

Vliv kmitání technologické soustavy na jakost polymerních výrobků

Bc. Martin Jančina

Diplomová práce
2008



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin JANČINA**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Vliv kmitání technologické soustavy na jakost
polymerních výrobků**

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte studium literatury z oblasti kmitání a z oblasti technologie broušení a frézování**
- 2. Hodnoťte jakost výrobků**
- 3. Určete korelační vztahy mezi technologickými parametry a jakostí výrobků**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] LIEMRERT, G.: Technologie. SNTL Praha, 1978

[2] KOČMAN, K. – PROKOP, J.: Technologie obrábění. CERM Brno, 2001

[3] LUKOVICS, I.: Mechanické výrobní procesy. UTB Zlín, 2007

[4] NAGY, I.: Muszaki diagnostika I. Delta – 3N Kft, Paks, 2006

[5] KENETH G. Mc CONNELL: Vibration Testing Theory and Practice. John Wiley & Sons, Inc. 1995 USA

[6] BUDA, J. – BÉKÉS, J.: Teória obrábania. Alfa Bratislava, 1979

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

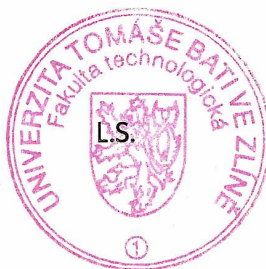
Datum zadání diplomové práce: **19. února 2008**

Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2008**

Ve Zlíně dne 29. ledna 2008



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vlivem kmitání technologické soustavy na jakost polymerních výrobků a kovů.

Měření se provádělo na rovinné horizontální brusce BRH 20.03F, kde byly vzorky broušeny za různých technologických podmínek. Měnily se řezné rychlosti, posuvy a hloubky.

Bylo použito jednoho brousícího kotouče, který byl vyvažován staticky a následně i dynamicky. Po broušení vzorků vždy následovalo změření amplitudy kmitání technologické soustavy a vyhodnocení drsnosti povrchu.

Klíčová slova: technologická soustava, kmitání, broušení, kovy, plasty, drsnost povrchu, dynamické vyvážení

ABSTRACT

This diploma thesis conversant about the influence of vibrating technology systems on quality of polymeric products and metals.

Metering was practice on flat horizontal grinding machine BRH 20.03F, where were specimen edged with various technology conditions. The cutting speeds, feeds and depths were changed.

It was used only one grinding wheel, which was balancing static and subsequently dynamically. After edging specimen always follow metering amplitude vibrating technology system and evaluation surface roughness.

Keywords: technology systems, vibrating, grinding, polymers, surface roughness, dynamically balancing

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc., za obětavý přístup, připomínky, materiály a cenné rady při tvorbě práce.

Taktéž bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Šálkovi za cennou pomoc při praktickém měření.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Vsetíně, 20.5.2008

.....

Martin Jančina

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KMITÁNÍ PŘI OBRÁBĚNÍ KOVŮ	11
1.1 KMITÁNÍ OBRÁBĚCÍHO SYSTÉMU	12
1.2 VLASTNÍ KMITY	12
1.3 VYNUCENÉ KMITY V TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVĚ	13
1.3.1 Příčiny vzniku vynucených kmitů	16
1.3.2 Odstranění vynucených kmitů	17
1.4 SAMOBUZENÉ KMITY	19
1.4.1 Příčiny vzniku samobuzených kmitů	20
1.4.2 Odstraňování samobuzených kmitů při obrábění	20
1.4.3 Vliv tuhosti technologického systému na samobuzené kmity.....	22
2 BROUŠENÍ	24
2.1 VLIV ZÁKLADNÍCH ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA DRSNOST POVRCHU	26
2.1.1 Obvodová rychlost brousícího kotouče	26
2.1.2 Obvodová rychlost obrobku	27
2.2 BROUŠÍCÍ STROJE.....	28
2.2.1 Hrotové brusky	28
2.2.2 Rovinná bruska.....	29
3 FRÉZOVÁNÍ	30
3.1 PODSTATA FRÉZOVÁNÍ	30
3.2 VÝKON, PŘESNOST A DRSNOST POVRCHU PŘI FRÉZOVÁNÍ.....	30
3.3 SOUSLEDNÉ FRÉZOVÁNÍ	32
3.4 NESOUSLEDNÉ FRÉZOVÁNÍ	32
3.5 FRÉZOVACÍ STROJE – FRÉZKY	33
4 JAKOST	34
4.1 JAKOST POVRCHU	34
4.2 PŘEDEPISOVÁNÍ KVALITY POVRCHU	34
4.2.1 Drsnost povrchu	35
4.2.2 Posuzování drsností povrchu.....	36
4.3 HODNOTÍCÍ KRITÉRIA DRSNOSTI POVRCHU	37
II PRAKTICKÁ ČÁST	41
5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	42
6 MATERIÁLY VZORKŮ	43
6.1 KOVY	43
6.1.1 Ocel 12 050	43
6.1.2 Ocel 14 109	43

6.1.3	Ocel 19 436	44
6.1.4	Ocel 17 027	45
6.1.5	Titan	45
6.1.6	Hliník.....	46
6.1.7	Měď	46
6.2	PLASTY.....	47
6.2.1	Polypropylen PP	47
6.2.2	Polyamid PA66	47
6.2.3	Polytetrafluoretylén PTFE.....	48
6.2.4	Polykarbonát PC.....	49
6.2.5	Polyvinylchlorid PVC	50
6.2.6	Polyoxymetylen POM	51
6.2.7	Vysokohustotní polyetylen HDPE	52
7	BROUŠENÍ VZORKŮ.....	53
7.1	BRUSKA ROVINNÁ HORIZONTÁLNÍ BRH 20.03F	53
7.2	VOLBA BROUSÍČÍHO KOTOUČE.....	54
8	KMITÁNÍ TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVY	55
8.1	MĚŘENÍ KMITÁNÍ TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVY POMOCÍ PŘÍSTROJE BALANTRON	55
8.1.1	Přístroj Balantron	55
8.1.2	Postup měření kmitání technologické soustavy	56
8.1.3	Vyhodnocení měření kmitání technologické soustavy.....	57
8.1.4	Diskuze výsledků měření kmitání technologické soustavy pomocí přístroje Balantron.....	61
8.2	MĚŘENÍ TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVY POMOCÍ LASEROINTERFEROMETRU	62
8.2.1	Popis měřicího zařízení	62
8.2.2	Výsledné grafické závislosti dx/t	63
8.2.3	Diskuze výsledků měření kmitání technologické soustavy pomocí laserointerferometru Renishaw	65
9	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU	66
9.1	PŘÍSTROJ NA MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU MITUTOYO SJ - 301	66
9.2	PŘÍPRAVA MĚŘENÍ.....	67
9.2.1	Statické vyvážení kotouče	67
9.2.2	Dynamické vyvážení kotouče.....	68
9.3	POSTUP MĚŘENÍ DRSNOSTI.....	69
10	URČENÍ KORELAČNÍCH VZTAHŮ MEZI TECHNOLOGICKÝMI PARAMETRY A JAKOSTÍ VÝROBKŮ	71
10.1	STATICKY VYVÁŽENÝ KOTOUČ – KOVY	71
10.1.1	Zjištění závislosti drsnosti R_a na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	71
10.1.2	Zjištění závislosti drsnosti R_z na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	72

10.1.3	Zjištění závislosti materiálového podílu Rmr na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	73
10.1.4	Zjištění závislosti drsnosti Ra na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$	74
10.1.5	Zjištění závislosti drsnosti Rz na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$	75
10.1.6	Zjištění závislosti materiálového podílu Rmr na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$	76
10.2	DYNAMICKY VYVÁŽENÝ KOTOUČ – KOVY	77
10.2.1	Porovnání drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan	77
10.2.2	Porovnání drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan	78
10.2.3	Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan	79
10.3	STATICKY VYVÁŽENÝ KOTOUČ – PLASTY	80
10.3.1	Zjištění závislosti drsnosti Ra na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	80
10.3.2	Zjištění závislosti drsnosti Rz na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	81
10.3.3	Zjištění závislosti materiálového podílu Rmr na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	82
10.3.4	Zjištění závislosti drsnosti Ra na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01\text{mm}$	83
10.3.5	Zjištění závislosti drsnosti Rz na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01\text{mm}$	84
10.3.6	Zjištění závislosti materiálového podílu Rmr na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01\text{mm}$	85
10.4	DYNAMICKY VYVÁŽENÝ KOTOUČ – PLASTY	86
10.4.1	Porovnání drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC	86
10.4.2	Porovnání drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC	87
10.4.3	Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC	88
10.5	DISKUZE VÝSLEDKŮ URČENÍ KORELAČNÍCH VZTAHŮ	89
10.5.1	Kovy	89
10.5.2	Plasty	91
	ZÁVĚR	93
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	94
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	96
	SEZNAM OBRÁZKŮ	98
	SEZNAM TABULEK	101
	SEZNAM PŘÍLOH	102

ÚVOD

V současné době se na výzkum různých forem kmitání vynakládají ohromné částky peněz. V případě, že je kmitání v zásadě žádoucí, je výzkum zaměřen na otázku jeho zvládnutí. Častěji se však snažíme nalézt příčiny vzniku kmitání a možnosti, jak je odstranit. Zamysleme se nad tím, co všechno musí technik uvažovat, než rozhodne, zda v určitém díle kmitání je nebo není závažné.

Většina hlavních průmyslových odvětvích má své specifické, dobře známé problémy kmitání. Schopní technici se v nich velmi dobře vyznají a v oborech, kde jsou nashromážděny zkušenosti, dochází jen zřídka k závažným haváriím nebo ke zhoršení výkonu. Za tento stav vděčíme nepřetržitému výzkumu a vývoji i velkým částkám peněz, které se na ně vynakládají. V některých průmyslových oborech se pokládá za zásadně důležité charakteristický sledovat problémy kmitání a řešit je v ústřední organizaci k tomu určené.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KMITÁNÍ PŘI OBRÁBĚNÍ KOVŮ

Při obrábění kovů vznikají složité procesy chvění v soustavě stroj – nástroj – obrobek.

Chvění, které vzniká v soustavě stroj – obrobek – nástroj, je někdy tak malé, že nemá žádný nepříznivý účinek. Jsou však takové případy, kdy je chvění při řezání kovů velmi intenzivní. Stroj při tomto chvění vydává zvláštní zvuk nebo nástroj charakteristicky zvučí. Nepříznivé účinky intenzivního chvění se při řezání kovů projevují ve více směrech, a to:

1. Obrobený povrch má charakteristickou *vlnitost*, v důsledku čeho se snižuje přesnost geometrického tvaru a zvětšuje se drsnost povrchu, takže často se potom vyrábějí neshodné výrobky.
2. Nástroje z nástrojových ocelí se rychle *otupují*, nástroje z SK se vylamují, dokonce i lámou, trvanlivost keramického řezného materiálu se snižuje a často se jeho použitelnost chvěním omezuje.
3. Zvyšuje se nejen *opotřebení stroje*, ale často se porušují i různé spoje v obráběcím stroji.
4. Zvuk charakteristického tónu *zhoršuje pracovní prostředí*.

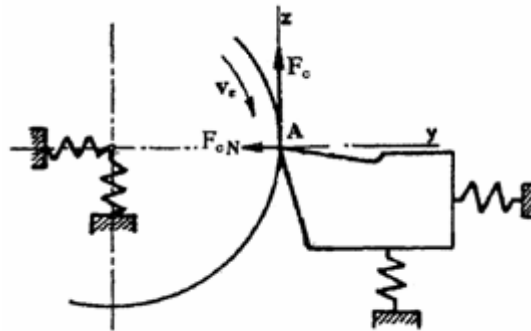
Zkoumání chvění a metod na jeho omezení nabylo v současné době důležitý význam. Souvisí to s rozšířením rychlostních způsobů obrábění, nejvíc však se zvyšováním požadavků na přesnost a jakost povrchu. Až donedávna byly problémy chvění při obrábění kovů nedostatečně prozkoumané. Nebyly zřejmé ani skutečné problémy příčiny vzniku chvění, a proto se často tvořily nesprávné teorie. Ve zkoumání základních a specifických zákonitostí chvění při řezání kovů se udělal významný krok vpřed.

Z hlediska fyzikální podstaty se můžou v technologické soustavě vyskytovat tyto druhy kmitů:

- a) vlastní kmity,
- b) vynucené kmity – speciálním případem jsou parametrické kmity,
- c) samobuzené kmity. [1]

1.1 Kmitání obráběcího systému

Obráběcí stroj, nástroj a obrobek tvoří obráběcí systém se složitými dynamickými charakteristikami. Kmitání jednotlivých prvků obráběcího systému představuje průvodní jev řezného procesu. Pro názornost je na obr.1 naznačen zjednodušený dynamický model obráběcího systému, který charakterizuje stav při ortogonálním řezání.



Obr. 1. Zjednodušený dynamický model obráběcího systému – soustružení, ortogonální řezání

Hmotný bod A v místě interakce obrobku a nástroje v důsledku proměnlivosti sil F_c a F_{cN} kmitá ve směru osy z a ve směru osy y s určitými frekvencemi a amplitudami.

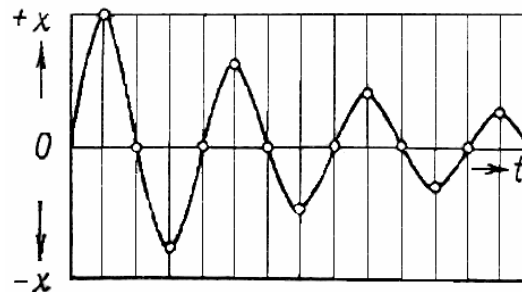
Kmitání jednotlivých prvků obráběcího systému může mít za následek zhoršení jakosti obrobenej plochy, zvýšené opotřebení nástroje, vylamování částic břitu nástroje (chipping), nebo celkovou destrukci břitu nástroje, zvýšení hlučnosti obráběcího procesu, poruchu obráběcího stroje apod.[2]

1.2 Vlastní kmity

Vlastní kmity v soustavě stroj – obrobek – nástroj, případně v některých uzlech této soustavy, jsou vyvolané *nárazem* (např. při zapnutí zubové spojky, při záběru nástroje apod.). Ve většině případů je vliv vlastních kmitů na proces obrábění zanedbatelný, protože se kmitání rychle utlumí. Potýkat se vlastními kmity při obrábění má význam jen v souvislosti s určováním charakteru kmitavých procesech.

Vlastní kmity se udržují působením *sil pružnosti*. Jejich perioda a frekvence nezávisí na počáteční výchylce ani na počáteční rychlosti kmitající částice.

Časový průběh tlumených vlastních kmitů je na obr.2.



Obr.2. Časový průběh vlastních kmitů

Diferenciální pohybová rovnice vlastních tlumených kmitů je:

$$mx'' + rx' + kx = 0 \quad (1)$$

kde x je výchylka,

mx'' - síly setrvačnosti,

rx' - síly odporu úměrné rychlosti kmitavého pohybu,

kx - síly pružnosti úměrné výchylce.

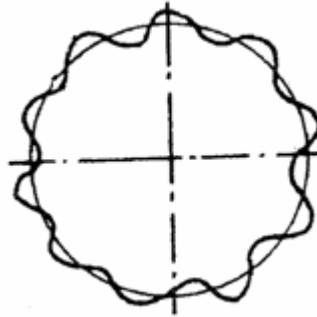
1.3 Vynucené kmity v technologické soustavě

Kmitavý pohyb může při působení pružných sil vzniknout i v důsledku působení periodické síly, jejíž perioda se ve všeobecnosti odlišuje od periody vlastních kmitů. Jsou to tzv. vynucené kmity, jejichž charakteristickým znakem je to, že se jejich frekvence shoduje s *frekvencí budící síly*. Vynucené kmity vždy doprovázejí vlastní kmity, protože v tělese, které se odklání od rovnovážné polohy, vznikají pružné síly, které se snaží dostat těleso do rovnovážné polohy. [1]

Vynucené kmitání je vyvoláno periodicky proměnlivými silami, působícími na jednotlivé prvky obráběcího systému:

a) Silové impulzy vznikající v obráběcím systému

- nevyváženost rotujících hmot (obrobek, nástroj, rotující části obráběcího stroje – obr.3)

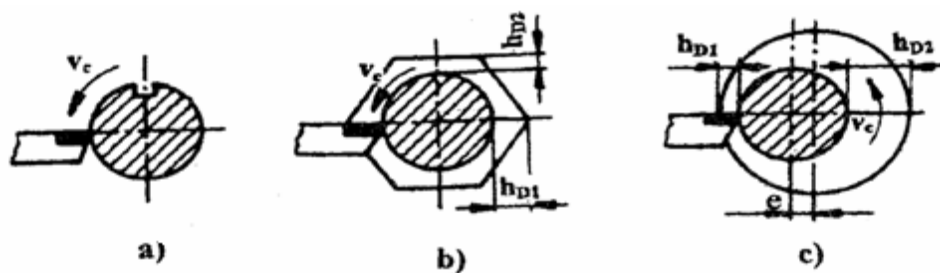


Obr. 3. Úchylky kruhovitosti jako důsledek vynuceného kmitání vyvolaného nevyvážeností brousícího nástroje – modelový příklad

- přímočaré vratné pohyby hmot (obrobek, nástroj, části obráběcího stroje)

b) Periodicky přerušovaný řezný proces

- periodická změna průřezu třísky – obr. 4



Obr. 4. Periodická změna jmenovité tloušťky průřezu třísky při soustružení – příklady

- a – přerušovaný řez, b – soustružení šestihanného polotovaru, c - soustružení výstředně ustaveného polotovaru

- diskontinuální řezné procesy (hoblování, obrázení).

- c) Silové impulzy vnesené do obráběcího systému přes základy obráběcího stroje
- technologické systémy a zařízení instalované v blízkém okolí obráběcího stroje
(ventilátory, kovací stroje) [2]

V případě vynucených kmitů působí na kmitající systém tyto síly:

1. Síly setrvačnosti

$$F_1 = mx'' \quad (2)$$

kde $x'' = \frac{d^2x}{dt^2}$ je zrychlení kmitajícího systému,

m – hmotnost systému.

2. Síly odporu, které jsou úměrné rychlosti kmitajícího pohybu systému

$$F_2 = -rx' \quad (3)$$

kde $x' = \frac{dx}{dt}$ je rychlost kmitajícího pohybu,

r – koeficient odporu.

3. Síly pružnosti, které jsou přímo úměrné odklonu systému z rovnovážné polohy

$$F_3 = -kx \quad (4)$$

kde x je odklon od rovnovážné polohy,

k – koeficient tuhosti systému.

4. Venkovní, periodicky se měnící síla F. Když předpokládáme, že síla F má sinusový anebo kosinusový průběh, můžeme ji vyjádřit vztahem

$$F = F_0 \cdot \cos \varpi t \quad (5)$$

kde F_0 je amplituda síly a značí její maximální velikost,

ω – kruhová frekvence změny síly F ,

t – čas charakterizovaný pro danou velikost síly F .

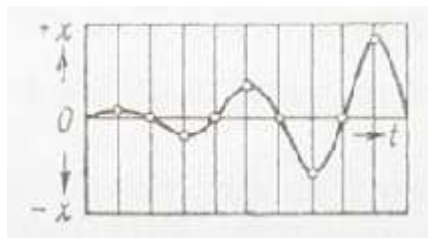
Dle druhého Newtonova zákona setrvačné síly systému se musí rovnat součtu ostatních sil, takže:

$$F_1 = F_2 + F_3 + F \quad (6)$$

Takže diferenciální rovnice kmitavého pohybu bude:

$$mx'' + rx' + kx = F_0 \cdot \cos \omega t \quad (7)$$

Závislost výchylky od času t v případě vynucených kmitů je na obr.5



Obr.5. Časový průběh vynuceného kmitání

Amplituda vynucených kmitů je úměrná amplitudě budící síly. Jestli se mění frekvence budící síly ω při konstantní frekvenci vlastních kmitů ω_0 , bude se měnit i amplituda vynucených kmitů, která je charakterizovaná maximální hodnotou amplitudy vynucených kmitů. [1]

1.3.1 Příčiny vzniku vynucených kmitů

Vynucené kmity, které vznikají v systému stroj – obrobek – nástroj, je možné rozdělit na dvě skupiny:

- a) kmity, které nejsou vyvolané a spojené s procesem řezání materiálu,
- b) kmity, které závisí na procesu řezání materiálu.

Do první skupiny patří vynucené kmity vyvolané:

1. *Přenosem kmitů zvenku přes základ*, a to působením chvění sousedních strojů.

2. *Nevyvážením* otáčejících se součástí stroje, obráběného předmětu nebo otáčejícího se nástroje
3. *Setrvačnými silami* těch součástí stroje, které mění směr otáčení anebo pohybu (vačky automobilů apod.).
4. *Chybami v převodech stroje* a jinými příčinami.

Vynucené kmity nejčastěji vznikají při frézování, a to ve všech případech práce s válcovými a čelními frézami. Vynucené kmity při frézování mají frekvenci přímo úměrnou počtu otáček frézy a v podstatě se skládají ze dvou druhů kmitů, a to:

1. Z kmitů, jejichž frekvence se rovná počtu otáček frézy n [s^{-1}]. Zdrojem těchto kmitů je házení frézy.
2. Z kmitů jejichž frekvence se rovná součinu počtu otáček frézy n a počtu zubů z . Tyto kmity jsou vyvolané změnou okamžitého průřezu třísky odebírané každým zubem a změnou počtu zubů v záběru.

1.3.2 Odstranění vynucených kmitů

V souvislosti s tím, že konstrukce obráběcích strojů jsou rychloběžné, nabývají otázky odstraňování vynucených kmitů větší význam.

Cesty odstraňování vynucených kmitů jsou tyto:

- **Základování**

Vhodnými základy obráběcích strojů je možno zamezit přenášení kmitání z jednoho stroje na druhý.

- **Statické a dynamické vyvážení rotujících součástí**

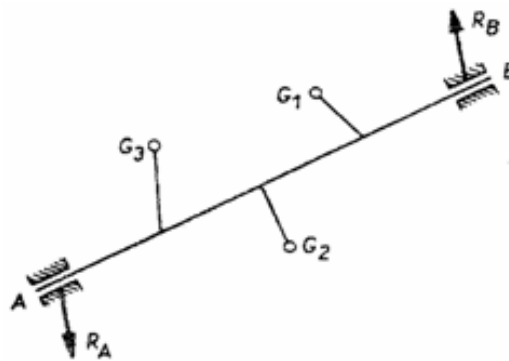
Existuje několik způsobů jak můžeme tyto chyby odstranit (nesešívání řemeny, zvýšené přesnosti ozubených kol apod.)

- **Statické a dynamické vyvážení rotujících součástí**

Statické vyvažování se používá v případě, když na otáčejícím se hřídeli je připevněná jedna tenká hmota (ozubené kolo, setrvačnick, řemenice apod.). Vyvažuje se pomocí hranolů, vah a jiných přípravků.

Když jsou na hřídeli připevněné dvě nebo více otáčejících se hmot (kotoučů) s poměrně velkými vzdálenostmi, je třeba vyvážit je dynamicky. I když by se statickým vyvažováním docílil určitý klidný stav při každé poloze hřídele na hranolu, i přes to by se nevyvážily odstředivé síly přímo na kotoučích, které by vyvolali vznik deviačních momentů. Tyto momenty vyvolávají tlak na ložiskách. Jestliže se směr odstředivých sil mění, vznikají při otáčení hřídele v ložiskách periodické impulzy, které vyvolávají vynucené kmity v obráběcím stroji. Princip dynamického vyvažování je založený na tom, že se odstraní vliv reakcí R_A a R_B na ložiska (obr. 6), které vznikají v důsledku odstředivých sil na kotoučích. Vyvažuje se tak, že se na hřídel nechají působit pomocné odstředivé síly, jejichž účinek na ložiska, pokud jde o velikost a směr, by byl stejný jako účinek reakcí R_A a R_B , avšak opačného smyslu.

Toto se realizuje tak, že se na hřídel přidávají pomocné hmoty, které musí mít přesně stanovenou velikost a polohu. Existuje víc způsobů dynamického vyvažování. [1]



Obr. 6. Schéma dynamického vyvažování.

Staticky a dynamicky můžeme vyvažovat i pomocí vibrografů, vibrometrů nebo oscilografů. Příslušné impulzy se k těmto přístrojům přivádějí od různých snímačů, které přemění mechanickou energii kmitů na elektrickou. V současné době se používají i vibroskopy. [8]

- **Vyvarování se rezonanční oblasti**

To je možné docílit změnou otáček v důsledku čeho se změní frekvence budící síly, a tím i poměr ω_0 / ω a pracuje se v jiné oblasti rezonanční křivky.

- **Zmenšení průřezu třísky**

Při tomto způsobu se snižuje objem odebíraného materiálu, proto se používá jen v krajním případě.

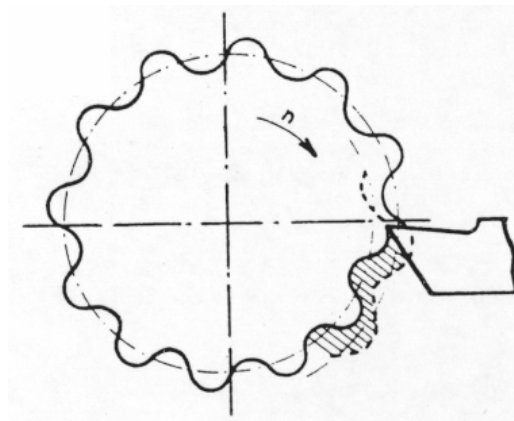
- **Použití pohlcovačů případně tlumičů chvění**

Kromě různých konstrukcí tlumičů se při frézování používají i setrvačníky. Novinkou posledního období jsou torzní tlumiče chvění, které je výhodné použít při frézování válcovými frézami na univerzálních frézách. Kmitání se tlumí v důsledku tření mezi kotoučem a plochami volně se otáčejícího setrvačníku. [1]

1.4 Samobuzené kmity

Samobuzené kmitání bezprostředně souvisí s řezným procesem a jeho nestabilitou. Hypotetickou příčinou může být periodické uvolňování nárůstku, periodická tvorba elementu třísky, tvrdší složka ve struktuře materiálu obrobku, nepravidelný přídavek na obráběných plochách, periodické opotřebení pracovní plochy brousícího kotouče apod.

Samobuzené kmitání se projevuje charakteristickým zvukem při obrábění (vysoké frekvence), charakteristickými stopami na povrchu obrobenej plochy („pochvěný povrch“), úchytkami tvaru obrobenej plochy („vlnitost“) – obr.7. [2]



Obr.7. Vlnitost.

1.4.1 Příčiny vzniku samobuzených kmitů

Příčiny samobuzených kmitů vysvětlujeme tzv. buzením.

První impuls, který dává podnět k vzniku samobuzených kmitů, neumíme přesně vysvětlit. Udává se, že je to síla, která souvisí s periodickým tvořením nárůstku.

Mechanismus samobuzených kmitů lze vysvětlovat na základě primárního a sekundárního budění. Podle současného stavu poznatků o samobuzených kmitech při obrábění můžeme uvést tyto příčiny budění:

- a) *pro primární budění* (projevuje se tehdy, když na řezné ploše nejsou ještě stopy vln předcházející otáčky nebo zdvihu):
 - tření v podmínkách prudkého poklesu mezi nožem a třískou se zvětšením řezné síly;
 - plastická deformace v zóně tvoření třísky;
 - tzv. princip polohové vazby.
- b) *pro sekundární budění*:
 - změna průřezu třísky a úhlu řezání v důsledku vln na řezné ploše z předcházející otáčky nebo zdvihu.

1.4.2 Odstraňování samobuzených kmitů při obrábění

▪ Změna řezných poměrů

Kmitání v radiálním směru je možno zmenšit nebo ztlumit zvětšením řezné rychlosti a posuvu, to současně přináší i zvýšení výrobnosti. Tento způsob je však ovlivněný řeznými vlastnostmi nástroje. Při zvyšování řezné rychlosti se může objevit kmitání v tangenciálním směru.

Kmitání je možno odstranit i změnou hloubky řezu, kterou však můžeme jen zmenšovat.

▪ Změna geometrie nástroje

Kmitání můžeme odstranit nebo alespoň zmenšit zvětšováním hlavního úhlu nastavení, zmenšením poloměru zaoblení hrotu nože r a zvětšováním úhlu čela. Pokud jde

o úhel hřbetu, jeho zmenšení může snížit kmitání v radiálním směru, ale na druhé straně může vyvolat kmitání v tangenciálním směru.

- **Snižování drsnosti povrchu činných částí nástroje a použití řezných kapalin**

Snižování drsnosti povrchu řezné části nástroje a použití řezných kapalin zmenšuje tření mezi třískou a čelem nože, i mezi hřbetem nože a řeznou a obrobenou plochou. Zmenšením tření se zmenšuje řezná síla, zmenšuje se její závislost na řezné rychlosti a tím se zmenšuje kmitání.

- **Zvýšení tuhosti**

Dostatečná tuhost technologické soustavy je hlavním předpokladem pro zabránění vzniku chvění. Známe víc metod pro zvýšení tuhosti strojů. Vzpomeňme např. odstranění vůle mezi vřetenem a ložisky, mezi pinolou a tělesem koníku, mezi suportem a ložem, použití nevyběhaných hrotů, použití lunet atd.

Velký význam při zvyšování tuhosti obráběcích strojů všech typů má zvětšování průměrů vřeten. Tuhost většiny uzlů obráběcích strojů závisí na deformacích stykových míst. Z toho hlediska má velký význam otázka racionální drsnosti dotykových ploch, jako i zmenšování stykových ploch a částí.

- **Změna hmotnosti kmitající soustavy**

V praxi se tato metoda využívá tak, že na nástroj nebo obrobek se zavěšují různě těžké předměty. Hmotnost suportů se zvětšuje tak, že se na ně kladou různé závaží.

- **Jiné způsoby snížení kmitání**

Zmenšení kmitání můžeme docílit i zvětšením energetických ztrát na vnitřní tření kmitajících částí. Vycházejíc z tohoto principu, vyrábí se držáky nožů pro rychlostní obrábění z očkované litiny, protože vnitřní tření litiny je větší než tření oceli. [1]

V praxi se kmitání odstraňuje tak, že hrot nože se nastaví nad osu otáčení obrobku případně obrácený nůž se nastavuje pod osu při opačných otáčkách. Takto se v podstatě zvětšuje úhel čela a zmenšuje úhel hřbetu.

Zvětšením tlumících sil můžeme zmenšit resp. odstranit kmitání. Při této metodě se do soustavy zavedou dodatečné opory, které pohlcují energii zapříčiňující kmitání. Známe

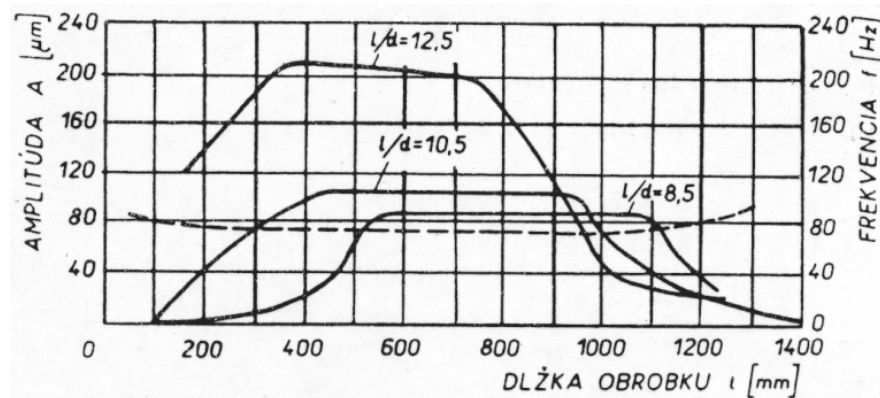
víc zařízení, které pracují na tomto principu. Nejrozšířenější jsou tlumiče kmitání, které využívají tření, tj. zavádějí do soustavy pomocné třecí síly.

Tlumiče kmitání mohou sloužit na tlumení kmitavého pohybu obrobku nebo na tlumení kmitavého pohybu nástroje. Na tlumení kmitavého pohybu obrobků při soustružení se používají hydraulické nebo mechanické tlumiče. [1]

1.4.3 Vliv tuhosti technologického systému na samobuzené kmity

Hlavním prostředkem jak zabránit kmitání při obrábění, je zvýšení tuhosti soustavy stroj – obrobek – nástroj. Zvýšení tuhosti celého systému nebo jen jeho části snižuje chvění.

Při podélném soustružení se při přemísťování nože vzhledem na opory obrobku mění tuhost obrobku, v důsledku toho se mění i jeho deformace. Toto se v určité míře projeví i na tuhosti celé soustavy stroj – obrobek – nástroj. Se změnou hmotnosti obrobku se mění amplituda a frekvence kmitů celého systému (obr.8). [1]



Obr: 8. Vliv tuhosti na změnu amplitudy a frekvence samobuzených kmitů.

----- amplitudy, - - - - - frekvence

Z obrázku je vidět, že na kraji obráběného předmětu není ze začátku chvění anebo jen velmi malé. Poté se amplituda zvětšuje a do určité hranice, až někde ve středu obrobku se kmity ustálí na určité intenzitě. Poté se chvění zmenšuje, až na konci obrobku zmizí. Se zmenšením průměru obráběného předmětu se intenzita chvění zvětšuje. Frekvence zůstává téměř konstantní na celé délce obrobku.

Zvýšení amplitudy a zvýšení frekvence blízko vřeteníku a koníku můžeme vysvětlit tím, že tuhost systému stroj – obrobek – nástroj je tady větší.

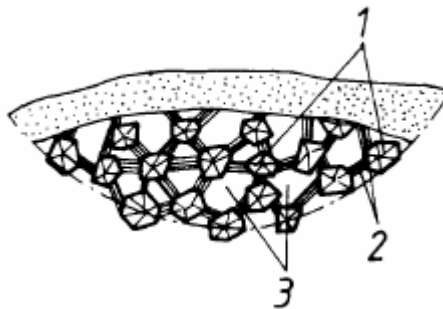
Chvění můžeme podstatně zmenšit, když se zvýší tuhost obráběného předmětu použitím lunety.

Bez lunety se v praxi pracuje tehdy, jestliže poměr délky a průměr obrobku je $l/d < 12$. [1]

2 BROUŠENÍ

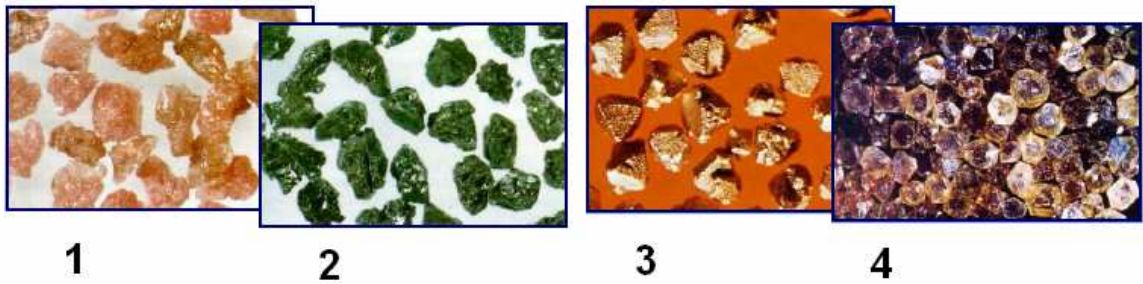
Broušení je jemné dokončovací obrábění součásti pomocí brousícího zrna, které je keramickou nebo jinou vazbou vázáno do tvaru válcového, do brousícího kotouče. Hlavní pohyb při broušení vykonává rotující brousící kotouč, vedlejší pohyby vykonává buď nástroj nebo obrobek.

Broušení je třískové obrábění mnohobřítým nástrojem. Je podobné frézování, avšak průřez třísky, odebíraný při rotaci kotouče jednotlivými zrny je jen několik tisícin mm^2 a střední tloušťka třísky dosahuje hodnot několika μm . Tvar brusných zrn i jejich poloha v brusném kotouči jsou zcela nepravidelné, takže i řezné úhly jednotlivých zrn nemají jednotnou geometrii břitu, jako mají jiné nástroje (např. frézy). V důsledku této geometrie a způsobu obrábění má broušení několik zvláštností. Vzhledem k pevné vazbě nástrojů lze broušením obrábět značně vyšší řeznou rychlostí než u technologií s definovanou geometrií. Řezná rychlost při broušení dosahuje $25 \div 180 \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vzhledem k dosti nevhodné geometrii brousícího zrna vzniká v obrobku značně vysoká teplota; do obrobku odchází až 80% celkového množství tepla. Průřezy třísek jsou enormně malé, pohybují se v tisícínách mm^2 , takže dochází k ohřátí, toztavení až vypaření třísky.



Obr.9. Brousící zrno. 1 –zrno
brusiva, 2– pojivo, 3 – póry

Další zvláštností procesu broušení je brousící nástroj pozůstávající z velikého množství prostorových zrn, pojených pojivovými můstky, mezi kterými jsou póry. Materiál brousících zrn je nejčastěji elektrokorund (elektrie) nebo karbid křemíku (karborundum), dále se používá karbid bóru a v poslední době kubický nitrid bóru a diamant. Při obrábění se brousící zrno opotřebovává a vylamuje se z vazby. Obnovení řezné schopnosti se provádí orovnááním pomocí diamantových orovnávačů různé konstrukce. [3]



Obr.10. Druhy brousících zrn. 1 – zrna brusiva z Al_2O_3 , 2 – zrna brusiva z SiO_2 , 3 – zrna brusiva z CBN, 4 – zrna brusiva z diamantu

Pracovní pohyb při broušení rozdělujeme stejně jako u jiných způsobů obrábění na řezný pohyb a posuv. Výsledný řezný pohyb je zpravidla výslednicí pohybu brusného nástroje a obrobku. Protože obvodová rychlost brousícího kotouče je nepoměrně větší než rychlost obráběné součástky (100 ÷ 200x), považujeme za řeznou rychlost broušení obvodovou rychlost brousícího kotouče, která je pro normální brousící kotouče max. $35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Posuv označujeme jako posuv kotouče za dobu jedné otáčky součástky (při broušení do kulata), nebo posuv za jednu minutu v *podélném* směru nebo *příčném* směru (rovinné broušení).

Při broušení rotačních ploch je relativní pohyb brusných zrn vzhledem k brusné ploše stejný jako při okružovacím frézování. Posuv v axiálním směru koná zpravidla brusný kotouč. Střední průřez odebíraného materiálu F_S je možné vypočítat z objemu odebrané vrstvy materiálu a délky dráhy brusného kotouče za minutu podle vztahu:

$$F_S = \frac{v_s}{60 \cdot v_k} \cdot t \cdot s \quad [\text{mm}^2] \quad (8)$$

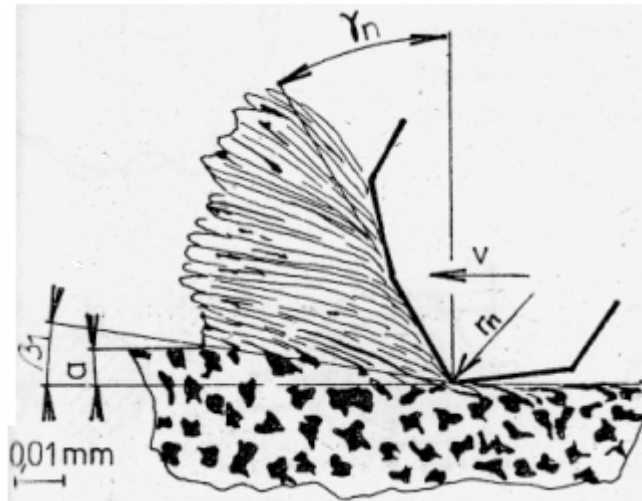
kde v_s ... je obvodová rychlost obrobku [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]

v_k ... obvodová rychlost brusného kotouče [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

t ... hloubka odebírané vrstvy materiálu [mm]

s ... relativní posuv brusného kotouče za jednu otáčku obrobku [$\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$]

Při rovinném broušení je relativní pohyb brusných zrn podobný relativnímu pohybu zubů válcové frézy (Obr.11). [4]



Obr.11. Řezné úhly brousícího zrna.

Pro broušení se používá značně široký sortiment brusek. Podle účelu a způsobu práce lze brusky rozdělit do skupin:

- a) hrotové brusky
- b) bezhrotové brusky
- c) brusky na díry
- d) rovinné brusky
- e) speciální brusky [3]

2.1 Vliv základních řezných podmínek na drsnost povrchu

Mezi základní řezné podmínky počítáme obvodovou rychlost brusného kotouče, obvodovou rychlost obrobku, posuv, poměr obvodových rychlostí kotouče a obrobku, délku vyjiskření atd. Obvodová rychlost kotouče se také někdy nazývá řezná rychlost. [5]

2.1.1 Obvodová rychlost brousícího kotouče

Pro brusný kotouč platí, že existuje závislost mezi drsností povrchu a obvodovou rychlostí. Se zvětšováním obvodové rychlosti se zmenšuje tloušťka odebírané třísky a celkové množství materiálu odebírané jedním brusným zrnem. Zvětšením obvodové rychlosti

bez zvětšování přísuvu se velikost řezné síly zmenší. Optimální obvodová rychlost běžných brusných nástrojů s keramickým pojivem bývá v rozsahu $25 \div 35 \text{ m.s}^{-1}$. Při menších obvodových rychlostech odebere brusné zrn větší množství materiálu za stejnou časovou jednotku než při větších. To má za následek změnu řezivosti kotouče a zhoršení drsnosti povrchu. Doporučené obvodové rychlosti jsou v (Tab.1)

Tab.1. Doporučené obvodové rychlosti.

Druh broušení	Obvodová rychlost kotouče [m.s^{-1}]	Úběr materiálu [mm]
Hrubování	$26 \div 28$	$0,2 \div 0,5$
Broušení na čisto	$26 \div 28$	$0,02 \div 0,1$
Jemné broušení	$26 \div 28$	$0,01 \div 0,02$
Nejjemnější broušení	$12 \div 18$	$0,001 \div 0,003$
Lapování	$12 \div 18$	$0,001 \div 0,003$

Podobně při překročení horní meze optimálního rozsahu nastává většinou zhoršení drsnosti povrchu. Způsobuje to otupení brusných zrn, která se však nemohou uvolnit a nahradit ostrými, protože při zvýšení obvodové rychlosti se kotouč jeví jako tvrdší. Zhoršení drsnosti povrchu v tomto případě může být doprovázeno vyhřátím materiálu nebo vlnitostí povrchu obrobku. [5]

2.1.2 Obvodová rychlost obrobku

Zmenšením obvodové rychlosti obrobku lze dosáhnout lepší drsnosti broušeného povrchu. Při nižší hodnotě poměru $\frac{v_k}{v_m}$ se zhoršuje drsnost povrchu. Tato změna nastává u tvrdších kotoučů rychleji než u měkčích kotoučů. Doporučené rychlosti jsou v (Tab.2).

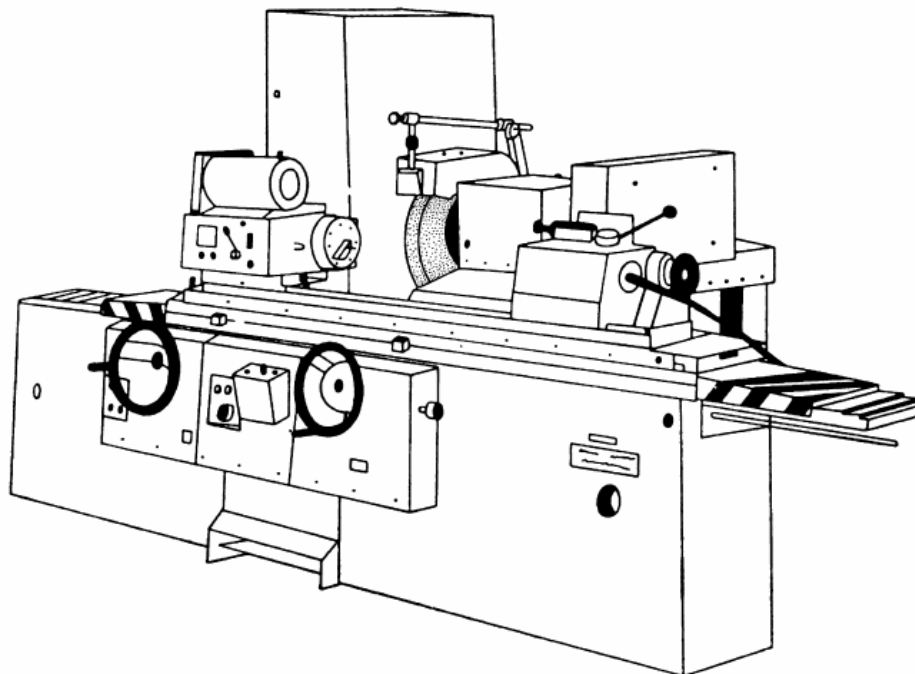
Tab.2. Doporučené rychlosti.

Materiál obrobku	Způsob broušení	Obvodová rychlost obrobku [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
Obyčejná ocel a litina	Hrubování	$22 \div 26$
	Dokončování	$18 \div 22$
Kalená ocel	Hrubování	$20 \div 22$
	Dokončování	$15 \div 18$
Bronz apod.	Hrubování	$26 \div 30$
	Dokončování	$22 \div 24$

2.2 Brousící stroje

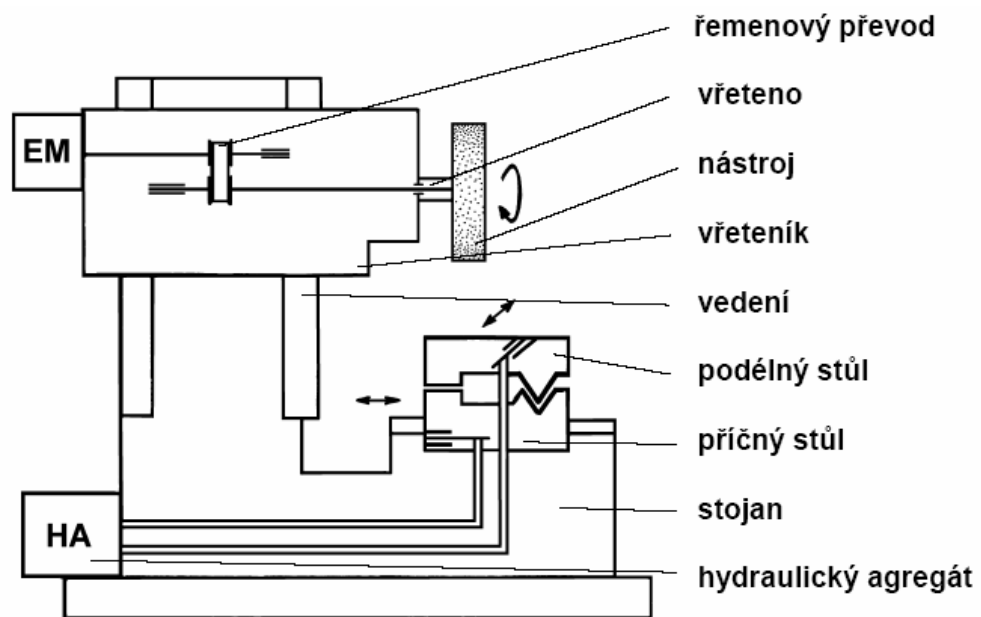
Brousící stroje jsou vyráběny a dodávány v širokém sortimentu druhů a použití. Dále jsou uvedeny konstrukčně technologické charakteristiky vybraných druhů brusek.

2.2.1 Hrotové brusky



Obr.12. Hrotová bruska.

2.2.2 Rovinná bruska



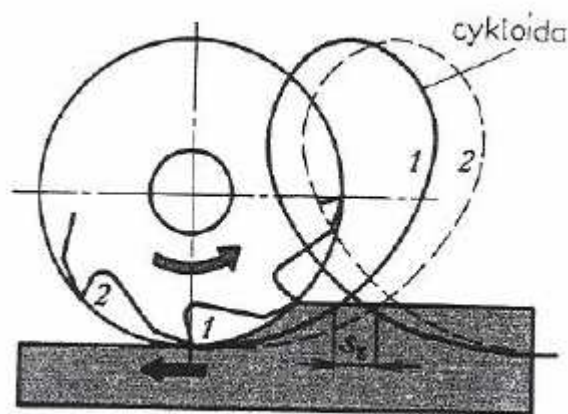
Obr.13. Rovinná bruska.

3 FRÉZOVÁNÍ

3.1 Podstata frézování

Frézováním se obrábějí rovinné i tvarové plochy otáčejícím se vícebřitým nástrojem, tj. frézou. Obrobek upnutý na pracovním stole frézky vykonává plynulý pohyb – posuv. Někdy se posouvá i vřeteno s nástrojem. Jednotlivé břity nástroje nejsou trvale v záběru, ale jen po určitou dobu otáčky. Břity, které právě neodebírají třísku z materiálu se ochlazují.

Otáčivý pohyb frézy je hlavním pohybem, vedlejší pohyb obrobku je přímočarý nebo kruhový. Obvykle je vedlejší pohyb kolmý na osu otáčení. Řezný pohyb je tedy cykloida. [9]



Obr.14. Řezný pohyb při frézování.

3.2 Výkon, přesnost a drsnost povrchu při frézování

Kvalita obrobenej plochy všeobecně závisí:

1. od použití řezných kapalin – při použití řezných kapalin se třísky na řezný klín nenalepují, což zlepšuje jakost obrobenej plochy
2. na druhu nástroje (přesnost, průměr, materiál,...); drsnost závisí na házení řezných klínů, na stupni otupení, na průměru nástroje a na velikosti posuvu; [4]

teoreticky platí:
$$R_{\max} = \frac{S_z}{8 \cdot \left(R \pm \frac{S_z \cdot Z}{\pi} \right)} \quad [\text{mm}] \quad (9)$$

kde R – poloměr frézy [mm]

Z – počet zubů frézy

+ - při sousledném; - při nesousledném frézování.

Skutečná drsnost je vlivem plastických deformací $1,5 \div 2x$ větší.

R_a při jemném frézování bývá $0,8 \div 1,6\mu\text{m}$; IT $7 \div 8$

při hrubování $6,3 \div 25\mu\text{m}$; IT $10 \div 12$

3. od řezných podmínek

řezná rychlost závisí: na obrobitelnosti materiálu obrobku

na řeznosti materiálu nástroje

na průřezu třísky

na použití řezného prostředí

na druhu frézky

bývá $0,33 \div 6,6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

rychlost posuvu závisí: na obrobitelnosti

na druhu nástroje

na průměru třísky

a volí se podle druhu práce:

posuv $s_z = 0,03 \div 0,08$ při práci na čisto

$0,3 \div 0,4$ při hrubování

Hloubka řezu $t = 1\text{mm}$ při práci na čisto

$3 \div 10\text{mm}$ při běžném frézování

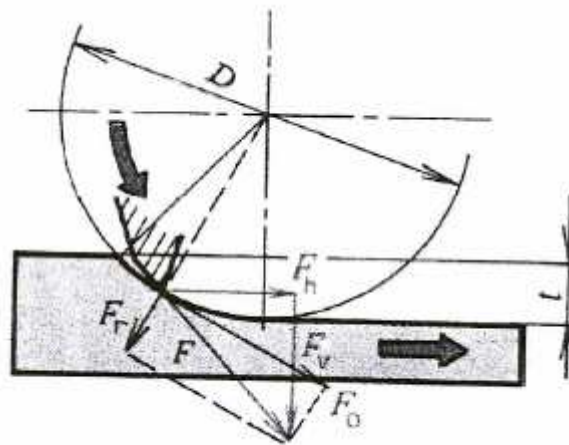
40 ÷ 50mm při hrubování [4]

3.3 Sousedné frézování

Při sousledném frézování se fréza otáčí ve směru posuvu (Obr.15). Břity zubů se postupně zařezávají do maximální tloušťky třísky a končí na obrobené ploše. Plochy takto obrobené jsou hladší. Řezná síla působí příznivěji na upínání, neboť je přitlačuje na opěrnou plochu. Výkon při sousledném frézování je o 30 ÷ 50% větší, než při nesousledném frézování při stejné trvanlivosti nástroje.

Nevýhodou sousledného frézování jsou silové rázy při záběru každého zubu do materiálu. Dají se však odstranit použitím fréz se šikmými zuby. V posunovém ústrojí vznikají rázy tím, že fréza má snahu vtahovat obrobek do sebe. Proto musí mít frézky zařízení pro vymezení vůle mezi posunovým šroubem stolu a jeho maticí.

Sousedné frézování se uplatní jen na frézách tuhé konstrukce. Obvykle se používá při obrábění houževnatých a měkkých materiálů. Při obrábění výkovků, odlitků a výlisku, které mají nečistý a tvrdý povrch, je výhodnější frézování nesousledné. [9]

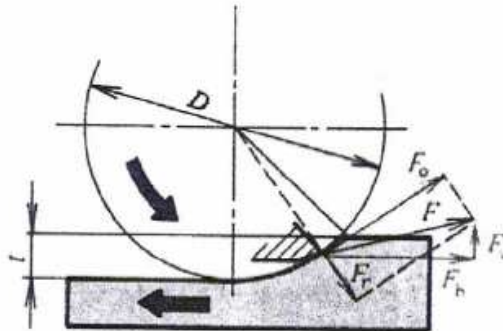


Obr.15. Sousedné frézování.

3.4 Nesousledné frézování

Při nesousledném frézování se fréza otáčí proti směru posuvu (Obr.16). Vodorovná složka síly působí proti směru posuvu a svislá složka obrobek zvedá. Zub

zabírá z nulové tloušťky třísky. V tomto případě způsobuje zaoblení ostří, že zub začne řezat až po dosažení určité tloušťky třísky, předtím dochází pouze k pýchování materiálu a ke tření hřbetu o obrobek. Tím se zvyšuje opotřebení břitu nástroje a zhoršuje se kvalita obrobenej plochy. Z tohoto hlediska je sousledné frézování výhodnější, vyžaduje však vzhledem ke stejnému směru posuvu a vodorovné složky síly F , vymezení vůle v posuvovém mechanismu stroje. [9]



Obr.16. Nesousledné frézování.

3.5 Frézovací stroje – frézky

Frézky rozdělujeme na tyto základní skupiny:

1. frézky s pevným vřeteníkem a výškově nastavitelným stolem; sem patří tzv. *konzolové frézky*.
2. frézky s vřeteníkem výškově přestavitelným a stolem pohybujícím se jen ve vodorovné rovině, zde patří tzv. *frézky rovinné*.
3. frézky speciální – jsou to převážně jednoúčelové stroje např. na: drážkování, na vačky, na závity, na ozubení...

frézovací stroje se vyrábějí v různých velikostech. Nejdůležitější je rozměr udávající upínací plochu stolu. Kromě toho je důležitá i vzdálenost mezi vřetenem a stolem – určuje maximální výšku frézované součástky, podélnou, příčnou a svislou délku pohybu stolu, rozsah otáček vřetene, rozsah posuvů, výkon motoru apod. [4]

4 JAKOST

4.1 Jakost povrchu

Jakost povrchu je souhrn geometrických a chemických vlastností skutečného povrchu posuzované plochy, tj. povrchu, který odděluje těleso od okolního prostředí. Závisí na ní mnohé funkční vlastnosti strojů, životnost, popřípadě pevnost jednotlivých součástí, vzhled i výrobní náklady. Při sériové a hromadné výrobě je dodržení stejné jakosti povrchu funkčních ploch jednou z podmínek úplné zaměnitelnosti součástí.

Stav povrchu jednotlivých ploch hotové součásti záleží jednak na způsobu zpracování materiálu na polotovar a na způsobu obrobení uvažované plochy. Podle toho lze na součástech rozlišit plochy obrobené a neobrobené, s povrchovou úpravou nebo bez ní.

Jakost povrchu má vliv na přesnost a trvanlivost stroje. Hrubší a nerovnoměrný obrobený povrch se při chodu stroje časem vyhladí. Při posuzování jakosti povrchu strojových součástek je třeba rozlišovat druh povrchu, vlnitost a drsnost povrchu.

Druh povrchu může být :

- a) neopracovaný – součástky odlité, kované, lisované, válcované
- b) opracovaný – povrch je pilovaný, soustružený, hoblovaný, frézovaný, škrabaný [12]

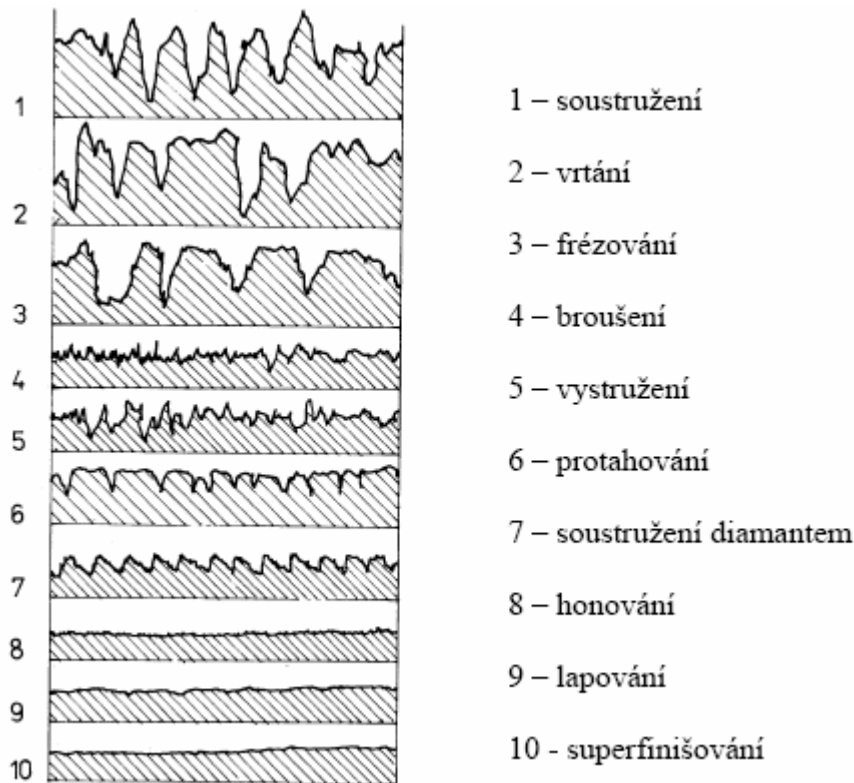
4.2 Předepisování kvality povrchu

Rozvoj techniky, inovace výrobní techniky a technologických zařízení zvyšuje nároky na provedení součástí nejen z hlediska výkonu, přesnosti, účinnosti, životnosti a spolehlivosti, ale také z hlediska estetického provedení, úprav povrchu a z hlediska kvality charakterizované geometrickými parametry, drsností, povrchovým pnutím případně mechanickým zpracováním. V sériové a hromadné výrobě vyžadujeme vzájemnou charakternost součástí. Jedním z předpokladů vyměnitelnosti je stále stejná jakost povrchu. K tomu, abychom dosahovali stejné jakosti povrchu je třeba, aby veličiny určující povrchové vlastnosti byly předepisovány kvantitativně a mohly být objektivně měřitelné.

Přítom kvalitu výrazně ovlivňuje technologie dokončování povrchů, jak to ukazuje (Obr.17).

S postupným zvyšováním kvality snižuje se drsnost, zvyšuje se nosný podíl obrobenej plochy, ale také se zvyšují náklady na obrábění.

Žádnou, zatím známou technologií nelze dosáhnout dokonalou hladkost a rovinnost plochy. Přítom míra drsnosti plochy značně ovlivňuje velikost koeficientu tření a tím i intenzitu opotřebování ploch; zvyšování se nosného podílu plochy ovlivňuje životnost. Kvalita povrchů má značný vliv i na pevnostní charakteristiky, zejména při dynamickém zatěžování. Volbu drsnosti povrchu musíme provádět proto z hlediska budoucích provozních požadavků na součást a z hlediska ekonomicky přijatelných nákladů.



Obr.17. Drsnost povrchu základních způsobů obrábění [13]

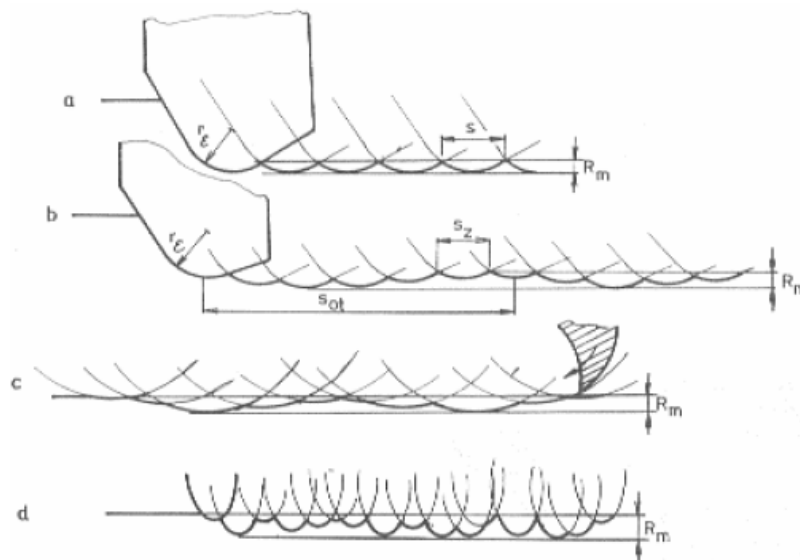
4.2.1 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je jedna z hodnot hodnocení kvality obrobenej povrchů. Tato hodnota významně ovlivňuje uživatelské vlastnosti těchto ploch a má velký význam při exploataci výrobků. Proto je potřebné hledat techniky pro předpověď drsnosti obrobenejho

povrchu ještě před obráběním, kvůli volbě parametrů obrábění, tak abychom dodrželi požadovanou drsnost obrobeneho povrchu a zabezpečili tím kvalitu výrobku. [11]

Drsnost povrchu definovanou na výkrese, můžeme považovat za limitní hodnotu, která se má v technologickém procesu obrábění dosáhnout. Jednoduchý geometrický přístup k identifikaci mikrogeometrie obrobeneho povrchu vychází z kopírování tvaru řezného klínu na obrobeneý povrch.

Při obrábění nástroji, které mají více řezných klínů, je výsledná drsnost povrchu určena dalšími vlivy jako je házení frézy a přesazení jednotlivých zubů při frézování, velikost a poloha jednotlivých zrn na brousícím kotouči. U některých druhů obrábění např. při zapichovacím soustružení tvarovými noži, je výsledná drsnost daná kopírováním nerovností řezné hrany nástroje.

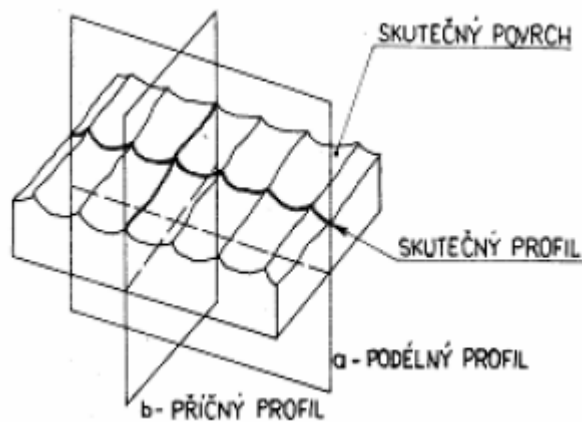


Obr.18. Profil obrobeneho povrchu při různých metodách obrábění. a – soustružení, b – čelní frézování, c- válcové frézování, d – broušení.

4.2.2 Posuzování drsností povrchu

Drsností povrchu nazýváme souhrn jemných nerovností (výstupků a prohlubní), které vznikají při každém zpracování materiálu. Na obrobeneém povrchu to jsou nejčastěji poměrně pravidelně a směrově uspořádané stopy (rýhy) zanechávané řezným nástrojem. U některých způsobů obrábění, např. soustružení, frézování, hoblování není drsnost povrchu

stejná ve všech směrech. Proto rozlišujeme drsnost příčnou, tj. drsnost ve směru kolmém na řezný pohyb Obr.19. A drsnost podélnou, tj. drsnost ve směru řezného pohybu.



Obr.19. Příčná a podélná drsnost povrchu.

Neobrobený povrch součástí nese některé typické stopy zpracování (stopy zanechané pískem odlévací formy, drsnými stěnami zápusky, válců, průvlaků apod.). Kromě těchto nerovností, které se překrývají s drsností a nazývají se vlnitostí povrchu.

Vlnitost povrchu obráběných ploch je způsobena příliš velkým nebo proměnným tlakem řezného nástroje, nedostatečnou tuhostí nosných částí obráběcího stroje, chvěním soustavy stroj – nástroj – obrobek a vnitřním pnutím a deformacemi obrobku. Mnohem snáze se dosáhne u obrobků povrchu o vysokém stupni hladkosti než stejnoměrnosti (vlnitosti).

Stupeň drsnosti plochy se určuje buď porovnáním nebo změřením profilu, který vznikne vhodně vedeným rovinným řezem přístroji založenými na optických nebo elektrických principech. Při určování stupně drsnosti porovnáváním, srovnáme obrobenou plochu s plochou, jejíž stupeň drsnosti známe nebo se speciálními vzorky, uspořádanými do vzorkovnice. Porovnává se buď přímo okem a hmatem nebo se použije mikroskopu. Neoptimálnější výsledky dává hodnocení nehtem. [13]

4.3 Hodnotící kritéria drsnosti povrchu

Tvar mikrogeometrických nerovností obrobených povrchů je velmi rozmanitý. Aby bylo možno kvantitativně hodnotit drsnost povrchů, byla přijata norma ISO 4287: Geometrická specifikace povrchu – Charakter povrchu.

Citovaná norma definuje skutečný povrch jako povrch, který ohraničuje součástku a odděluje od okolního prostředí. Naproti tomu jmenovitý povrch je ideálně hladký, kterého jmenovitý tvar je určený výkresem nebo jinou technickou dokumentací.

Veličiny drsností se vyhodnocují od základního povrchu, kterým je v prostoru příčně posunutý jmenovitý povrch a to v řezu kolmém na základní. Příčný profil je v řezu kolmém na měř stop nerovnosti povrchu a podélný profil je definován řezem v podélném směru stop nerovností povrchu.

Vyhodnocovací délka l je délka ve směru osy X, na které se vyhodnocuje profil drsností. Může obsahovat jednu nebo několik základních délek.

Základní délka l_r je délka ve směru osy, která se používá na identifikování nepravidelnosti, které charakterizují profil, metodou nejmenších čtverců z profilu.

Veličiny drsnosti povrchu se stanovují a vyhodnocují k základní čáře.

Střední aritmetická odchylka profilu R_a je nejčastějším hodnotícím kritériem drsnosti povrchu. Je to střední aritmetická hodnota absolutních odchylek profilu v rozsahu základní délky. Je vyjádřena vztahem:

$$R_a = \frac{1}{l} \cdot \int_0^l |Z(x)| dx \quad (10)$$

Střední kvadratická odchylka profilu R_q v rozsahu základní délky vyjadřuje:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z(x)^2 dx} \quad (11)$$

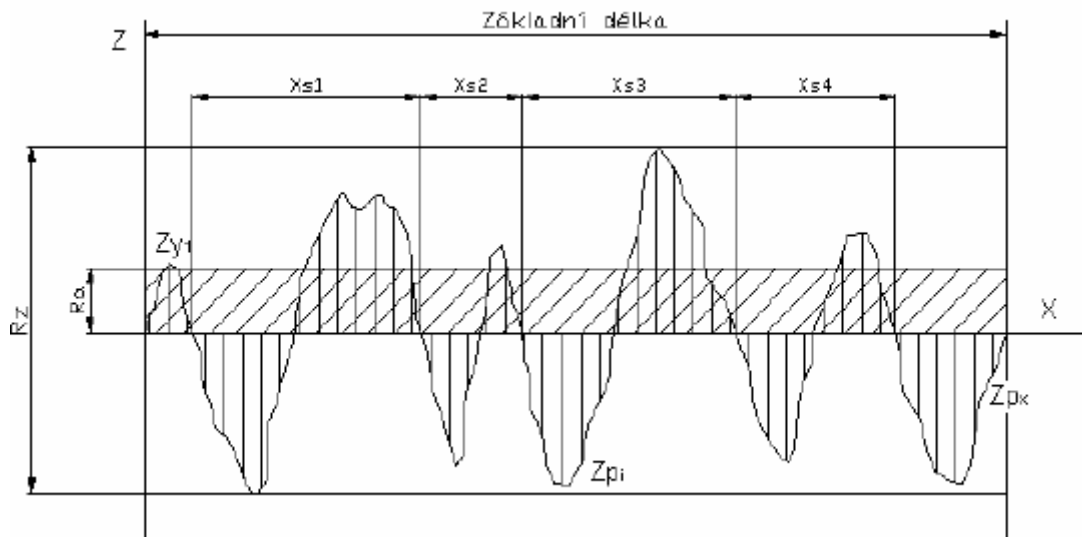
Střední délka prvku profilu R_{sm} v rozsahu základní délky je definovaná:

$$R_{sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si} \quad (12)$$

Nejvyšší výška nerovnosti profilu R_z je výšková charakteristika drsnosti povrchu, určená vzdáleností mezi čarou profilu a čarou prohlubní profilu v rozsahu základní délky. Matematicky vyjádřena:

$$R_z = Z_{y_{p \max}} + Z_{p_{v \max}} \quad (13)$$

Tato charakteristika udává jen nejvyšší hloubku profilu kontrolované plochy v rozsahu základní délky. Jako míra drsnosti povrchu má pro funkční povrchy poměrně malý význam a používá se jen jako doplňkové kritérium drsnosti povrchu.



Obr.20. Význam základních kritérií drsnosti povrchu.

Mezi hodnotami Rz a Ra platí vztah:

$$\frac{Rz}{Ra} = 2,5 \div 7 \quad (14)$$

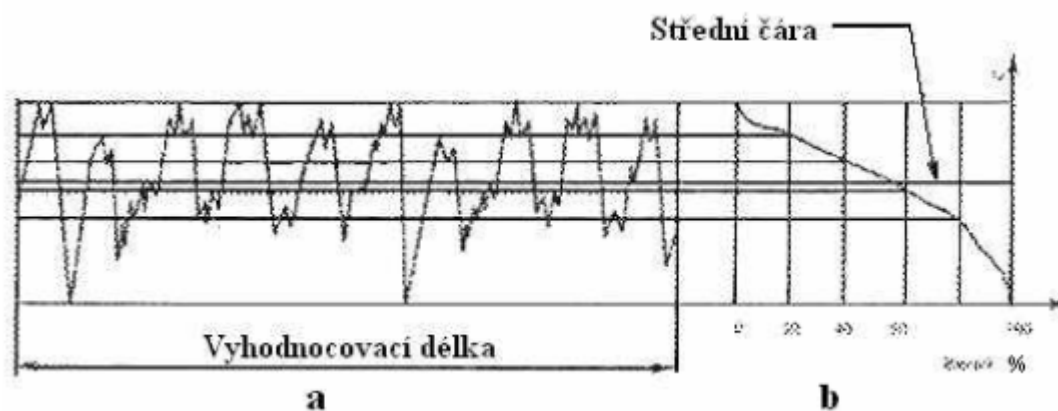
Pro hrubované plochy je $2,5 \div 3$, pro dokončovací plochy asi 4 a pro velmi jemné plochy, obrobené dokončovacími metodami obrábění $5 \div 7$.

Z rozebraných charakteristik drsnosti povrchu vyplývá, že základní představu o drsnosti povrchu získáme z profilové křivky (Obr.21 a). Z ní jsou odvozeny všechny kvantitativní ukazatele drsnosti.

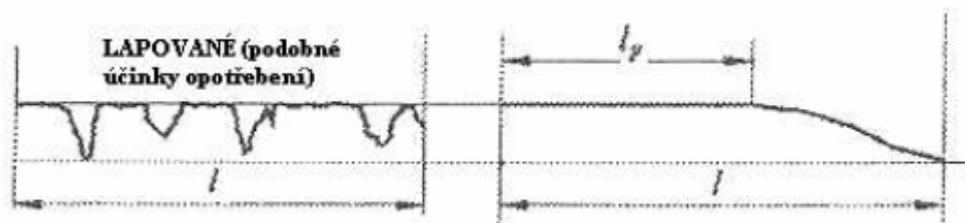
Z hlediska únosnosti, tření, opotřebení a celkové funkčnosti povrchu v tribosystému důležitou úlohu má nosná křivka drsnosti povrchu (Obr.21b). Tato zase ukazuje jak narůstá nosná délka povrchu v přechodu profilem drsnosti směrem dovnitř materiálu a v provozu též jak se zvětšuje nosná délka povrchu s postupujícím opotřebením. [10]

Z nosné křivky je možno odvodit tzv. nosný podíl drsnosti povrchu (obr.22), který je daný poměrem nosné délky profilu v konkrétní jeho hloubce, k základní délce l podle vztahu:

$$Rmr_{(p)} = \frac{l_p}{l} [\%] \quad (15)$$



Obr.21. Profilová a nosná křivka drsnosti povrchu.



Obr.22. Nosný podíl drsnosti povrchu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V teoretické části této diplomové byla uvedena problematika kmitání, broušení, frézování a hodnocení jakosti.

Praktická část bude zaměřena na měření drsnosti povrchu kovových a plastových vzorků, které budou broušeny za různých technologických podmínek. Cílem diplomové práce bude určení korelačních vztahů mezi technologickými parametry a jakostí výrobků

6 MATERIÁLY VZORKŮ

6.1 Kovy

6.1.1 Ocel 12 050

Ocel 12 050 patří do ocelí třídy 12, jsou konstrukční oceli uhlíkové určené k zušlechťování. Obsah uhlíku u těchto ocelí bývá $0,3 \div 0,7\%$ C.

Ocel 12 050 má obsah uhlíku $0,42 \div 0,5\%$, jde o ocel k povrchovému kalení, pro velké výrobky. Teplota normalizačního žíhání je 840°C , žíhání na měkko 700°C , kalení 820°C (voda, olej), popouštění 600°C (vzduch). Svařitelnost obtížná. [17]

Použití:

- na hřídele turbokompresorů, čerpadel, těžních strojů, elektromotorů, a dynam, na větší ozubená kola, šneky, automobilové klikové hřídele, ojnice, páky řízení, závěsy pružin, vřetena soustruhů, vrtací tyče, frézovací trny.[14]

6.1.2 Ocel 14 109

Ocel 14 109 patří do ocelí třídy 14, jsou to oceli chromové, chromomanganové a chromokřemíkové určené k zušlechťování. Zpravidla obsahují $0,35 \div 0,4\%$ C, $0,8 \div 1,6\%$ Cr a $1,6 \div 1,9\%$ Mn a to dle účelu použití. Obsahují-li $1 \div 1,3\%$ Si, jsou používány na pružiny. Chromomanganové slouží na jakostní ruční náradí.

Ocel 14 109 má obsah uhlíku $0,9 \div 1,1\%$, jde o ocel dobře obrobitelnou a tvárnou za tepla. Teplota žíhání na měkko je $720 \div 780^{\circ}\text{C}$, kalení $820 \div 840^{\circ}\text{C}$, popouštění $150 \div 170^{\circ}\text{C}$ (olej).

Použití:

- kuličky do 0,25mm, válečky a kuželíky do 0,18mm, kroužky valivých ložisek do tloušťky stěny 16mm. [14]

6.1.3 Ocel 19 436

Ocel 19 436 patří do ocelí třídy 19. Jsou to oceli nástrojové uhlíkové a oceli nástrojové slitinové.

Ocel 19 436 je vysokolegovaná chromovaná ocel ke kalení v oleji a na vzduchu, s velkou prokalitelností a odolností proti opotřebení a nižší houževnatostí, dobře tvárná zatepla a dobře obrobitelná. Teplota žhánání na měkko je $750 \div 780^\circ\text{C}$, teplota kalení je $930 \div 960^\circ\text{C}$ (olej) a teplota popouštění je $180 \div 250^\circ\text{C}$.

Použití:

- Řezné nástroje – nástroje na obrábění měkčích kovových materiálů menšími rychlostmi, zejména nepřerušovaným řezem, např. soustružnické nože, výhrušnice, závitníky, protahovací trny a jiné. Nástroje pro obrábění nekovových silně abrazivních materiálů.
- Nástroje pro stříhání za studena – velmi namáhané nástroje s velkou výkonností a životností pro stříhání a děrování kovových materiálů malých tloušťek (asi do 4mm), např. transformátorových a dynamových plechů. Dále střížnice pro přesné stříhání, ostříhovadla zápusťkových výkovek, nože strojních nůžek a další.
- Nástroje pro tváření za studena – velmi namáhané, tvarově jednoduché nástroje s velkou odolností proti opotřebení při menších nárocích na houževnatost, např. tvarovací lisovala, tažidla, průvlaky, razidla, protlačovadla, tlačné trny, profilové i závitové válce, a další.
- Formy – malé, velmi namáhané formy, nebo díly forem s velkou životností pro tváření plastů, dále lisování kovových i nekovových prášků, porcelánu, keramických materiálů i skla při velkých nárocích na odolnost proti opotřebení a tlakovému namáhání.
- Nástroje pro drcení a mletí. Kladiva a čelisti drtičů pro jemné drcení a mletí různých materiálů při velkých nárocích na odolnost proti opotřebení. [15]

6.1.4 Ocel 17 027

Jedná se o ocel korozivzdornou chromovou. Tato ocel obsahuje 0,15 ÷ 0,25% C, max 0,9% Mn, max 0,7% Si, 14 ÷ 16% Cr, max 0,04% P, max 0,035% S.

Použití:

- v zušlechtném stavu se používá na součásti tepelných energetických zařízení, např. na lopatky oběžných kol kompresorů, dále na hřídele, součásti vodních čerpadel, ventilové kroužky, písty, sedla, šrouby a matice;
- na součásti armatur a pánve na kapaliny, které nejsou podstatně agresivnější než voda;
- použití také pro součásti zařízení na kyselinu dusičnou. [16]

6.1.5 Titan

Titan je velmi tvrdý a lehký kov ocelového vzhledu, který je dobře odolný vůči korozi. Jeho hustota je 4,5g/cm³, pevnost 550MPa (vývojové typy titanu mají pevnost až 1500MPa), tvárnost 880 ÷ 980°C, teplota na odstranění napětí (pro rovnání, svařování) je 450 ÷ 650°C, rekrystalizační žíhání 850°C, izotermické žíhání 800 ÷ 950°C

Titan má dvě krystalové modifikace mřížky:

- do 882°C – šesterečná mřížka – α titan;
- nad 882°C – kubická plošně středěná mřížka – β titan. [22]

Vlastnosti:

- zadírá se, obrobitelnost je horší než u ostatních kovů, nízká tepelná vodivost způsobuje nalepování na břit obráběcího nástroje a tím jeho rychlejší otupení;
- nejvyšší poměr mezi pevností a hustotou ze všech kovových materiálů, extrémní mechanické vlastnosti a schopnost tepelné zátěže;
- vysoká pevnost v tahu – větší než u ocelí při 42% úspory hmoty;
- vysoká korozní odolnost, vysoká biokompatibilita.

Použití:

- vhodnost tam, kde se pracuje s chlorem;
- výroba kyseliny dusičné, výroba sody, v galvanoplastice;
- pro součásti v leteckém a kosmickém průmyslu;
- uplatnění také v loděřském průmyslu a v medicíně. [17]

6.1.6 Hliník

Hliník je označován číselnou řadou 424...

Hustota hliníku je $2,6\text{g/cm}^3$, tavicí teplota 660°C , pevnost 60MPa , tažnost 25%, teplota legování $300 \div 350\text{MPa}$, teplota kalení $350 \div 450\text{MPa}$.

Při styku s atmosférou se na povrchu hliníku vytváří keramika, ta jej chrání před oxidací. [14]

Čistý hliník je poměrně měkký, dobře tvárný, ale málo pevný. Mechanické hodnoty jsou závislé na chemické čistotě a způsobu zpracování (tvářením zastudena, zatepla apod.).[7]

6.1.7 Měď

Měď je označována číselnou řadou 423...

Hustota mědi je $8,9\text{g/cm}^3$, tavicí teplota je 1083°C .

Pro výbornou elektrickou a tepelnou vodivost a tvárnost zastudena i zatepla je důležitým konstrukčním materiálem v elektrotechnice, tepelné technice, potravinářském a chemickém průmyslu.

Měď na běžné tvářené výrobky se podle ČSN vyrábí v těchto druzích čistoty:

- ČSN 42 3003 – 04 měď 99,85; 99,75 vhodná ke svařování,
- ČSN 42 3005 – 04 měď 99,5 nejnižšího stupně čistoty,
- ČSN 42 3009 – 04 měď Cu 99,2 As s přísadou arsenu, případně niklu má zvýšenou odolnost proti účinkům redukčních plynů za vyšších teplot a proto se používá na součásti topenišť parních kotlů a jiných tepelných zařízení.[7]

6.2 Plasty

6.2.1 Polypropylen PP

Vlastnosti:

- dosti pevný, tuhý, houževnatý, teplotně odolný až do 130°C, křehne pod -10°C
- chemicky odolný proti kyselinám, zásadám, olejům a rozpouštědlům.

Zpracování:

- vstřikování, vytlačování a lisování do 280°C;
- modif. typy i válcováním, svařováním a lepením.

Použití:

- potrubí a jeho součásti pro horkou vodu, vlnovce, tělesa čerpadel, oběžná kola ventilátorů, nádoby akumulátorů, sterilizované injekční stříkačky, přepravky na láhve a potraviny;
- vlákna na pytle a plovoucí lana. [14]

6.2.2 Polyamid PA66

Polyamidy jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny –CONH–.

Vlastnosti polyamidů se mění podle výchozích monomerů, všechny jsou z 30 ÷ 50% krystalické a neprůhledné, řetězce jsou provázány vodíkovými můstky mezi amidovými skupinami, jejichž množství ovlivňuje krystalickou strukturu, bod tání a teplotu skelného přechodu aj.

Typická je vysoká houževnatost, tvrdost, odolnost proti oděru a nasákavost. Polární charakter PA a nasákavost omezují vznik elektrostatického náboje.

Polyamidy mají velmi malou viskozitu taveniny a lze je zpracovávat všemi technologiemi pro zpracování plastů.

Podle počtu –C- v monomerní jednotce se dělí na:

- polyamid 6 (PA6)
- polyamid 66 (PA66)
- polyamid 610
- polyamid 11
- polyamid 12

Polyamid 66 (nylon):

- **výroba:** polykondenzací
- **vlastnosti:** $\rho = 1,14\text{g/cm}^3$, $E = 3000\text{MPa}$, $\sigma = 70\text{MPa}$, $T_m = 254^\circ\text{C}$,
použitelný od $-30 \div +120^\circ\text{C}$
- **aplikace:** šrouby, matice, ozubená kola, vačky, kluzná ložiska, klece valivých ložisek, nosná tělesa, rotory ventilátorů

6.2.3 Polytetrafluoretylén PTFE

PTFE patří mezi speciální polymery, tzv. fluoroplasty. Vznikají záměnou atomu vodíku mnohem elektronegativnějším atomem fluoru.

PTFE je lineární, z 93 ÷ 97% krystalický plast s typickým silně voskovým omakem.

Jeho hustota je $2,14 \div 2,2\text{g/cm}^3$, $E = 350 \div 410\text{MPa}$, $\sigma = 17 \div 26\text{MPa}$, $T_m = 345^\circ\text{C}$.

Vlastnosti:

- teplotní rozsah použití $150 \div 260^\circ\text{C}$ trvale,
- nehořlavý, zdravotně nezávadný, nerozpustný, vysoce chemicky odolný plast
- vysoce houževnatý, má vynikající elektroizolační vlastnosti, výrazně adhezivní vlastnosti.

Zpracování:

- studeným slisováním prášku 15 ÷ 20MPa, poté slinování v sušárně při 360 ÷ 380°C,
- vytlačováním s 25% parafinu či vosku, teprve poté slinování,
- nanášením.

Použití:

- samomazná kluzná a metaloplastická ložiska, kluzná vedení, těsnění, ucpávky a hadice pro agresivní prostředí za vysokých teplot, pístní kroužky, membrány, vlnovce, antiadhézní a chemicky odolné povlaky

6.2.4 Polykarbonát PC

PC patří mezi polyestery. Polyestery jsou velká skupina polymerů, jejichž charakteristickým znakem je přítomnost esterových vazeb v hlavních řetězcích.

PC vykazuje velmi dobré vlastnosti při relativní dostupnosti surovin.

Hustota PC je $\rho = 1,2 \div 1,5 \text{g/cm}^3$, $E = 2\,200 \div 2\,450 \text{MPa}$, $\sigma = 65 \div 70 \text{MPa}$, vrubová houževnatost $20 \div 50 \text{kJ/m}^2$.

Vlastnosti:

- pevný, stálý, odolný proti opotřebení,
- transparentní (propustnost světla 85%),
- dobrá rozměrová stabilita od -150 ÷ 140°C,
- odolný vůči UV.

Zpracování:

- vstřikování při 280 ÷ 310°C (forma 80 ÷ 120°C),
- vytlačování při 220 ÷ 320°C (nutnost sušení),
- lití z roztoku, třískové obrábění,
- svařování horkým vzduchem.

Použití:

- ozubené kola, kluzná ložiska a kluzné prvky, elektroizolační fólie kabelů a transformátorů,
- pokovované folie na tištěné spoje a miniaturní kondenzátory.

6.2.5 Polyvinylchlorid PVC

PVC patří mezi vinylové polymery. Tyto polymery jsou buď zcela amorfní nebo mírně syndokrystalické s náznakem krystalické struktury (PVC).

PVC má mírně větvenou strukturu s malým podílem krystaliniky $3 \div 10\%$. Hustota je $\rho = 1,36\text{g/cm}^3$, $\sigma = 35\text{MPa}$, $E = 2\,500\text{MPa}$, $T_g = 82^\circ\text{C}$, teplota použití $-5 \div 85^\circ\text{C}$.

Vlastnosti:

- vynikající odolnost vůči vodě, kyselinám, zásadám i organickým chemikáliím,
- nízká permeabilita vodní páry, kyslíku,
- vysoká pevnost, odolnost proti oděru a mechanická pevnost,
- dobré elektroizolační vlastnosti,
- vysoký lesk a čírost, samozhášivost.

Zpracování:

- velmi pracné z důvodu teplotní odolnosti a špatných tokových vlastností taveniny (nutnost použít maziva, stabilizátory, změkčovadla),
- vytlačování, vstřikování, válcování, lisování, tepelné tvarování.

Použití:

- vodovodní a odpadní potrubí, armatury, součástí čerpadel a trubky pro chemický průmysl, kyselinovzdorná vyložení nádrží
- měkčený na kabely, hadice, těsnění, podrážky, podlahoviny, povlaky dopravních pásů, těsnící fólie. [18]

6.2.6 Polyoxymetylen POM

POM patří mezi polyacetal. Polyacetal mají v hlavním řetězci mají vestavěnou skupinu –O-. Z této skupiny jsou průmyslově důležité jen polymery a kopolymery formaldehydu – zvané proto též polyoxymetylény.

POM je lineární vysoce krystalický polymer, patří mezi konstrukční plasty. Jeho hustota je $\rho = 1,41\text{g/cm}^3$, $E = 2\,700 \div 3\,200\text{MPa}$, $\sigma = 97 \div 102\text{MPa}$.

Vlastnosti:

- velmi dobré mechanické vlastnosti včetně rázové houževnatosti až do -40°C ,
- teplota tání $T_m = -40^\circ\text{C}$,
- má nejvyšší odolnost proti oděru, málo pohlcuje vodu,
- krystalinita: $85 \div 90\%$ u těles, $70 \div 80\%$ u folií,
- do 70°C se nerozpouští v žádném rozpouštědle, trpí korozi za napětí,
- dobrá svařitelnost a pokovovatelnost
- dobré kluzné vlastnosti, dobrá odolnost proti korozi za napětí

Zpracování:

- vstřikování, vytlačování, vyfukování při $200 \div 210^\circ\text{C}$,
- ve formě prášku lze fluidně nanášet na kovy.

Použití:

- nerozbitné nádoby, kryty světel, ochranné kryty např. svorkovnice, průhledy, nosná tělesa,
- elektroizolační fólie pro vyšší teploty. [18]

6.2.7 Vysokohustotní polyetylen HDPE

HDPE patří mezi polyolefiny.

Vlastnosti:

- Hustota je $\rho = 0,954 \div 0,97 \text{g/cm}^3$, $E = 700 \div 1\,400 \text{MPa}$, $\sigma = 20 \div 33 \text{Mpa}$, $T_m = 125 \div 135^\circ\text{C}$, krystalinita $65 \div 95\%$.

Zpracování:

- vstřikováním, vytlačováním a vyfukováním.

Použití:

- vstřikované výrobky denní potřeby (nádobí, koše, láhve, atd.), trubky, desky, velkoobjemové nádoby, folie i velmi tenké – mikroten, orientované pásy, pytle, farmaceutické preparáty, benzinové kanistry. [18]

7 BROUŠENÍ VZORKŮ

Jako vzorky pro broušení a následné měření drsnosti povrchu byly použity kovové a plastové vzorky tvaru kvádrů o rozměrech 50x50x20mm.

Pro broušení byly měněny technologické parametry ovlivňující kmitání technologické soustavy a tím i drsnost broušeného povrchu.

Jak kovy, tak i plasty, byly broušeny při stejném technologickém postupu. Kovy byly navíc chlazeny z důvodu zabránění degradace materiálu.

Pro broušení byl použit brousící kotouč s označením 99 SA3 60K o rozměrech 250x50x46.

7.1 Bruska rovinná horizontální BRH 20.03F

Broušení bylo prováděno na brusce BRH 20.03F. Bruska BRH 20.03F je bruska rovinná s horizontálním vřetenem a pravoúhlým stolem. Je určena pro broušení rovinných a tvarových ploch součástek z oceli, litiny a ostatních kovových materiálů, u kterých se vyžaduje dosažení vysoké přesnosti a kvality zpracování.

Broušené součástky podle svých rozměrů a tvarů mohou být upínané na elektromagnetickou desku a nebo přímo, nebo prostřednictvím vhodných upínačů na upínací plochu stolu.

Bruska pracuje v uzavřeném automatickém pracovním cyklu. K řízení automatického cyklu je bruska vybavena číslicovou indikací NV 300E fy Fagor, které slouží k odměřování dráhy svislého a příčného posuvu při práci v ručním režimu a k řízení posuvu v automatickém pracovním cyklu.

Z hlediska koncepce se bruska BRH 20.03F vyznačuje tím, že stůl vykonává podélný pohyb po vedení vyhotoveném na předním loži a příčný posuv vykonává brusný vřeteník spolu se stojanem, ve kterém je vedení pro jeho svislý posuv. Hydraulický agregát a skříň elektriky tvoří samostatné celky umístěné mimo stroj. [19]



Obr.23. Horizontální bruska BRH 20.03F.

7.2 Volba brousícího kotouče

Brousící kotouč je rozhodujícím činitelem ovlivňující výsledek broušení.

Brousící kotouč se má volit především podle materiálu určeného k broušení. Všeobecně platí, že čím tvrdší je materiál obrobku, tím měkčí má být brousící kotouč a naopak.

V této diplomové práci bylo jako vzorků použito značně rozlišných materiálů a to kovů a plastů. Proto se zvolil brousící kotouč 99 SA3 60K, jež je relativně vhodný pro oba druhy broušených materiálů.

Volba výběru jednoho brousícího kotouče byla z důvodu zachování stejné vyváženosti kotouče a tedy i kmitání technologické soustavy stroj – nástroj – obrobek.

8 KMITÁNÍ TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVY

8.1 Měření kmitání technologické soustavy pomocí přístroje Balantron

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

Pomocí přístroje Balantron lze měřit kmity podélné i příčné a to otočením snímače do správné polohy. V tomto případě byly měřeny kmity podélné.

8.1.1 Přístroj Balantron

Přístroj Balantron slouží k měření kmitů vznikajících při obrábění a také k dokonalejšímu, dynamickému vyvažování brousícího kotouče. Výhodou tohoto přístroje je, že je přenosný a tudíž se snadno dle potřeby instaluje na jiná zařízení. Je tvořen ze tří členů a to ze zobrazovací jednotky, snímače a aktuatoru.



Obr.24. Přístroj Balantron.

1 – snímač, 2 – zobrazovací jednotka, 3 - aktuator

Zobrazovací jednotka

Zobrazovací jednotka je hlavní část přístroje obsahující přehlednou stupnici pro odečítání amplitudy kmitů.

Rovněž je opatřena ovládacími tlačítky, kterými se volí otáčky a rozsah stupnice a také tlačítka sloužící k ovládní aktuatoru.

Snímač

Snímač je kabelem připojený k zobrazovací jednotce a umísťuje se co nejbližší ke zdroji kmitání. Díky magnetu, jež je umístěn uvnitř snímače, lze snímač nainstalovat téměř na každé místo obráběcího stroje.

Podle polohy umístění snímače, lze měřit kmity podélné nebo příčné.

Pomocí ladícího ovládacího šroubu, lze nastavovat příslušné otáčky obráběcího stroje a to v rozmezí od 1000 ÷ 5000ot/min.

Aktuator

Aktuator je akční člen přístroje. S jeho pomocí vyvažujeme brousící kotouče. Na obráběcí straně má několik diamantových hrotů, jimiž opracovává brousící kotouč.

8.1.2 Postup měření kmitání technologické soustavy

Princip měření spočíval v zaznamenávání amplitudy kmitů vzniklých při broušení. Hodnoty těchto amplitud se zaznamenávaly vždy při broušení vzorků a to tak, že se zaznamenala jedna hodnota při posuvu stolu doleva a jedna hodnota při posuvu stolu doprava.

Nejprve se měřilo kmitání na staticky vyváženém kotouči, poté na dynamicky vyváženém kotouči a to při stejných technologických podmínkách jako při měření drsnosti (viz. kapitola 9.3).

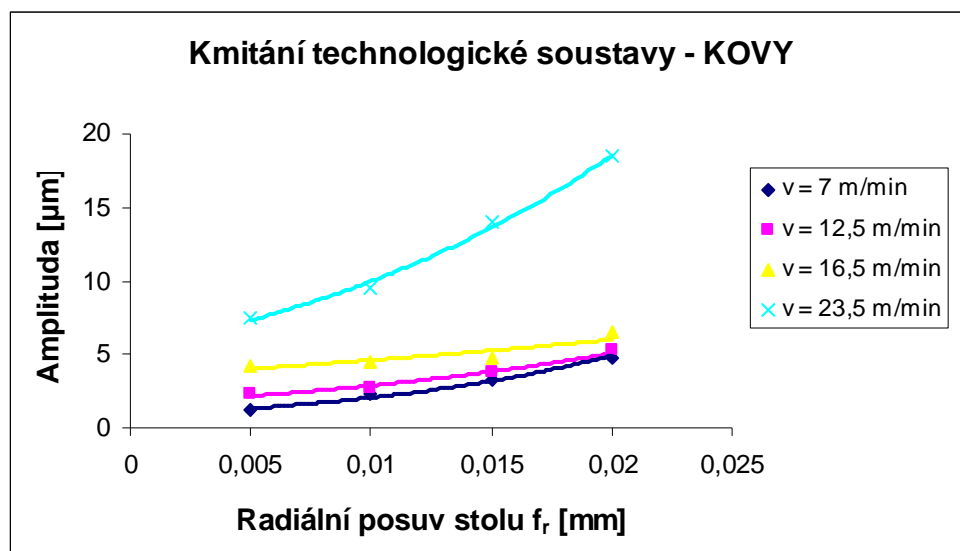
Takto naměřené hodnoty se zaznamenaly do tabulky, vypočítal aritmetický průměr a vyhodnotily do grafu.

8.1.3 Vyhodnocení měření kmitání technologické soustavy

A) Kovy

Tab.č.3. Hodnoty kmitání při staticky vyváženém kotouči – kovy.

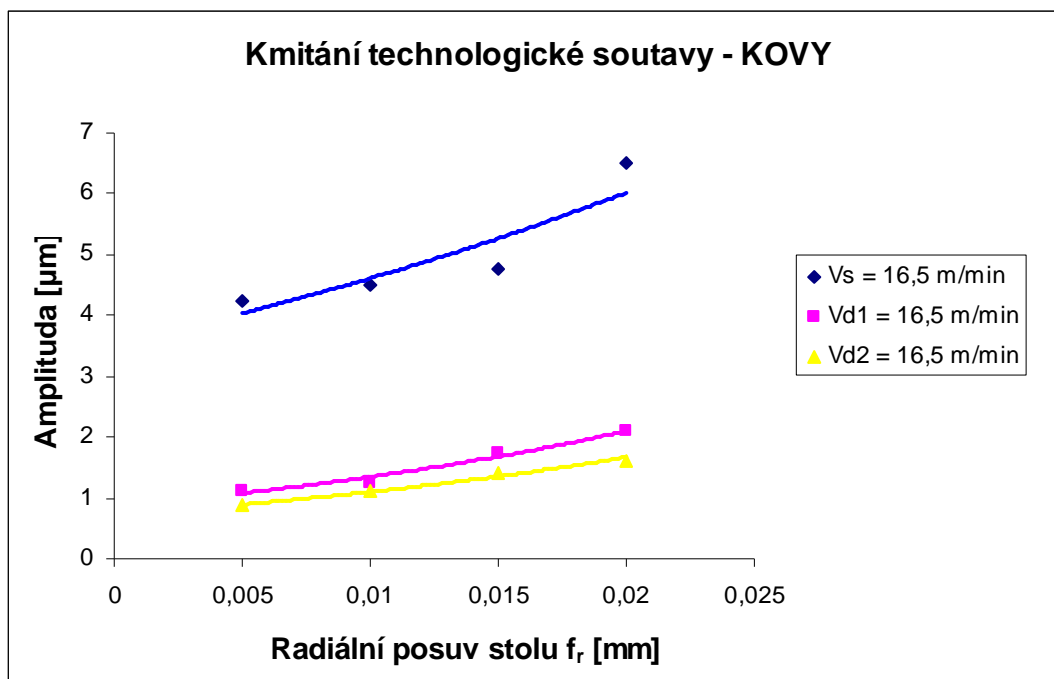
KMITÁNÍ TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVY – KOVY				
Staticky vyvážený brousící kotouč				
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
0,005	1,25	2,25	4,25	7,5
0,01	2,25	2,75	4,5	9,5
0,015	3,25	4,5	4,75	14
0,02	4,8	9,5	6,5	18,5



Obr.25. Graf kmitání při staticky vyváženém kotouči – kovy.

Tab.č.4. Hodnoty kmitání při dynamicky vyváženém kotouči
– kovy.

KMITÁNÍ TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVY – KOVY			
Dynamicky vyvážený brousící kotouč			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,005	4,25	1,125	0,875
0,01	4,5	1,25	1,125
0,015	4,75	1,75	1,4
0,02	6,5	2,1	1,625

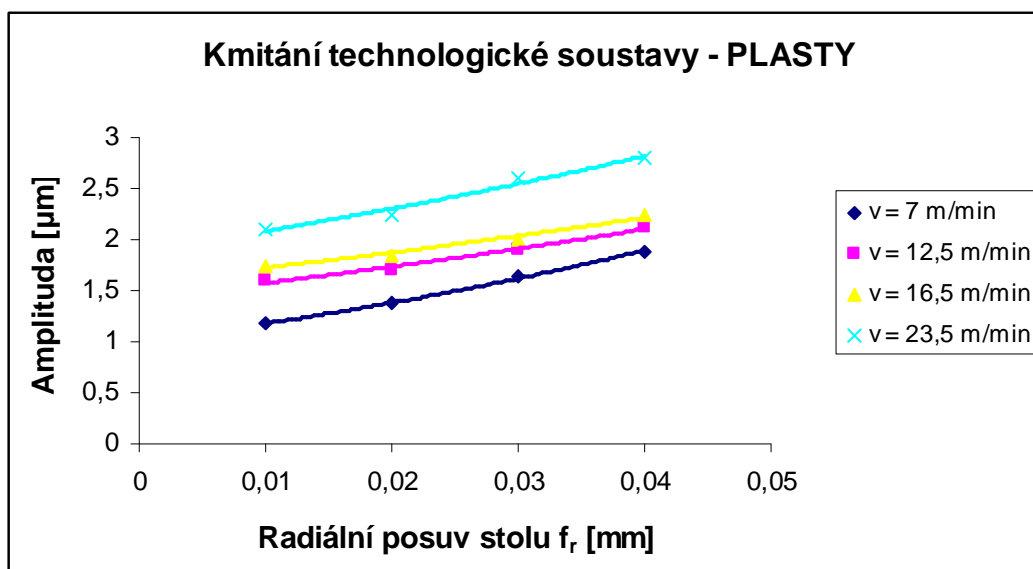


Obr.26. Graf kmitání při dynamicky vyváženém kotouči – kovy.

B) Plasty

Tab.č.5. Hodnoty kmitání při staticky vyváženém kotouči – plasty.

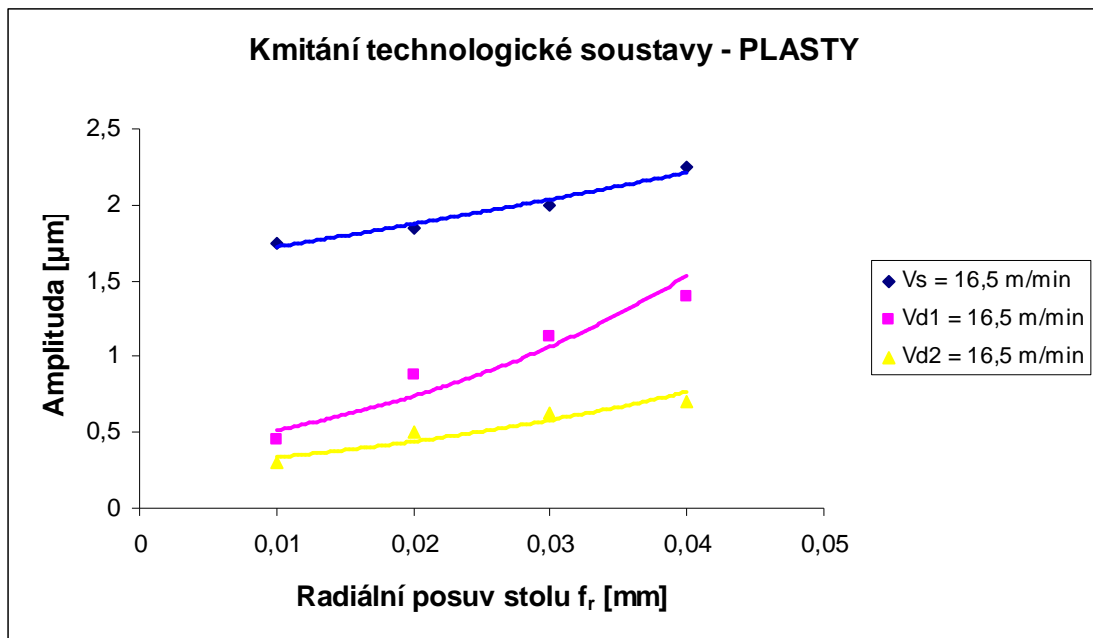
KMITÁNÍ TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVY – PLASTY				
Staticky vyvážený brousící kotouč				
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
0,01	1,175	1,6	1,75	2,1
0,02	1,375	1,7	1,85	2,25
0,03	1,65	1,9	2	2,6
0,04	1,9	2,125	2,25	2,8



Obr.27. Graf kmitání při staticky vyváženém kotouči – plasty.

Tab.č.6. Hodnoty kmitání při dynamicky vyváženém kotouči – plasty.

KMITÁNÍ TECHNOLOGICKÉ SOUSTAVY – PLASTY			
Dynamicky vyvážený brousící kotouč			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	1,75	0,45	0,3
0,02	1,85	0,875	0,5
0,03	2	1,125	0,625
0,04	2,25	1,4	0,7



Obr.28. Graf kmitání při dynamicky vyváženém kotouči – plasty.

8.1.4 Diskuze výsledků měření kmitání technologické soustavy pomocí přístroje Balantron

Z (obr.25, 26, 27, 28) vyplývá, že s rostoucím radiálním posuvem f_r a axiální rychlostí posuvu stolu v_f se amplituda kmitání technologické soustavy exponenciálně zvětšuje.

Největších hodnot bylo naměřeno u broušení kovů na staticky vyváženém brousícím kotouči při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,02\text{mm}$ a axiální rychlosti posuvu $v_f = 23,5\text{m/min}$, což byly maximální měřené veličiny.

Po dynamickém vyvážení brousícího kotouče se hodnoty amplitud výrazně snížily jak u kovů, tak i u plastů.

Broušení na dynamicky vyváženém brousícím kotouči bylo prováděno při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$.

Hodnoty axiální rychlosti posuvu stolu v_{d1} , byly hodnoty naměřené při prvním dynamickém vyvážení. Druhé dynamické vyvážení brousícího kotouče reprezentuje axiální rychlost posuvu stolu v_{d2} .

Při prvním dynamickém vyvážení byl brousící kotouč vyvážen na hodnotu $0,5\mu\text{m}$ z původních $0,7\mu\text{m}$, čehož bylo dosaženo při chodu naprázdno. Při druhém dynamickém vyvážení brousícího kotouče, byl kotouč vyvážen na hodnotu amplitudy kmitů $0,25\mu\text{m}$, což byla nejnižší hodnota, které šlo za daných podmínek s příslušným zařízením dosáhnout.

Obecně lze konstatovat, že nejnižší amplitudy kmitů jsou u plastů a to při nejnižším radiálním posuvu stolu f_r a axiální rychlosti posuvu stolu v_f na dynamicky vyváženém brousícím kotouči.

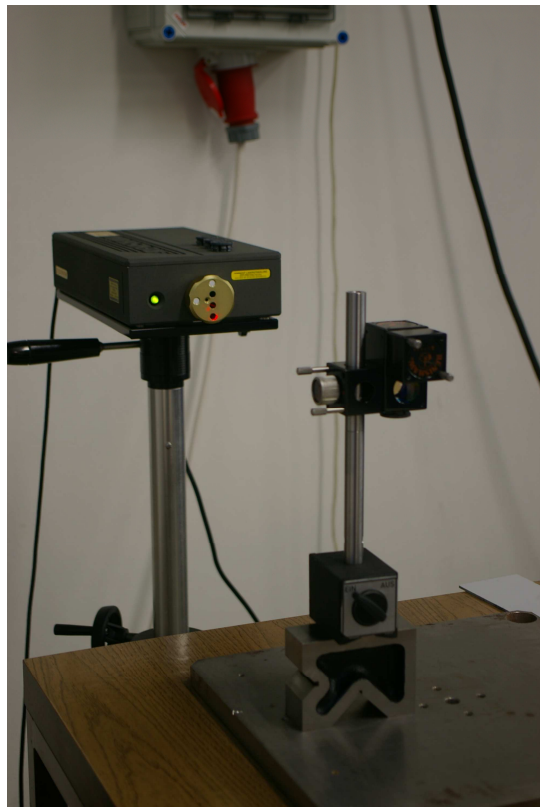
8.2 Měření technologické soustavy pomocí laserinterferometru

Pro určování vlivu technologických podmínek na jakost povrchu byla rovněž použita horizontální rovinná bruska BRH 20.03F.

Za účelem snížení vlivu vynuceného kmitání broušícího kotouče byly nástroje staticky vyvažovány na vyvažovacím stojánku přestavováním vyvažovacích tělísek v drážkách upínacích přírub. Kotouče byly posléze dynamicky vyvažovány pomocí přístroje Balatron

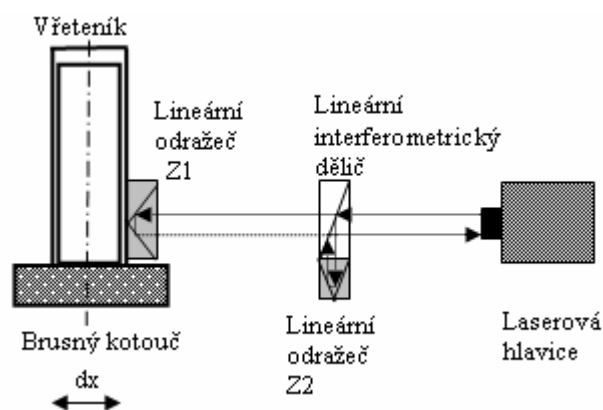
8.2.1 Popis měřícího zařízení

Pro snímání vibrací vřeteníku brusky v podélném smyslu bylo využito laserinterferometru firmy Renishaw s příslušnou optikou. Vlastní uspořádání odpovídalo koncepci tzv. Michelsonovu interferometeru.



Obr.29. Laserinterferometr Renishaw.

Paprsek vycházející z laserové hlavičky byl rozdělen v interferometrickém děliči na dva navzájem kolmé paprsky, z nichž jeden dopadl na lineární odražeč Z1 (umístěn na vřeteníku brusky a tedy konající vlastní kmitavý pohyb), druhý na lineární odražeč Z2 (který byl upevněn fixně). Po odrazu se oba paprsky opět vrátili na lineární interferometrický dělič, kde následně došlo k jejich interferenci. Vzniklý interferogram byl v reálném čase (capture rate = 5kHz) vyhodnocen softwarem Renishaw Dynamic Measurement, za účelem získání grafické závislosti dx/t .

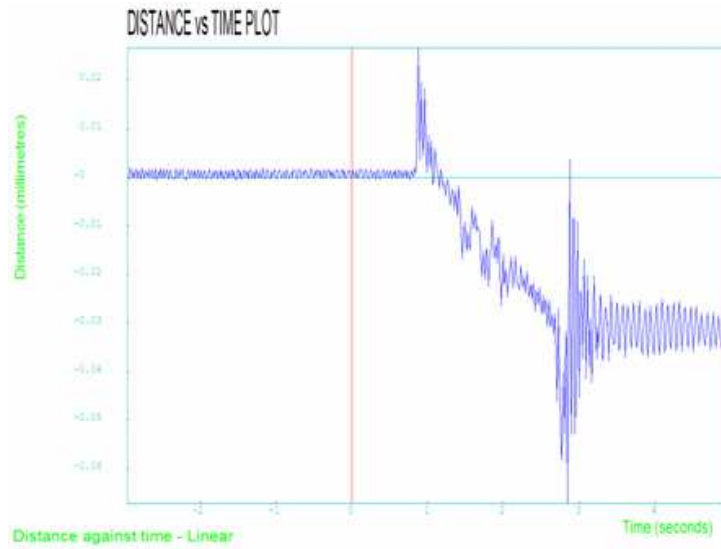


Obr.30. Schematický náčrt uspořádání pracoviště.

8.2.2 Výsledné grafické závislosti dx/t

Tab.7. Naměřené hodnoty - odebíraná tříška 0,005mm.

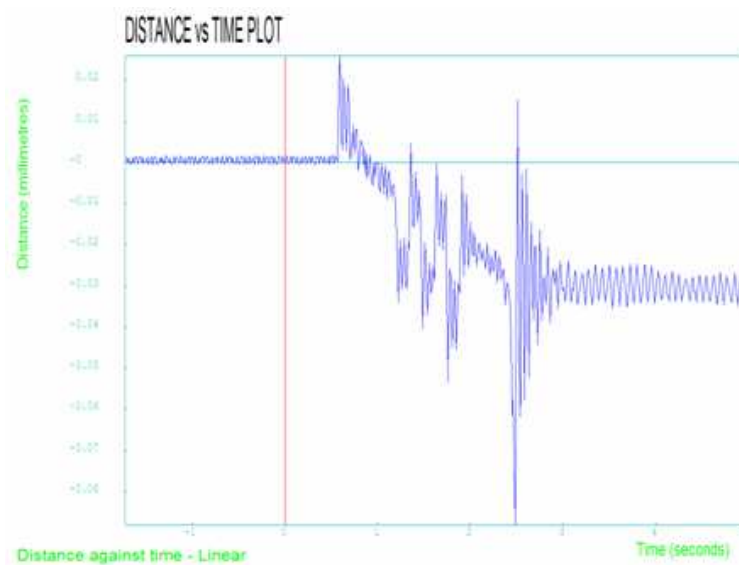
MATERIÁL		NAMĚŘENÉ HODNOTY										PRŮMĚR
12050	Ra	0,47	0,45	0,43	0,43	0,41	0,43	0,42	0,43	0,43	0,43	0,433
	Rz	3,31	3,43	3,45	3,09	3,36	3,74	3,41	3,32	3,32	3,21	3,383
17027	Ra	0,4	0,49	0,47	0,52	0,55	0,51	0,48	0,39	0,39	0,42	0,469
	Rz	3,38	3,85	3,58	4,26	4,47	4,1	3,79	2,79	2,79	3,36	3,719
14109	Ra	0,46	0,43	0,46	0,44	0,5	0,44	0,32	0,4	0,4	0,42	0,429
	Rz	3,85	3,45	3,93	3,79	3,48	3,26	2,46	3,54	3,54	3,36	3,428



Obr.31. Grafická závislost dx/t - odebíraná tříska 0,005mm.

Tab.8. Naměřené hodnoty - odebíraná tříska 0,03mm.

MATERIÁL		NAMĚŘENÉ HODNOTY										PRŮMĚR
12050	Ra	0,68	0,71	0,66	0,71	0,78	0,65	0,66	0,73	0,8	0,66	0,704
	Rz	5,29	5,24	5,55	5,14	6,84	5,49	4,09	5,55	6,88	5,55	5,562
17027	Ra	0,64	0,67	0,5	0,69	0,75	0,67	0,65	0,82	0,54	0,63	0,656
	Rz	5	4,91	3,96	5,28	5,31	4,85	4,21	5,61	4,66	5,06	4,885
14109	Ra	0,71	0,72	0,72	0,71	0,68	0,77	0,7	0,69	0,68	0,75	0,713
	Rz	5,48	6,32	4,93	5,02	4,81	6,77	5,32	4,92	4,52	6,85	5,494



Obr.32. Grafická závislost dx/t - odebíraná tříska 0,03mm.

8.2.3 Diskuze výsledků měření kmitání technologické soustavy pomocí laserinterferometru Renishaw

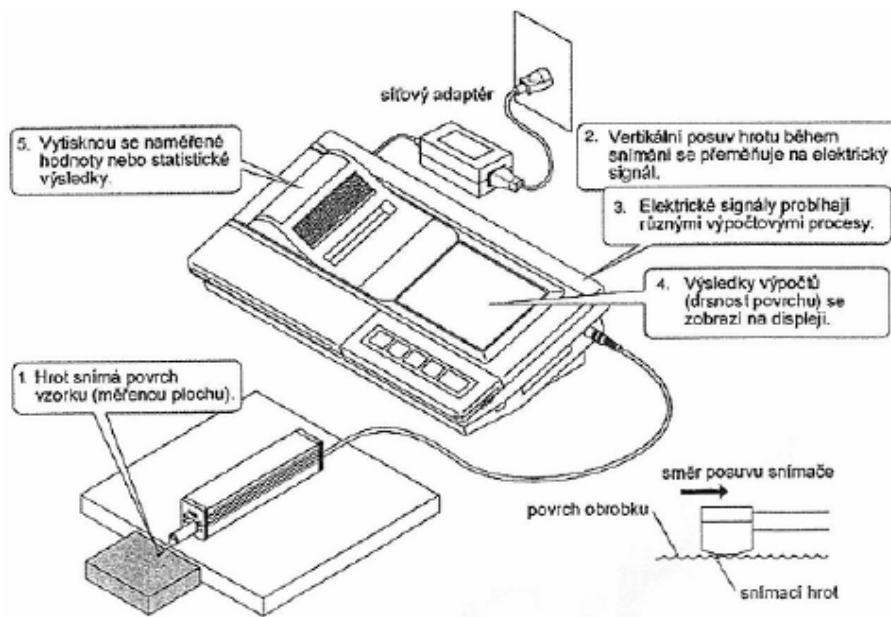
Ukazuje se, že zintenzivňováním technologických podmínek dochází ke zvýšení amplitudy kmitání vřetene brusky a hodnot jakostních charakteristik obrobene plochy. Tato závislost platí pro všechny materiály použité v rámci experimentu. Po ukončení technologických činností (zastavení stroje) dochází k postupnému utlumení samobuzeného kmitání soustavy.

9 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

9.1 Přístroj na měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ - 301

Tento měřicí přístroj je určen na měření drsnosti povrchu pro použití v dílenském prostředí. Svým snímacím hrotem dokáže měřit strukturu povrchu a charakterizovat ji za pomoci řady parametrů podle různých národních a mezinárodních norem. Výsledky měření se zobrazí digitálně a graficky na speciální na dotek citlivé ovládací obrazovce a pomocí vestavěné tiskárny se mohou průběhy drsností i s jeho hodnotami vytisknout.

Snímací hrot přístroje zaznamenává i nejjemnější nepravidelnosti povrchu vzorku. Drsnost povrchu se vypočítá z vertikálního posuvu snímacího hrotu, ke kterému dochází, když snímací hrot přejíždí přes nepravidelnosti povrchu. Naměřené hodnoty se digitálně/graficky znázorňují na obrazovce.



Obr.33. Přístroj na měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ – 301.

Maximální měřicí rozsah je $300\mu\text{m}$ ($\pm 150\mu\text{m}$) nebo $12\,000\mu\text{in}$ ($\pm 6000\mu\text{in}$) a dokáže charakterizovat strukturu povrchu pomocí výpočtu různých parametrů drsnosti.

Vestavěná tiskárna může manuálně nebo automaticky tisknout podmínky měření, výsledky měření a profily drsnosti. [20]

Mitutoyo SJ – 301 umožňuje výsledky měření v souladu s četnými normami drsnosti, včetně norem ISO, DIN, JIS-B-0601-1994, JIS-B-0601-1982 a ANSI.

Poloha snímacího hrotu vůči obrobku musí být zajištěna tak, aby posuv při měření byl rovnoběžný s povrchem obrobku. [20]

9.2 Příprava měření

Brusný kotouč, jakožto řezný nástroj, bývá při broušení častým zdrojem kmitání technologické soustavy stroj – nástroj – obrobek.

V současné době se často k broušení používá keramického kotouče. Při použití keramického kotouče však nelze zaručit jeho absolutní homogenitu. Tato homogenita má podstatný vliv na nevyváženost kotouče a zpětně způsobuje rozkmitání technologické soustavy. Dalším zdrojem rozvážení je nesprávné nasazení kotouče na přírubu. Proto je zde nutno dbát pokynů výrobce.

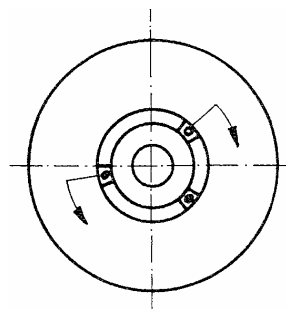
Pro potřeby této diplomové práce byl brousící kotouč vyvažován dvěma způsoby, a to způsobem vyvážení statickým a dynamickým.

9.2.1 Statické vyvážení kotouče

Statické vyvážení brousícího kotouče se provádí na vyvažovacím stojánku.

Na brousící kotouč se nasadí příruba a kotouč s touto přírubou se vloží na vyvažovací trn a provede se statické vyvážení na vyvažovacím stojánku

Stojánek, jež je postaven na pevný základ, se vyrovnávacími šrouby vyrovná podle vodováhy v příčném i podélném směru. Kotouč se vyvažuje posouváním vyvažovacích závaží, která jsou umístěna na přírubě.



Obr.34. Umístění vyvažovacích závaží.

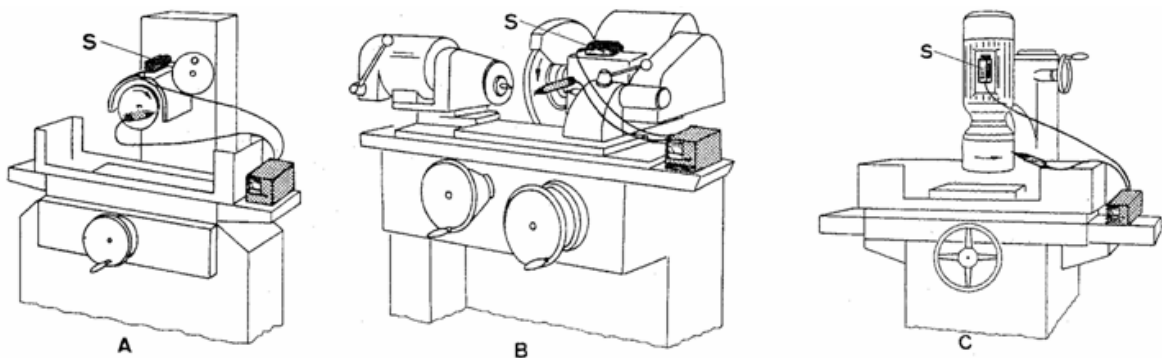
Takto připravený brousící kotouč s přírubou nasadíme na vřeteno a orovnáme obvod kotouče. Po orovnání kotouče je kotouč rozvážen, a proto je nutno celý postup statického vyvažování opakovat ještě jednou.

9.2.2 Dynamické vyvážení kotouče

Při běžném broušení vystačíme se statickým vyvážením brousícího kotouče. Díky dynamickému vyvážení se eliminuje vliv momentových dvojic nevyvážených sil.

Pro dynamické vyvážení brousícího kotouče byl použit rovněž přístroj Balantron sloužící pro jemné vyvážení brousících kotoučů.

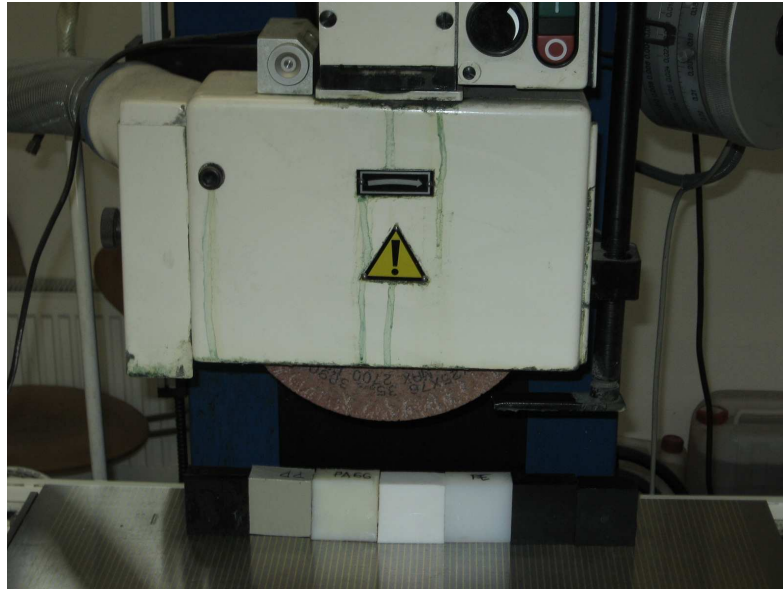
Toto zařízení lze použít jak na brusky, tak i na soustruhy či frézky.



Obr.35. Modelové příklady umístění přístroje Balantron.

A – bruska; B – soustruh; C – frézka; S – umístění snímače.

Na snímači, jež je součástí příslušenství zařízení Balantron, nastavíme otáčením šroubu otáčky použité brusky. V našem případě to bylo 2 550n/min. Snímač poté umístíme co nejbližší k vřetenu brousícího kotouče a to rovnoběžně s vřetenem (obr.36). Nejvhodnější umístění snímače by bylo přímo na vřetenu. Do tohoto místa se však snímač není možné umístit.



Obr.36. Umístění snímače.

Takto připravený snímač se zapojí do zobrazovací jednotky přístroje. Na to se do zobrazovací jednotky připojí aktuator soužící přímo k vyvážení kotouče. Zobrazovací jednotka se poté zapojí do elektrické sítě, nastaví se patřičný rozsah otáček a vhodná stupnice znázorňující kmitání technologické soustavy. Pro provedení dynamického vyvážení se dále musí zapnout tlačítka „aktuator“ a „180“.

Po spuštění brusky se aktuator přikládá k obvodu brousícího kotouče a vyvažovací přístroj snímá kmitání brousícího vřetene a dovyvažuje kmitání brousícího kotouče za běhu odebíráním části brusiva pomocí diamantového hrotu, který pootočí amplitudu nevyvážku o půl vlnové délky otáčení brousícího kotouče. Tento postup se opakuje do té doby, než se kmitání zmenší na minimum nebo na požadovanou hodnotu.

9.3 Postup měření drsnosti

Na pracovní stůl byl nejdříve nainstalován měřicí přístroj Mitutoyo SJ – 301, který se zapojil přes síťový adaptér. Přístroj se nastavil na měření parametrů Ra, Rz a Rmr. Parametr Rmr byl nastaven na hladinu 50%. Následně se provedla kalibrace měřidla. Poté následovalo samotné měření drsnosti vzorků.

Pro broušení a měření drsnosti bylo použito kovových a plastových vzorků o velikosti 550x50x20mm.

U kovů byl radiální posuv stolu f_r zvolen v rozmezí $0,005 \div 0,02\text{mm}$, přičemž velikost úběru byla po $0,005\text{mm}$. Pro axiální rychlost posuvu stolu v_f byly zvoleny rychlosti 7; 12; 16,5 a $23,5\text{m/min}$.

U plastů byl radiální posuv stolu f_r zvolen v rozmezí $0,01 \div 0,04\text{mm}$, přičemž velikost úběru byla po $0,01\text{mm}$. Axiální rychlost posuvu stolu v_f byla zvolená stejná jako u kovů.

Broušená plocha vzorků byla vždy po broušení 10x změřena vždy v jiném místě a to v rovině kolmé na směr hlavního řezného pohybu, který souhlasí se smyslem otáčení brousícího kotouče. Měřila se tzv. příčná drsnost.

Naměřené hodnoty drsnosti R_a , R_z a R_{mr} byly zaznamenány a zpracovány do tabulek a z těchto hodnot se vypočítal aritmetický průměr.

Po změření a vyhodnocení výsledků všech kombinací posuvů a rychlostí došlo k dynamickému vyvážení brousícího kotouče.

Pro měření na dynamicky vyváženém brousícím kotouči byl zvolen axiální rychlost posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$. Radiální posuv stolu f_r byl zachován jak u kovů, tak i u plastů stejný jako v případě měření na staticky vyváženém brousícím kotouči.

Tyto naměřené hodnoty drsností byly opět zaznamenány a zpracovány do tabulek a vyhodnoceny.

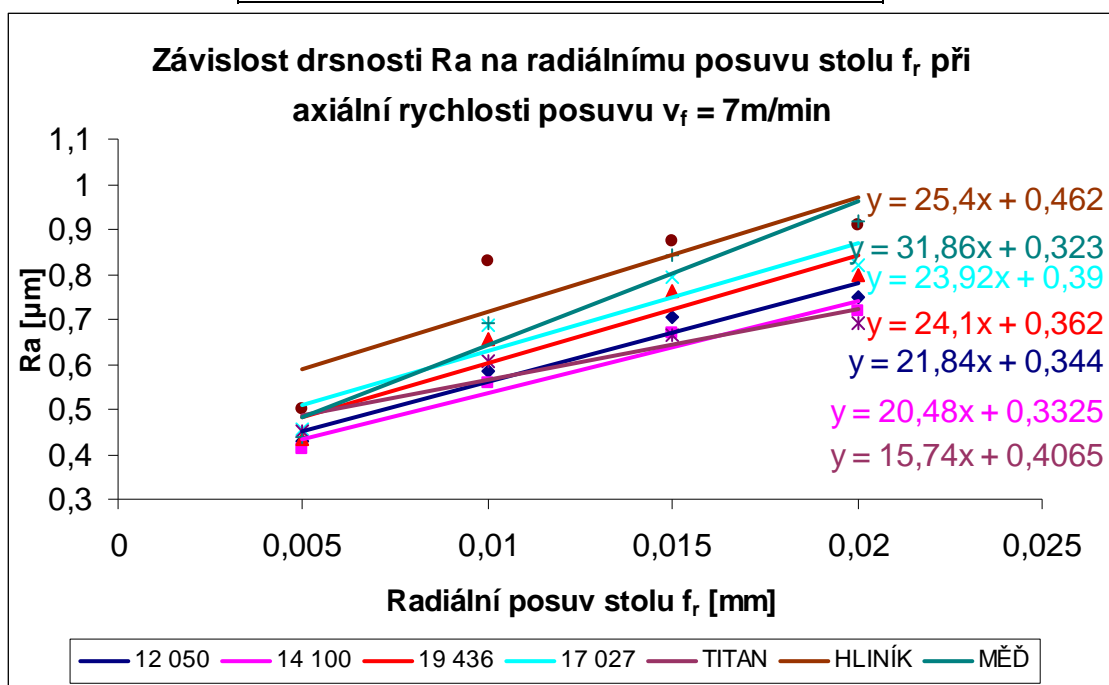
10 URČENÍ KORELAČNÍCH VZTAHŮ MEZI TECHNOLOGICKÝMI PARAMETRY A JAKOSTÍ VÝROBKŮ

10.1 Staticky vyvážený kotouč – kovy

10.1.1 Zjištění závislosti drsnosti Ra na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$

Tab.č. 9. Hodnoty drsností Ra – kovy.

HODNOTY DRSNOSTI Ra				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 7\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,005	0,01	0,015	0,02
12 050	0,427	0,585	0,705	0,751
14 100	0,411	0,559	0,668	0,716
19 436	0,434	0,656	0,763	0,8
17 027	0,456	0,688	0,792	0,82
TITAN	0,449	0,608	0,663	0,693
HLINÍK	0,502	0,831	0,874	0,911
MĚĎ	0,437	0,69	0,84	0,918

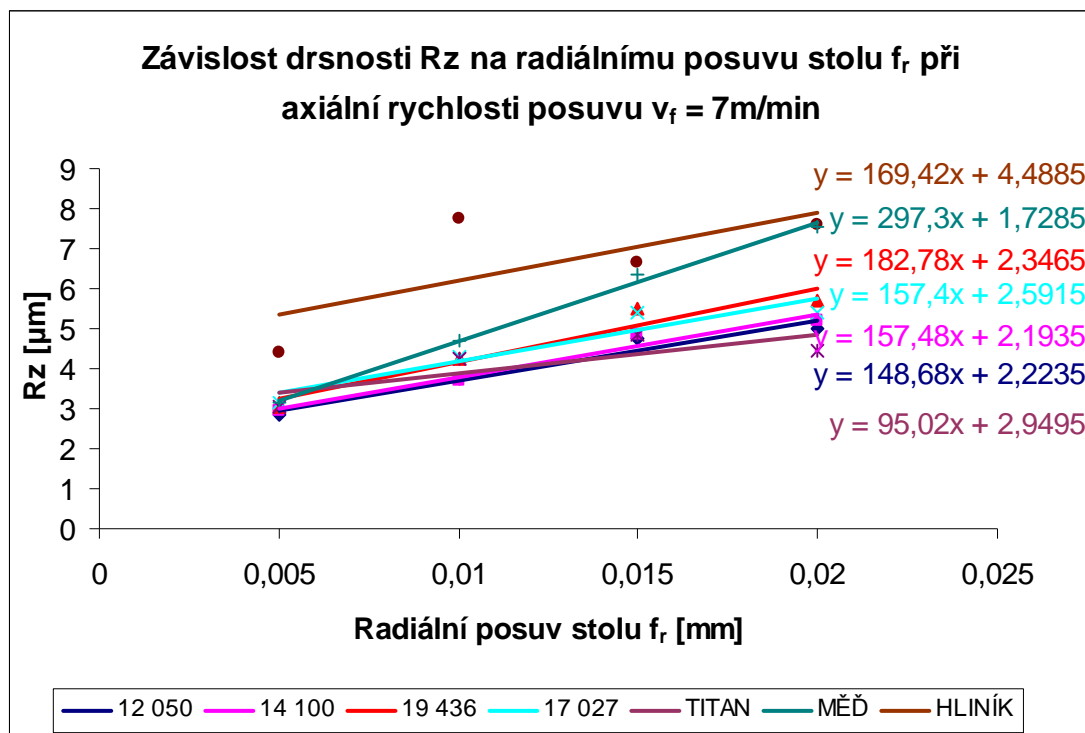


Obr.37. Graf závislosti drsnosti Ra na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$.

10.1.2 Zjištění závislosti drsnosti Rz na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$

Tab.č. 10. Hodnoty drsností Rz – kovy.

HODNOTY DRSNOSTI Rz				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 7\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,005	0,01	0,015	0,02
12 050	2,854	3,739	4,735	5
14 100	2,932	3,703	4,833	5,18
19 436	3,069	4,26	5,491	5,705
17 027	3,136	4,3	5,411	5,389
TITAN	3,039	4,252	4,827	4,431
HLINÍK	4,417	7,741	6,669	7,598
MĚĎ	3,15	4,706	6,374	7,549

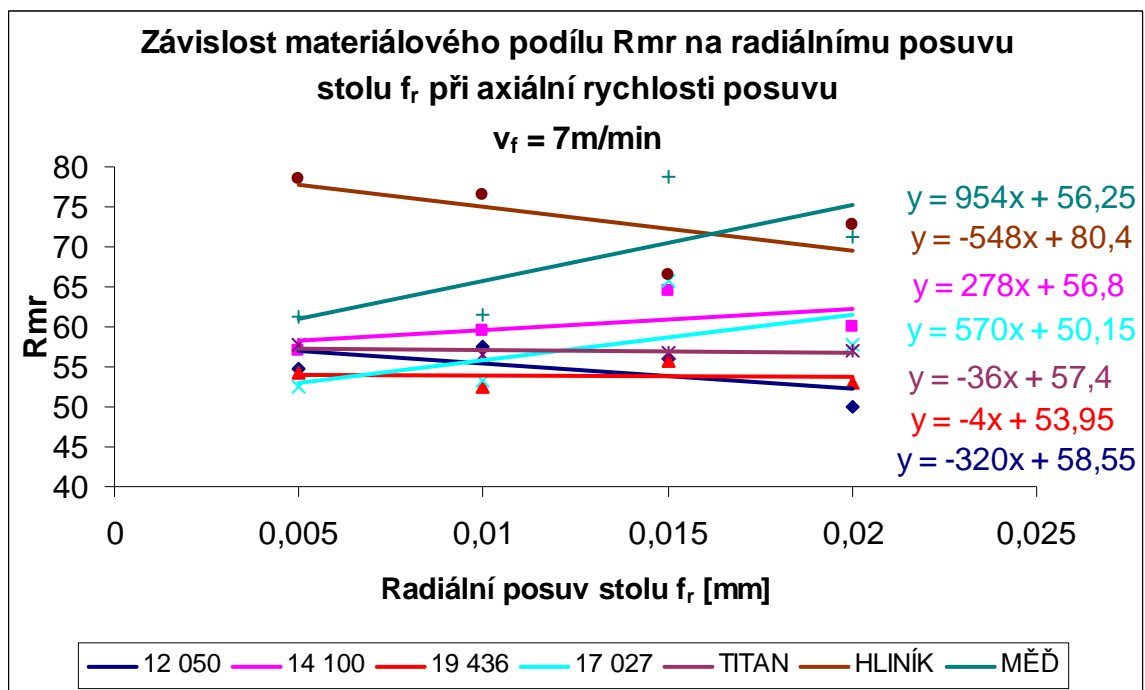


Obr.38. Graf závislosti drsnosti Rz na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$.

10.1.3 Zjištění závislosti materiálového podílu R_{mr} na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$

Tab.č. 11. Hodnoty materiálového podílu R_{mr} – kovy.

HODNOTY MATERIÁLOVÉHO PODÍLU R_{mr}				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 7\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,005	0,01	0,015	0,02
12 050	54,8	57,5	55,9	50
14 100	57,1	59,5	64,4	60,1
19 436	54,2	52,6	55,7	53,1
17 027	52,4	53,2	65,8	57,7
TITAN	57,7	56,4	56,7	57
HLINÍK	78,5	76,5	66,5	72,7
MĚĎ	61,2	61,4	78,8	71,3

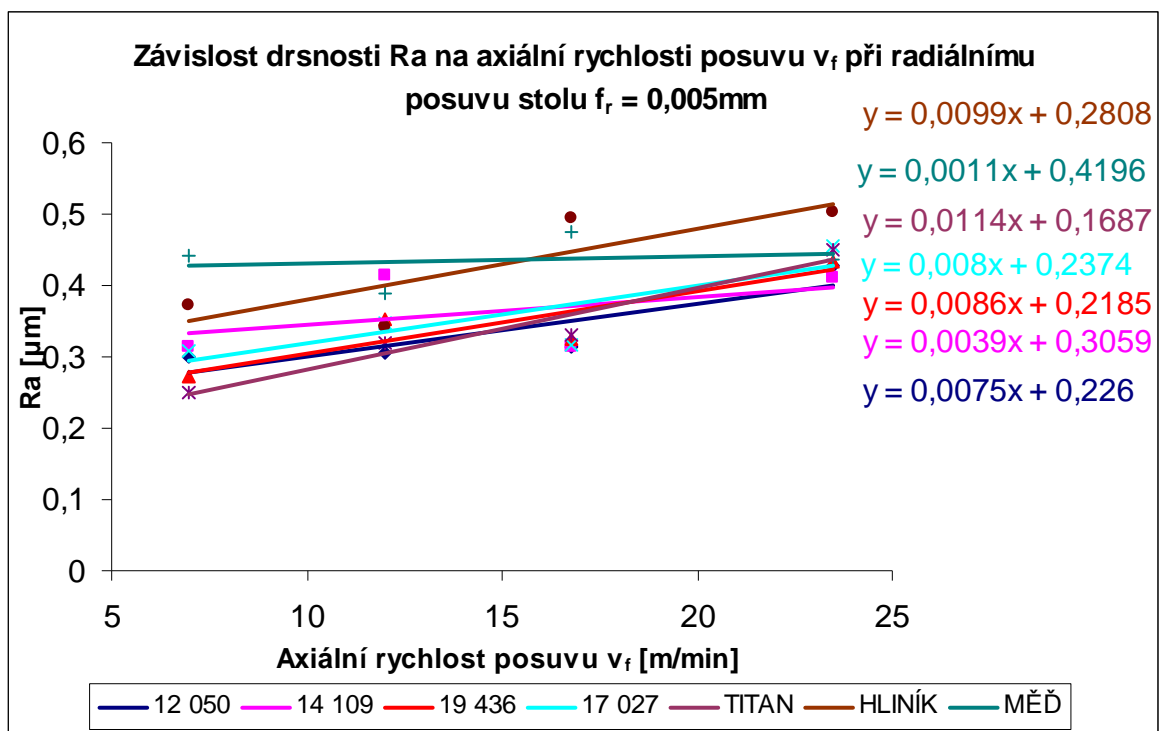


Obr.39. Graf závislosti materiálového podílu R_{mr} na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$.

10.1.4 Zjištění závislosti drsnosti Ra na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$

Tab.č. 12. Hodnoty drsností Ra – kovy.

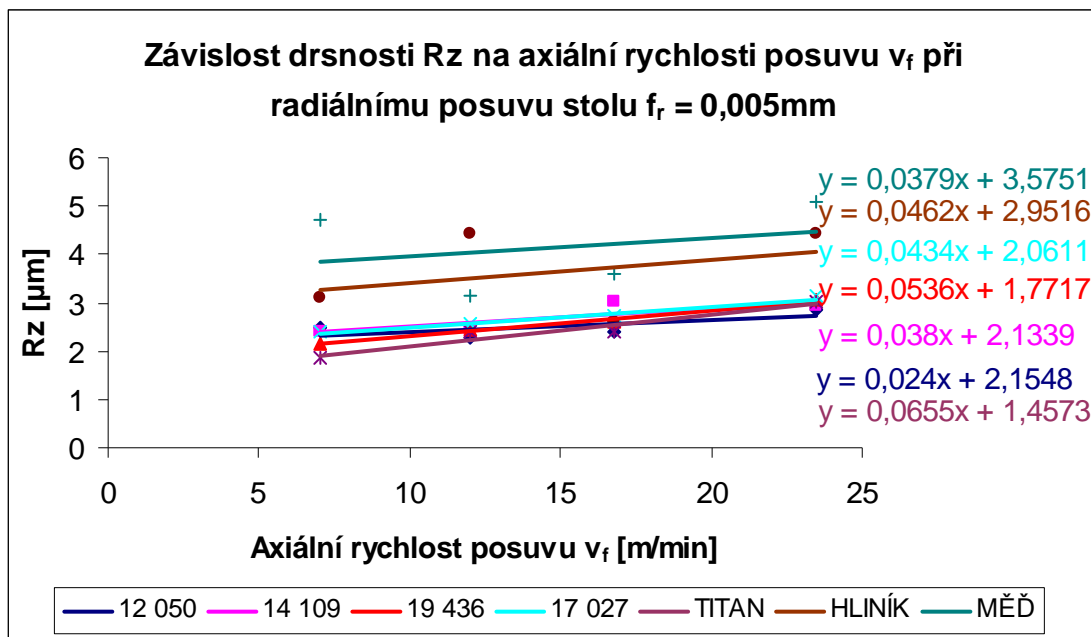
HODNOTY DRSNOSTI Ra				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,005$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
12 050	0,301	0,305	0,313	0,427
14 109	0,313	0,413	0,315	0,411
19 436	0,272	0,354	0,325	0,434
17 027	0,308	0,346	0,317	0,456
TITAN	0,25	0,32	0,33	0,449
HLINÍK	0,371	0,341	0,495	0,502
MĚĎ	0,443	0,389	0,475	0,437


 Obr.40. Graf závislosti drsnosti Ra na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$.

10.1.5 Zjištění závislosti drsnosti Rz na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$

Tab.č. 13. Hodnoty drsností Rz – kovy.

HODNOTY DRSNOSTI Rz				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,005$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
12 050	2,495	2,28	2,413	2,854
14 109	2,411	2,435	3,009	2,932
19 436	2,153	2,455	2,588	3,069
17 027	2,418	2,55	2,717	3,136
TITAN	1,865	2,406	2,405	3,039
HLINÍK	3,089	4,416	2,622	4,417
MĚĎ	4,709	3,15	3,585	5,106

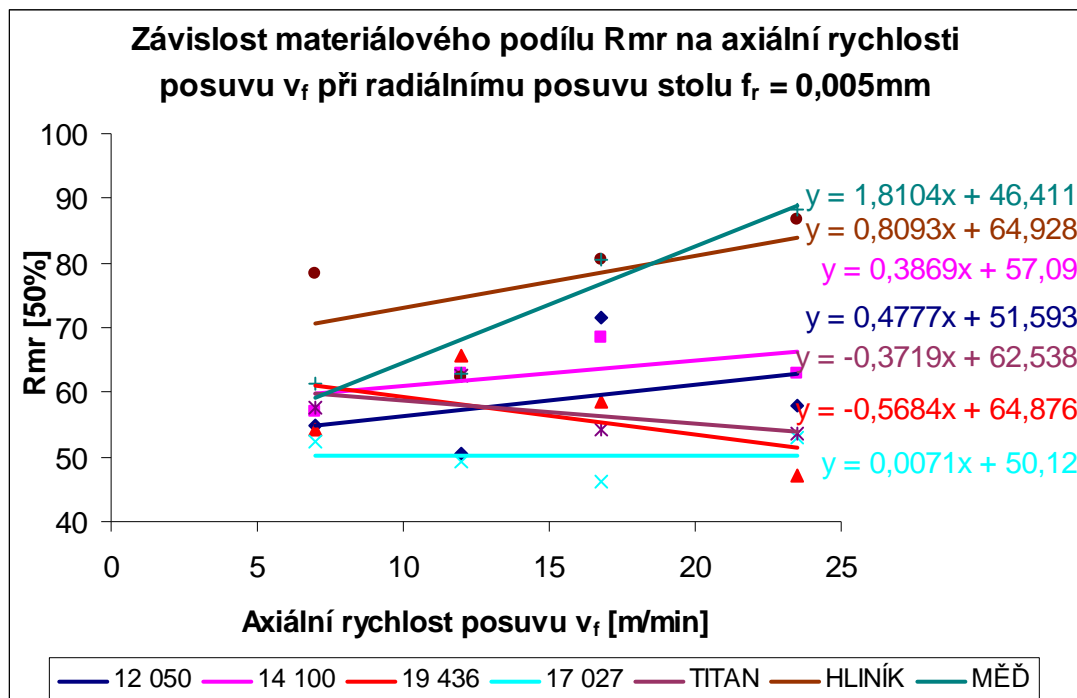


Obr.41. Graf závislosti drsnosti Rz na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$.

10.1.6 Zjištění závislosti materiálového podílu Rmr na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$

Tab.č. 14. Hodnoty materiálového podílu Rmr – kovy.

HODNOTY MATERIÁLOVÉHO PODÍLU Rmr				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,005$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
12 050	54,8	50,6	71,5	57,8
14 100	57,1	62,8	68,4	63
19 436	54,2	65,7	58,7	47,2
17 027	52,4	49,3	46,3	52,9
TITAN	57,7	62,5	54,2	53,7
HLINÍK	78,5	62,2	80,4	86,6
MĚĎ	61,2	62,9	80,6	88,3



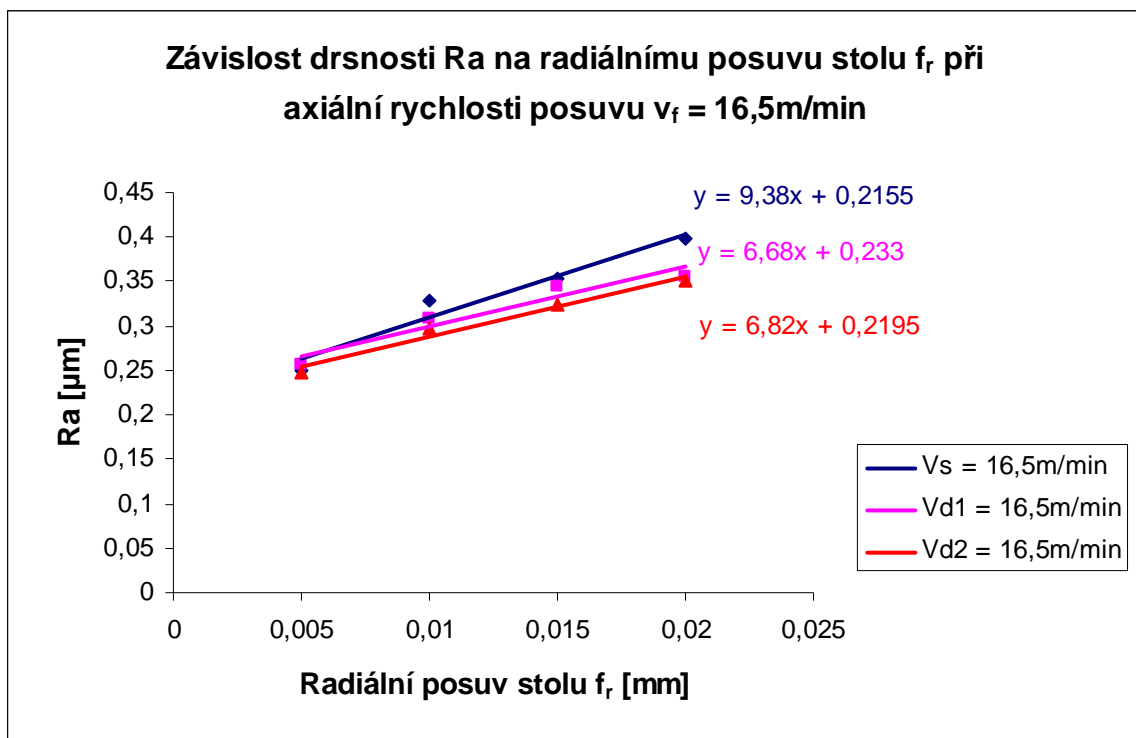
Obr.42. Graf závislosti materiálového podílu Rmr na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$.

10.2 Dynamicky vyvážený kotouč – kovy

10.2.1 Porovnání drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan

Tab.č. 15. Porovnání drsností Ra – titan.

Porovnání drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - TITAN			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,005	0,25	0,257	0,247
0,01	0,329	0,308	0,297
0,015	0,354	0,345	0,323
0,02	0,398	0,356	0,352

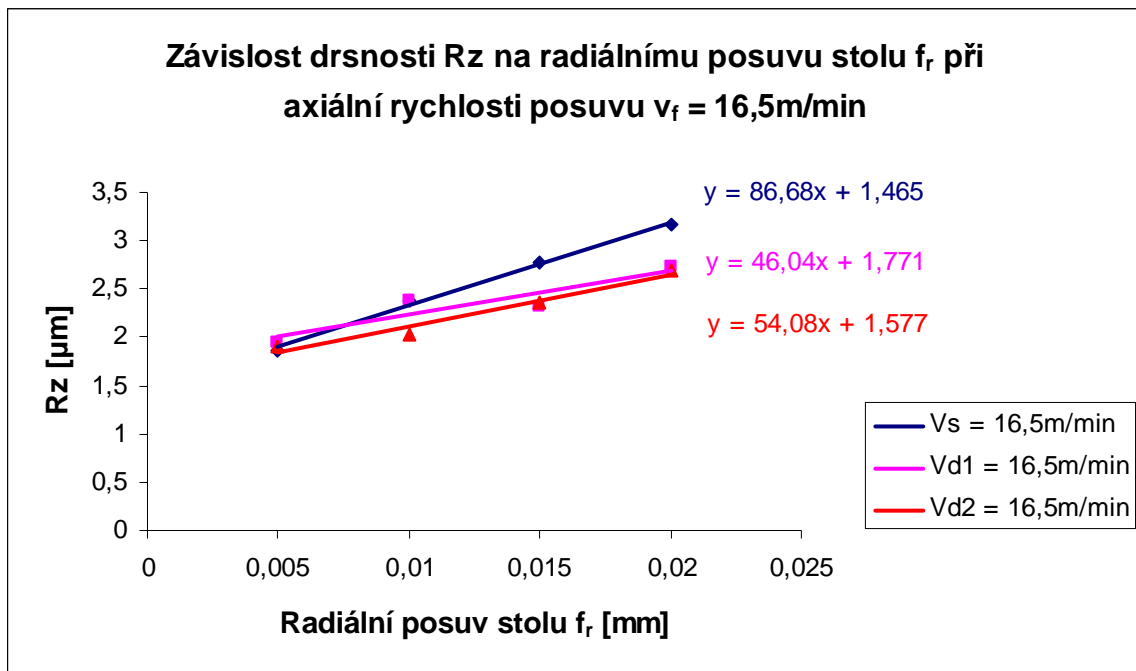


Obr.43. Graf závislosti drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan.

10.2.2 Porovnání drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan

Tab.č. 16. Porovnání drsností Rz – titan.

Porovnání drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - TITAN			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,005	1,865	1,947	1,91
0,01	2,378	2,382	2,035
0,015	2,773	2,323	2,366
0,02	3,178	2,734	2,701

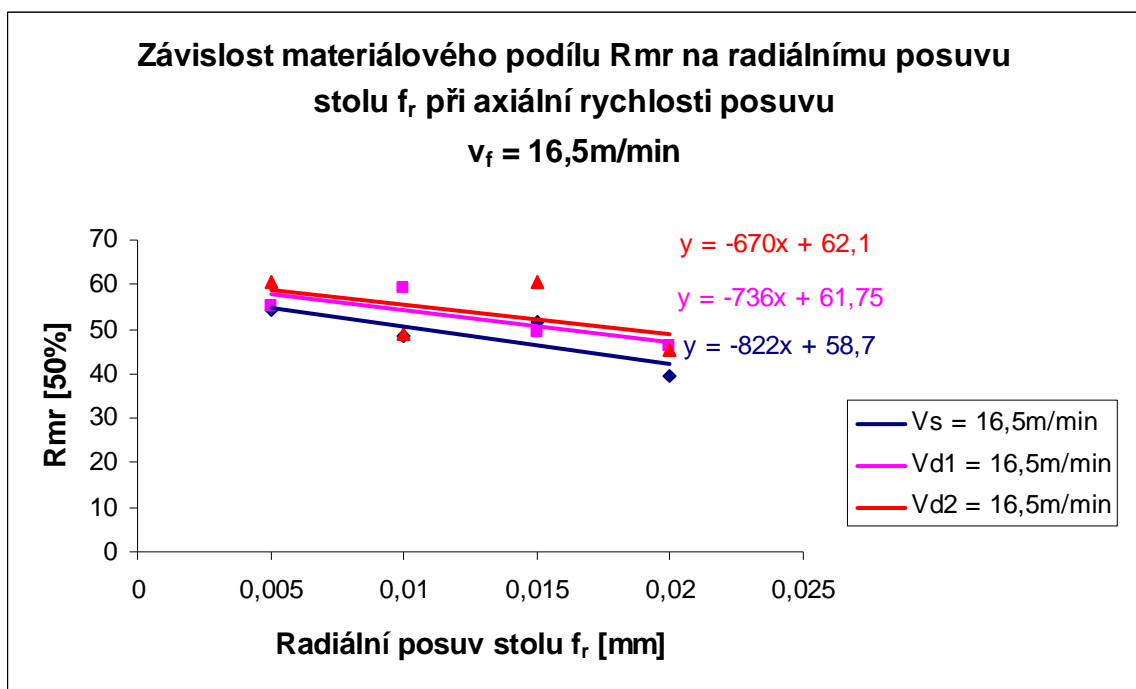


Obr.44. Graf závislosti drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan.

10.2.3 Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan

Tab.č. 17. Porovnání materiálového podílu Rmr – titan.

Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - TITAN			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,005	54,2	55,3	60,4
0,01	48,5	59,2	48,7
0,015	51,5	49,4	60,5
0,02	39,5	46,3	45,3



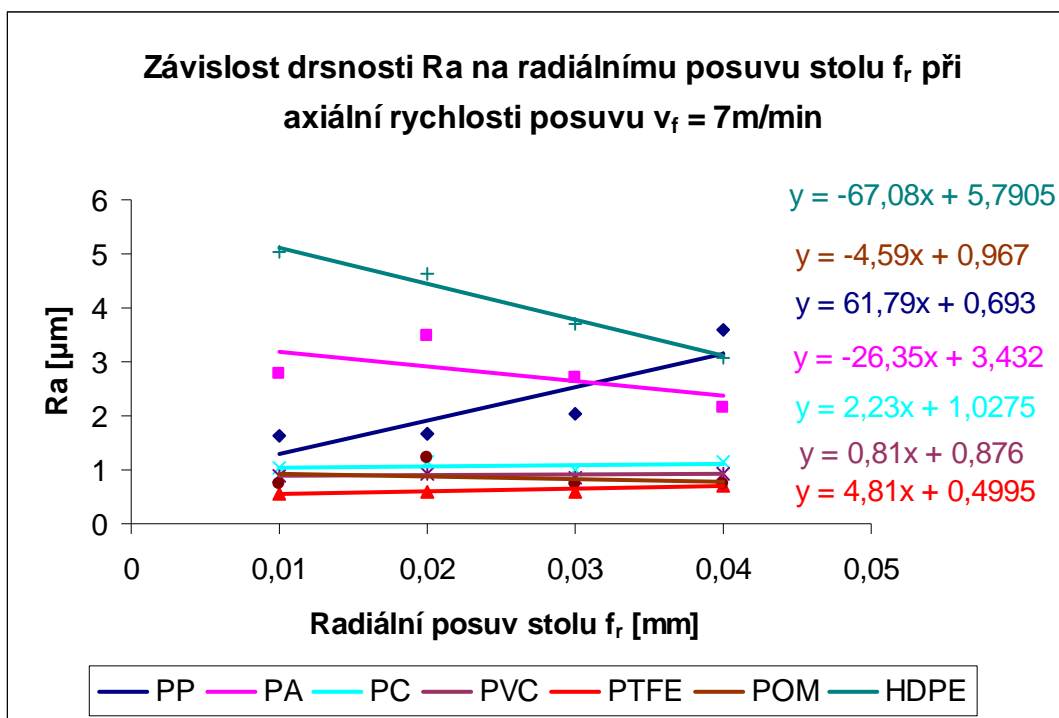
Obr.45. Graf závislosti materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan.

10.3 Staticky vyvážený kotouč – plasty

10.3.1 Zjištění závislosti drsnosti Ra na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$

Tab.č. 18. Hodnoty drsností Ra – plasty.

HODNOTY DRSNOSTI Ra				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 7\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	1,645	1,678	2,046	3,582
PA	2,763	3,485	2,698	2,147
PTFE	0,563	0,591	0,607	0,718
PC	1,027	1,15	1,007	1,149
PVC	0,874	0,934	0,847	0,93
POM	0,724	1,22	0,731	0,734
HDPE	5,021	4,628	3,716	3,089

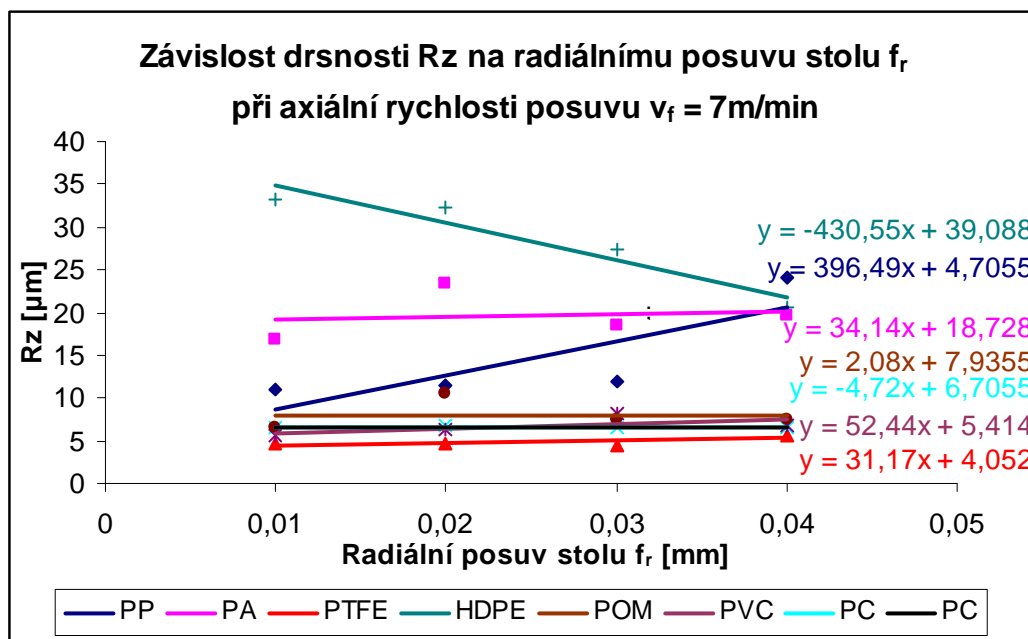


Obr.46. Graf závislosti drsnosti Ra na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$.

10.3.2 Zjištění závislosti drsnosti Rz na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$

Tab.č. 19. Hodnoty drsností Rz – plasty.

HODNOTY DRSNOSTI Rz				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 7\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	11,088	11,371	11,876	24,136
PA	16,862	23,359	18,475	19,628
PTFE	4,578	4,642	4,411	5,694
PC	6,537	6,785	6,58	6,448
PVC	5,667	6,326	8,075	6,832
POM	6,483	10,41	7,552	7,505
HDPE	33,22	32,265	27,28	20,53

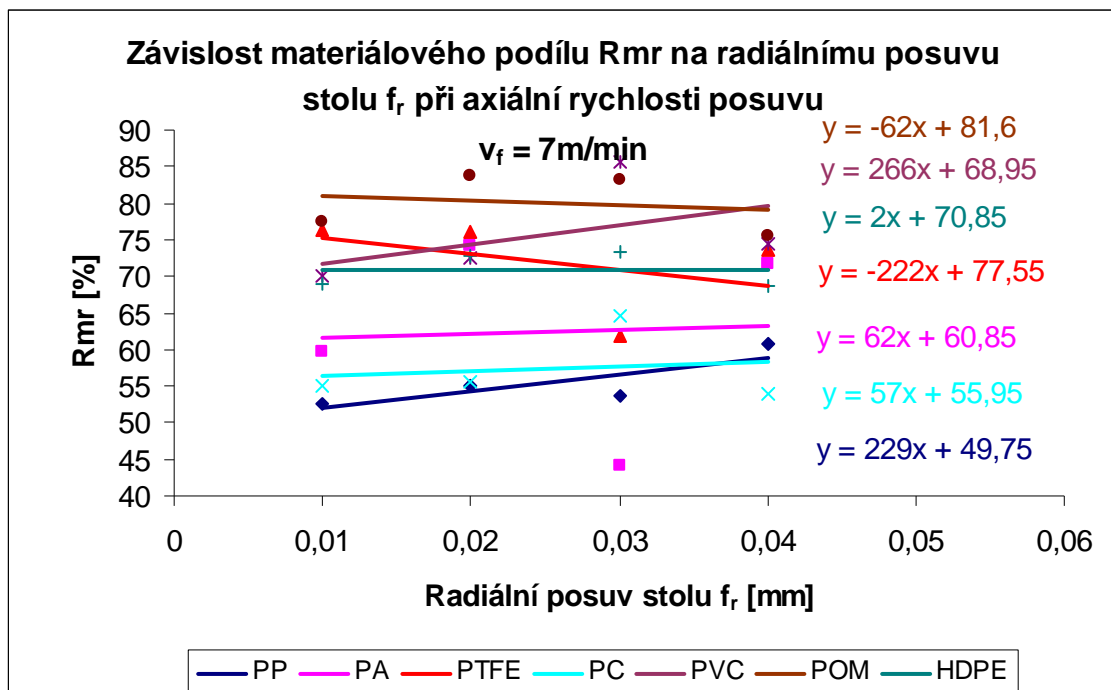


Obr.47. Graf závislosti drsnosti Rz na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$.

10.3.3 Zjištění závislosti materiálového podílu Rmr na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$

Tab.č. 20. Hodnoty materiálového podílu Rmr – plasty.

HODNOTY MATERIÁLOVÉHO PODÍLU Rmr				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 7\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	52,6	55	53,6	60,7
PA	59,6	74,2	44,1	71,7
PTFE	76,3	76,2	61,8	73,7
PC	55,1	55,7	64,7	54
PVC	70	72,4	85,5	74,5
POM	77,5	83,8	83,3	75,6
HDPE	68,9	72,7	73,2	68,8

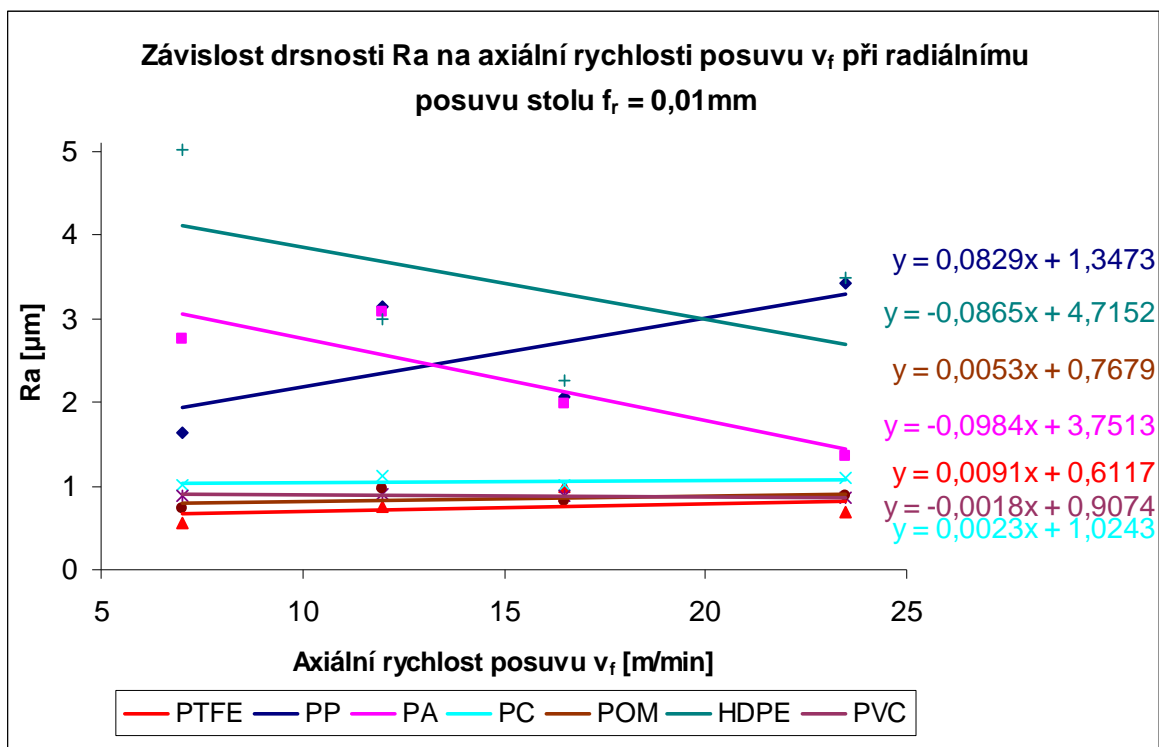


Obr.48. Graf závislosti materiálového podílu na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$.

10.3.4 Zjištění závislosti drsnosti Ra na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01\text{mm}$

Tab.č. 21. Hodnoty drsností Ra – plasty.

HODNOTY DRSNOSTI Ra				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,01$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	1,645	3,148	2,057	3,43
PA	2,763	3,085	1,987	1,363
PTFE	0,563	0,747	0,986	0,69
PC	1,021	1,109	1,017	1,089
PVC	0,874	0,912	0,886	0,854
POM	0,724	0,975	0,812	0,875
HDPE	5,021	3,00	2,253	3,484

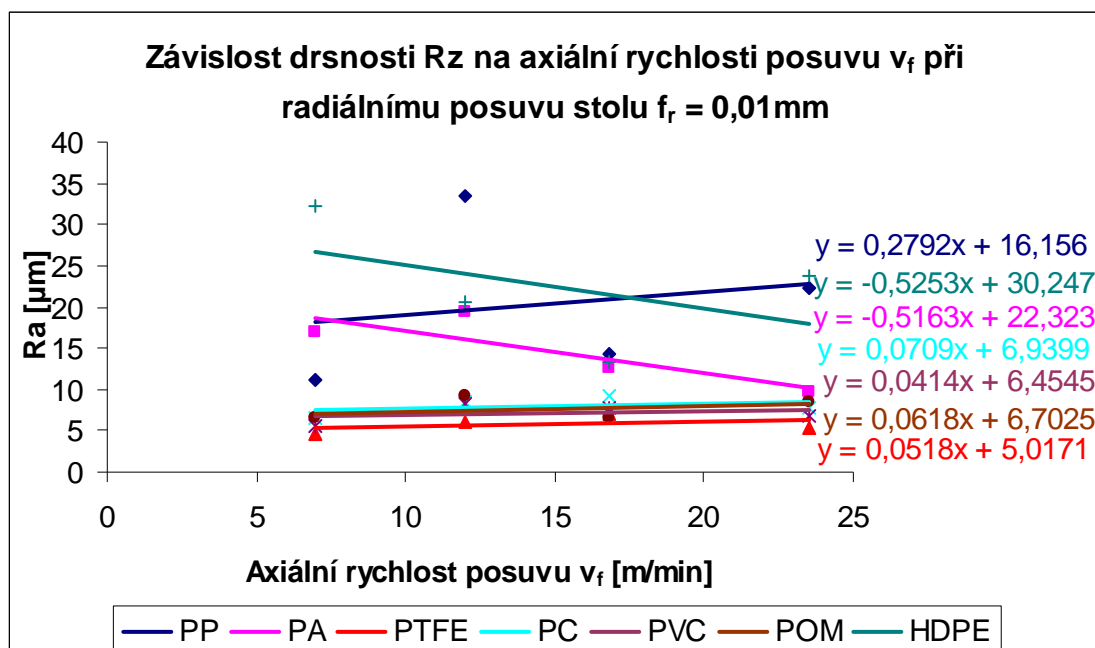


Obr.49. Graf závislosti drsnosti Ra na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01\text{mm}$.

10.3.5 Zjištění závislosti drsnosti Rz na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01$ mm

Tab.č. 22. Hodnoty drsností Rz – plasty.

HODNOTY DRSNOSTI Rz				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,01$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	11,088	33,373	14,339	22,38
PA	16,862	19,371	12,629	9,812
PTFE	4,578	6,066	7,13	5,368
PC	6,537	8,468	9,182	7,776
PVC	5,667	8,18	7,695	6,732
POM	6,483	9,137	6,443	8,414
HDPE	32,22	20,5	13,42	23,7

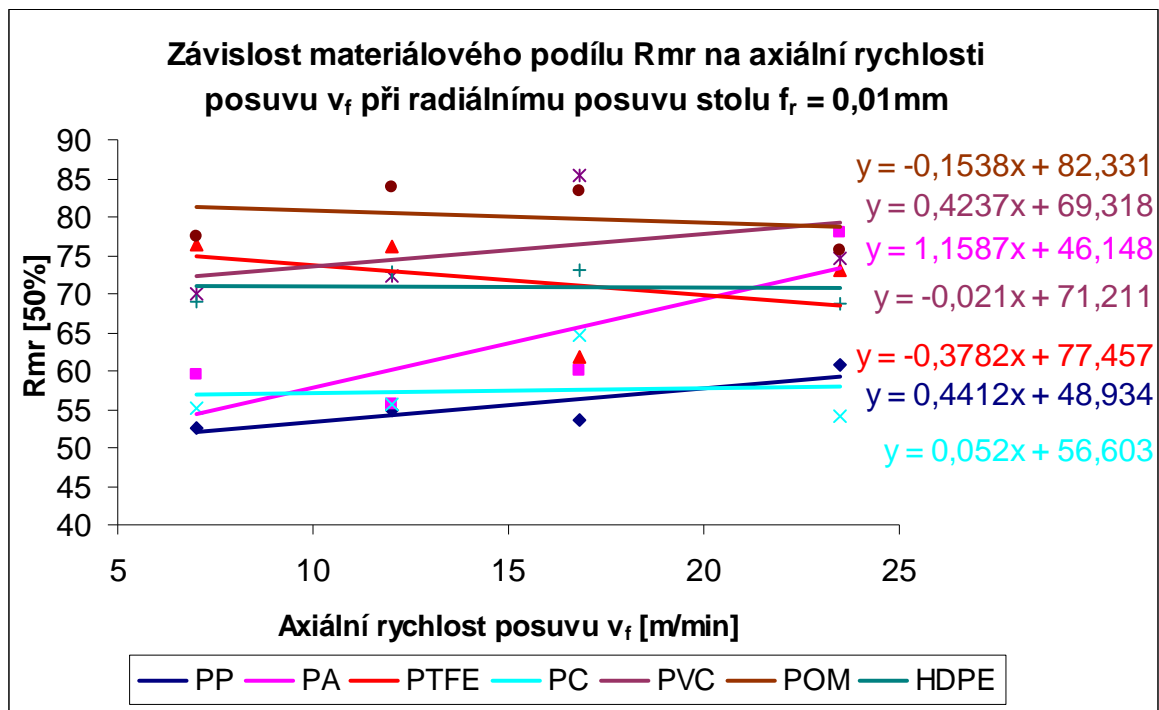


Obr.50. Graf závislosti drsnosti Rz na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01$ mm.

10.3.6 Zjištění závislosti materiálového podílu Rmr na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01\text{mm}$

Tab.č. 23. Hodnoty materiálového podílu Rmr –
plasty.

HODNOTY MATERIÁLOVÉHO PODÍLU Rmr				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,01$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	52,6	55	53,6	60,7
PA	59,6	55,6	60,1	78
PTFE	76,3	76,2	61,8	73,1
PC	55,1	55,7	64,7	54
PVC	70	72,4	85,5	74,5
POM	77,5	83,8	83,3	75,6
HDPE	68,9	72,7	73,2	68,8



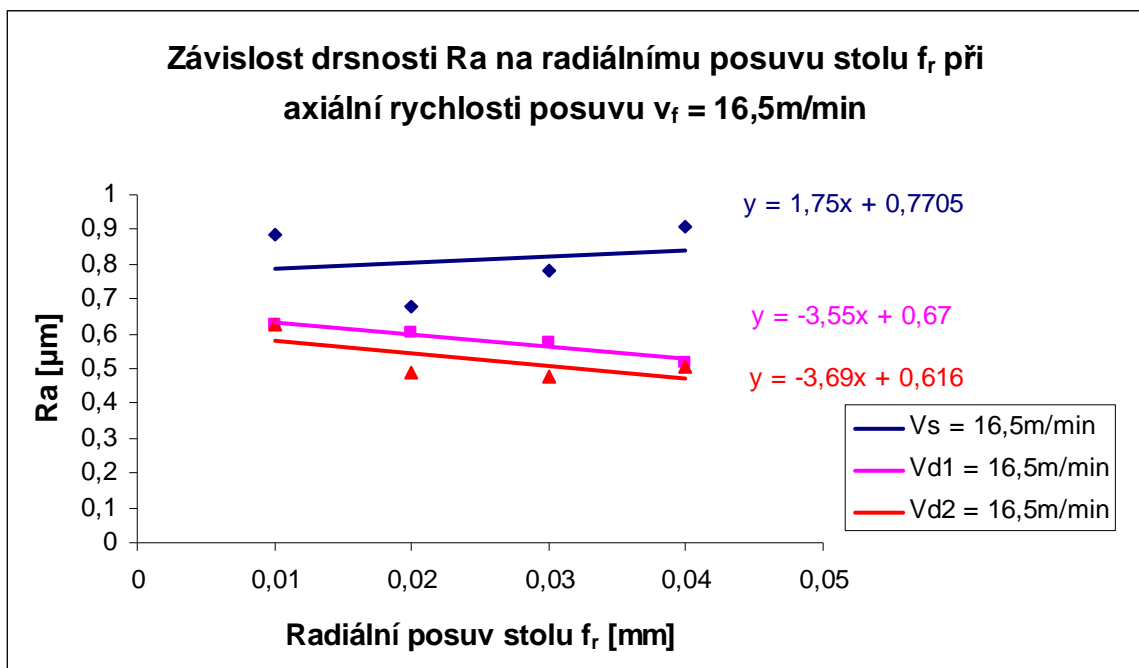
Obr.51. Graf závislosti materiálového podílu Rmr na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01\text{mm}$.

10.4 Dynamicky vyvážený kotouč – plasty

10.4.1 Porovnání drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC

Tab.č. 24. Porovnání drsností Ra – PVC.

Porovnání drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PVC			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	0,886	0,629	0,624
0,02	0,679	0,601	0,488
0,03	0,782	0,576	0,479
0,04	0,91	0,519	0,504

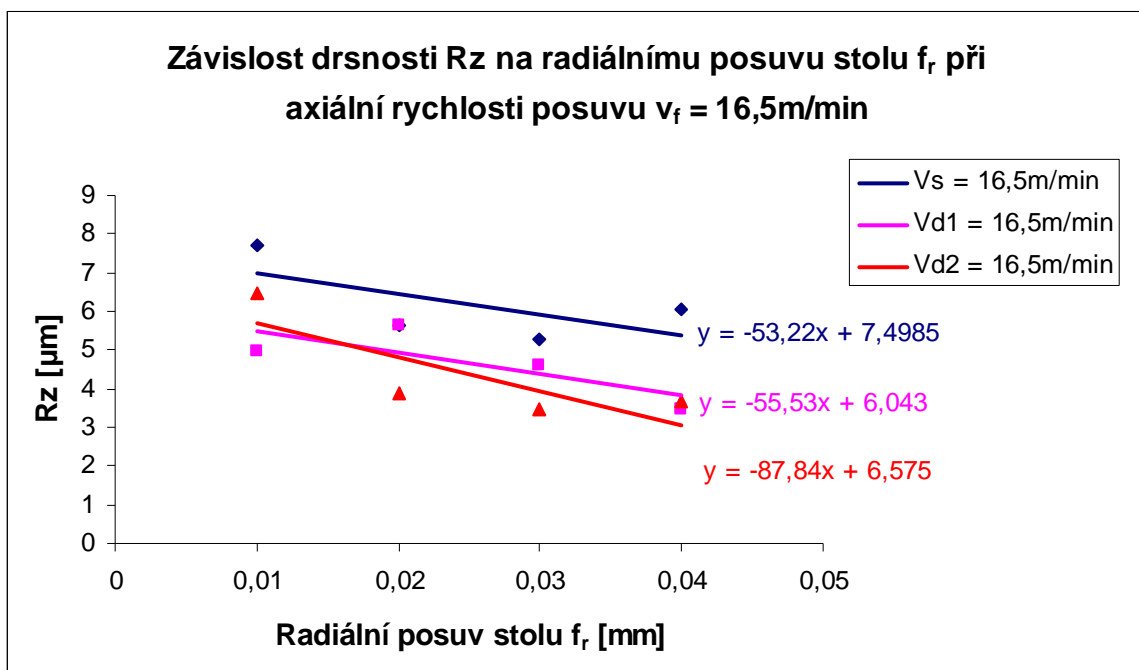


Obr.52. Graf závislosti drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC.

10.4.2 Porovnání drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC

Tab.č. 25. Porovnání drsností Rz – PVC.

Porovnání drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PVC			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	7,695	4,957	6,485
0,02	5,66	5,616	3,876
0,03	5,264	4,602	3,459
0,04	6,053	3,444	3,696

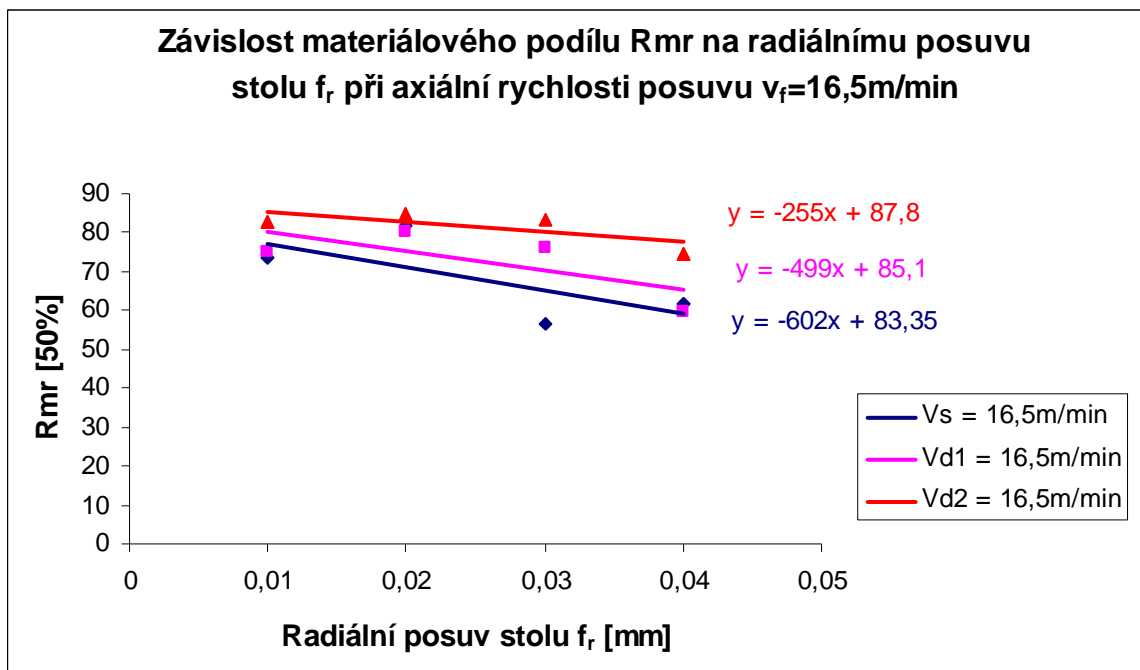


Obr.53. Graf závislosti drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC.

10.4.3 Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC

Tab.č. 26. Porovnání materiálového podílu Rmr – PVC.

Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PVC			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	73,3	74,9	82,7
0,02	81,8	80	84,9
0,03	56,4	76	83,4
0,04	61,7	59,6	74,7



Obr.54. Graf závislosti materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC.

10.5 Diskuze výsledků určení korelačních vztahů

Na základě výsledků měření lze konstatovat tyto závěry. Ukazuje se, že se zvyšováním hodnot technologických podmínek, tj. se zvyšováním výkonu obrábění, se zvětšuje též hodnota střední aritmetické drsnosti. Tato závislost platí jak u kovových, tak také u polymerních materiálů, které však vykazují mnohem strmější charakteristiky.

Svou roli zde hraje i brousící kotouč, který by měl být volen podle vhodnosti materiálu.

Na všech kovech a plastech byly po broušení dynamicky vyváženým kotoučem naměřeny nižší hodnoty drsností Ra i Rz, materiálový podíl Rmr dosahoval taktéž lepších výsledků. Výjimku tvořily pouze měď a HDPE, kde se toto vyvážení v lepších hodnotách neprojevalo.

10.5.1 Kovy

12 050

Ocel 12 050 vykazovala jedny z nejlepších výsledků drsnosti Ra i Rz mezi měřenými materiály. Ovšem materiálový podíl Rmr měla společně s ocelí 19 436 nejnižší.

14 109

Této chromové oceli byly naměřeny hodnoty drsností Ra a Rz při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$ druhé nejnižší z kovových materiálů.

Materiálový podíl Rmr byl hned po hliníku a mědi nejvyšší z použitých materiálů. Po dynamickém vyvážení brousícího kotouče se materiálový podíl Rmr ještě zvýšil.

19 436

Tato nástrojová ocel měla díky své špatné obrobitelnosti jedny z nejhorších výsledků. Materiálový podíl Rmr měla dokonce nejnižší ze všech.

17 027

Korozivzdorná chromová ocel 17 027 měla průměrné hodnoty drsností Ra a Rz i materiálového podílu Rmr.

Titan

Titan měl z broušených vzorků nejnižší drsnost Ra i Rz a to jak při staticky, tak i při dynamicky vyváženém brousícím kotouči.

Hodnoty materiálového podílu Rmr patřily k průměrným.

Hliník

Hliník měl z použitých materiálů po mědi nejhorší drsnost Ra i Rz, což může být způsobeno vylamováním větších částic z broušené plochy, protože jde o relativně měkký materiál.

Materiálový podíl Rmr byl u hliníku naměřen vůbec nejvyšší a lze říci, že s rostoucí rychlosti posuvu roste

Měď

Měď má díky svým třecím vlastnostem hned po hliníku nejhorší drsnosti Ra i Rz. Společně s hliníkem má také nejvyšší materiálový podíl Rmr a to při rychlosti posuvu $v_f = 23,5\text{m/min}$.

Mědi se dynamickým vyvážením brousícího kotouče nevykázalo podstatného zlepšení drsnosti ani materiálového podílu.

10.5.2 Plasty

PP

PP má naměřené hodnoty odlišné od ostatních plastů. Drsnosti Ra a Rz jsou s rostoucí rychlostí posuvu strmější než ostatní plasty. Při zvyšující se hloubce se takto výrazně již neděje (kromě $f_r = 0,01\text{mm}$).

PA66

PA66 se vyznačoval jednou z nejvyšších drsností Ra i Rz a průměrným materiálovým podílem Rmr.

PTFE

Tento konstrukční polymer dosahoval společně s PVC nejlepších drsností. Tyto výsledky se projevily i po dynamickém vyvážení, kde byly naměřeny rovněž, hned po PVC, nejnižší hodnoty drsností ze všech broušených plastů.

Podle naměřených hodnot je u PTFE nejvhodnější použít nízkých rychlostí.

Velikost materiálového podílu Rmr patřila k průměrným hodnotám.

PC

U PC byly naměřeny hned po PVC a PTFE třetí nejlepší hodnoty. Nejlepších hodnot drsnosti Ra bylo dosaženo při nejnižší rychlosti $v_f = 7\text{m/min}$.

PVC

PVC prokazovalo nejlepší výsledky ze všech broušených plastů a to jak u drsností tak také u materiálového podílu.

Nejlepších hodnot drsnosti Ra bylo dosaženo při nejvyšší rychlosti $v_f = 23,5\text{m/min}$.

POM

Tomuto plastu byly naměřeny průměrné hodnoty drsností. Nejlepších hodnot drsností i materiálového podílu bylo dosaženo při nízkých rychlostech.

HDPE

HDPE měl vůbec největší drsnost ze všech plastů, což bylo způsobeno natavováním broušeného povrchu, na kterém po vychladnutí zůstávaly prohlubně, které zhoršovaly drsnost.

Po broušení na dynamicky vyváženém brousícím kotouči se zlepšil pouze materiálový podíl Rmr.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala vlivem kmitání technologické soustavy na jakost polymerních výrobků. Byly broušeny dvě skupiny materiálů a to kovy – 12 050, 14 109, 19 436, 17 027, titan, hliník a měď. Druhou skupinu tvořily plasty – PP, PA, PTFE, PC, PVC, POM a HDPE. Na těchto vzorcích se následně měřila Ra, Rz a Rmr.

Vzorky byly broušeny na rovinné horizontální brusce BRH 20.03F, na které se měnily axiální rychlosti posuvu a radiální posuv stolu. Brousící kotouč byl zvolen 99 SA3 60K, který byl staticky a následně i dynamicky vyvážen.

Z pohledu nejmenší velikosti drsnosti Ra, je možno seřadit kovové vzorky v pořadí titan, následovaný ocelí 19 436 a ocelí 12 050. Naopak s nejhorší drsností Ra byl vyhodnocen hliník. U drsnosti Rz vykazoval nejlepší hodnoty opět titan, který byl následován ocelmi 14 109 a 12 050. Nejhorší drsnost Rz měl opět hliník.

U materiálového podílu naopak hliník vykazoval nejlepší hodnoty. Druhý nejvyšší materiálový podíl byl naměřen u mědi, nejnižší byl naměřen u oceli 19 436.

U plastů jsou hodnoty drsnosti Ra při měření následující. Nejnižší drsnost Ra má PVC, následuje PTFE a PC. Nejhorší hodnoty vykazuje HDPE, PA a PP. Nejnižší drsnost Rz byla naměřena u PTFE, PVC a PC, nejhorší naopak rovněž u HDPE, PA a PP. Charakter závislostí drsností Ra a Rz u plastů PA, PTFE, PC, PVC a POM je s hloubkou odebírané třísky mírně stoupající, kdežto u materiálů PP a HDPE je klesající.

Při vyhodnocování výsledků je jasně zřetelné, že snížením kmitání technologické soustavy docílíme lepších jakostí povrchu.

Je možné najít přímou matematickou závislost mezi drsností povrchu a vstupními technologickými parametry, mezi kterými jsou velmi silné korelační vztahy.

Rozdíly v hodnotách a charakterech závislostí drsnosti vzhledem ke kovům a plastům vyplývají z rozdílné molekulové struktury.

Ostatní grafické závislosti, jež nejsou uvedeny v diplomové práci, jsou vloženy jako přílohy. Součástí diplomové práce je i CD, které obsahuje veškeré dokumenty.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Buda, J. – Békés, J.: Teoretické základy obrábání kovov. Alfa Bratislava, 1997.
- [2] Kocman, K., Prokop, J.: Technologie obrábění. CERM Brno, 2001. ISBN 80 – 214 – 1996 - 2
- [3] Lukovics, I.: Konstrukční materiály a technologie. VUT Brno, 1992.
- [4] Vasilko, k. – Hrnčiar, J.: Technológia obrábanie a montáž. Alfa Bratislava, 1980.
- [5] Vasilko, K. – Bokučava, g.: Brúsenie kovových materiálov. Alfa Bratislava, 1980.
- [6] Beňo, J.: Teoria rezania kovov. Vehnalá, 1999.
- [7] Kašťánek, O.: Strojírenské materiály a technologie, ESTUV Brno, 1982.
- [8] Buda, J. – Souček, J. – Vasilko, K.: Teória obrábania. Alfa Bratislava, 1988.
- [9] Mayer, J.: Vliv technologických podmínek na jakost obrobeneho povrchu [Bakalářská práce]. UTB Zlín, fakulta technologická, 2006.
- [10] Bátora, J. – Vasilko, K.: Obrobené povrchy – technologická dědičnost, funkčnost. Trenčianská univerzita v Trenčíně, 2000
- [11] Peterka, J.: Strojírenská technologie – časopis pro vědu, výzkum a výrobu – Nový přístup výpočtu střední aritmetické odchylky drsnosti obrobeneho povrchu při kopírovacím frézováním. Roč. IX, červen 2004, č. 2.
- [12] Sáblik, S. – Drastík, F.: Základy strojnictví, ČVUT Praha, 1988.
- [13] Lukovics, I.: Technické kreslení. SNTL Praha, 1988.
- [14] Leinveber, J. – Řasa, J. – Vávra, P.: Strojnické tabulky. Scientia 1999, ISBN 80 – 7183 – 164 – 6.
- [15] Materiálový list oceli 19 436.
- [16] Materiálový list oceli 17 027.
- [17] Kříž, A.: Strojírenské materiály. Titan a jeho slitiny. Dostupný z WWW: <http://www.ateam.zcu.cz/download_sma.html>
- [18] Obadal, M.: Přednášky z předmětu Konstrukční polymery, UTB Zlín.
- [19] BRH 20.03F. Bruska rovinná horizontální. Návod k použití.

- [20] Mitutoyo SJ – 301, přístroj na měření drsnosti povrchu. Návod k použití.
- [21] Černoch, S.: Strojně technická příručka 2. SNTL Praha, 1977.
- [22] Lukovics, I.: Přednášky z předmětu Výroba a konstrukce nářadí. UTB Zlín.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F_C	
F_{CN}	
x	Výchylka
mx''	Síly setrvačnosti
rx'	Síly odporu měrné rychlosti kmitavého pohybu
kx	Síly pružnosti úměrné výchylce
v_C	Řezná rychlost
Al_2O_3	Oxid hlinitý
SiO_2	Oxid křemičitý
R_A, R_B	Reakce
F_s	Střední průměr materiálu
s_z	Posuv
t	Hloubka řezu
R_a	Střední aritmetická odchylka profilu
R_q	Střední kvadratická odchylka profilu
R_{sm}	Střední délka prvku profilu
R_z	Nejvyšší výška nerovnosti profilu
R_{mr}	Materiálový podíl
C	Uhlík
Cr	Chrom
Mn	Mangan
Si	Křemík
P	Fosfor
S	Síra

MPa	Megapascal
Cu	Měď
As	Arsen
PP	Polypropylen
HDPE	Vysokohustotní polyetylen
PC	Polykarbonát
POM	Polyoxymetylen
PTFE	Polytetrafluoretylén
PA	Polyamid
E	Modul pružnosti
T_m	Teplota tání
T_g	Teplota skelného přechodu
E	Modul pružnosti
σ	Napětí
J	Joul
f_r	Radiální posuv stolu
v_f	Axiální rychlost posuvu
v_s	Axiální rychlost posuvu – statické vyvážení brousícího kotouče
v_{d1}	Axiální rychlost posuvu – první dynamické vyvážení brousícího kotouče
v_{d2}	Axiální rychlost posuvu – druhé dynamické vyvážení brousícího kotouče

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Zjednodušený dynamický model obráběcího systému – soustružení	12
Obr. 2. Časový průběh vlastních kmitů	13
Obr. 3. Úchylka kruhovitosti jako důsledek vynuceného kmitání vyvolaného nevyvážeností brousícího kotouče – modelový příklad.....	14
Obr. 4. Periodická změna jmenovité tloušťky průřezu třísky při soustružení - příklady ..	14
Obr. 5. Časový průběh vynuceného kmitání	16
Obr. 6. Schéma dynamického vyvažování	18
Obr. 7. Vlnitost	19
Obr. 8. Vliv tuhosti na změnu amplitudy a frekvence samobuzených kmitů	22
Obr. 9. Brousící zrno.....	24
Obr. 10. Druhy brousících zrn	25
Obr. 11. Řezné úhly brousícího zrna	26
Obr. 12. Hrotová bruska	28
Obr. 13. Rovinná bruska	29
Obr. 14. Řezný pohyb při frézování.....	30
Obr. 15. Sousedné frézování.....	32
Obr. 16. Nesousedné frézování.....	33
Obr. 17. Drsnost povrchu základních způsobů obrábění	35
Obr. 18. Profil obrobeného povrchu při různých metodách obrábění.....	36
Obr. 19. Příčná a podélná drsnost povrchu	37
Obr. 20. Význam základních kritérií drsnosti povrchu	39
Obr. 21. Profilová a nosná křivka drsnosti povrchu	40
Obr. 22. Nosný podíl drsnosti povrchu	40
Obr. 23. Horizontální bruska BRH 20.03F	53
Obr. 24. Přístroj Balantron.....	54
Obr. 25. Graf kmitání při staticky vyváženém kotouči - kovy.....	56
Obr. 26. Graf kmitání při dynamicky vyváženém kotouči – kovy.....	57
Obr. 27. Graf kmitání při staticky vyváženém kotouči - plasty	58
Obr. 28. Graf kmitání při dynamicky vyváženém kotouči – plasty	59
Obr. 29. Laserointerferometr Renishaw	61
Obr. 30. Schematický náčrt uspořádání pracoviště.....	62

Obr. 31. Grafická závislost dx/t - odebíraná tříska 0,005mm.....	63
Obr. 32. Grafická závislost dx/t - odebíraná tříska 0,03mm.....	63
Obr. 33. Přístroj na měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ – 301	65
Obr. 34. Umístění vyvažovacích závaží	66
Obr. 35. Modelové příklady umístění přístroje Balatron	67
Obr. 36. Umístění snímače	68
Obr. 37. Graf závislosti drsnosti R_a na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	70
Obr. 38. Graf závislosti drsnosti R_z na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	71
Obr. 39. Graf závislosti materiálového podílu R_{mr} na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	72
Obr. 40. Graf závislosti drsnosti R_a na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$	73
Obr. 41. Graf závislosti drsnosti R_z na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$	74
Obr. 42. Graf závislosti materiálového podílu R_{mr} na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,005\text{mm}$	75
Obr. 43. Graf závislosti drsnosti R_a dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan	76
Obr. 44. Graf závislosti drsnosti R_z dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan	77
Obr. 45. Graf závislosti materiálového podílu R_{mr} dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – titan.....	78
Obr. 46. Graf závislosti drsnosti R_a na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	79
Obr. 47. Graf závislosti drsnosti R_z na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	80
Obr. 48. Graf závislosti materiálového podílu na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 7\text{m/min}$	81
Obr. 49. Graf závislosti drsnosti R_a na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01\text{mm}$	82

Obr. 50. Graf závislosti drsnosti Rz na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01$ mm	83
Obr. 51. Graf závislosti materiálového podílu Rmr na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,01$ mm	84
Obr. 52. Graf závislosti drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC	85
Obr. 53. Graf závislosti drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC	86
Obr. 54. Graf závislosti materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – PVC	87

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Doporučené obvodové rychlosti	27
Tab. 2. Doporučené rychlosti	28
Tab. 3. Hodnoty kmitání při staticky vyváženém kotouči – kovy	56
Tab. 4. Hodnoty kmitání při dynamicky vyváženém kotouči - kovy	57
Tab. 5. Hodnoty kmitání při staticky vyváženém kotouči - plasty.....	58
Tab. 6. Hodnoty kmitání při dynamicky vyváženém kotouči - plasty	59
Tab. 7. Naměřené hodnoty - odebíraná tříska 0,005mm.....	62
Tab. 8. Naměřené hodnoty - odebíraná tříska 0,03mm.....	63
Tab. 9. Hodnoty drsností Ra – kovy	70
Tab. 10. Hodnoty drsností Rz – kovy	71
Tab. 11. Hodnoty materiálového podílu Rmr – kovy	72
Tab. 12. Hodnoty drsností Ra – kovy	73
Tab. 13. Hodnoty drsností Rz – kovy	74
Tab. 14. Hodnoty materiálového podílu Rmr – kovy	75
Tab. 15. Porovnání drsností Ra – titan.....	76
Tab. 16. Porovnání drsností Rz – titan.....	77
Tab. 17. Porovnání materiálového podílu Rmr – titan	78
Tab. 18. Hodnoty drsností Ra – plasty.....	79
Tab. 19. Hodnoty drsností Rz – plasty.....	80
Tab. 20. Hodnoty materiálového podílu Rmr – plasty.....	81
Tab. 21. Hodnoty drsností Ra – plasty.....	82
Tab. 22. Hodnoty drsností Rz – plasty.....	83
Tab. 23. Hodnoty materiálového podílu Rmr – plasty.....	84
Tab. 24. Porovnání drsností Ra – PVC	85
Tab. 25. Porovnání drsností Rz – PVC.....	86
Tab. 26. Porovnání materiálového podílu Rmr – PVC.....	87

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Závislost drsnosti R_a na posuvu stolu f_r při axiální rychlosti $v_f = 12\text{m/min}$
- P II Závislost drsnosti R_z na posuvu stolu f_r při axiální rychlosti $v_f = 12\text{m/min}$
- P III Závislost materiálového podílu R_{mr} na posuvu stolu f_r při axiální rychlosti $v_f = 12\text{m/min}$
- P IV Závislost drsnosti R_a na posuvu stolu f_r při axiální rychlosti $v_f = 16,5\text{m/min}$
- P V Závislost drsnosti R_z na posuvu stolu f_r při axiální rychlosti $v_f = 16,5\text{m/min}$
- P VI Závislost materiálového podílu R_{mr} na posuvu stolu f_r při axiální rychlosti $v_f = 16,5\text{m/min}$
- P VII Závislost drsnosti R_a na posuvu stolu f_r při axiální rychlosti $v_f = 23,5\text{m/min}$
- P VIII Závislost drsnosti R_z na posuvu stolu f_r při axiální rychlosti $v_f = 23,5\text{m/min}$
- P IX Závislost materiálového podílu R_{mr} na posuvu stolu f_r při axiální rychlosti $v_f = 23,5\text{m/min}$
- P X Závislost drsnosti R_a na axiální rychlosti v_f [mm] při posuvu stolu $f_r = 0,02\text{mm}$
- P XI Závislost drsnosti R_z na axiální rychlosti v_f [mm] při posuvu stolu $f_r = 0,02\text{mm}$
- P XII Závislost materiálového podílu R_{mr} na axiální rychlosti v_f [mm] při posuvu stolu $f_r = 0,02\text{mm}$
- P XIII Závislost drsnosti R_a na axiální rychlosti v_f [mm] při posuvu stolu $f_r = 0,03\text{mm}$
- P XIV Závislost drsnosti R_z na axiální rychlosti v_f [mm] při posuvu stolu $f_r = 0,03\text{mm}$
- P XV Závislost materiálového R_{mr} na axiální rychlosti v_f [mm] při posuvu stolu $f_r = 0,03\text{mm}$
- P XVI Závislost drsnosti R_a na axiální rychlosti v_f [mm] při posuvu stolu $f_r = 0,04\text{mm}$
- P XVII Závislost drsnosti R_z na axiální rychlosti v_f [mm] při posuvu stolu $f_r = 0,04\text{mm}$
- P XVIII Závislost materiálového podílu R_{mr} na axiální rychlosti v_f [mm] při posuvu stolu $f_r = 0,04\text{mm}$
- P XIX Porovnání drsností R_a dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče -

PTFE

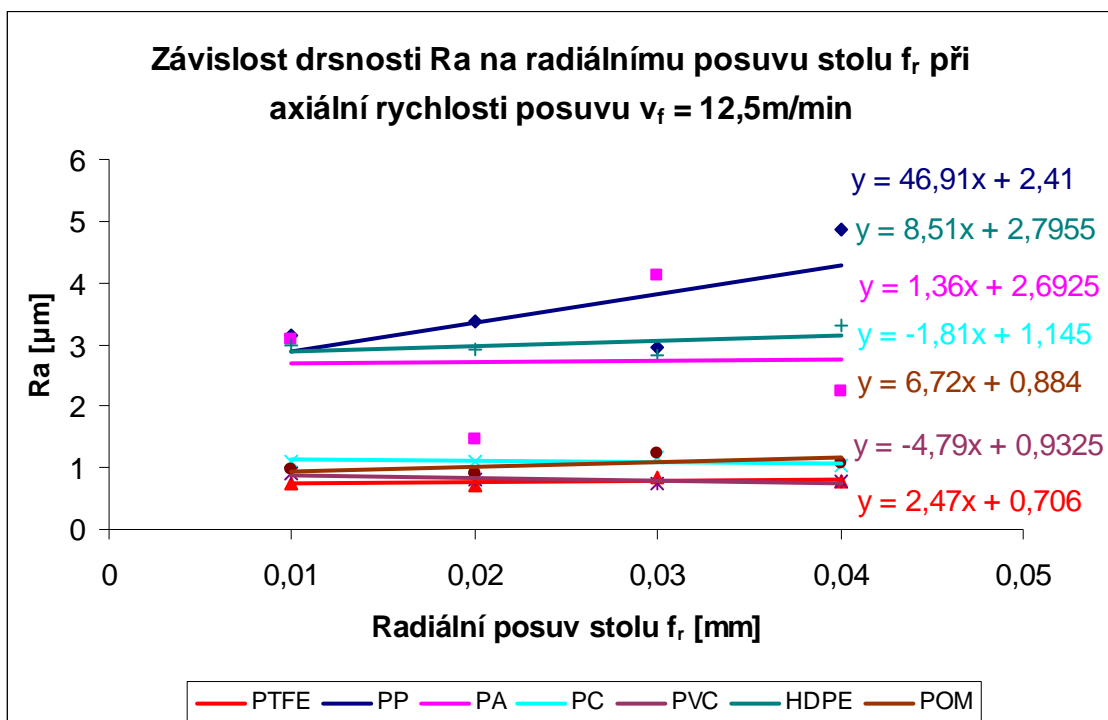
- P XX Porovnání drsností Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PTFE
- P XXI Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PTFE
- P XXII Porovnání drsností Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PC
- P XXIII Porovnání drsností Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PC
- P XXIV Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PC
- P XXV Porovnání drsností Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče – POM
- P XXVI Porovnání drsností Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - POM
- PXXVII Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - POM
- P IV CD

PI

Závislost drsnosti Ra na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu

$v_f = 12,5\text{m/min}$

HODNOTY DRSNOSTI Ra				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 12,5\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	3,148	3,377	2,953	4,853
PA	3,085	1,463	4,11	2,248
PTFE	0,747	0,705	0,832	0,787
PC	1,109	1,103	1,156	1,031
PVC	0,912	0,825	0,73	0,784
POM	0,975	0,904	1,243	1,086
HDPE	3	2,905	2,814	3,314

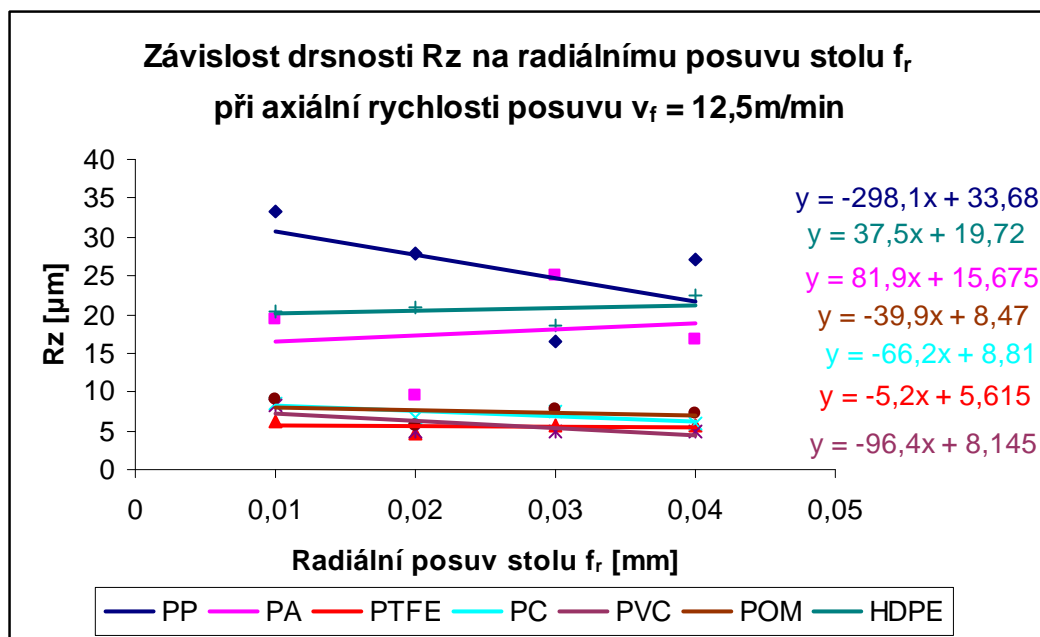


P II

Závislost drsnosti Rz na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu

$v_f = 12\text{m/min}$

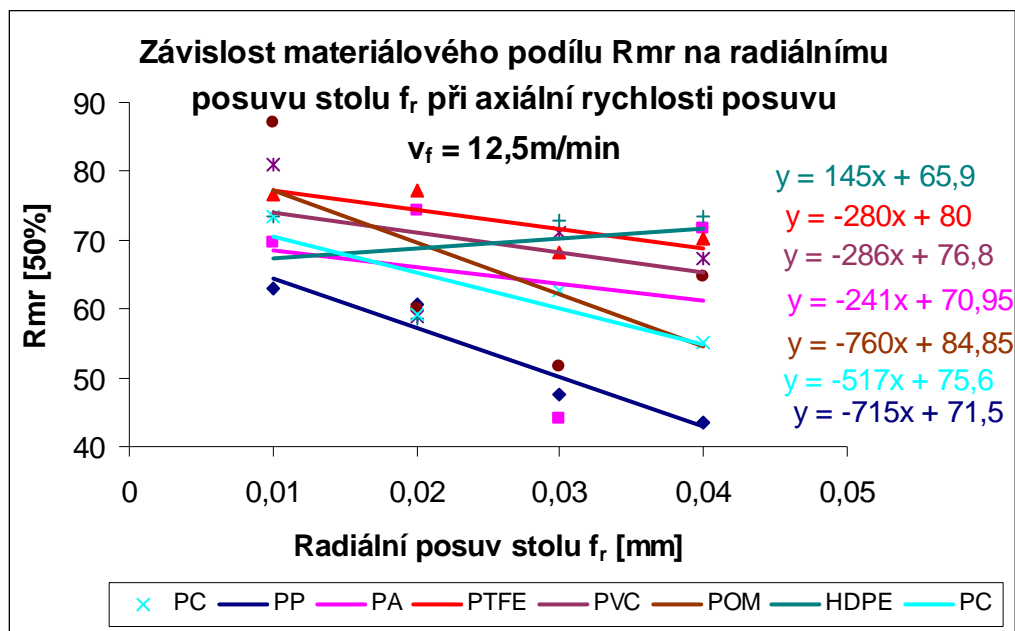
HODNOTY DRSNOSTI Rz				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 12,5\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	33,37	27,81	16,54	27,19
PA	19,37	9,49	25,15	16,88
PTFE	6,07	4,64	5,68	5,55
PC	8,47	6,71	7,41	6,03
PVC	8,18	4,95	4,79	5,02
POM	9,14	5,79	7,83	7,13
HDPE	20,5	21,01	18,55	22,57



P III

Závislost materiálového podílu Rmr na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 12,5\text{m/min}$

HODNOTY MATERIÁLOVÉHO PODÍLU Rmr				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 12,5\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	62,9	60,6	47,6	43,4
PA	69,7	74,2	44,1	71,7
PTFE	76,5	77,1	68,3	70,1
PC	73,5	59,3	62,8	55,1
PVC	81	59	71,2	67,4
POM	87,1	60,1	51,6	64,6
HDPE	73,3	58,6	72,8	73,4

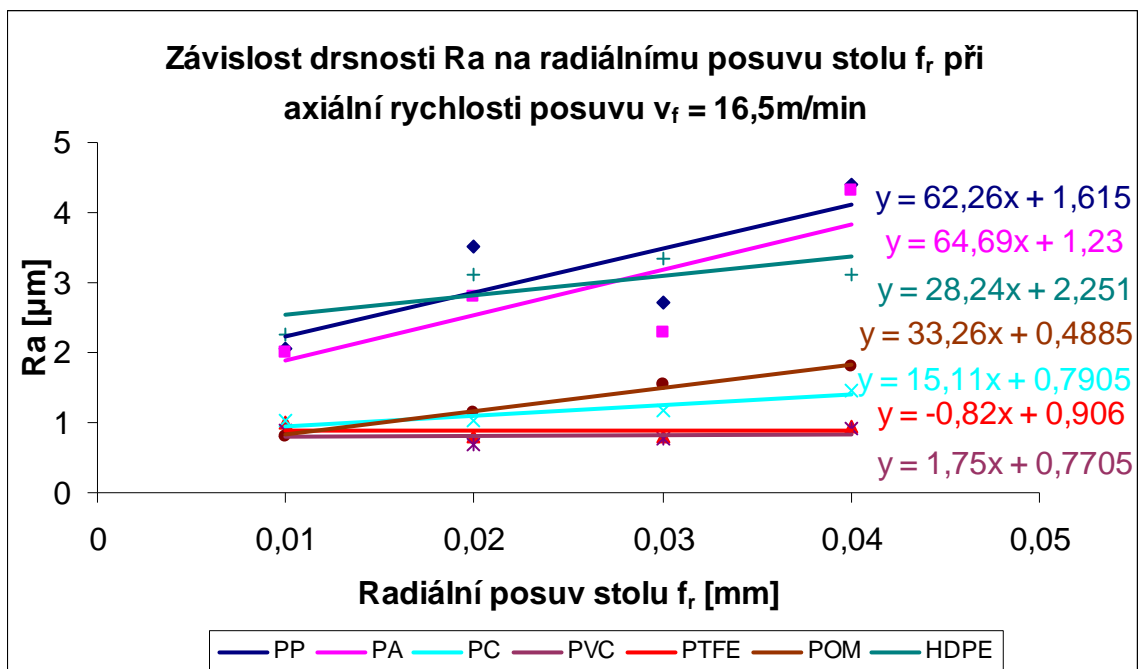


P IV

Závislost drsnosti Ra na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu

$v_f = 16,5\text{m/min}$

HODNOTY DRSNOSTI Ra				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	2,057	3,509	2,727	4,393
PA	1,987	2,807	2,274	4,321
PTFE	0,986	0,791	0,814	0,951
PC	1,017	1,016	1,171	1,469
PVC	0,886	0,679	0,782	0,91
POM	0,812	1,143	1,535	1,79
HDPE	2,253	3,109	3,353	3,113

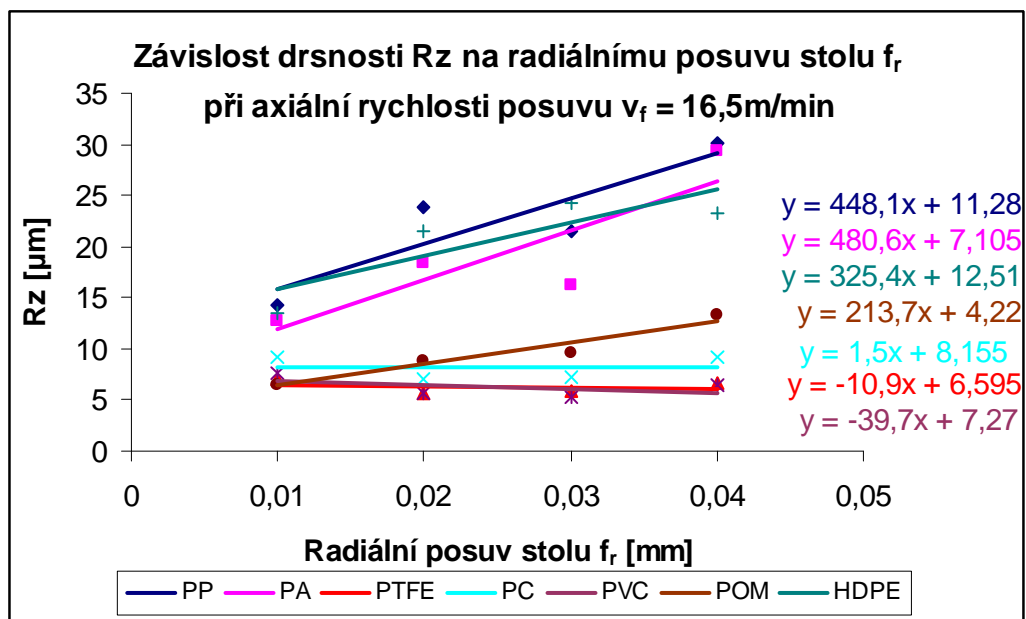


P V

Závislost drsnosti Rz na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu

$v_f = 16,5\text{m/min}$

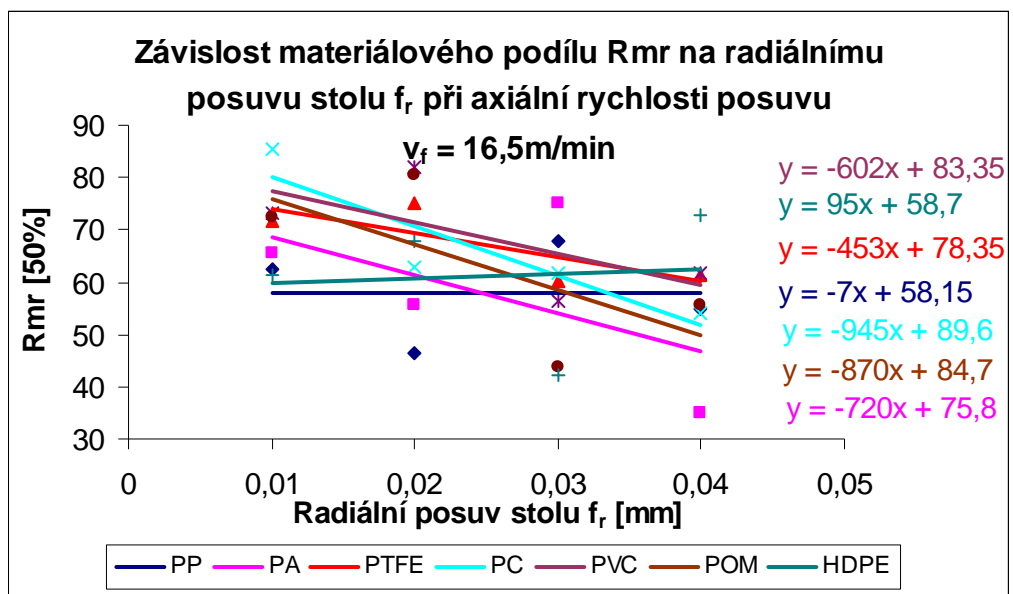
HODNOTY DRSNOSTI Rz				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	14,34	23,94	21,59	30,06
PA	12,63	18,29	16,22	29,34
PTFE	7,13	5,65	5,79	6,72
PC	9,18	7,12	7,3	9,17
PVC	7,69	5,66	5,26	6,5
POM	6,44	8,86	9,65	13,3
HDPE	13,42	21,54	24,26	23,36



P VI

Závislost materiálového podílu Rmr na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$

HODNOTY MATERIÁLOVÉHO PODÍLU Rmr				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	62,4	46,5	68	55
PA	65,6	55,5	75	35,1
PTFE	71,5	75	60,3	61,3
PC	85,3	62,8	61,6	54,2
PVC	73,3	81,8	56,4	61,7
POM	72,3	80,3	43,7	55,5
HDPE	61,3	67,7	42,4	72,9

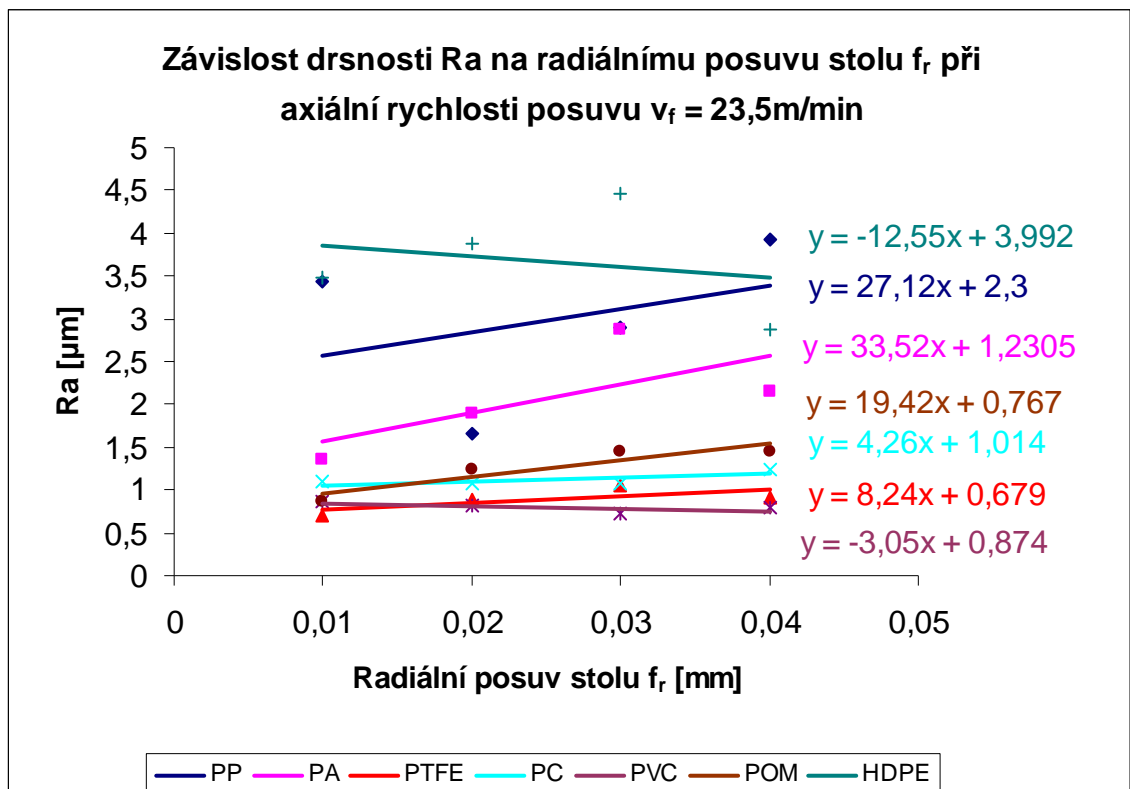


P VII

Závislost drsnosti Ra na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu

$v_f = 23,5\text{m/min}$

HODNOTY DRSNOSTI Ra				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 23,5\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	3,43	1,657	2,908	3,917
PA	1,363	1,889	2,868	2,154
PTFE	0,69	0,891	1,046	0,913
PC	1,089	1,083	1,077	1,233
PVC	0,854	0,826	0,725	0,786
POM	0,875	1,238	1,443	1,454
HDPE	3,484	3,889	4,467	2,873

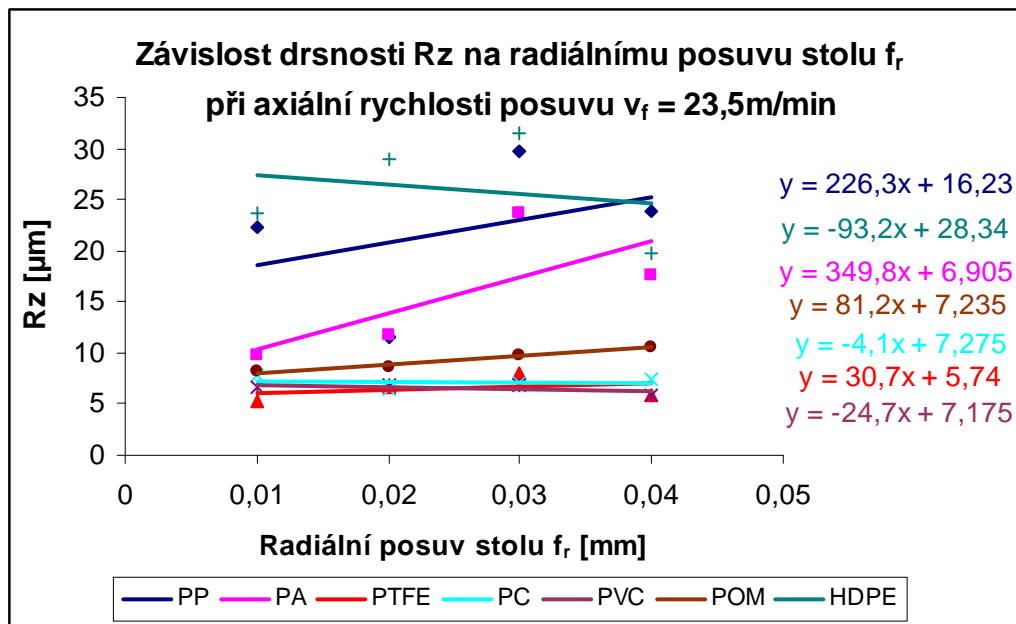


P VIII

Závislost drsnosti Rz na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu

$v_f = 23,5\text{m/min}$

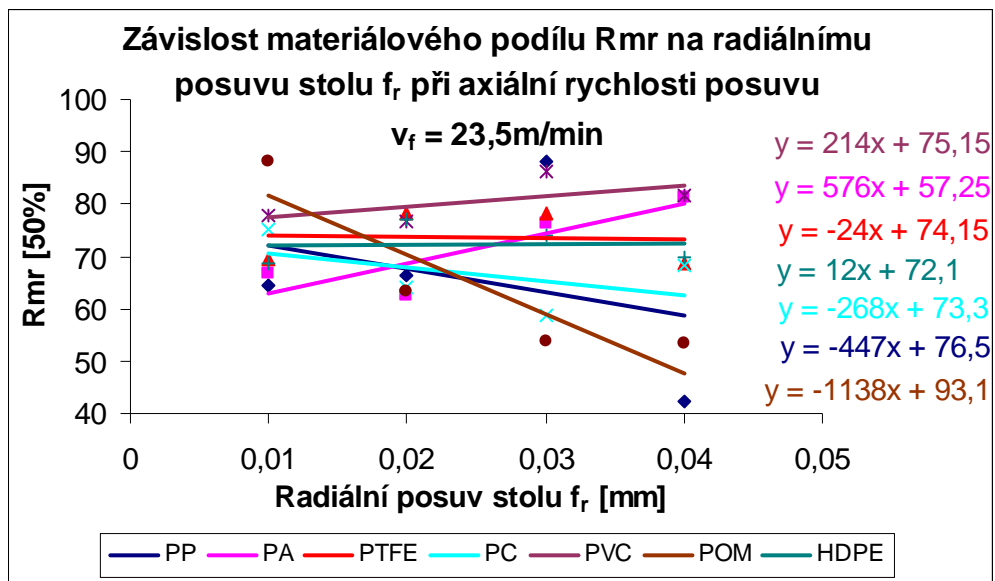
HODNOTY DRSNOSTI Rz				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 23,5\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	22,38	11,54	29,79	23,84
PA	9,81	11,7	23,58	17,51
PTFE	5,37	6,67	8,06	5,93
PC	7,78	6,47	6,96	7,48
PVC	6,73	6,78	6,83	5,89
POM	8,14	8,67	9,77	10,48
HDPE	23,7	29,03	31,56	19,75



P IX

Závislost materiálového podílu Rmr na radiálním posuvu stolu f_r [mm] při axiální rychlosti posuvu $v_f = 23,5\text{m/min}$

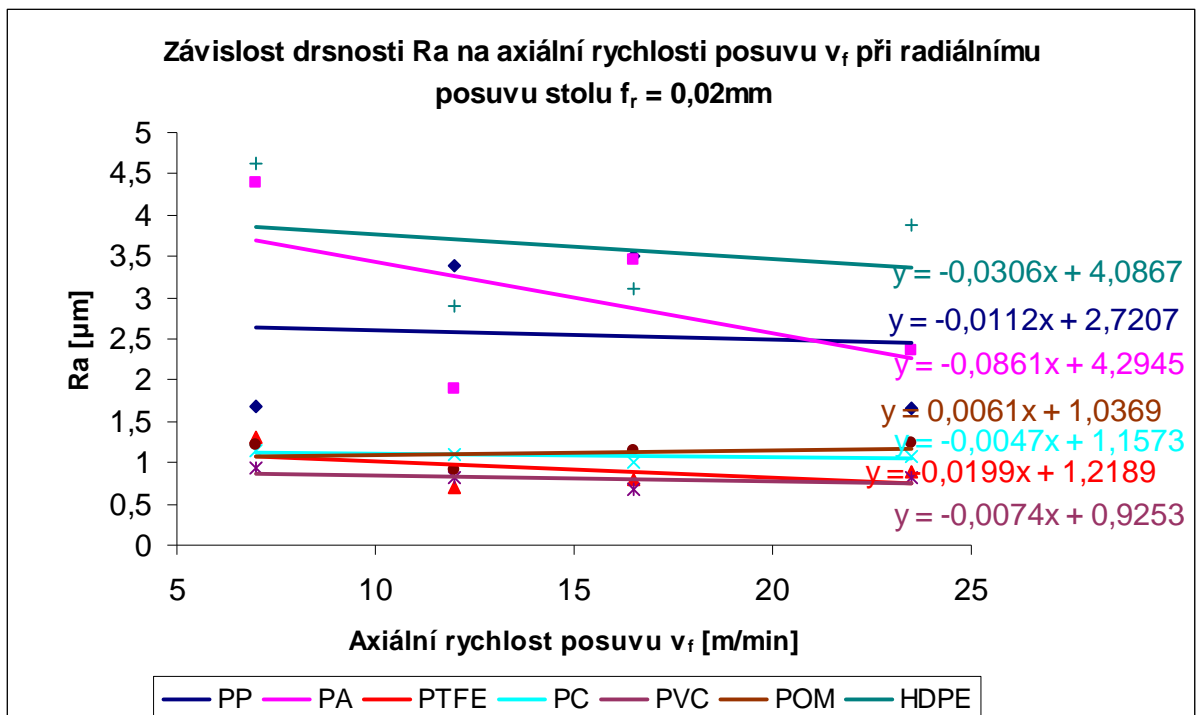
HODNOTY MATERIÁLOVÉHO PODÍLU Rmr				
Axiální rychlost posuvu $v_f = 23,5\text{m/min}$				
Materiály	Radiální posuv stolu f_r [mm]			
	0,01	0,02	0,03	0,04
PP	64,4	66,4	88,3	42,2
PA	66,6	62,5	76,3	81,2
PTFE	69,4	78,1	78,1	68,6
PC	75,3	64,2	58,7	68,2
PVC	77,7	76,5	86,2	81,6
POM	88	63,5	53,8	53,3
HDPE	68,5	77,1	74,1	69,9



P X

Závislost drsnosti Ra na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,02\text{mm}$

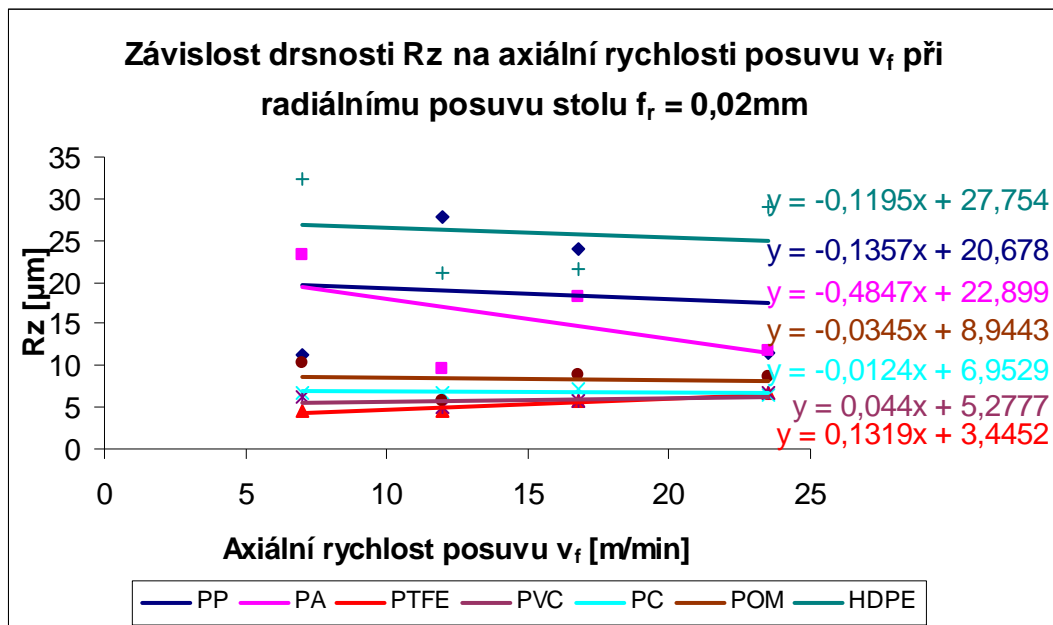
HODNOTY DRSNOSTI Ra				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,02$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	1,678	3,377	3,509	1,657
PA	4,404	1,885	3,456	2,353
PTFE	1,313	0,705	0,791	0,891
PC	1,15	1,103	1,016	1,083
PVC	0,934	0,825	0,679	0,826
POM	1,22	0,904	1,143	1,238
HDPE	4,628	2,905	3,109	3,889



P XI

Závislost drsnosti R_z na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,02\text{mm}$

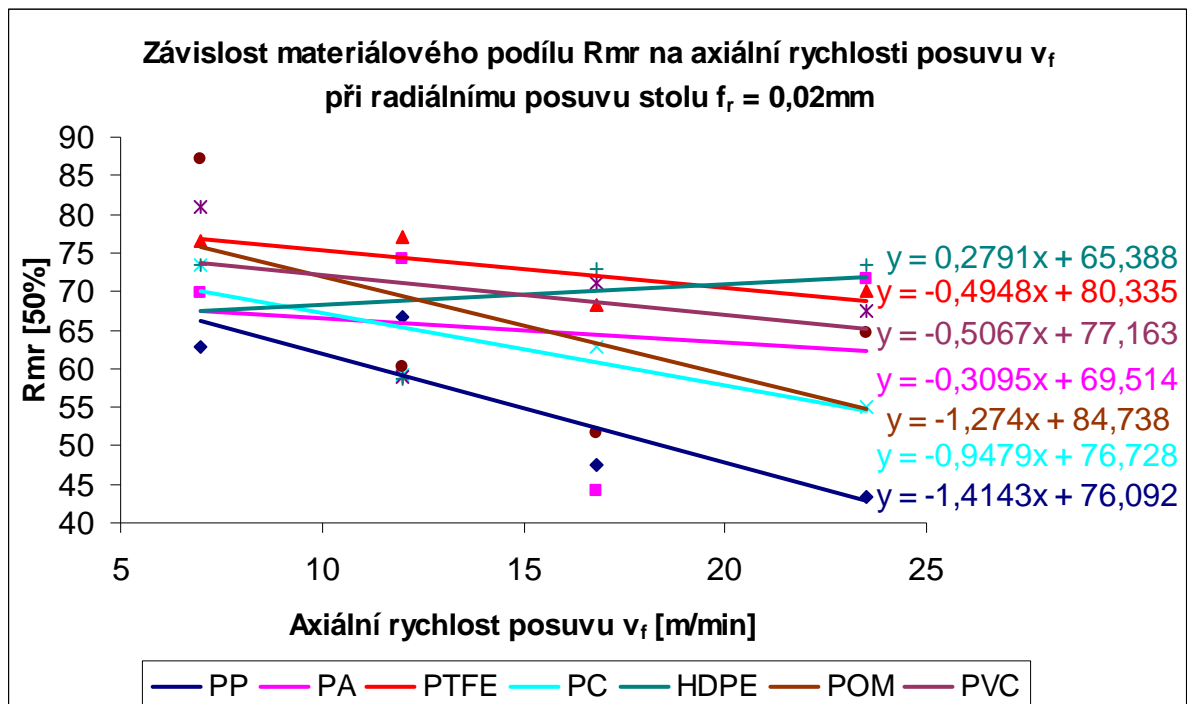
HODNOTY DRSNOSTI R_z				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,02$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	11,371	27,813	23,94	11,543
PA	23,359	9,494	18,292	11,707
PTFE	4,642	4,64	5,654	6,667
PC	6,785	6,705	7,115	6,472
PVC	6,326	4,952	5,66	6,783
POM	10,41	5,792	8,861	8,669
HDPE	32,265	21,099	21,537	29,027



P XII

Závislost materiálového podílu Rmr na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,02\text{mm}$

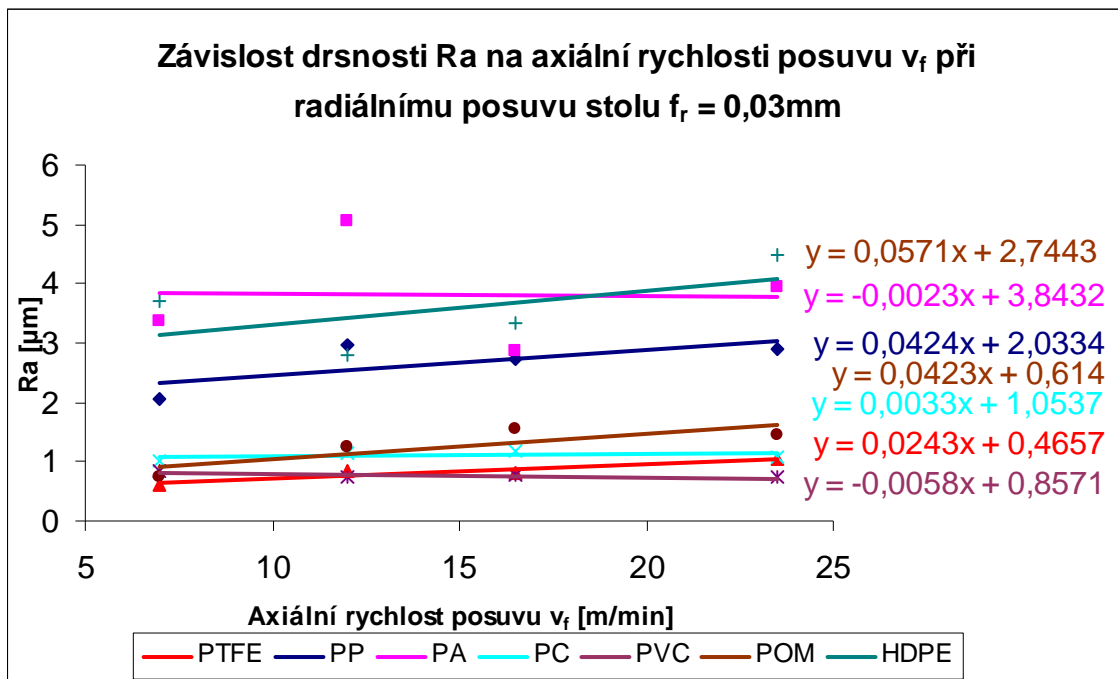
HODNOTY MATERIÁLOVÉHO PODÍLU Rmr				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,02$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	62,9	66,6	47,6	43,4
PA	69,7	74,2	44,1	71,7
PTFE	76,5	77,1	68,3	70,1
PC	73,5	59,3	62,8	55,1
PVC	81	59	71,2	67,4
POM	87,1	60,1	51,6	64,6
HDPE	73,3	58,6	72,8	73,4



P XIII

Závislost drsnosti Ra na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,03\text{mm}$

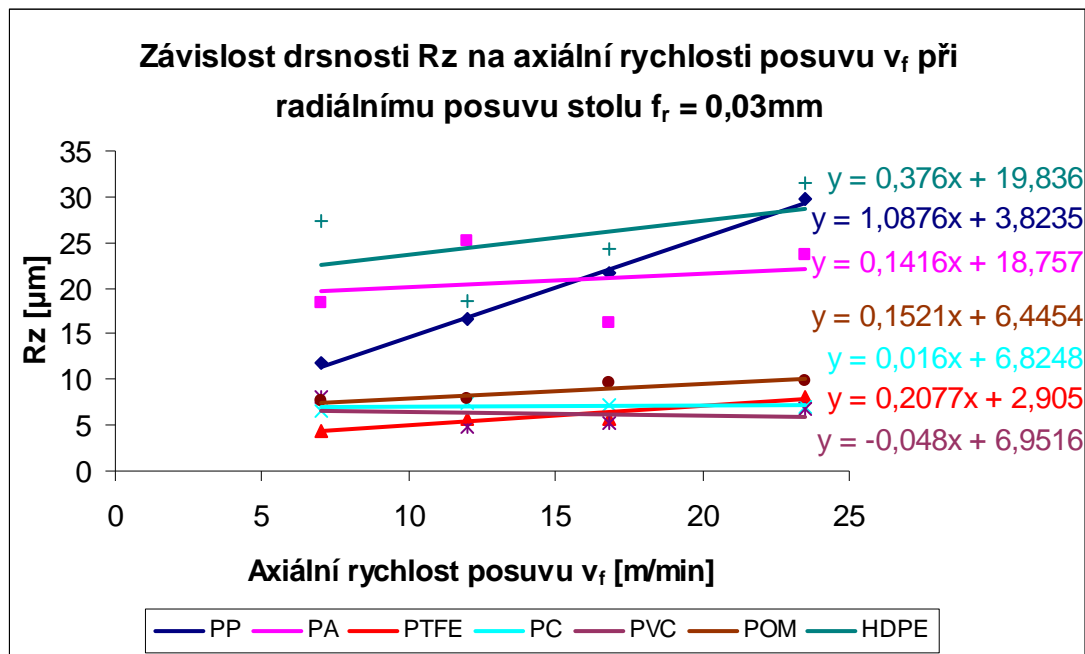
HODNOTY DRSNOSTI Ra				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,03$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	2,046	2,953	2,727	2,908
PA	3,369	5,047	2,861	3,959
PTFE	0,607	0,832	0,814	1,046
PC	1,007	1,156	1,171	1,077
PVC	0,847	0,73	0,782	0,725
POM	0,731	1,243	1,535	1,443
HDPE	3,716	2,814	3,352	4,467



P XIV

Závislost drsnosti Rz na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,03\text{mm}$

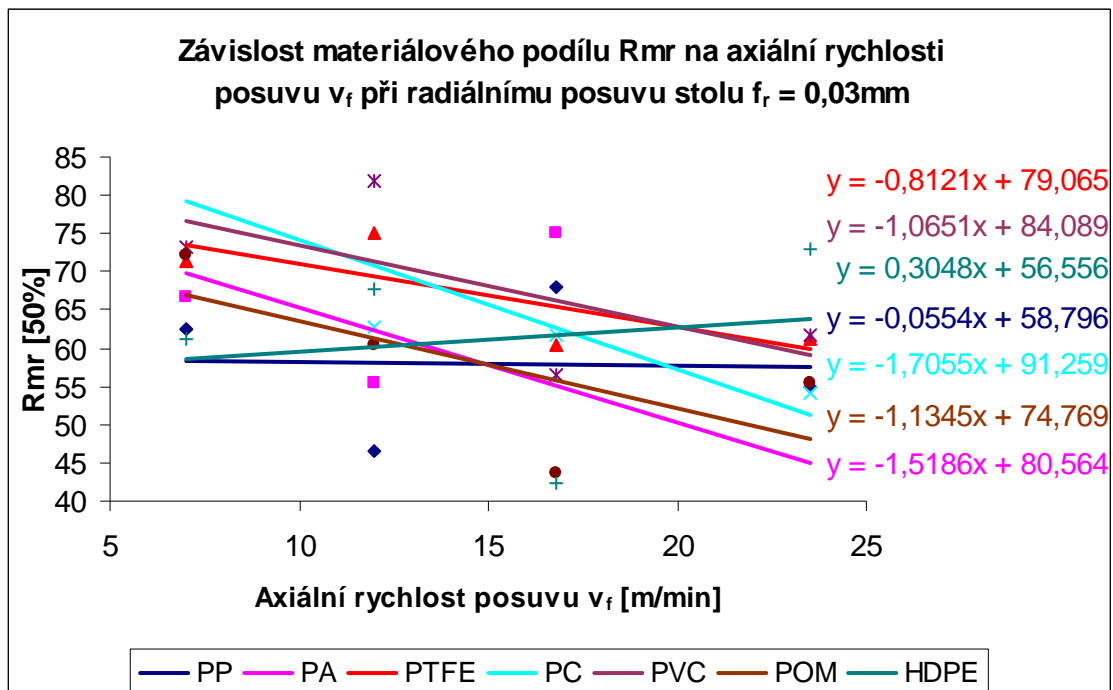
HODNOTY DRSNOSTI Rz				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,03$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	11,876	16,54	21,59	29,785
PA	18,475	25,148	16,218	23,583
PTFE	4,411	5,675	5,79	8,061
PC	6,58	7,409	7,3	6,96
PVC	8,075	4,794	5,264	6,825
POM	7,552	7,831	9,65	9,766
HDPE	27,28	18,548	24,26	31,555



P XV

Závislost materiálového podílu Rmr na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,03\text{mm}$

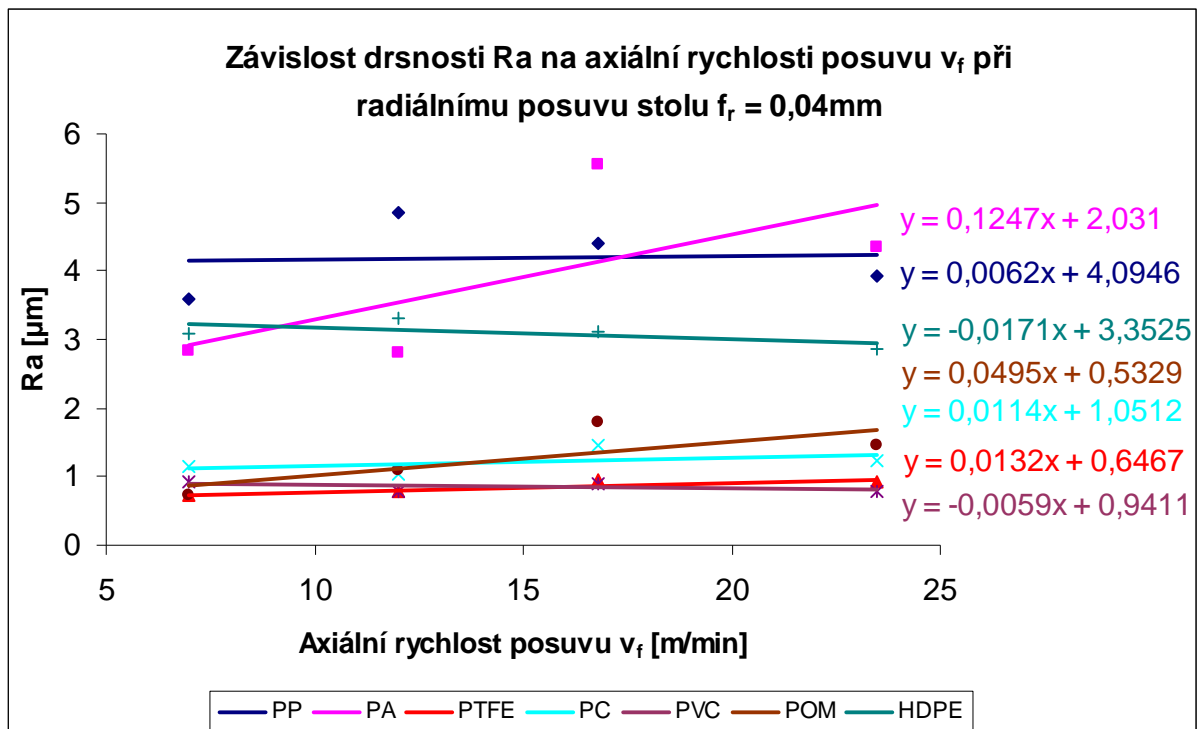
HODNOTY MATERIÁLOVÉHO PODÍLU Rmr				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,03$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	62,4	46,5	68	55
PA	66,6	55,5	75	35,1
PTFE	71,5	75	60,3	61,3
PC	85,3	62,8	61,6	54,2
PVC	73,3	81,8	56,4	61,7
POM	72,3	60,3	43,7	55,5
HDPE	61,3	67,7	42,4	72,9



P XVI

Závislost drsnosti Ra na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,04\text{mm}$

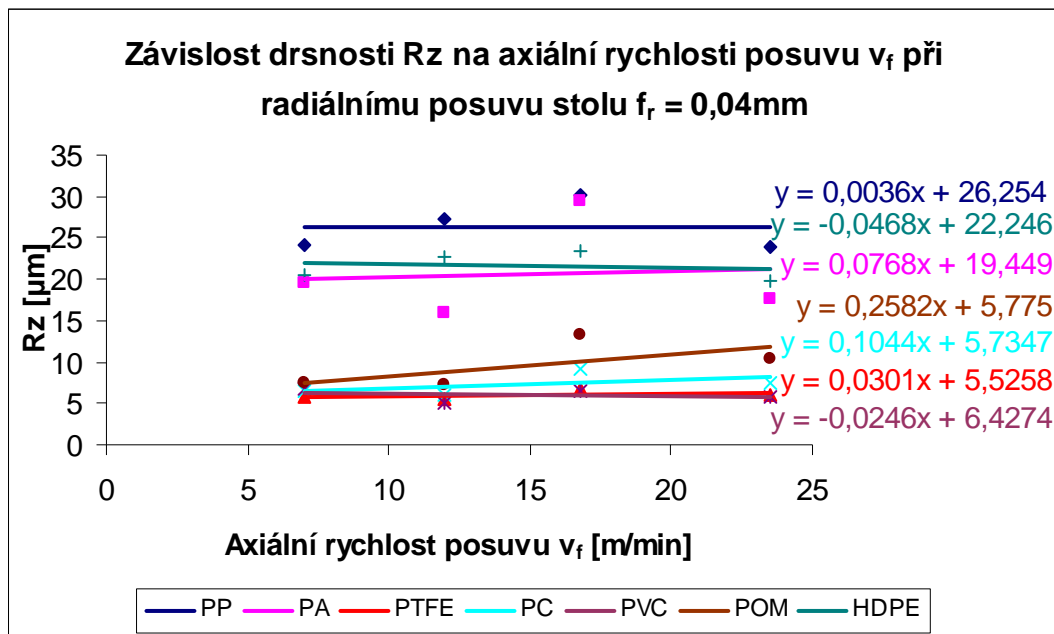
HODNOTY DRSNOSTI Ra				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,04$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	3,582	4,853	4,3934	3,917
PA	2,837	2,795	5,549	4,339
PTFE	0,718	0,787	0,951	0,913
PC	1,149	1,031	1,469	1,233
PVC	0,93	0,786	0,91	0,786
POM	0,734	1,086	1,79	1,454
HDPE	3,098	3,314	3,113	2,873



P XVII

Závislost drsnosti R_z na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu $f_r = 0,04\text{mm}$

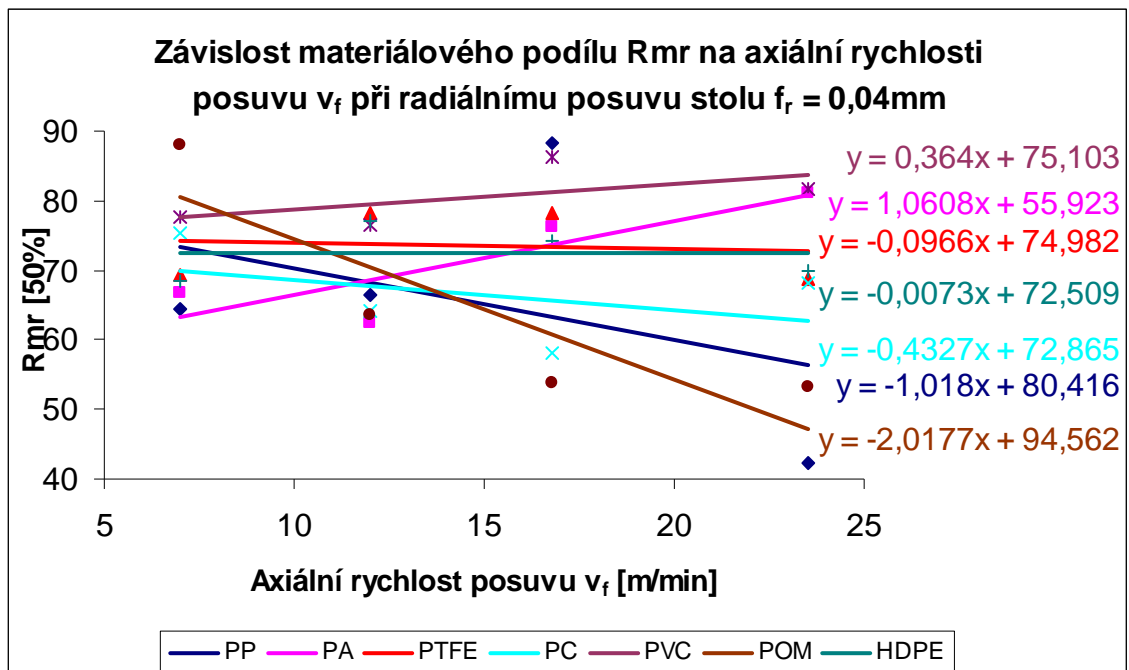
HODNOTY DRSNOSTI R_z				
Radiální posuv stolu $f_r = 0,04$ [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	24,136	27,19	30,058	23,844
PA	19,628	15,875	29,339	17,509
PTFE	5,694	5,548	6,716	5,928
PC	6,448	6,031	9,171	7,477
PVC	6,832	5,021	6,503	5,897
POM	7,505	7,129	13,3	10,48
HDPE	20,53	22,57	23,36	19,75



P XVIII

Závislost materiálového podílu R_{mr} na axiální rychlosti posuvu v_f [m/min] při radiálním posuvu stolu f_r = 0,04mm

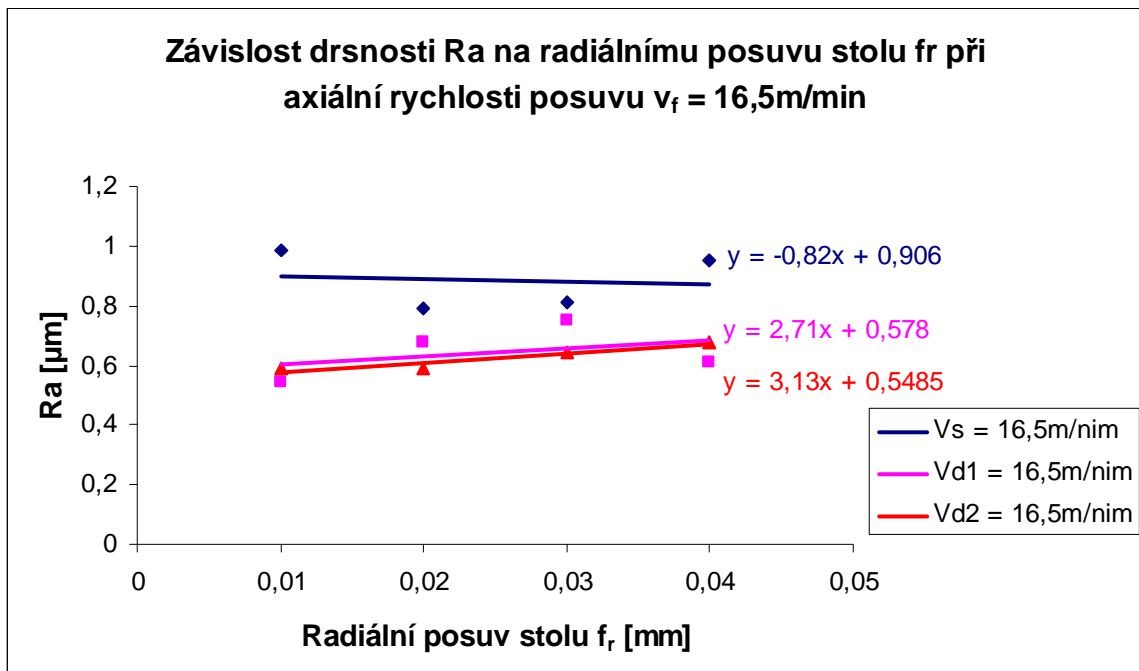
HODNOTY MATERIÁLOVÉHO PODÍLU R _{mr}				
Radiální posuv stolu f _r = 0,04 [mm]				
Materiály	Axiální rychlost posuvu v _f [m/min]			
	7	12,5	16,5	23,5
PP	64,4	66,4	88,3	42,2
PA	66,6	62,5	76,3	81,2
PTFE	69,4	78,1	78,1	68,6
PC	75,3	64,2	58,1	68,2
PVC	77,7	76,5	86,2	81,6
POM	88	63,5	53,8	53,3
HDPE	68,5	77,1	74,1	69,9



P XIX

Porovnání drsností Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$ – PTFE

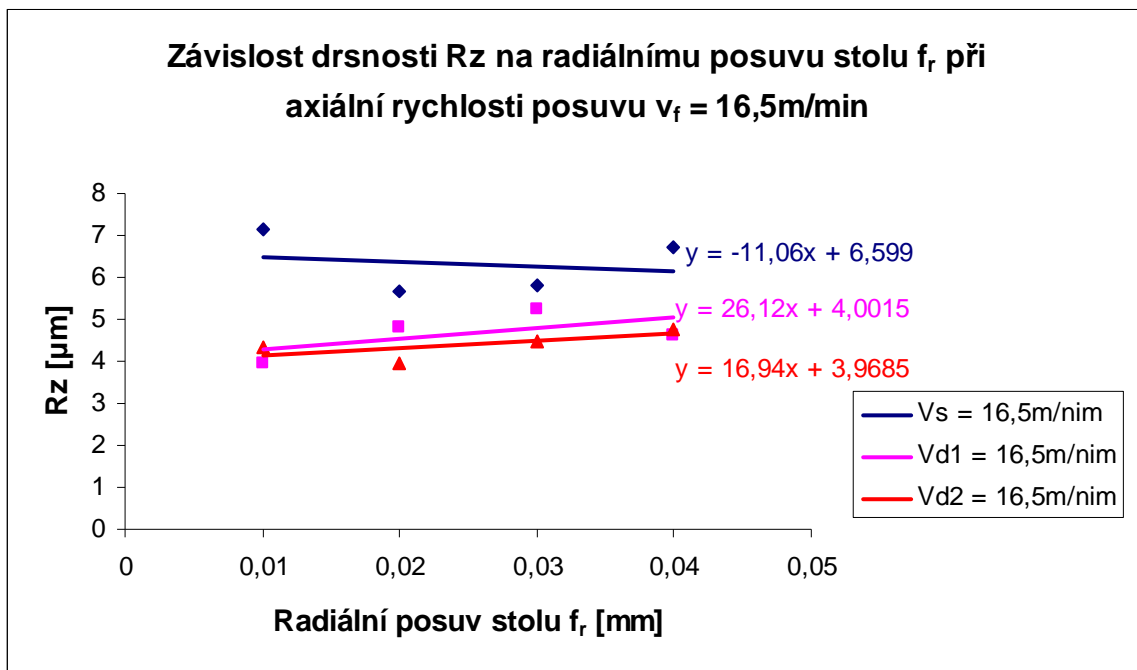
Porovnání drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PTFE			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	0,986	0,546	0,592
0,02	0,791	0,676	0,591
0,03	0,814	0,749	0,646
0,04	0,951	0,612	0,678



P XX

Porovnání drsností Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$ – PTFE

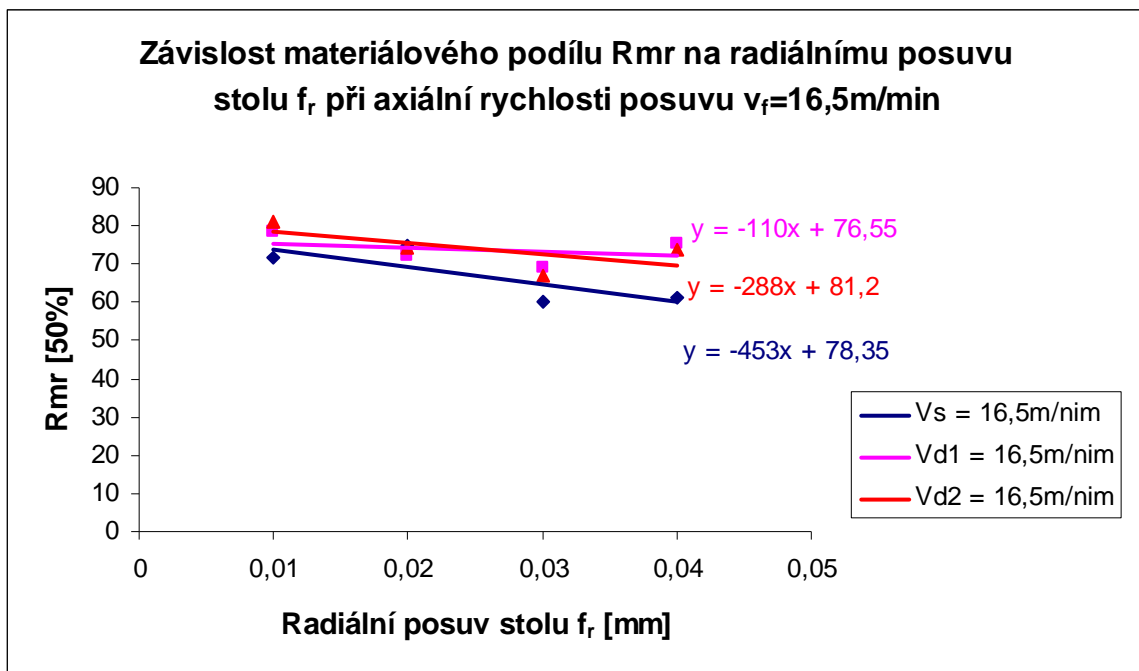
Porovnání drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PTFE			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	7,13	3,929	4,355
0,02	5,654	4,787	3,972
0,03	5,79	5,26	4,496
0,04	6,716	4,642	4,745



P XXI

Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$ – PTFE

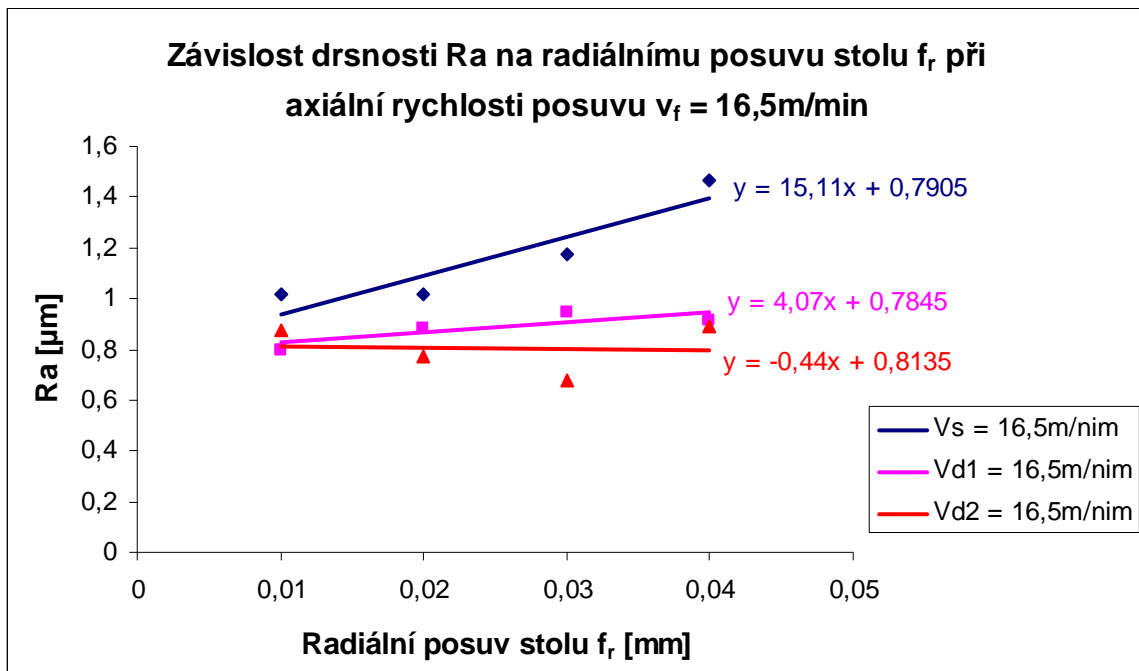
Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PTFE			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	71,5	78,3	81
0,02	75	72,1	74,2
0,03	60,3	69,2	67
0,04	61,3	75,6	73,8



P XXII

Porovnání drsností Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$ – PC

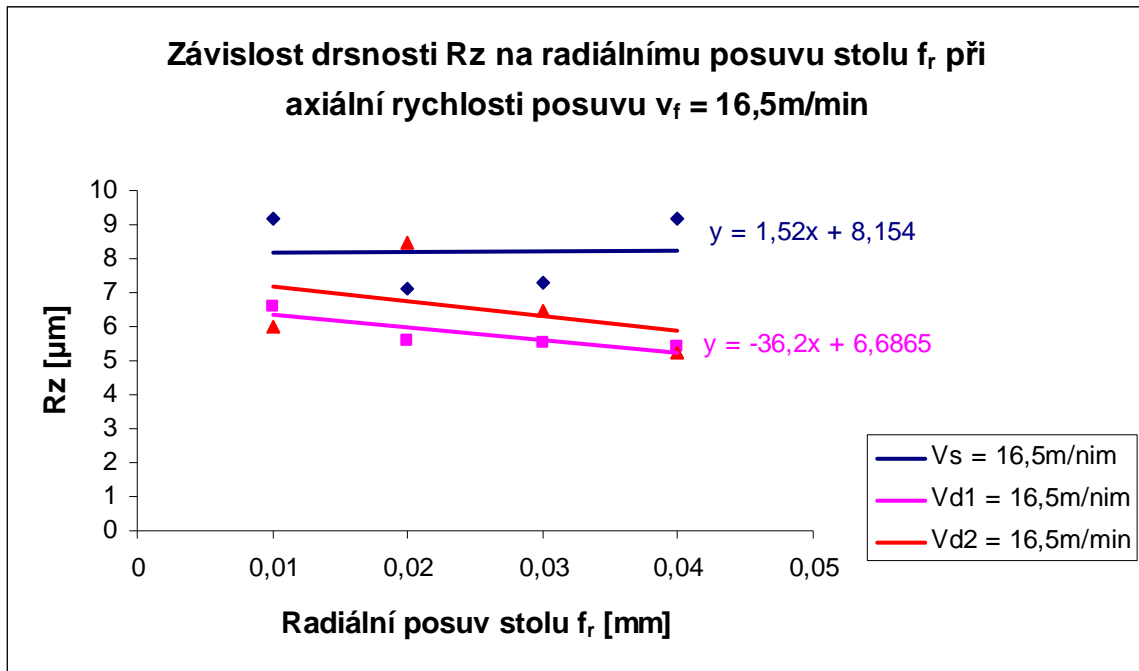
Porovnání drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PC			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	1,017	0,798	0,872
0,02	1,016	0,886	0,772
0,03	1,171	0,948	0,677
0,04	1,469	0,913	0,889



P XXIII

Porovnání drsností Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$ – PC

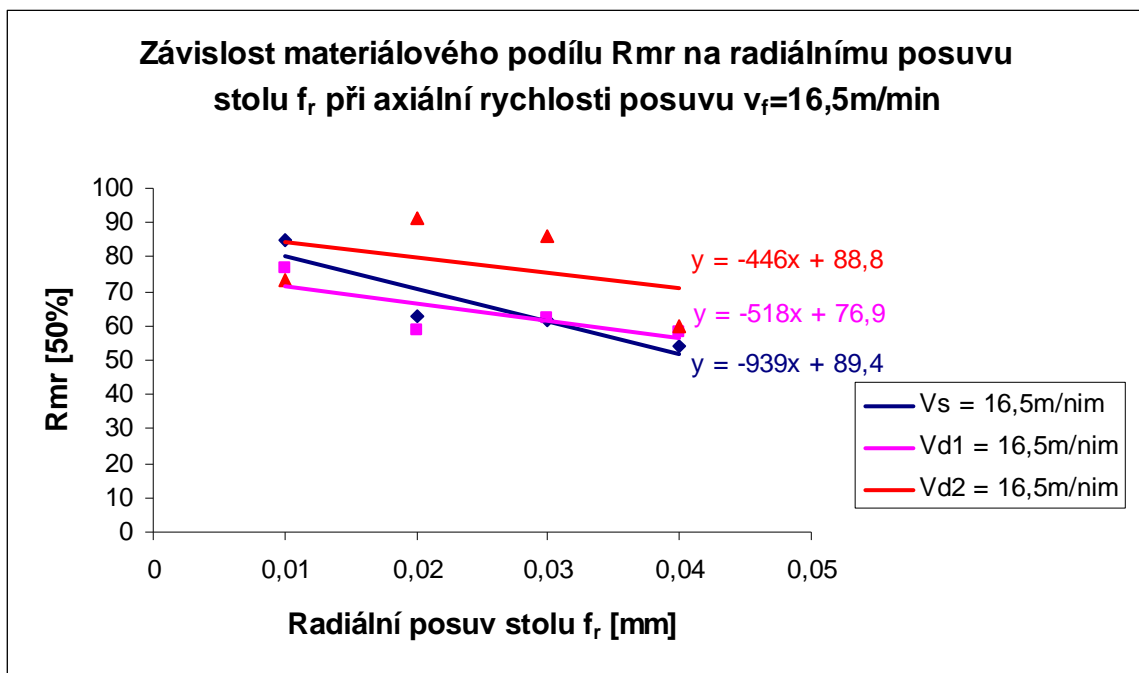
Porovnání drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PC			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	9,182	6,599	5,982
0,02	7,115	5,598	8,442
0,03	7,3	5,506	6,481
0,04	9,171	5,423	5,238



P XXIV

Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$ – PC

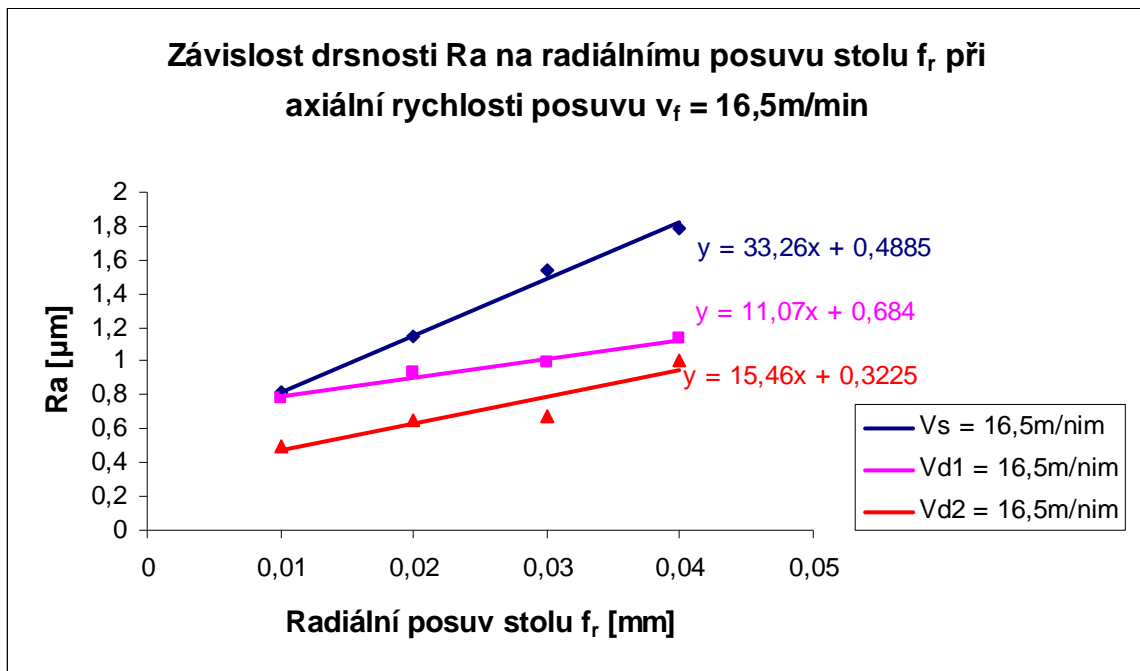
Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - PC			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	85,1	76,5	73
0,02	62,8	58,8	91,5
0,03	61,6	62,5	86,2
0,04	54,2	58	59,9



P XXV

Porovnání drsností Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$ – POM

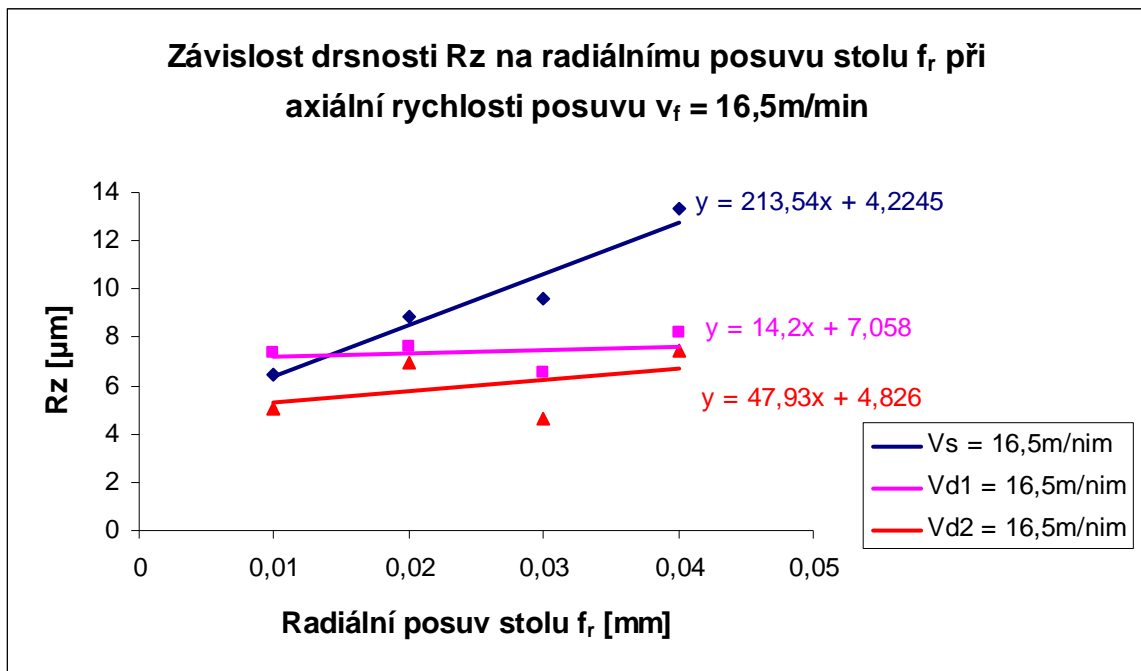
Porovnání drsnosti Ra dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - POM			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	0,812	0,781	0,497
0,02	1,143	0,937	0,655
0,03	1,535	0,994	0,68
0,04	1,79	1,131	1,004



P XXVI

Porovnání drsností Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$ – POM

Porovnání drsnosti Rz dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - POM			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	6,443	7,345	5,084
0,02	8,861	7,61	6,919
0,03	9,65	6,513	4,659
0,04	13,298	8,184	7,435



P XXVII

Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče při axiální rychlosti posuvu $v_f = 16,5\text{m/min}$ – PC

Porovnání materiálového podílu Rmr dynamicky a staticky vyváženého brousícího kotouče - POM			
Radiální posuv stolu f_r [mm]	Axiální rychlost posuvu v_f [m/min]		
	V_s	V_{d1}	V_{d2}
0,01	72,3	84,1	73,7
0,02	60,3	64,1	94,2
0,03	43,7	59,9	82,6
0,04	55,5	49,5	61

