aritmetický průměr šířek prvků profilu v rozsahu základní délky.

Střední aritmetická úchylka profilu R_a : je to aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic v celém rozmezí základní délky. Neudává kompletní informace o celkovém tvaru nepravidelností povrchu součásti.

Statistická metoda určení R_a

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n}$$

Integrální metoda určení R_a

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

Střední aritmetická úchylka povrchu R_a [μm]							Typická metoda výroby povrchu
0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	Dokončovací metody (broušení, lapování apod.)
1,6	3,2	6,3	12,5				Běžné obrábění (soustružení, frézování apod.)
25	50	100	200	400			Povrch polotovarů (výkovky, odlitky apod.)

Tab.1 R_a různých povrchů [20]

Způsob výroby	R_a	Způsob výroby	R_a
Ruční pilování jemné	1,6	Hoblování	3,2 až 1,6
Soustružení	1,6 až 0,2	Protahování jemné	0,8
Vrtání, vyvrtávání	1,6 až 0,4	Vystružování	0,8
Broušení do kulata	0,4 až 0,025	Frézování	3,2 až 0,8
Broušení vnitřní	0,4 až 0,025	Lapování	0,1 až 0,05
Broušení na plocho	0,4	Hoblování superfiniš	a 3,2 až 0,025

Tab.2 R_a jednotlivých způsobů obrábění [20]

Obr.19 Soustružený povrch [22]

Materiálový poměr R_{mr} : Je to jedno z nejdůležitějších hodnocení povrchu. Jde o hodnocení využití dotykové plochy při vzájemném pohybu dvou součástí.

Materiálový poměr R_{mr} je poměr délky nosné plochy v kterékoliv hloubce profilu k celkové délce profilu. Vyjadřuje se v procentech.

$$R_{mr} = \frac{a + b + c + d + e}{L} \cdot 100$$

Tento materiálový poměr je poměr jen délek, nikoliv plochy.[21]

2.1 Měření drsnosti povrchu

Pomocí přístrojů různé konstrukce a přesnosti se určuje drsnost povrchu přímým nebo nepřímým měřením.

Metody pro měření drsnosti jsou:

- kvantitativní: určují se číselné hodnoty drsnosti v parametrech dle normy
- kvalitativní: porovnání jakosti povrchu s etalony vzorkovnic
- souhrnná kontrola povrchu: hodnota drsnosti se určí z profilové křivky

Kvantitativní metody

Pro určení číselné hodnoty drsnosti povrchu se používají optické přístroje, elektrické, pneumatické, mechanické a mechanicko - optické.

Přístroje pracují dvěma způsoby:

- bezdotykovým – optické: a) založené na metodě světelného řezu
b) využívající interference světla
- dotykovým - elektronické

Kvalitativní metody

Kvalita povrchu se porovnává se vzorkovnicí povrchů, které jsou vyrobeny různými obráběcími metodami – vrtáním, soustružením, frézováním, broušením a hodnoty drsnosti s tolerancí odpovídají hodnotám stupně přesnosti. [23]



Obr.20 Vzorkovnice drsnosti povrchu [24]

3 METODY HODNOCENÍ KMITÁNÍ TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVY

Celkové kmitání stroje je měřítkem energie, které souvisí se všemi vibracemi v daném bodě. Výhodou diagnostiky stroje na základě celkových vibrací jsou nízké pořizovací náklady a rychlost vyhodnocení. Nevýhodou je možnost ztráty diagnostické informace v šumu signálu, který je způsoben přenosem vibrací z jiných částí strojního komplexu a malá možnost určení přesné lokality příčiny vibrací stroje.

Mechanické kmitání

Mechanické kmitání je dynamický jev, při kterém tuhá tělesa nebo hmotné body vykonávají vratný pohyb okolo své klidové rovnovážné polohy. Rovnovážná poloha každého tělesa je dána nulovou hodnotou působících sil a v opačném případě je kmitání tělesa vždy způsobeno budící silou, jež může být jak externí tak interní. V technické diagnostice prezentujeme tuhé těleso jako celek, který můžeme nahradit jediným hmotným bodem a pohyb všech částí tělesa je vždy v daném časovém okamžiku stejný. Hodnoty veličin vibrací jsou určeny budící silou, jejím směrem a kmitočtem. Mechanický systém má šest stupňů volnosti.

Vibrace tělesa jsou určeny kombinací těchto šesti pohybů:

- posunem v ortogonální soustavě souřadnic x , y , z
- rotací kolem os x , y , z

U většiny mechanických systémů těleso nekmitá jako jeden pevný bod a dochází ke vzniku vln. Vlna představuje změnu vlastností nebo fyzikálního stavu prostředí, které se v tomto prostředí šíří a přenáší energii, aniž by zároveň docházelo k přemístování prostředí.

Vibrace stroje jsou často úzce spojeny s dynamickým namáháním stroje a technickým stavem převodovek, ložisek, hřídelů, vačkových mechanismů, klikových ústrojí, vůlemi v kluzných ložiscích, nevyváženosti rotujících dílů, mechanickým opotřebením, únavou materiálu, vznikajícími trhlinami, korozí apod. Mechanické kmitání je často také způsobeno rázy, které vznikají střetem dvou navzájem se pohybujících těles. Rázy způsobují přechodný kmitavý jev, jež generuje v tělese postupnou rázovou vlnu.

Podle časových změn veličin mohou mít vibrace charakter periodický, neperiodický nebo náhodný. Při diagnostice strojů musíme rozlišit absolutní a relativní vibrace. U absolutních vibrací tělesa se pohyb tělesa vztahuje ke gravitačnímu poli zeměkoule neboli k pevnému bodu. Relativní vibrace tělesa jsou vyhodnocovány vůči zvolenému reálnému bodu, který může být také v pohybu.

Senzory vibrací dělíme dle principu:

- absolutní senzory
- relativní senzory

Absolutní senzory vibrací měří velikost mechanických vibrací vzhledem k vlastní setrvačné soustavě. Používají se tam, kde není žádný relativně pevný bod k uchycení vztažného bodu senzoru – letadla, ložiskové skříně apod.

Relativní senzory vibrací jsou bezdotykové senzory užitečné pro vyhodnocování vibrací jedné části stroje vůči druhé.

3.1 Akcelerometry

Piezoelektrický akcelerometr

Je nejpoužívanějším typem absolutních senzorů vibrací. Podstatou funkce piezoelektrických senzorů je přímý piezoelektrický jev, při kterém deformacemi daných krystalických nebo polykrystalických látek vzniká dipólový elektrický moment objemového elementu a ve výsledku způsobí elektrickou polarizaci čidla. Piezoelektrický jev je závislý na směru deformace vzhledem k osám krystalické mřížky.

Pro elementy piezoelektrických akcelerometrů se nejčastěji používá modifikace křemene, piezokeramiky a některé piezoelektrické polymery.

Piezorezistivní akcelerometr

Tyto akcelerometry jsou založeny na piezorezistivním jevu, jenž je charakterizován působením krystalografické orientace hmoty na rezistivním materiálu. Ze všech typů akcelerometrů mají tyto akcelerometry největší poměr citlivosti vůči hmotnosti.

Kapacitní akcelerometry

Kapacitní akcelerometry jsou velmi přesné a citlivé, ale vhodné pouze pro nízké dynamické rozsahy zrychlení. Základem je monokrystalický substrát, na kterém je z polykrystalického křemíku na dvou pružných upevněních zavěšena seismická hmotnost ve tvaru hřebínku.

Laserové interferometrické vibrometry

Laserové vibrometry se používají při bezdotykových měřeních, kde standardní akcelerometry nedosahují požadovaných parametrů nebo tam kde je není možné z rozměrových a provozních důvodů použít. Laserové vibrometry jsou založeny na principu interference dvou koherentních, lineárně polarizovaných světelných paprsků. Jejich pomocí lze bezdotykově přímo měřit amplitudu kmitů čítáním interferenčních proužků. Tyto vibrometry se však používají pouze pro velmi nízké rychlosti vibrací. Pro provozní účely se vyrábí vibrometry, ke kterým se světlo přivádí pomocí vláknového, ohebného světlovodu do optické hlavice, kde se objektivem koncentruje do zvoleného bodu na povrchu objektu. Speciální vibrometry používají dvě samostatné hlavice, což umožňuje měření vibrací v 3D rozměrech nebo skenování vibrací ve větší ploše povrchu.[25]



Obr.21 Digitální analyzátor vibrací [26]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

V teoretické části diplomové práce byla popsána výroba vstřikovací formy, stroje, nástroje a materiály vhodné pro výrobu forem, hodnocení jakosti a princip měření kmitání u výrobních strojů.

Praktická část diplomové práce bude zaměřena na hodnocení kvality povrchu součástí v závislosti na kmitání technologické soustavy.

CÍL:

1. Provést experimentální měření
2. Vyhodnotit naměřená data

Broušení vzorků

Pro broušení byl použit vzorek materiálu 14 109 o rozměrech 50x50x20 mm. Při broušení byly postupně měněny technologické podmínky, které ovlivňují kmitání technologické soustavy a tím i jakost povrchu dílce.

V prvním případě byla konstantní hloubka úběru $a_p = 0,01$ mm a měnila se hodnota posuvové rychlosti:

1. $V_p = 2,5$ m/min
2. $V_p = 7$ m/min
3. $V_p = 12,5$ m/min
4. $V_p = 16,5$ m/min
5. $V_p = 23$ m/min

V druhém případě zůstala konstantní posuvová rychlost a měnila se hloubka úběru:

1. $a_p = 0,005$ mm
2. $a_p = 0,01$ mm
3. $a_p = 0,02$ mm
4. $a_p = 0,03$ mm
5. $a_p = 0,04$ mm

Pro následné statistické vyhodnocení kmitání soustavy bylo měření při všech technologických podmínkách provedeno minimálně pětkrát.

Měření bylo prováděno nejprve na neorovnaném kotouči a následně na orovnaném kotouči.

Pro broušení byl použit kotouč A 99B Is(k) 9 V. Jde o brusný kotouč z bílého korundu, který je měkký, má jemnou zrnitost a obsahuje keramické pojivo. Brousící kotouč je rozhodujícím činitelem pro výsledek broušení a volí se hlavně dle materiálu, který se bude obrábět. Všeobecně je dáno, že čím tvrdší je materiál obrobku, tím měkkší by měl být brousící kotouč a naopak.

Horizontální rovinná bruska BRH 20.03F

Broušení vzorků pro měření kmitání soustavy bylo prováděno na brusce BRH 20.03F. Jedná se o rovinnou brusku s horizontálním vřetenem a pravoúhlým stolem. Je určena pro broušení tvarových a rovinných dílců kovových materiálů, u nichž se vyžaduje vysoká přesnost rozměrů a jakost povrchu.

Obráběné dílce lze upnout na elektromagnetickou desku nebo přímo na upínací plochu stolu pomocí vhodných upínačů.

Bruska pracuje v uzavřeném automatickém cyklu, k jehož řízení je vybavena číslíkovou indikací NV 300E, které slouží k odměřování dráhy příčného a svislého posuvu při práci v ručním režimu a k řízení posuvu v automatickém cyklu.

Z koncepčního hlediska je bruska BRH 20.03F charakteristická tím, že stůl vykonává podélný pohyb a brusný vřeteník vykonává posuv příčný. Elektroskříň a hydraulický agregát tvoří samostatné celky umístěné mimo stroj.()

Měřicí přístroj Balantron

Pro měření hodnot kmitání technologické soustavy na horizontální rovinné brusce BRH 20.03F byl použit měřicí přístroj Balantron.

Přístroj Balantron slouží k měření kmitů, které vznikají při obrábění součástí a také k dokonalejšímu dynamickému vyvážení brousícího kotouče. Výhodou tohoto přístroje jsou jeho rozměry, mobilita a montáž na zařízení. Balantron se skládá ze tří částí – snímače, zobrazovací jednotky a aktuatoru.

Zobrazovací jednotka

Hlavní částí přístroje Balantron je zobrazovací jednotka s přehlednou stupnicí pro odečítání amplitudy kmitů.

Zobrazovací jednotka je opatřena přepínači, kterými se volí rozsah stupnice a tlačítka k ovládní aktuatoru.

Snímač

Snímač se umísťuje co nejbližšie ke zdroji kmitání. Uvnitř snímače je umístěn magnet, který umožňuje umístění snímače téměř na každé místo obráběcího stroje. Snímač a zobrazovací jednotka jsou propojeny kabelem.

Dle polohy umístění snímače se můžou měřit kmity příčné nebo podélné.

Ovládáním ladícího šroubu, lze nastavovat otáčky obráběcího stroje v rozmezí 1000 – 5000 ot/min.

Aktuator

Aktuator je akční člen přístroje pro vyvažování brousících kotoučů. Na obráběcí straně má diamantové hroty, které slouží pro opracování brousícího kotouče.



Obr.22 Přístroj Balatron [27]

4.1 Výsledky měření – neorovnaný kotouč

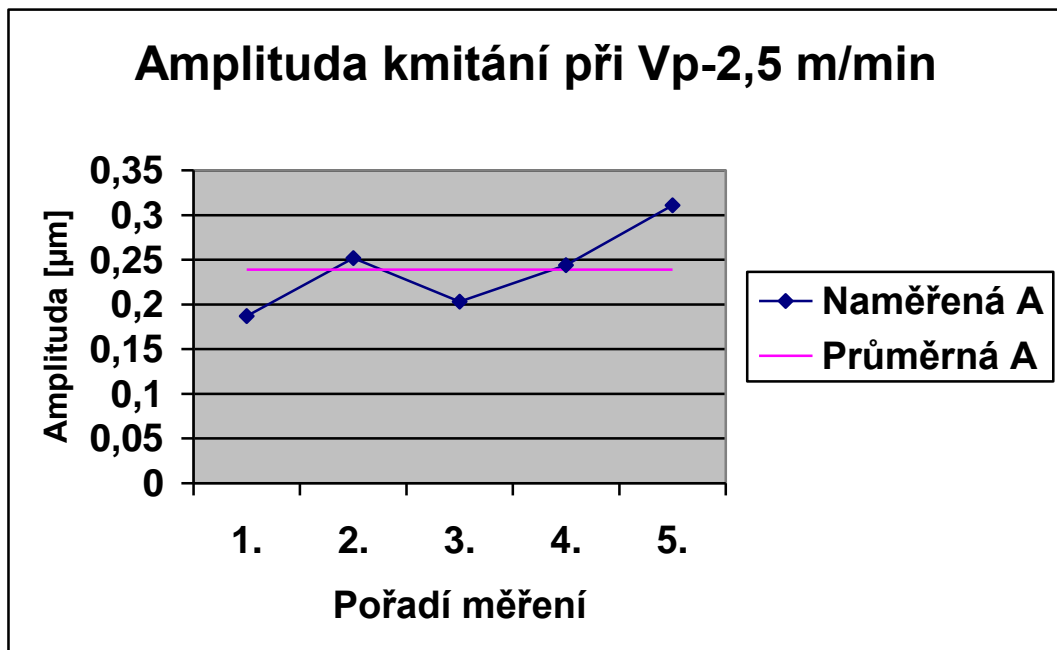
Měření 1

V_p - 2,5 m/min

a_p – 0,01 mm

Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	0.187	0.302	0.166	0.286	0.308	
	0.240	0.319	0.263	0.283	0.399	
	0.212	0.267	0.244	0.231	0.350	
	0.169	0.211	0.195	0.182	0.280	
	0.130	0.163	0.149	0.142	0.218	
Průměr	0.187	0.252	0.203	0.244	0.311	0.239
Směrodatná odchylka						0.4331

Tab. 3 Naměřené hodnoty při V_p - 2,5 m/min

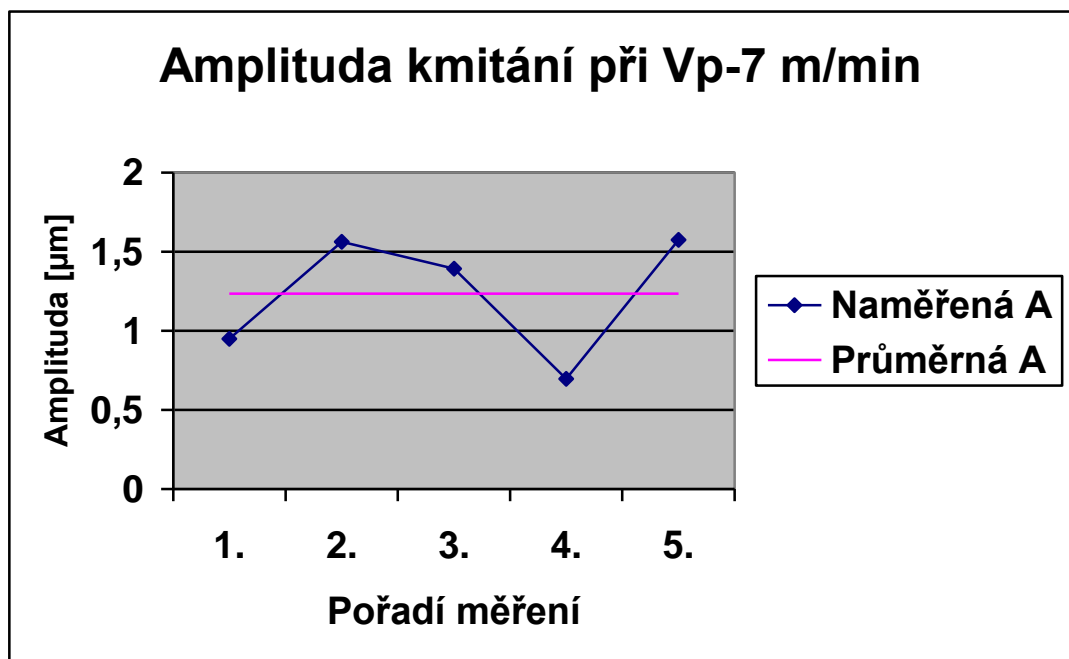


Graf 1. Amplituda kmitání při V_p -2,5 m/min

Měření 2

 $V_p - 7 \text{ m/min}$ $a_p - 0,01 \text{ mm}$

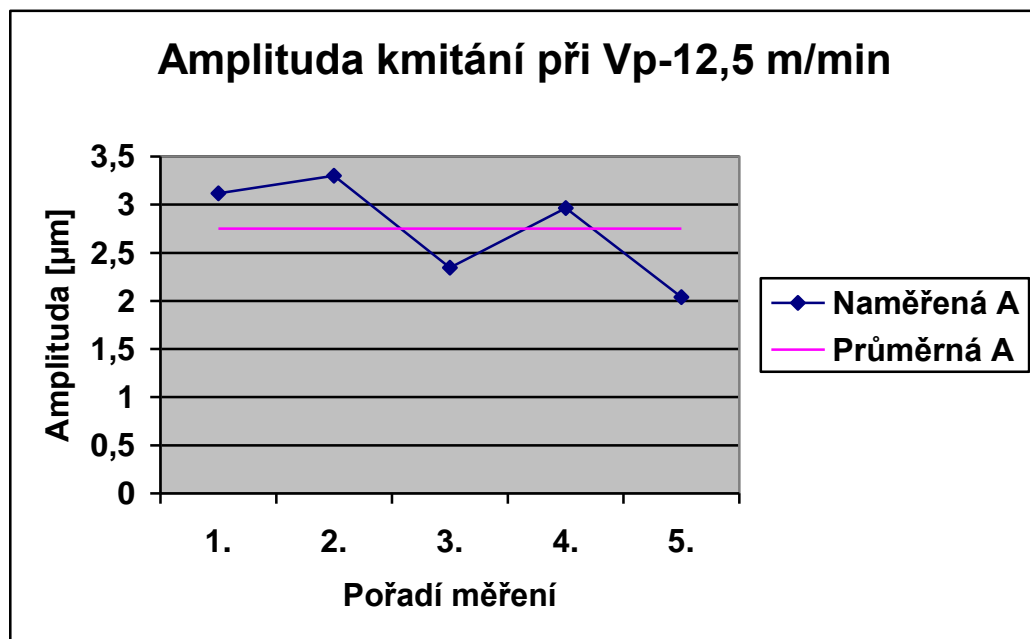
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	0,942	1,058	1,385	0,766	1,147	
	1,089	1,811	1,646	0,859	1,743	
	1,03	1,862	1,598	0,756	1,923	
	0,938	1,806	1,323	0,619	1,699	
	0,754	1,279	1,016	0,486	1,365	
Průměr	0,95	1,563	1,393	0,697	1,575	1,235
Směrodatná odchylka						0,3518

Tab. 4 Naměřené hodnoty při $V_p - 7 \text{ m/min}$ Graf 2. Amplituda kmitání při $V_p-7 \text{ m/min}$

Měření 3

 $V_p - 12,5 \text{ m/min}$ $a_p - 0,01 \text{ mm}$

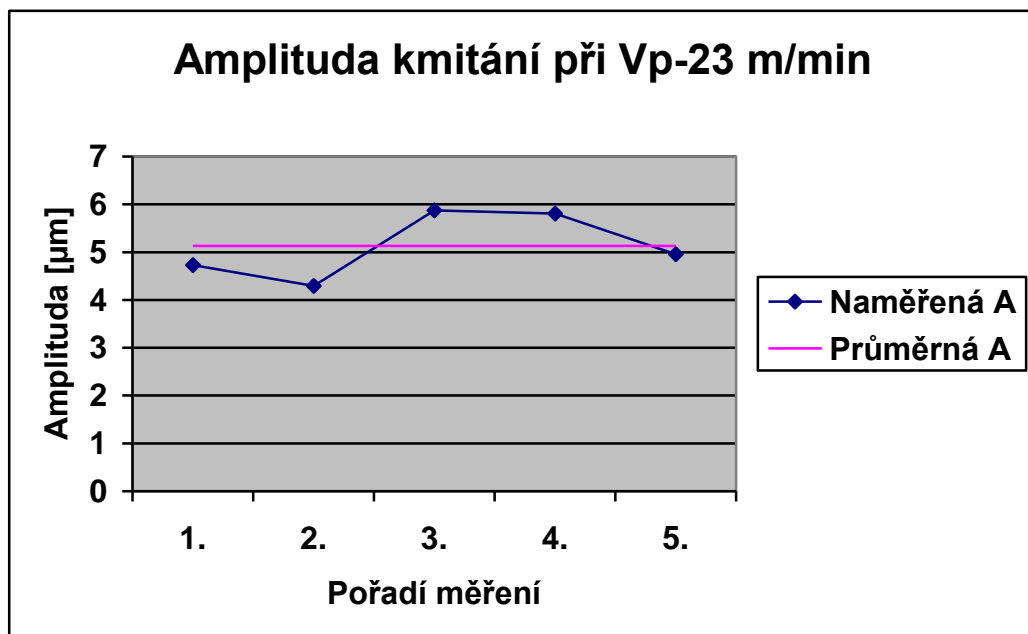
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	3,325	3,097	2,349	2,273	2,351	
	3,775	3,95	2,821	3,17	2,513	
	3,463	3,836	2,645	3,586	2,191	
	2,827	3,17	2,196	3,21	1,79	
	2,197	2,456	1,709	2,593	1,347	
Průměr	3,117	3,301	2,344	2,966	2,038	2,753
Směrodatná odchylka						0,48097

Tab. 5 Naměřené hodnoty při $V_p - 12,5 \text{ m/min}$ Graf 3. Amplituda kmitání při $V_p-12,5 \text{ m/min}$

Měření 4

 $V_p - 23 \text{ m/min}$ $a_p - 0,01 \text{ mm}$

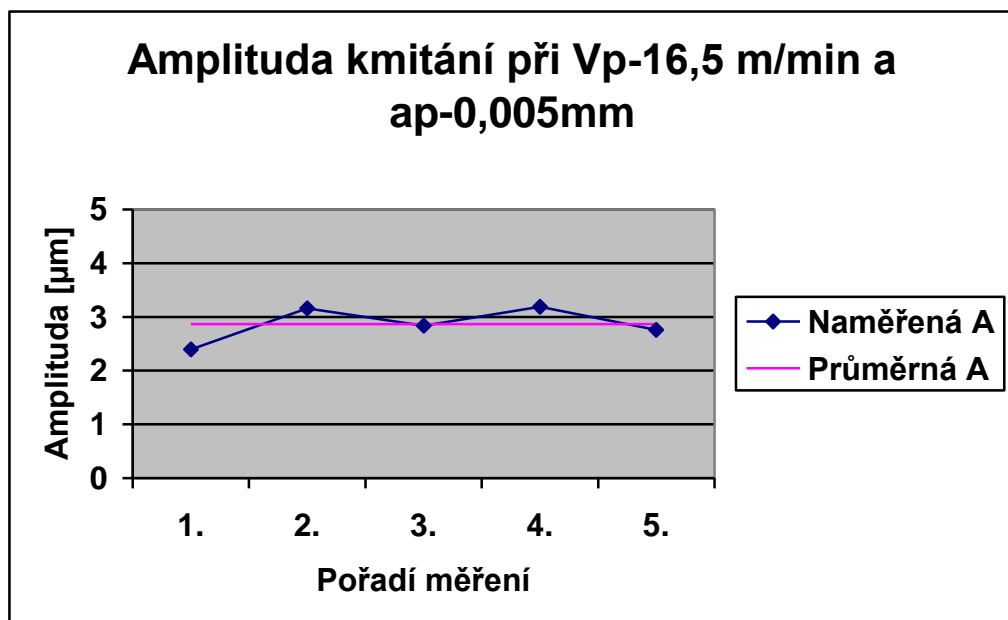
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	4,724	4,553	6,423	4,537	6,715	
	5,324	5,361	6,888	6,114	5,594	
	5,288	4,761	6,455	6,887	4,511	
	4,621	3,828	5,343	6,358	3,858	
	3,702	2,972	4,265	5,142	4,125	
Průměr	4,731	4,295	5,874	5,807	4,96	5,133
Směrodatná odchylka						0,61598

Tab. 6 Naměřené hodnoty při $V_p - 23 \text{ m/min}$ Graf 4. Amplituda kmitání při $V_p-23 \text{ m/min}$

Měření 5

 $V_p - 16,5 \text{ m/min}$ $a_p - 0,005 \text{ mm}$

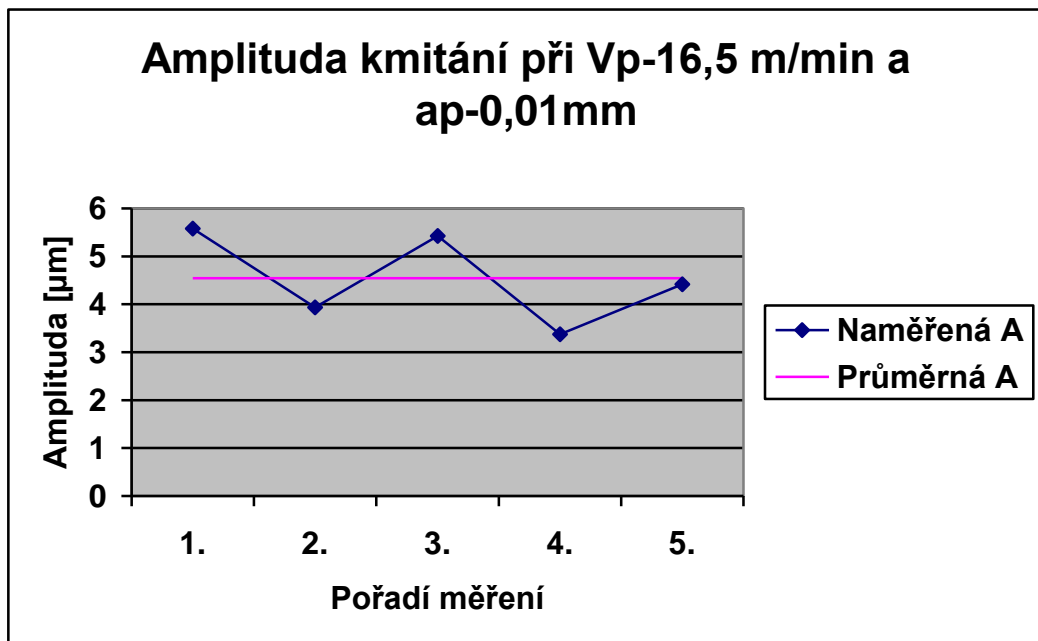
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	2,08	2,816	3,468	2,317	1,922	
	2,812	3,036	3,192	3,017	2,731	
	2,777	3,14	2,863	3,562	3,018	
	2,397	3,288	2,541	3,885	3,895	
	1,901	3,515	2,123	3,177	2,223	
Průměr	2,393	3,159	2,837	3,191	2,757	2,867
Směrodatná odchylka						0,29255

Tab.7 Naměřené hodnoty při $V_p - 16,5 \text{ m/min}$ a $a_p - 0,005 \text{ mm}$ Graf 5. Amplituda kmitání při $V_p-16,5 \text{ m/min}$ a $a_p-0,005\text{mm}$

Měření 6

 $V_p - 16,5 \text{ m/min}$ $a_p - 0,01 \text{ mm}$

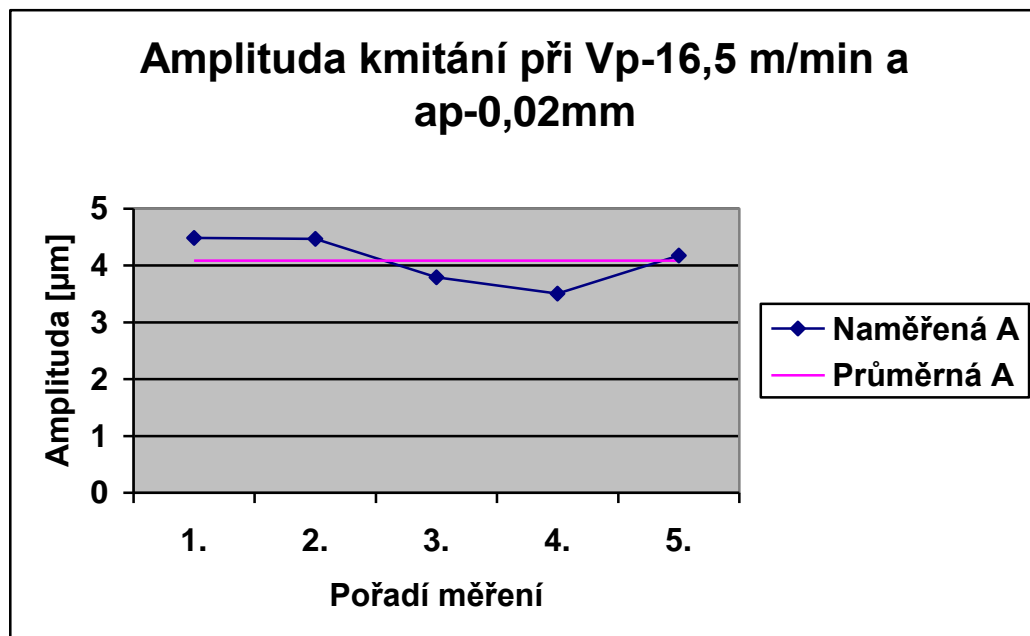
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	7,143	3,258	7,811	3,539	5,814	
	6,297	4,032	6,599	4,076	5,175	
	5,693	4,497	5,292	3,783	4,303	
	4,975	4,285	4,171	3,085	3,253	
	3,802	3,608	3,249	2,399	3,528	
Průměr	5,582	3,936	5,424	3,376	4,414	4,546
Směrodatná odchylka						0,84883

Tab. 8 Naměřené hodnoty při $V_p - 16,5 \text{ m/min}$ a $a_p - 0,01 \text{ mm}$ Graf 6. Amplituda kmitání při $V_p-16,5 \text{ m/min}$ a $a_p-0,01\text{mm}$

Měření 7

 $V_p - 16,5 \text{ m/min}$ $a_p - 0,02 \text{ mm}$

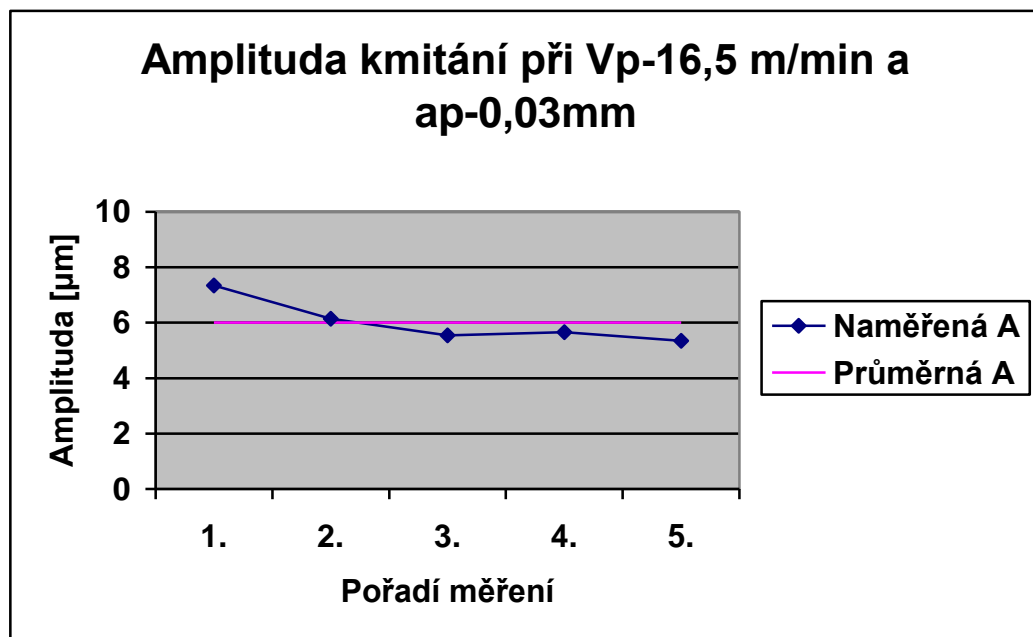
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	4.868	4.306	3.966	3.604	4.022	
	4.598	5.111	4.241	3.949	4.878	
	4.639	4.884	3.649	3.632	4.793	
	4.454	4.025	3.635	3.126	4.030	
	3.874	4.029	3.488	3.234	3.165	
Průměr	4.486	4.471	3.795	3.508	4.177	4,087
Směrodatná odchylka						0,38347

Tab.9 Naměřené hodnoty při $V_p - 16,5 \text{ m/min}$ a $a_p - 0,02 \text{ mm}$ Graf 7. Amplituda kmitání při $V_p-16,5 \text{ m/min}$ a $a_p-0,02\text{mm}$

Měření 8

 $V_p - 16,5 \text{ m/min}$ $a_p - 0,03 \text{ mm}$

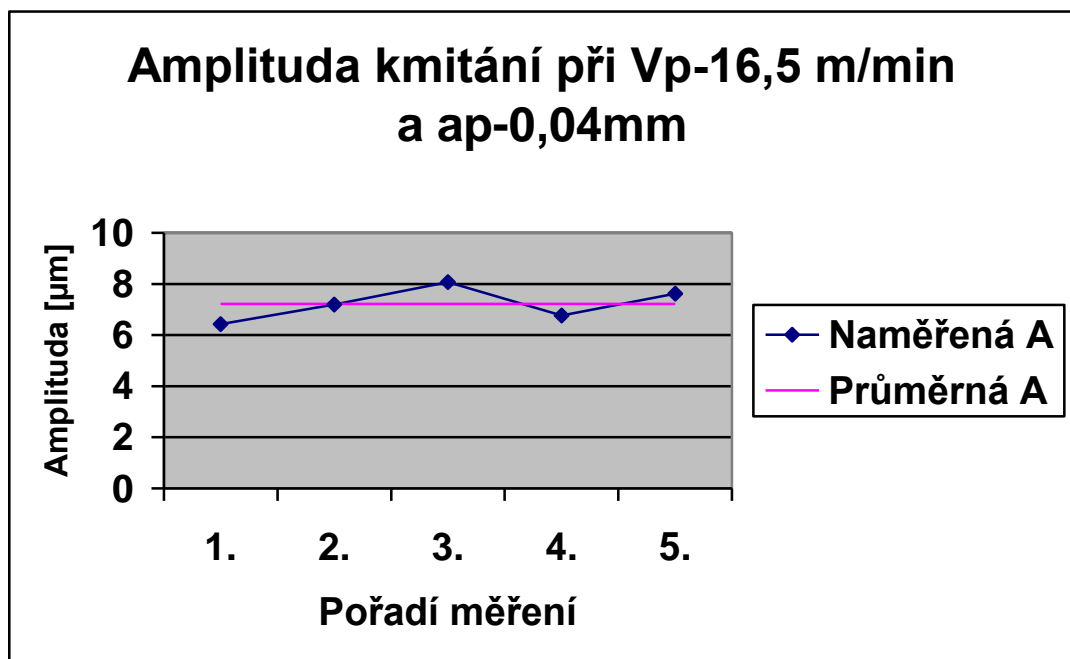
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	7,001	6,831	5,122	5,946	5,553	
	7,63	6,473	6,149	6,282	5,445	
	7,886	6,429	6,316	5,863	5,333	
	7,376	6,008	5,61	5,193	5,163	
	6,838	4,966	4,507	5,01	5,233	
Průměr	7,346	6,141	5,54	5,658	5,345	6,006
Směrodatná odchylka						0,71958

Tab.10 Naměřené hodnoty při $V_p - 16,5 \text{ m/min}$ a $a_p - 0,03 \text{ mm}$ Graf 8. Amplituda kmitání při $V_p-16,5 \text{ m/min}$ a $a_p-0,03\text{mm}$

Měření 9

 $V_p - 16,5 \text{ m/min}$ $a_p - 0,04 \text{ mm}$

Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	7,75	7,515	8,06	8,856	7,131	
	6,878	7,48	8,963	7,168	7,817	
	6,291	7,054	7,955	6,21	8,512	
	5,858	6,711	7,386	5,901	7,719	
	5,383	7,229	7,958	5,732	6,899	
Průměr	6,432	7,197	8,064	6,773	7,615	7,216
Směrodatná odchylka						0,5813

Tab.11 Naměřené hodnoty při $V_p - 16,5 \text{ m/min}$ $a_p - 0,04 \text{ mm}$ Graf 9. Amplituda kmitání při $V_p-16,5 \text{ m/min}$ a $a_p-0,005\text{mm}$

4.2 Výsledky měření – orovaný kotouč

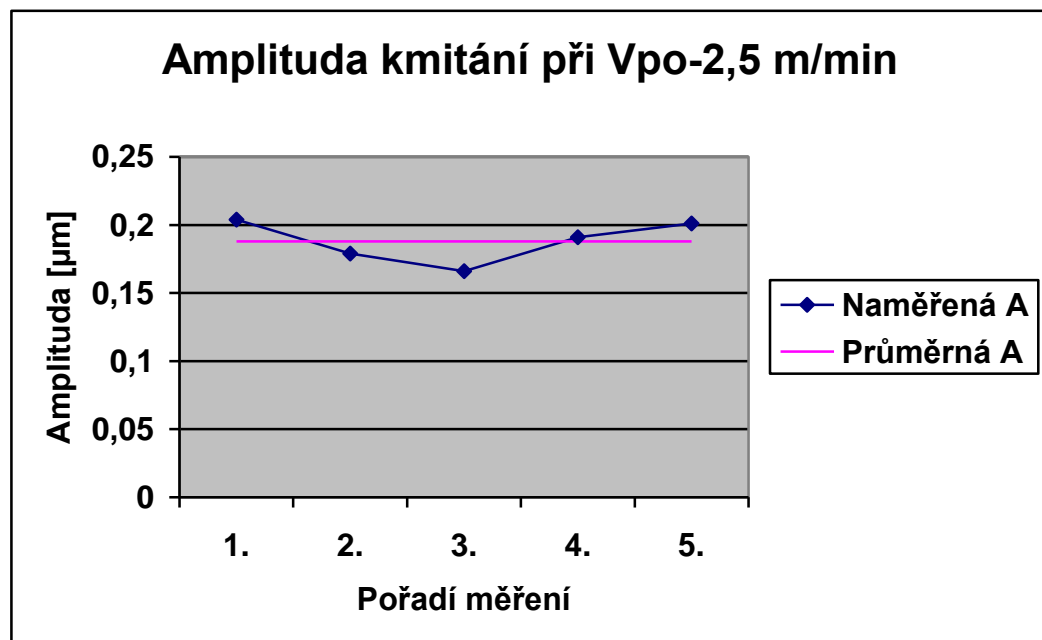
Měření 1

$V_{po} - 2,5 \text{ m/min}$

$a_p - 0,01 \text{ mm}$

Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	0,354	0,121	0,148	0,289	0,264	
	0,247	0,237	0,215	0,228	0,243	
	0,155	0,268	0,198	0,169	0,211	
	0,183	0,156	0,155	0,149	0,165	
	0,083	0,115	0,116	0,12	0,124	
Průměr	0,204	0,179	0,166	0,191	0,201	0,188
Směrodatná odchylka						0,01413

Tab.12 Naměřené hodnoty při $V_{po} - 2,5 \text{ m/min}$

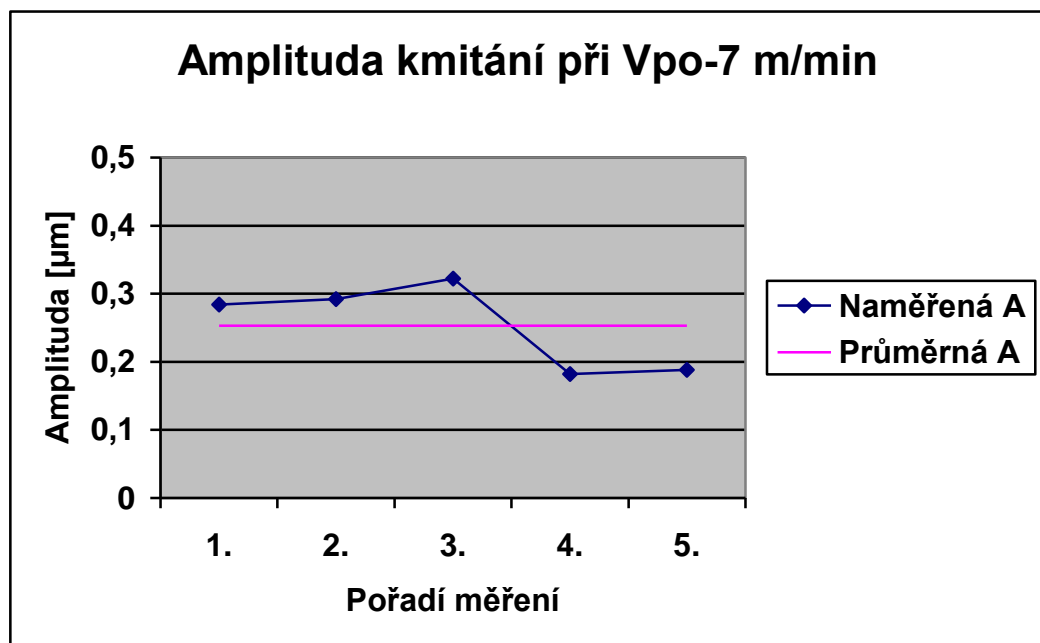


Graf 10. Amplituda kmitání při $V_{po}-2,5 \text{ m/min}$

Měření 2

 $V_{po} - 7 \text{ m/min}$ $a_p - 0,01 \text{ mm}$

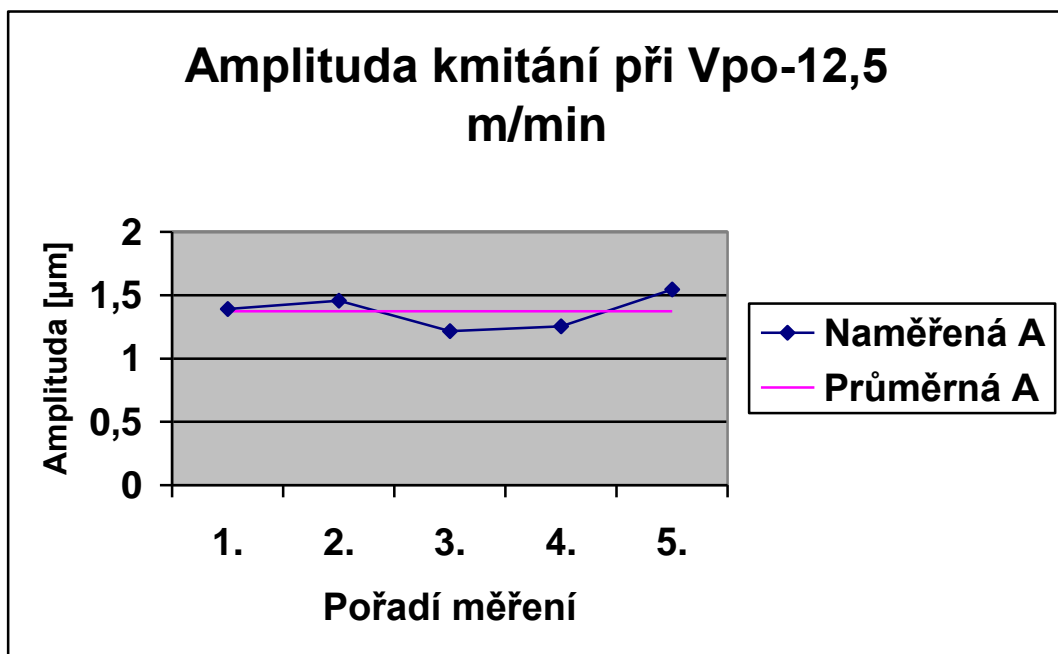
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	0,348	0,316	0,303	0,333	0,251	
	0,378	0,36	0,367	0,167	0,199	
	0,299	0,313	0,374	0,163	0,175	
	0,228	0,248	0,318	0,139	0,174	
	0,168	0,227	0,25	0,11	0,141	
Průměr	0,284	0,292	0,322	0,182	0,188	0,253
Směrodatná odchylka						0,05746

Tab.13 Naměřené hodnoty při $V_{po} - 7 \text{ m/min}$ Graf 11. Amplituda kmitání při $V_{po}-7 \text{ m/min}$

Měření 3

V_{po} – 12,5 m/mina_p – 0,01 mm

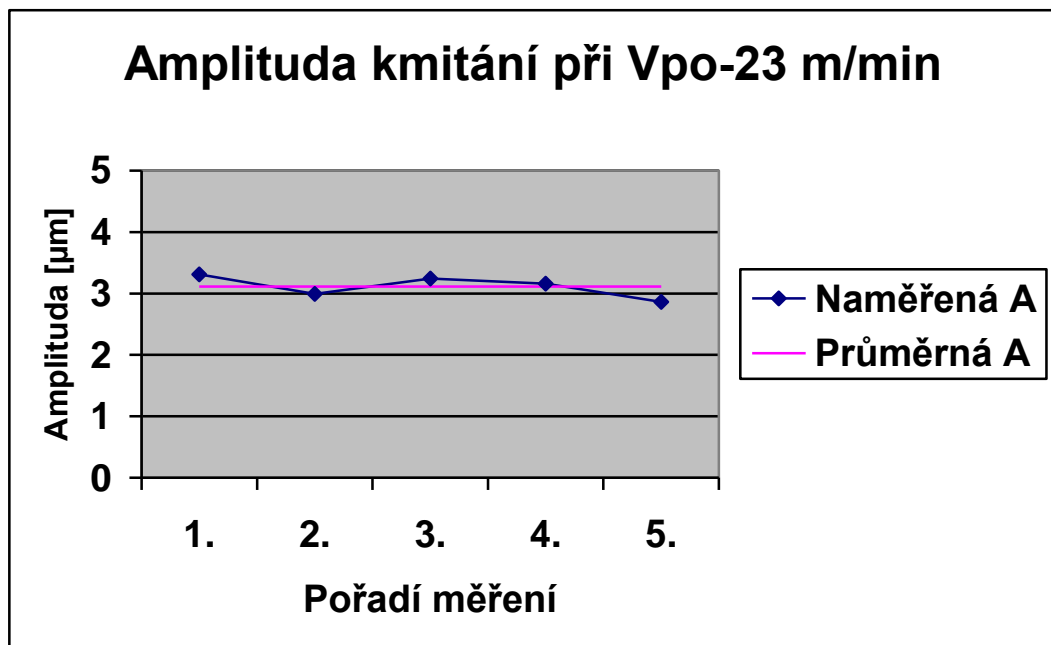
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	1,331	1,518	1,169	1,116	1,48	
	1,769	1,742	1,662	1,37	1,783	
	1,666	1,621	1,21	1,459	1,773	
	1,289	1,349	1,203	1,29	1,512	
	0,901	1,055	0,835	1,03	1,185	
Průměr	1,391	1,457	1,215	1,253	1,546	1,372
Směrodatná odchylka						0,12383

Tab.14 Naměřené hodnoty při V_{po} – 12,5 m/minGraf 12. Amplituda kmitání při V_{po}-12,5 m/min

Měření 4

V_{po} – 23 m/mina_p – 0,01 mm

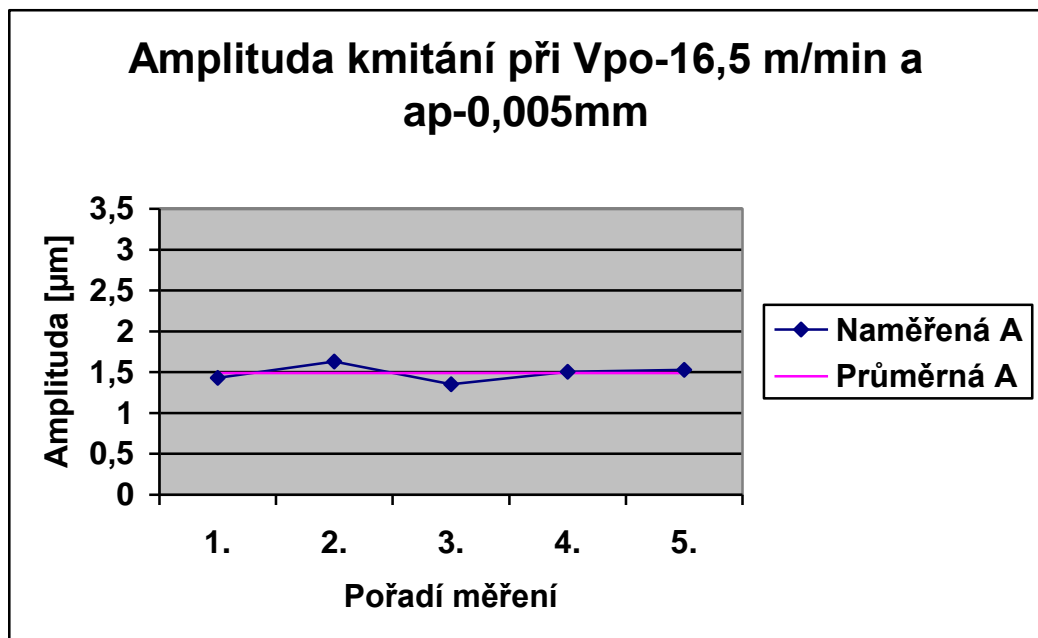
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	3,825	3,862	3,479	3,799	3,215	
	3,66	3,04	3,145	3,434	3,197	
	3,322	2,833	3,076	3,264	2,809	
	2,938	2,31	3,139	2,988	2,374	
	2,817	2,912	3,386	2,318	2,707	
Průměr	3,31	2,991	3,245	3,16	2,86	3,113
Směrodatná odchylka						0,16573

Tab.15 Naměřené hodnoty při V_{po} – 23 m/minGraf 13. Amplituda kmitání při V_{po}-23 m/min

Měření 5

V_{po} – 16,5 m/mina_p – 0,005 mm

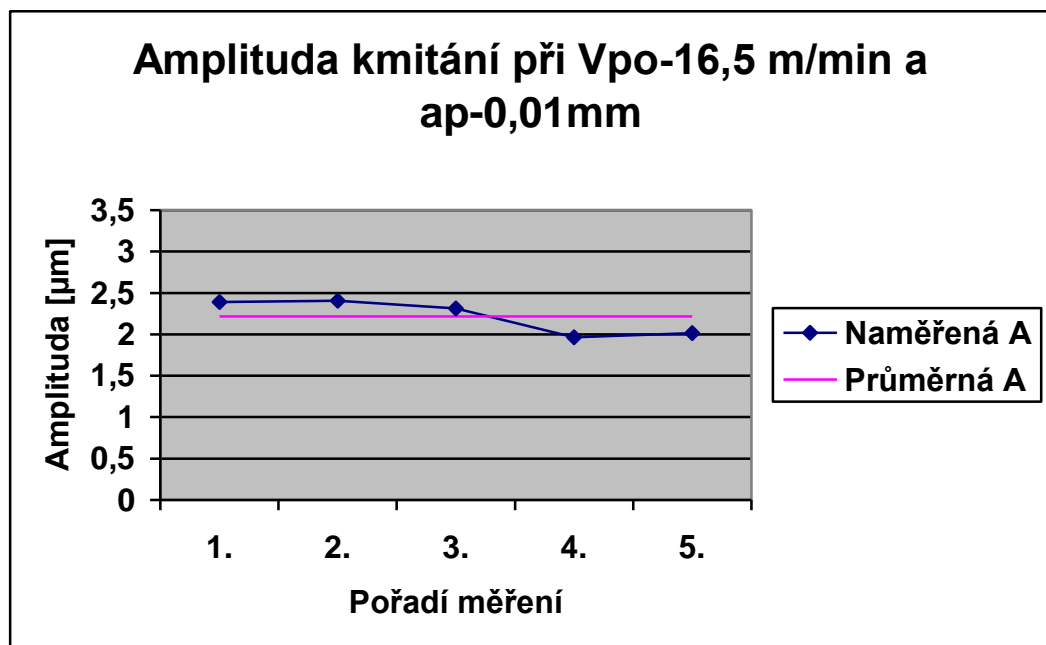
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	1,749	1,227	1,804	1,672	1,902	
	1,288	1,737	1,351	1,853	1,997	
	1,159	1,92	1,197	1,459	1,542	
	1,304	1,794	1,328	1,09	1,155	
	1,65	1,486	1,085	1,456	1,04	
Průměr	1,43	1,632	1,353	1,506	1,527	1,486
Směrodatná odchylka						0,9398

Tab.16 Naměřené hodnoty při V_{po} – 16,5 m/min a_p – 0,005 mmGraf 14. Amplituda kmitání při V_{po}-16,5 m/min a a_p-0,005mm

Měření 6

V_{po} – 16,5 m/mina_p – 0,01 mm

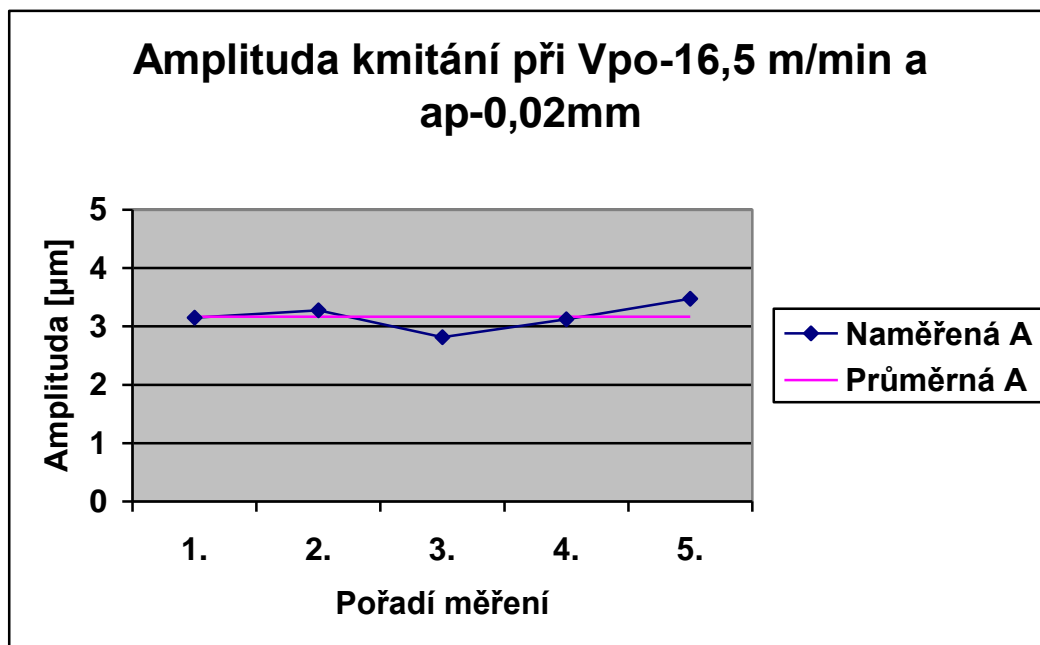
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	2,663	2,098	1,857	2,045	2,092	
	2,279	2,497	2,61	1,89	2,454	
	2,083	2,747	2,767	1,709	2,365	
	2,312	2,603	2,492	2,324	1,63	
	2,616	2,075	1,863	1,852	1,54	
Průměr	2,39	2,404	2,312	1,964	2,016	2,217
Směrodatná odchylka						0,18886

Tab.17 Naměřené hodnoty při V_{po} – 16,5 m/min a_p – 0,01 mmGraf 15. Amplituda kmitání při V_{po}-16,5 m/min a a_p-0,01mm

Měření 7

V_{po} – 16,5 m/mina_p – 0,02 mm

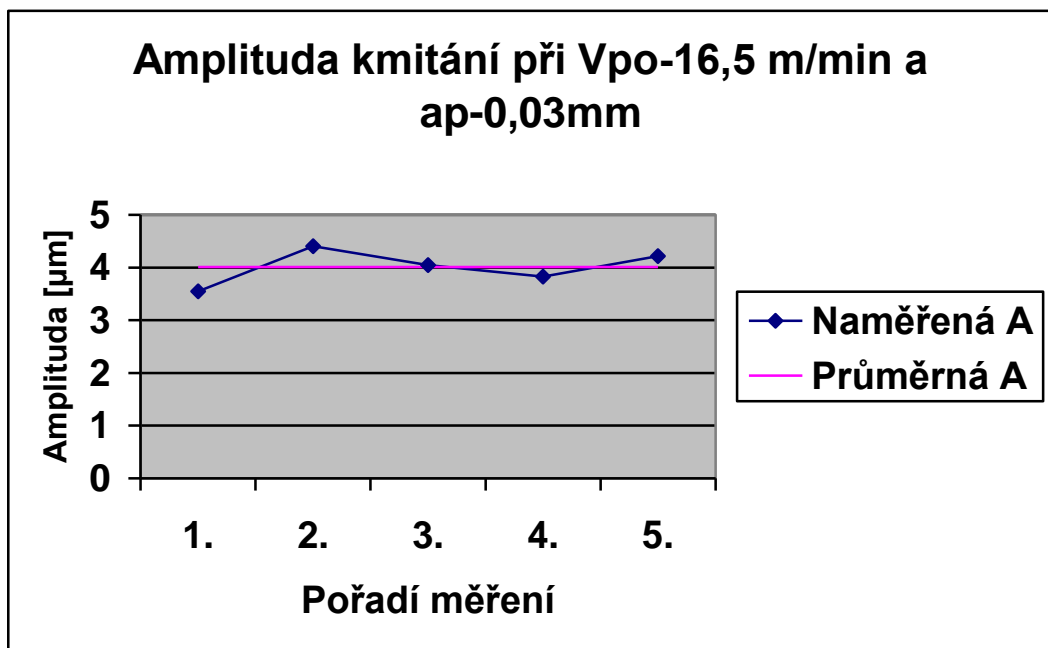
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	3,429	3,812	3,428	3,769	3,921	
	3,791	3,897	2,828	3,059	3,477	
	3,158	3,322	2,669	3,094	3,13	
	2,852	2,714	2,578	2,864	3,577	
	2,528	2,638	2,562	2,828	3,274	
Průměr	3,151	3,276	2,813	3,122	3,475	3,167
Směrodatná odchylka						0,21649

Tab.18 Naměřené hodnoty při V_{po} – 16,5 m/min a_p – 0,02 mmGraf 16. Amplituda kmitání při V_{po}-16,5 m/min a_p-0,02mm

Měření 8

V_{po} – 16,5 m/mina_p – 0,03 mm

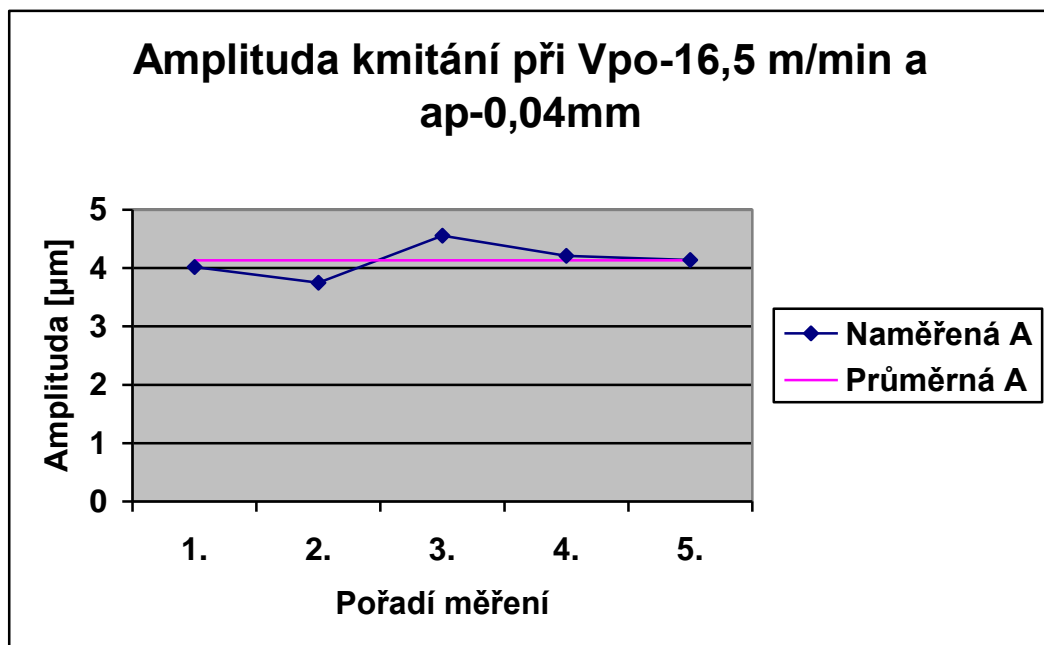
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	3,892	4,529	4,632	4,031	4,855	
	3,05	4,058	4,222	3,955	4,487	
	3,635	4,286	4,271	3,534	4,44	
	3,801	4,707	3,886	4,035	3,463	
	3,352	4,433	3,233	3,572	3,853	
Průměr	3,546	4,402	4,048	3,825	4,219	4,008
Směrodatná odchylka						0,29943

Tab.19 Naměřené hodnoty při V_{po} – 16,5 m/min a_p – 0,03 mmGraf 17. Amplituda kmitání při V_{po}-16,5 m/min a_p-0,03mm

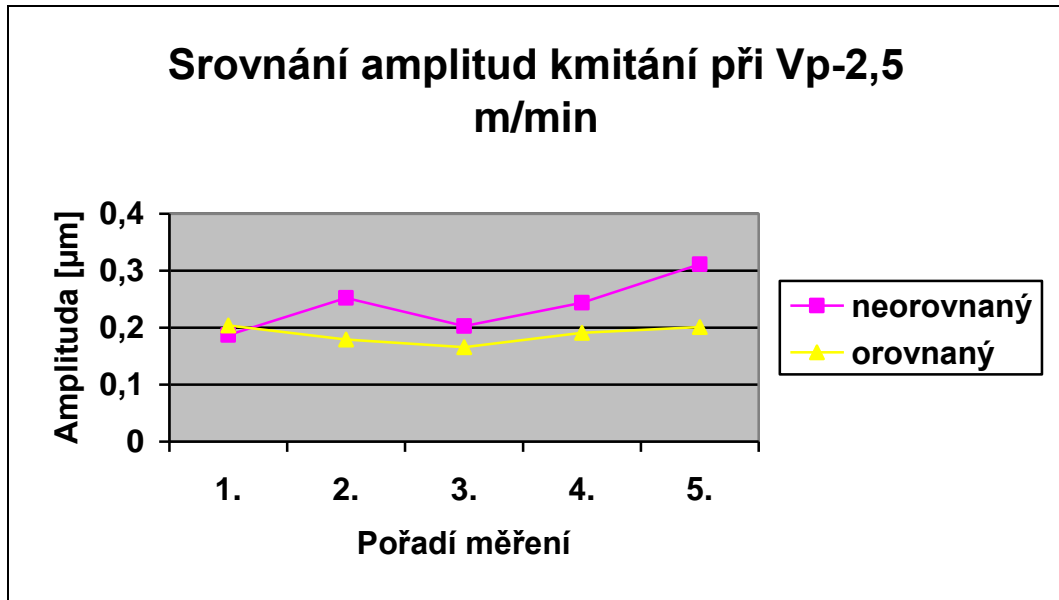
Měření 9

V_{po} – 16,5 m/mina_p – 0,04 mm

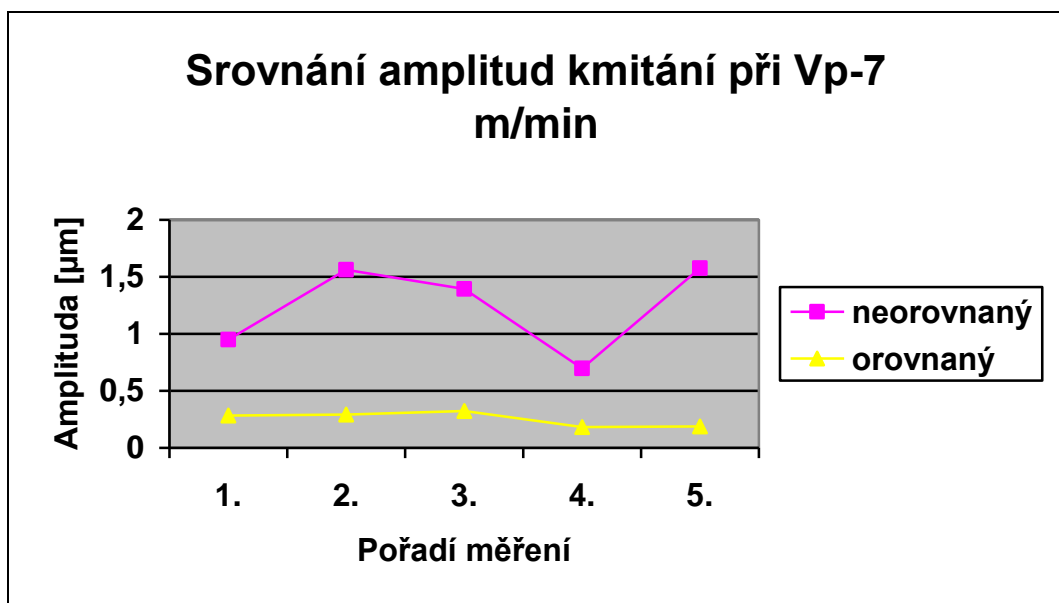
Pořadí měření	1	2	3	4	5	
	4,98	3,78	4,691	5,455	4,676	
	4,313	3,875	4,971	4,473	4,218	
	3,707	3,346	4,625	3,77	3,752	
	3,268	3,996	4,182	3,149	4,128	
	3,808	3,756	4,319	4,193	3,917	
Průměr	4,015	3,75	4,557	4,208	4,138	4,133
Směrodatná odchylka						0,26307

Tab.20 Naměřené hodnoty při V_{po} – 16,5 m/min a_p – 0,04 mmGraf 18. Amplituda kmitání při V_{po}-16,5 m/min a_p-0,04mm

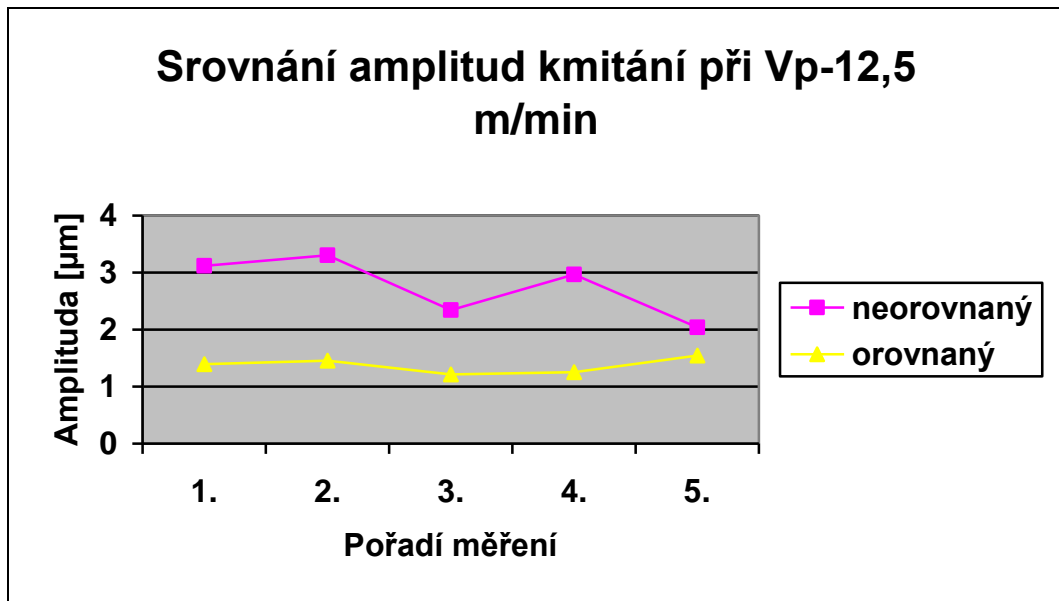
4.3 Srovnání naměřených hodnot orovnaného a neorovnaného kotouče



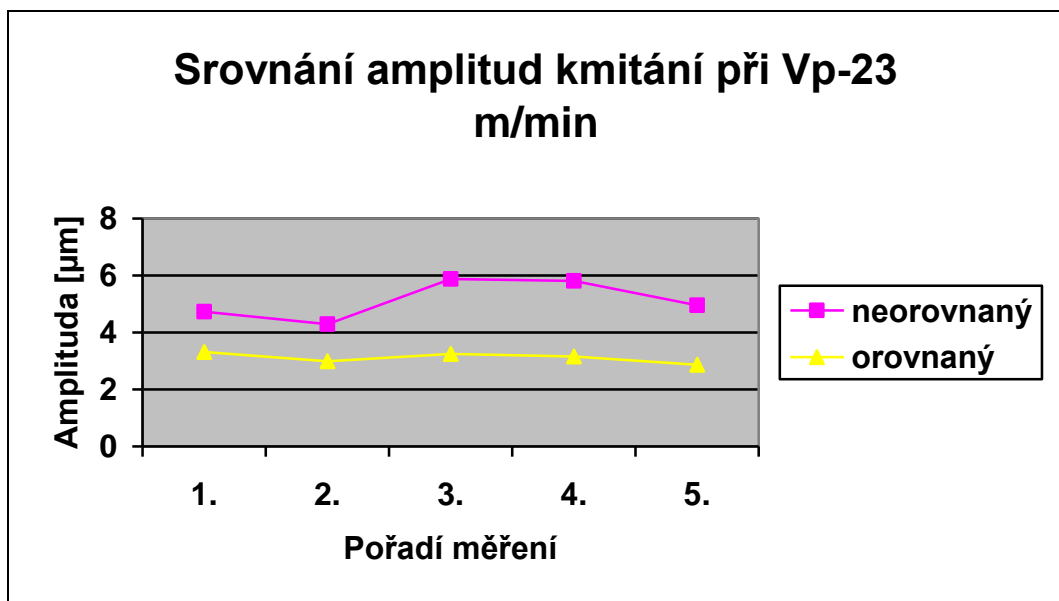
Graf 19. Srovnání amplitud kmitání při Vp-2,5 m/min



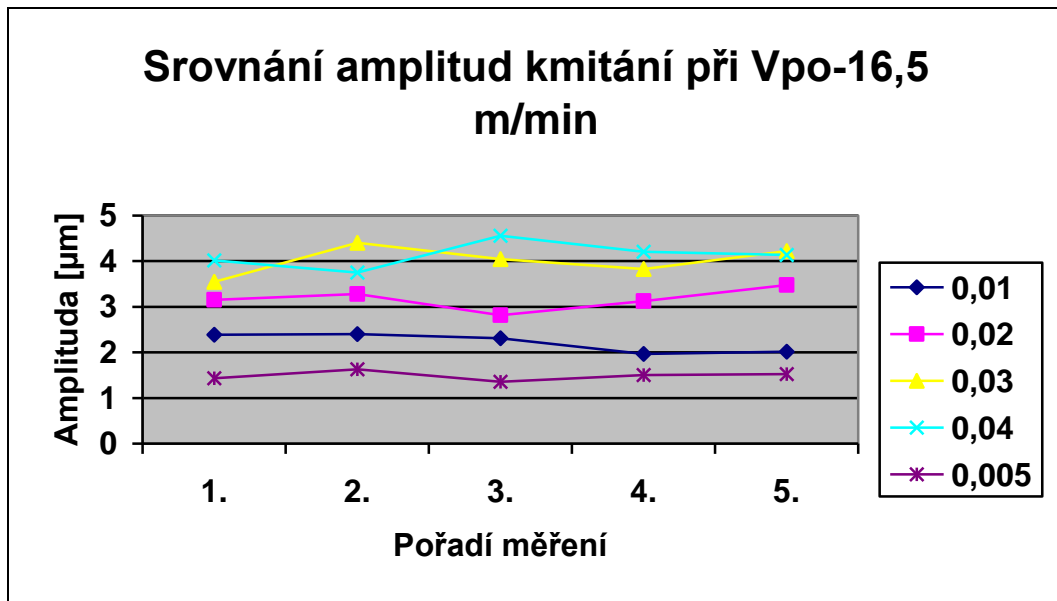
Graf 20. Srovnání amplitud kmitání při Vp-7 m/min



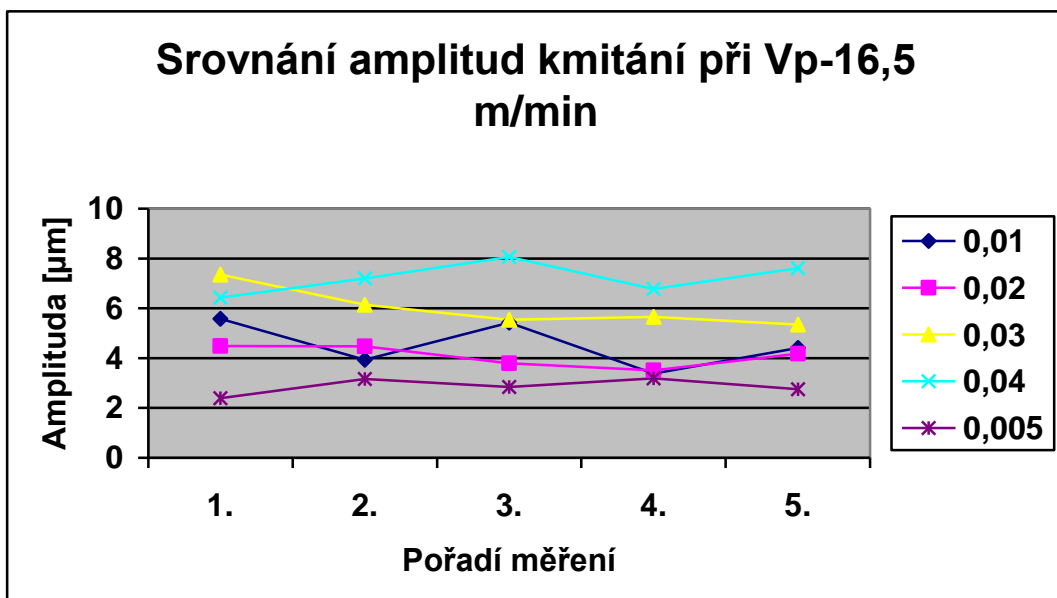
Graf 21. Srovnání amplitud kmitání při Vp-12,5 m/min



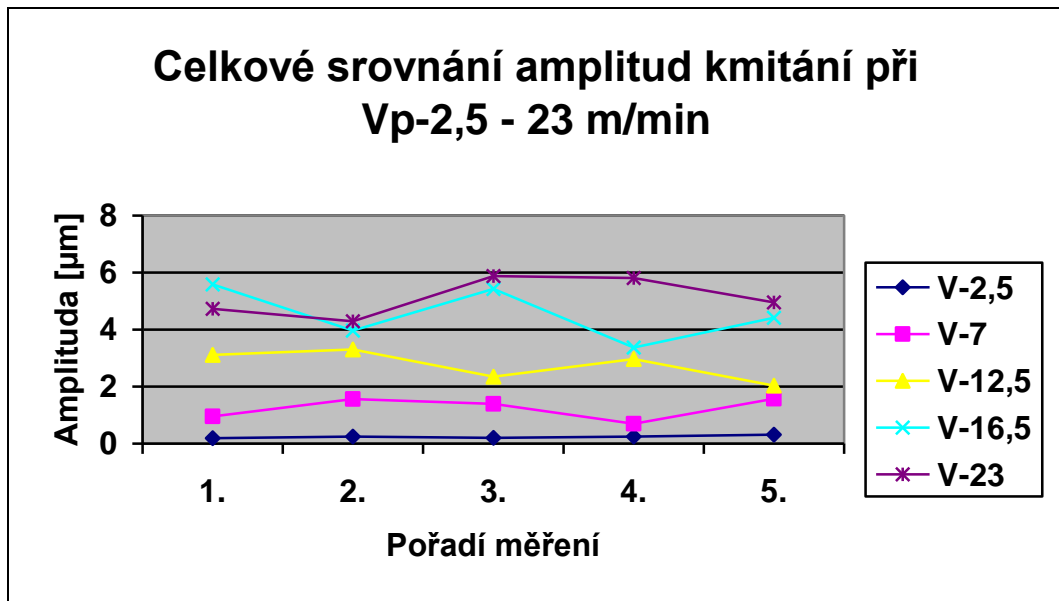
Graf 22. Srovnání amplitud kmitání při Vp-23 m/min



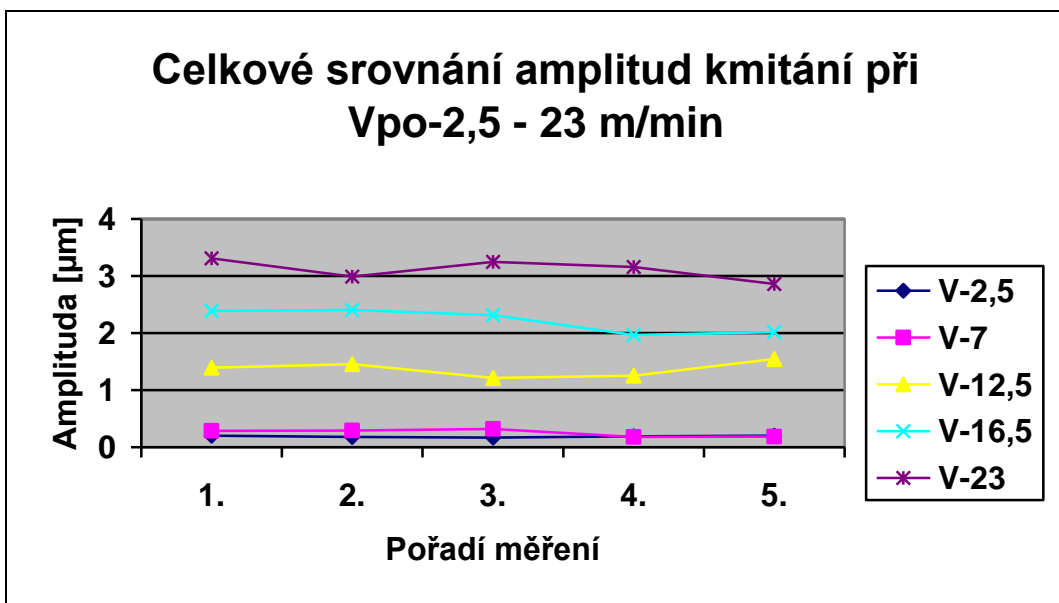
Graf 23. Srovnání amplitud kmitání při Vpo-16,5 m/min



Graf 24. Srovnání amplitud kmitání při Vp-16,5 m/min

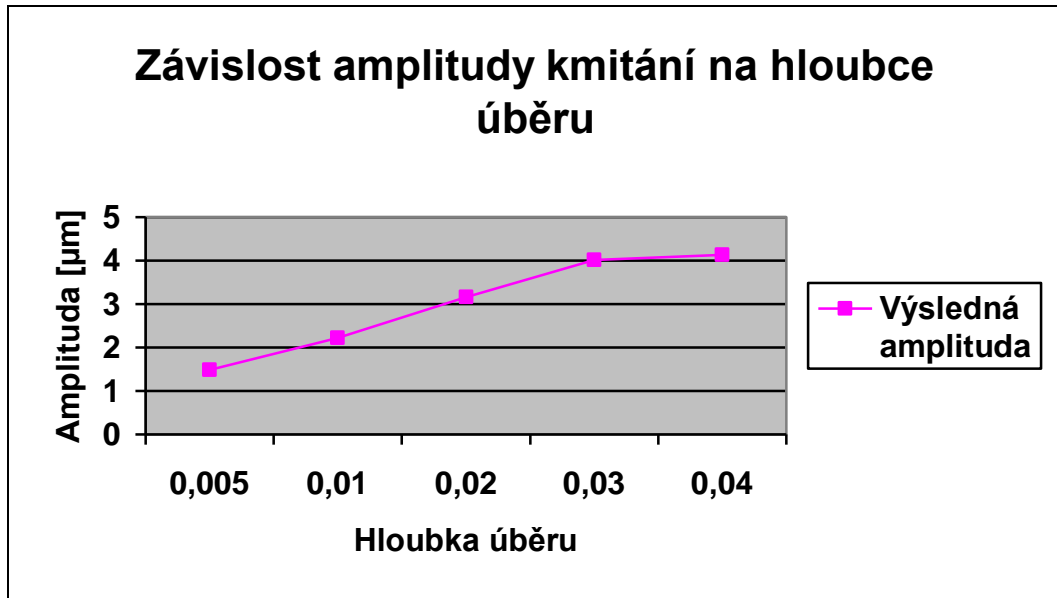


Graf 25. Celkové srovnání amplitud kmitání při Vp-2,5 - 23 m/min

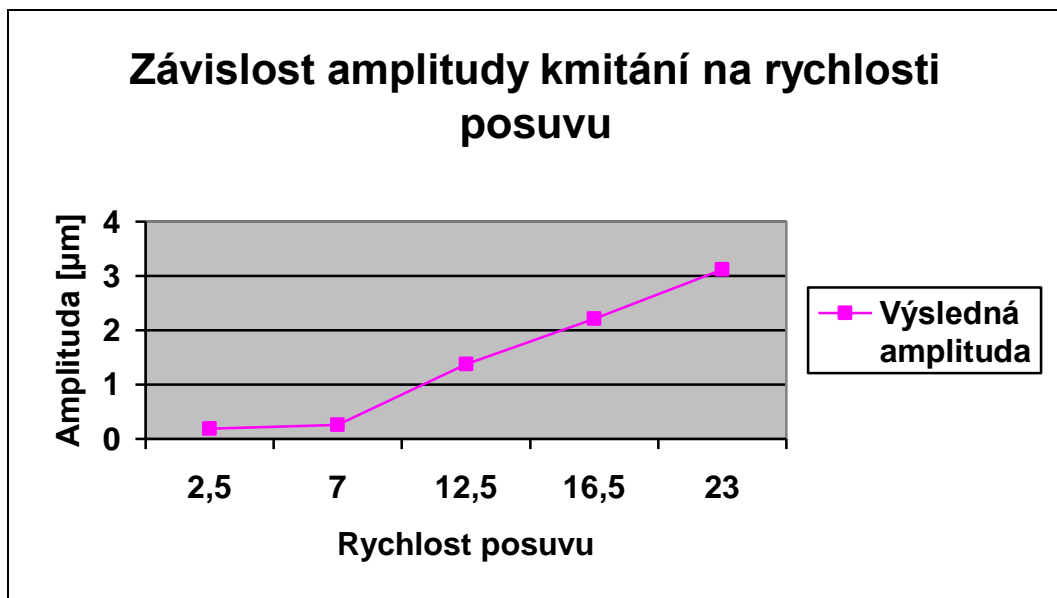


Graf 26. Celkové srovnání amplitud kmitání při Vpo-2,5 - 23 m/min

4.4 Zjištění závislostí naměřených hodnot



Graf 27. Závislost amplitudy kmitání na hloubce úběru

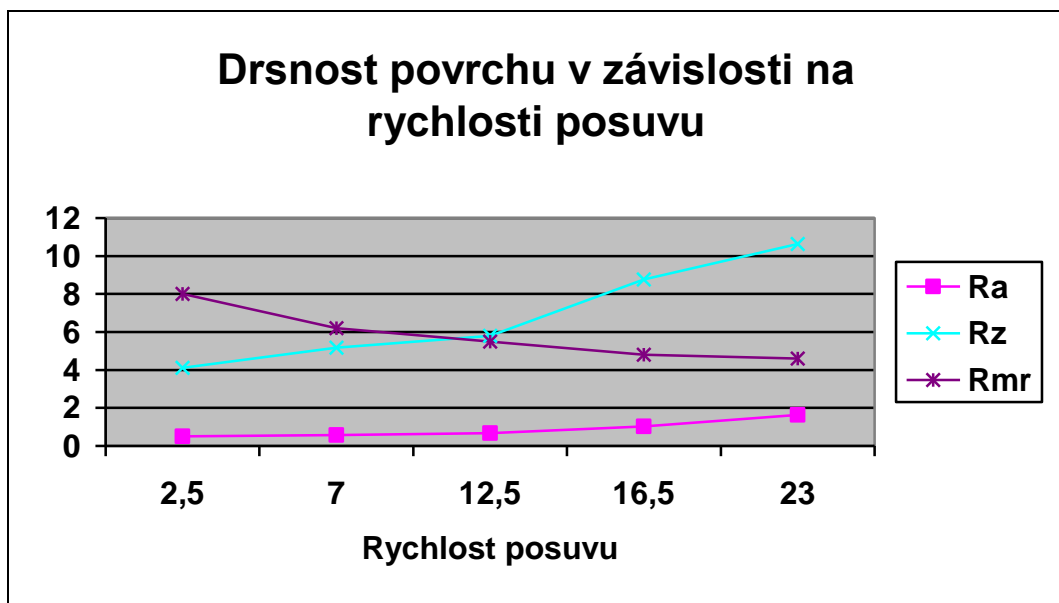


Graf 28. Závislost amplitudy kmitání na rychlosti posuvu

Závislost kvality povrchu na rychlosti posuvu

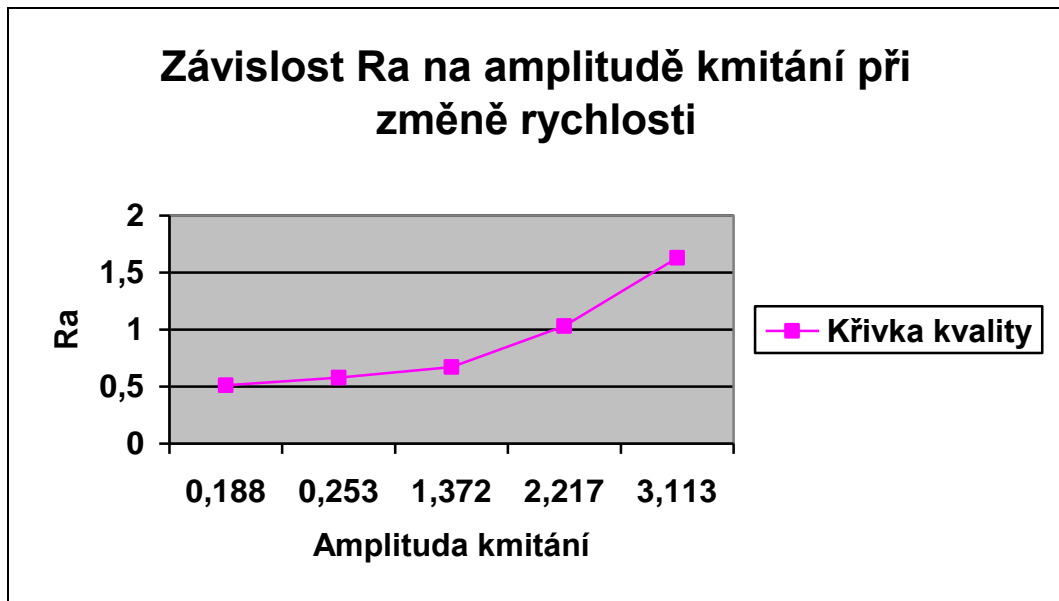
Rychlost Vp	Ra	Rz	Rmr %
2,5	0,51	4,11	80
7	0,58	5,17	62
12,5	0,67	5,79	55
16,5	1,03	8,77	48
23	1,63	10,64	46

Tab.21 Závislost kvality povrchu na rychlosti posuvu

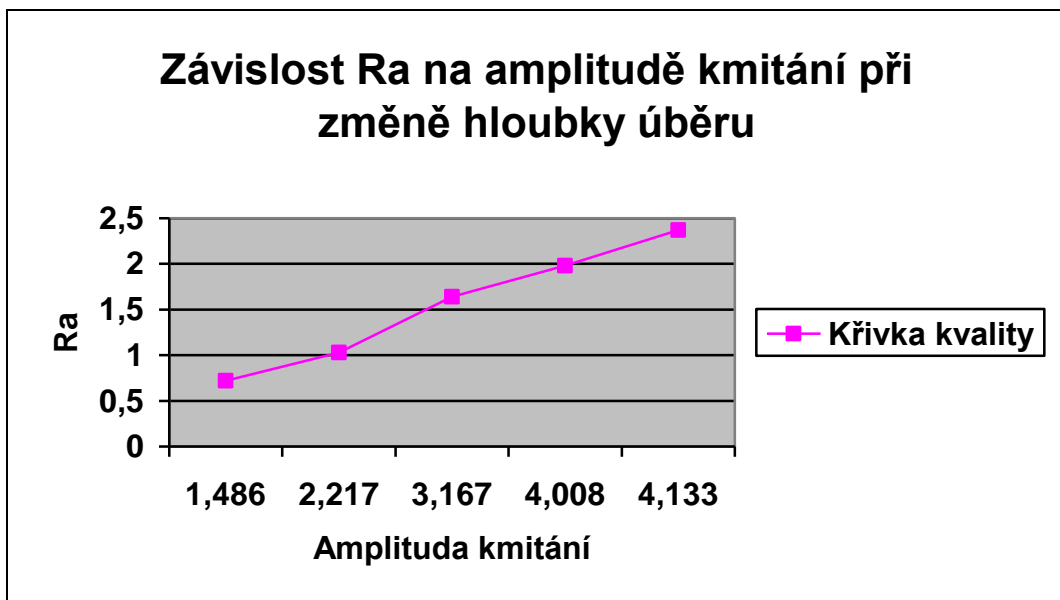


Graf 29. Drsnost povrchu v závislosti na rychlosti posuvu

Závislost střední aritmetické hodnoty R_a na amplitudě kmitání



Graf 30. Závislost R_a na amplitudě kmitání při změně rychlosti



Graf 31. Závislost R_a na amplitudě kmitání při změně hloubky úběru

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo hodnocení vlivu kmitání technologické soustavy na jakost dílů plastikářských forem. Byly zkoumány technologické podmínky při broušení dílce a vliv změny technologických podmínek na kvalitu povrchu součásti. Broušení probíhalo na rovinné horizontální brusce BRH 20.03F a pro obrábění byl zvolen materiál ČSN 14 109. Kotouč byl zvolen bílý korund A 99B 80 Is(K) 9 V. Nejprve se pro broušení používal neorovnaný kotouč a následně kotouč orovnaný. V první fázi se měnila posuvová rychlost - V_p : 2,5; 7; 12,5; 16,5 a 23 m/min. Při každé rychlosti se měření opakovalo pětkrát. Ve druhé fázi zkoumání docházelo ke změně hloubky úběru – a_p : 0,005; 0,01; 0,02; 0,03 a 0,04 mm. Měření se opět při každé hloubce úběru opakovalo pětkrát. Kmitání technologické soustavy bylo měřeno přístrojem Balantron. Z naměřených dat byly použity pouze hodnoty příčného kmitání při broušení. Následně byly tyto data pomocí aritmetického průměru a směrodatné odchylky statisticky vyhodnoceny. Kvalita povrchu byla následně vyhodnocena parametry R_a , R_z a R_{mr} . Z následné analýzy výsledků bylo zjištěno, že velikost kmitání se zvyšuje jak při zvyšování posuvové rychlosti, tak při zvýšení hloubky úběru materiálu. Rovněž bylo zjištěno, že amplituda kmitání je při stejné rychlosti větší u neorovnaného kotouče. Na grafickém znázornění závislosti R_a na velikosti kmitání je vidět, že s rostoucí amplitudou kmitání se úměrně zvyšuje i drsnost R_a a tím se snižuje jakost povrchu. Dá se tedy s určitostí konstatovat, že zvýšené kmitání technologické soustavy má negativní vliv na jakost povrchu součásti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Bobčík, L. a kolektiv : Formy pro zpracování plastů, I díl, Uniplast Brno, 1999
- [2] Technická univerzita Liberec. Technologie II, [online] [cit.2014-05-01]
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [3] Tomis, F. – Helštýn, J.- Kaňovský, J. : Formy a přípravky, Vysoké učení technické v Brně
- [4] Mould & Matic solutions Slušovice [online] [cit.2014-05-01]
http://www.mouldandmatic.cz/data/obrazky/vstrik_formy_v.jpg
- [5] Technická univerzita Liberec [online] [cit.2014-05-01]
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/05-specialni%20vstrikovani/39-vstrikovaci%20forma%20tandemova
- [6] Fortell s.r.o. Lanškroun [online] [cit.2014-05-02]
http://www.fortell.cz/editor/filestore/Image/vstrikovani_plastu/plastove_dily03.jpg
- [7] VUT Brno Vstřikování plastických hmot, [online] [cit.2014-04-01]
http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- [8] Řehulka, Z. : Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů, Sekurkon, ISBN 80- 86604-28-4
- [9] Bobčík, L. a kolektiv : Formy pro zpracování plastů, II díl, Uniplast Brno, 1999
- [10] DME Czech Republic Vsetín [online] [cit.2014-04-06]
<http://www.dmeeu.com/technical/fancybox/501002001-2.JPG>
- [11] Kocman, K. : Technologické procesy obrábění, Akademické nakladatelství CERM Brno, 2011, ISBN 978-80-7204-722-2
- [12] Oplatek, F. : Číslicové řízení obráběcích strojů, Havlíčkův Brod, Fragment, 1998
- [13] Montop Cnc spol.sr.o.Všetaty [online] [cit.2014-04-22]
http://montopcnc.eu/wp-content/uploads/GT10_RC.jpg

- [14] Sadílek, M. :Počítačová podpora výroby Ostrava, 2011. [online] [cit.2014-04-18]
<http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2738-4.pdf>. Vysoká škola báňská Technická univerzita
- [15] Technický Týdeník 8/2014, [online] [cit.2014-04-10]
<http://www.technickytydenik.cz/obrazek/i-503756b841a53/obr-02.jpg>
- [16] Technický magazín 8/2012, [online] [cit.2014-04-15]
<http://www.techmagazin.cz/obrazky/aktualnicislo82012/iscar3.jpg>
- [17] Technologie frézování: pracovní listy Šumperk, 2007[online] [cit. 2013-01-27]
http://www.sossou-spk.cz/esf/TEC_fr.pdf. Střední odborná škola a Střední odborné učiliště
- [18] MM Průmyslové spektrum 4/2013, [online] [cit.2014-04-25]
<http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-kompenzacni-pristup-pri-frezovani-poloha-frezy.html>
- [19] KARAS pily s.r.o. Mýto [online] [cit.2014-04-19]
http://www.vrtacky.com/go_image.php?pid=27573
- [20] Norma: ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky (GPS): Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [21] Sáblík, S. – Drastík, F. : Základy strojnictví, ČVUT Praha, 1988.
- [22] OCTOPUS TOOLS s.r.o. Říčany [online] [cit.2014-04-25]
http://www.octopustools.com/Valeckovani/info_valeckovani.php
- [23] Vysloužil, Z. a kolektiv : Meranie v strojárstve, Bratislava, Vydavateľstvo technické a ekonomickej literatúry, 1962
- [24] Technická univerzita v Košiciach Strojárska metrologia [online] [cit.2014-03-25]
<http://web.tuke.sk/smetrologia/imagemet/vzdrs1.jpg>
- [25] Kreidl, M. – Šmíd, R. : Technická diagnostika, BEN technická literatúra Praha 10, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [26] Proinex Instruments Ostrava [online] [cit.2014-05-05]
http://www.proinex.cz/components/com_virtuemart/shop_image/product/Digit__ln__anal__50fd3aa55f236.jpg

[27] Usinages [online] [cit.2014-04-05]

<http://www.bernerscientific.com/images/balantron.jpg>

[28] Štěpek, J. :Zpracování plastů, SNTL 1980, 440-33057

[29] Kulhánek, J. a kolektiv : Formy pro tváření plastických hmot, SNTL 1966, 04-237-66

[30] Morávek, O. – Baborovský, V. : Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů, SNTL 1972, 04-231-72

[31] Maňas, M. – Tomis, F. :Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje I, Vysoké učení technické v Brně

[32] Houša, J. a kolektiv : Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů, SNTL 1985, 04-229-85

[33] Zawistowski, H. – Frenkler, D. :Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne Warszawa 1984

[34] Kreidl, M. a kolektiv : Diagnostické systémy, Vydavatelství ČVUT Praha, 2001,ISBN 80-01-02349-4

[35] Martinek, R. : Senzory v průmyslové praxi, BEN technická literatura Praha 10, 2004, ISBN 80-7300-114-4

[36] Miláček, S. : Měření a vyhodnocování mechanických veličin, , Vydavatelství ČVUT Praha, 2001, ISBN 80-01-02417-2

[37] Ďaďo, S. --01-00286-1 Kreidl, M. : Měřicí převodníky fyzikálních veličin, Vydavatelství ČVUT Praha, 1990, ISBN 80

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

mm	milimetr
μm	micrometr
m	Metr
min	minuta
Ra	střední aritmetická úchylka profilu
Rz	nejvyšší výška profilu
Rmr	materiálový poměr
Rsm	průměrná šířka prvků profilu
Vp	rychlost posuvu-neorovnaný kotouč
Vpo	rychlost posuvu-orovnaný kotouč
ap	hloubka úběru
CNC	počítačové číslicové řízení
NC	číslicové řízení
CAD	počítačové projektování
CAM	počítačem podporovaná tvorba part programů
MPa	megapascal
Al	Hliník
V	Vanad
Cr	Chrom
Fe	Železo
Mn	mangan
Zn	Zinek
Mg	Hořčík
Cu	měď

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1 Tvárník a tvárnice formy.....	12
Obr.2 Vstřikovací forma.....	13
Obr.3 Přístrojová deska osobního automobilu.....	14
Obr.4 Měděné vodící pouzdro.....	18
Obr.5 Schéma CNC řídicího systému.....	20
Obr.6 CNC soustruh.....	22
Obr.7 Osy posuvu stroje.....	24
Obr.8 Schématické znázornění vzájemné návaznosti jednotlivých systémů.....	28
Obr.9 Frézy.....	29
Obr.10 Průběh sousledného frézování.....	30
Obr.11 Průběh nesousledného frézování.....	31
Obr.12 Průběh čelního frézování.....	32
Obr.13 Frézka.....	33
Obr.14 Tvar povrchu.....	35
Obr.15 Vlnitost povrch.....	35
Obr.16 Drsnost povrchu.....	35
Obr.17 Parametry drsnosti.....	36
Obr.18 Výška Rz profilu.....	36
Obr.19 Soustružený povrch.....	38
Obr.20 Vzorkovnice drsnosti povrchu.....	40
Obr.21 Digitální analyzátor vibrací.....	43
Obr.22 Přístroj Balantron.....	48

SEZNAM TABULEK

Tab.1 Ra různých povrchů.....	37
Tab.2 Ra jednotlivých způsobů obrábění.....	38
Tab.3 Naměřené hodnoty při V_p -2,5 m/min.....	49
Tab.4 Naměřené hodnoty při V_p - 7 m/min.....	50
Tab.5. Naměřené hodnoty při V_p - 12,5 m/min.....	51
Tab.6 Naměřené hodnoty při V_p - 23 m/min.....	52
Tab.7 Naměřené hodnoty při V_p – 16,5 m/min a_p – 0,005 mm.....	53
Tab.8. Naměřené hodnoty při V_p – 16,5 m/min a_p – 0,01 mm.....	54
Tab.9. Naměřené hodnoty při V_p – 16,5 m/min a_p – 0,02 mm.....	55
Tab.10 Naměřené hodnoty při V_p – 16,5 m/min a_p – 0,03 mm.....	56
Tab.11 Naměřené hodnoty při V_p – 16,5 m/min a_p – 0,04 mm.....	57
Tab.12 Naměřené hodnoty při V_{po} – 2,5 m/min.....	58
Tab.13 Naměřené hodnoty při V_{po} – 7 m/min.....	59
Tab.14 Naměřené hodnoty při V_{po} – 12,5 m/min.....	60
Tab.15 Naměřené hodnoty při V_{po} – 23 m/min.....	61
Tab.16 Naměřené hodnoty při V_{po} – 16,5 m/min a_p – 0,005 mm.....	62
Tab.17 Naměřené hodnoty při V_{po} – 16,5 m/min a_p – 0,01 mm.....	63
Tab.18 Naměřené hodnoty při V_{po} – 16,5 m/min a_p – 0,02 mm.....	64
Tab.19 Naměřené hodnoty při V_{po} – 16,5 m/min a_p – 0,03 mm.....	65
Tab.20 Naměřené hodnoty při V_{po} – 16,5 m/min a_p – 0,04 mm.....	66
Tab.21 Závislost kvality povrchu na rychlosti posuvu.....	72

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Amplituda kmitání při V_p -2,5 m/min.....	49
Graf 2. Amplituda kmitání při V_p -7 m/min.....	50
Graf 3. Amplituda kmitání při V_p -12,5 m/min.....	51
Graf 4. Amplituda kmitání při V_p -23 m/min.....	52
Graf 5. Amplituda kmitání při V_p -16,5 m/min a a_p -0,005mm.....	53
Graf 6. Amplituda kmitání při V_p -16,5 m/min a a_p -0,01mm.....	54
Graf 7. Amplituda kmitání při V_p -16,5 m/min a a_p -0,02mm.....	55
Graf 8. Amplituda kmitání při V_p -16,5 m/min a a_p -0,03mm.....	56
Graf 9. Amplituda kmitání při V_p -16,5 m/min a a_p -0,005mm.....	57
Graf 10. Amplituda kmitání při V_{po} -2,5 m/min.....	58
Graf 11. Amplituda kmitání při V_{po} -7 m/min.....	59
Graf 12. Amplituda kmitání při V_{po} -12,5 m/min.....	60
Graf 13. Amplituda kmitání při V_{po} -23 m/min.....	61
Graf 14. Amplituda kmitání při V_{po} -16,5 m/min a a_p -0,005mm.....	62
Graf 15. Amplituda kmitání při V_{po} -16,5 m/min a a_p -0,01mm.....	63
Graf 16. Amplituda kmitání při V_{po} -16,5 m/min a a_p -0,02mm.....	64
Graf 17. Amplituda kmitání při V_{po} -16,5 m/min a a_p -0,03mm.....	65
Graf 18. Amplituda kmitání při V_{po} -16,5 m/min a a_p -0,04mm.....	66
Graf 19. Srovnání amplitud kmitání při V_p -2,5 m/min.....	67
Graf 20. Srovnání amplitud kmitání při V_p -7 m/min.....	67
Graf 21. Srovnání amplitud kmitání při V_p -12,5 m/min.....	68
Graf 22. Srovnání amplitud kmitání při V_p -23 m/min.....	68
Graf 23. Srovnání amplitud kmitání při V_{po} -16,5 m/min.....	69
Graf 24. Srovnání amplitud kmitání při V_p -16,5 m/min.....	69

Graf 25. Celkové srovnání amplitud kmitání při $V_p-2,5 - 23$ m/min.....	70
Graf 26. Celkové srovnání amplitud kmitání při $V_{po}-2,5 - 23$ m/min.....	70
Graf 27. Závislost amplitudy kmitání na hloubce úběru.....	71
Graf 28. Závislost amplitudy kmitání na rychlosti posuvu.....	71
Graf 29. Drsnost povrchu v závislosti na rychlosti posuvu.....	72
Graf 30. Závislost R_a na amplitudě kmitání při změně rychlosti	73
Graf 31. Závislost R_a na amplitudě kmitání při změně hloubky úběru.....	73