

Hodnocení dynamických doprovodných jevů při broušení části nářadí

Bc. Ondřej DANIEL

Diplomová práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej DANIEL**

Osobní číslo: **T09570**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Hodnocení dynamických doprovodných jevů při broušení části nářadí.**

Zásady pro vypracování:

- 1) Hodnoťte teorii broušení
- 2) Uveďte materiály používané ve výrobě nářadí
- 3) Určete vliv technologických podmínek na řezné síly a strukturu povrchu
- 4) Vliv technologických podmínek na doprovodné jevy procesu broušení

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- 1) MASLOV, J.N.: Teorie broušení kovů. 1.vyd. Praha: SNTL 1979. 246 s.
- 2) BUDA, J., SOUČEK, J., VASILKO, K. : Teória obrábania. 1. vydanie. Bratislava: ALFA 1983. 360 s.
- 3) Mádl, J., Holešovský, F.: Integrita obrobených povrchů z hlediska funkčních vlastností.
- 4) GAŠPÁREK, J.: Dokončovacie spôsoby obrábania. ALFA/SNTL, Bratislava/Praha 1979. 360 s.

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011

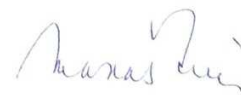
Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2011

Ve Zlině dne 11. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: **Ondřej DANIEL**

Obor: **Výrobní inženýrství**

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 27.4.2011

Dan Daniel

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá dynamickými doprovodnými jevy při broušení nářadí. Měření probíhalo na brusce BRH 20.03F. Na této brusce byly měněny technologické podmínky a šest brousících kotoučů. Analyzovaly se síly působící na obrobek při broušení, jejich velikost a směr. K měření dynamických jevů se používal dynamometr, který je schopen zapisovat a graficky zakreslovat řezné síly v závislosti na čase. Po změření silového působení byla zjišťována jakost povrchu. Všechny výsledky jsou graficky zpracovány.

Klíčová slova: Broušení, dynamické doprovodné jevy, dynamometr, jakost povrchu, technologické podmínky.

ABSTRACT

This graduation these is aimed to dynamic phenomena accompanying thy griding tools. Measurements were carried out on the grinder BRH 20.03 F. The technological conditions have been changed and grinding wheels were changed too. I used to six grinding wheels. Forces acting on the workpiece has beeb analized , the size and direction. The dynamic phenomena accompaying was measured by dynamometer. It can write the values in real time. Measurement were also surface roughnes by depending on technological conditions. The results hav been marked the graph. Surface roughnes was evaluated for each gronding wheel.

Keywords: Grinding, dynamic phenomena accompanying, dynamometer surface roughnes, technological conditions.

Pro svou diplomovou práci jsem využíval literaturu, materiály a odbornou pomoc od mého vedoucího práce pana Prof. Ing. Imricha Lukovicse CSc. Děkuji také panu Ing. Jiřímu Šálkovi za pomoc s manipulací a s ovládáním používané brusky. Za jejich odbornou pomoc a rady poskytnuté při řešení problémů vzniklých při měření na mé diplomové práci děkuji.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 BROUŠENÍ	12
1.1 TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA BROUŠENÍ.....	13
1.1.1 Názvosloví běžných brousících způsobů	13
1.1.2 Tvorba třísky při broušení	16
1.2 ZÁKLADNÍ METODY BROUŠENÍ	17
1.2.1 Obvodové broušení do kulata.....	17
1.2.2 Rovinné broušení	20
1.2.3 Tvarové broušení.....	22
1.3 BROUSÍCÍ NÁSTROJE	24
1.3.1 Označování brousících kotoučů	24
1.3.2 Upínání brousících kotoučů	31
1.3.3 Vyvažování brousících kotoučů	31
1.4 BROUSÍCÍ STROJE.....	32
1.5 ŘEZNÉ SÍLY	34
2 DOPROVODNÉ JEVY VZNIKAJÍCÍ PŘI BROUŠENÍ	37
2.1 TEPELNÉ JEVY PŘI BROUŠENÍ.....	37
2.1.1 Rozdělení teplot	38
2.1.2 Procesní materiály při broušení.....	38
2.1.3 Vznik jisker při broušení.....	39
2.2 JAKOST POVRCHU	39
2.3 ZBYTKOVÁ NAPĚTÍ	41
2.4 ZPEVNĚNÍ.....	42
2.5 OPOTŘEBENÍ BROUSICÍHO KOTOUČE.....	42
3 DYNAMOMETR	45
3.1 DRUHY SILOMĚŘŮ	45
II PRAKTICKÁ ČÁST	47
4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	48
5 DYNAMICKÉ DOPROVODNÉ JEVY PŘI BROUŠENÍ NÁŘADÍ	49
5.1 POUŽÍVANÝ STROJ BRUSKA BRH 20.03 F.....	49
5.2 CHARAKTERISTIKA OBROBKŮ.....	51
5.3 POUŽITÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE.....	56
5.3.1 Dynamometr s tenzometrickými členy.....	56
5.3.2 Drsnoměr MITUTOYO.....	56
5.4 BROUSÍCÍ KOTOUČE POUŽÍVANÉ PŘI MĚŘENÍ	58
6 NAMĚŘENÉ HODNOTY	59

6.1	VÝSLEDKY MĚŘENÍ KOTOUČE AG 92/99 80I 8V 85.....	60
6.1.1	Materiál 11600.0	61
6.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ KOTOUČE AG 92/99 80I 12V 125.....	62
6.2.1	Materiál 11600.0	63
6.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ KOTOUČE A99 80I 8V	65
6.3.1	Materiál 11600.0	66
6.4	VÝSLEDKY MĚŘENÍ KOTOUČE A99 80I 12V	67
6.4.1	Materiál 11600.0	69
6.5	VÝSLEDKY KOTOUČE MĚŘENÍ B 126K 100 8-VII	70
6.5.1	Materiál 11600.0	72
6.6	VÝSLEDKY MĚŘENÍ KOTOUČE D100/80 K100 B-VI	73
6.6.1	Materiál 11600.0	74
	ZÁVĚR	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	78
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	79
	SEZNAM OBRÁZKŮ	81
	SEZNAM TABULEK.....	82
	SEZNAM PŘÍLOH.....	83

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá a řeší dynamické doprovodné jevy vznikající při broušení nářadí. Především průběh sil působících na obrobek. Dnešní trend výroby kráčí směrem neustálého zvyšování jakosti výrobku. Snaha o dokonalejší vlastnosti a delší životnost sebou nese nutnost nových tvrdších, pevnějších materiálů a chemicko-tepelných zpracování. Proto je nutné vyvíjet technologie, kterými budeme takovéto materiály moci obrobit nebo opracovat. Jednou z konvenční metod, jak takové tvrdé či super-tvrdé materiály opracovat je broušení.

Tato metoda se vyznačuje vysokou řeznou rychlostí a malým úběrem materiálu. Používá se především jako dokončovací metoda pro přesné výrobky, ale je možné ji použít jako hloubkové broušení, kde je odebíraný větší objem třísky. Úběr materiálu je pomocí abrazivního materiálu s nedefinovanou geometrií bříty. Abrazivní materiál je vázán v kotouči pojivem, které dává kotouči tvrdost.

Síly vyvozené broušením je nutno eliminovat. V opačném případě by síly mohly stroj rozechvět a obráběný materiál by ztratil funkční nebo vzhledové vlastnosti, na které se v poslední době klade větší důraz, než tomu bylo v minulosti. Proto je nutné znát jak velké síly v řezu působí, jejich velikost, směr, chování materiálu při použití různých typů kotoučů a stejně tak chování kotouče v záběru.

Broušení povrchu se používá především u vysoce namáhaných výrobků nebo pohledových stran, kde je nutná vysoká přesnost výrobku. Broušení je proces časově náročný a proto se odráží i na konečné ceně výrobku.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BROUŠENÍ

Patří mezi abrazivní metody obrábění. Tuto metodu charakterizuje použití nástrojů s nedefinovanou geometrií břitu. Používají se u součástí, u kterých jsou vysoké požadavky na přesnost součásti a jakost povrchu. Mezi abrazivní metody obrábění patří zejména broušení, honování, lapování a superfinišování. Z hlediska technologických výstupů jsou důležité zejména dosahované parametry přesnosti obrobených ploch (*Tabulka 1*)

Tabulka 1 Dosahované parametry přesnosti obrobených ploch pro abrazivní metody obrábění [1]

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů IT		Drsnost plochy Ra [μm]	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Vnější rotační plochy	<i>Broušení</i>				
	hrubování	10	9 až 11	1,6	0,8 až 3,2
	dokončování	5	5 až 6	0,4	0,2 až 0,6
	jemné	4	3 až 5	0,2	0,05 až 0,4
	<i>Lapování</i>				
	normální	4	3 až 4	0,1	0,05 až 0,2
jemné	2	1 až 2	0,05	0,012 až 0,05	
	<i>Superfinišování</i>				
	dokončovací	4	3 až 5	0,2	0,05 až 0,4
jemné	3	2 až 4	0,1	0,025 až 0,1	
Vnitřní rotační plochy	<i>Vnitřní broušení</i>				
	hrubování	9	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	dokončování	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	jemné	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4
	<i>Honování</i>				
	hrubování	7	6 až 8	0,4	0,2 až 0,8
	dokončování	6	5 až 7	0,2	0,1 až 0,2
	jemné	4	3 až 5	0,1	0,05 až 0,1
<i>Lapování</i>					
dokončování	4	3 až 5	0,2	0,01 až 0,4	
jemné	3	1 až 3	0,05	0,012 až 0,05	
Rovinné plochy	<i>Broušení</i>				
	hrubování	10	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	dokončování	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	jemné	5	3 až 6	0,2	0,05 až 0,4
	<i>Lapování</i>				
dokončování	4	3 až 5	0,2	0,1 až 0,4	
jemné	3	1 až 3	0,05	0,012 až 0,05	

Broušení se používá zejména pro obrábění součástí s vyššími požadavky na přesnost rozměrů a tvarů a jakost povrchu. Dále se uplatňuje při obrábění materiálů, které není možné jinými metodami obrobit nebo je brousící metoda hospodárnější než jiné. S rozvojem výkonných brousících nástrojů a strojů se význam broušení rozšiřuje z původní oblasti dokončovací operací také na produkční obrábění.

1.1 Technologická charakteristika broušení

Brousící proces má základní charakteristiky podobné jako jiné obráběcí procesy a je zvláště podobný frézování. Při broušení však dochází ke kvantitativním i kvalitativním odlišnostem, které souvisí zejména s vlastnostmi brousícího kotouče a řeznými podmínkami. Broušení se od frézování odlišuje především různorodostí geometrického tvaru brousících zrn a jejich nepravidelným rozmístěním po brousící ploše. Úhel čela zrn se mění a bývá vesměs záporný. Brousící proces se uskutečňuje při vysokých řezných rychlostech (30 až 100 m·s⁻¹) a při malých průřezech třísky (10⁻³ až 10⁻⁵ mm²).

Od jiných způsobů obrábění se práce brousícího kotouče liší schopností samoostření. Tato vlastnost brousícího kotouče souvisí s poměrně málo pevným zakotvením brousícího zrna ve vazbě kotouče. V důsledku zvýšení řezných sil na otupených zrnech se toto zrna vylomí a odkryje tím neotupené zrna, které přebírá jeho funkci. [1]

1.1.1 Názvosloví běžných brousících způsobů

Brousící proces se uskutečňuje různými metodami, které se definují pro vhodná kritéria. Příslušné technologické charakteristiky se k těmto metodám vztahují. Podle tvaru obrobebného povrchu a způsobu jeho vytváření se rozliší:

- rovinné broušení (výsledkem je rovinná plocha)
- broušení do kulata (výsledkem je rotační povrch)
- broušení na otáčivém stole (broušení s rotačním posuvem)
- tvarovací broušení (broušení závitů, ozubených kol apod.)
- kopírovací broušení (broušení s řízenou změnou posuvu; NC stroje)
- broušení tvarovými brousícími kotouči (profil brousícího kotouče určuje konečný profil obrobku)

Podle aktivní části brousícího kotouče se specifikuje:

- obvodové broušení
- čelní broušení

Podle vzájemné polohy brousícího kotouče a obrobku se charakterizuje:

- vnější broušení
- vnitřní broušení

Podle hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k brousícímu kotouči (termínem „stůl“ se označuje pohyblivá část brousícího stroje vzhledem k jeho základu, na stůl brusky se upevňuje obrobek nebo brousící vřeteník) se definuje :

- axiální broušení (hlavní posuv stolu je rovnoběžný s osou kotouče)
- tangenciální broušení (hlavní posuv stolu je rovnoběžný s vektorem obvodové rychlosti kotouče ve zvoleném bodě D)
- radiální broušení (hlavní posuv stolu ve zvoleném bodě D je radiální vzhledem ke kotouči)
- obvodové zápichové broušení (posuv stolu je plynulý radiální)
- čelní zápichové broušení (posuv stolu je plynulý axiální)

		BROUŠENÍ ČELNÍ		
		radiální	tangenciální	axiální
Rovinné – pohyb stolu	přímočarý			
	otáčivý			

Obr. 1 Vybrané způsoby čelního broušení [1]

		BROUŠENÍ OBVODOVÉ		
		radiální	tangenciální	axiální
Rovinné – pohyb stolu	přímočarý			
	otáčivý			
Do kulata	vnější			
	vnitřní			

Obr. 2 Vybrané způsoby obvodového broušení [1]

n_s - frekvence otáčení brousícího kotouče

n_w - frekvence otáčení obrobku

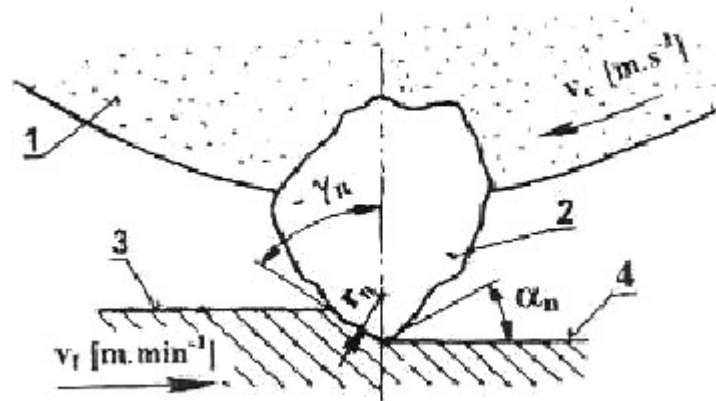
v_{fa} – axiální rychlost posuvu stolu

v_{fr} - radiální rychlost posuvu stolu

v_{ft} - tangenciální rychlost posuvu stolu

1.1.2 Tvorba třísky při broušení

Broušení jako obráběcí metoda je charakterizována specifickými podmínkami tvorby třísky a vzniku obrobeného povrchu. V důsledku velkých plastických deformací a vnějšího i vnitřního tření se určitá část třísky ohřeje na natolik, že se roztaví a vytvoří kapky kovu nebo shoří (jiskření).



Obr. 3 Model záběru brousícího zrna [1]

Jednotlivá brousící zrna mají nepravidelný geometrický tvar, vysokou tvrdost, odolnost proti teplotě, nepravidelné poloměry zaoblení ostří r_n řádu několika tisíc milimetrů.

Brousící zrna mají zpravidla negativní úhel čela γ_n a poměrně velký úhel hřbetu α_n . Za řeznou rychlost při broušení se považuje obvodová rychlost brousícího kotouče, která je vzhledem k ostatním metodám obrábění relativně vysoká. Rychlost posuvů obrobku nebo kotouče mají na rychlost řezného pohybu v_c zanedbatelný vliv. [1]

1.2 Základní metody broušení

Ve strojírenské výrobě se používá řada metod broušení na standardních i číslicově řízených bruskách. Nejčastěji využívané metody jsou dále charakterizovány.

1.2.1 Obvodové broušení do kulata

Obvodové broušení do kulata dělíme:

Obvodové broušení do kulata vnějších ploch

- broušení axiální
- broušení hloubkové
- broušení radiální
- broušení bezhroté
- upínání obrobků broušení do kulata

Obvodové broušení do kulata vnitřních ploch

- broušení axiální
- bezhroté broušení
- bezhroté broušení v tuhých opěrkách
- planetové broušení

Broušení axiální

Broušení s podélným (axiálním) posuvem se používá zejména při broušení dlouhých součástek. Obrobek se otáčí mezi hroty a koná současně posunový rovnoběžný pohyb s osou obrobku, popř. obrobek koná jen pohyb otáčivý a nástroj posunový pohyb podél osy.

Broušení hloubkové

Broušení kotoučem nastaveným na rozměr (hloubkové broušení) je metoda broušení, kdy se celý přídavek obrousí za jeden podélný zdvih stolu s malou axiální rychlostí posuvu. Tato metoda patří mezi nejproduktivnější. Používá se při malých přídavcích na broušení. Výhodou je, že větší část odebíraného materiálu odřeže malé množství brousících zrn. A ostatní zrna již jen vyjiskřují.

Broušení bezhroté

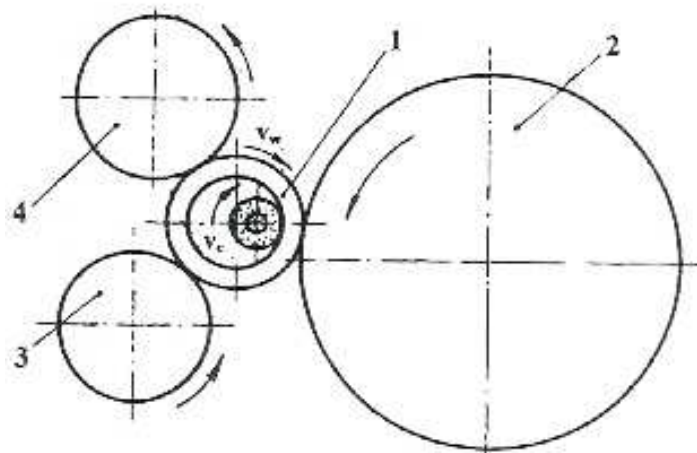
Bezhroté broušení umožňuje vysokou produktivitu práce při průchozím i zapichovacím způsobu broušení. Používá se s úspěchem při přesném broušení v hromadné výrobě.

Upínání obrobků při broušení do kulata

Podobně jako při soustružení se obrobky upínají mezi hroty, na válcový nebo kuželový trn, případně do sklíčidla. Dlouhé tenké součásti se mohou během broušení prohnout (podobně jako u soustružení a proto se podpírají lunetami. Při broušení malých průměrů se použijí hroty seříznuté.

Bezhroté broušení

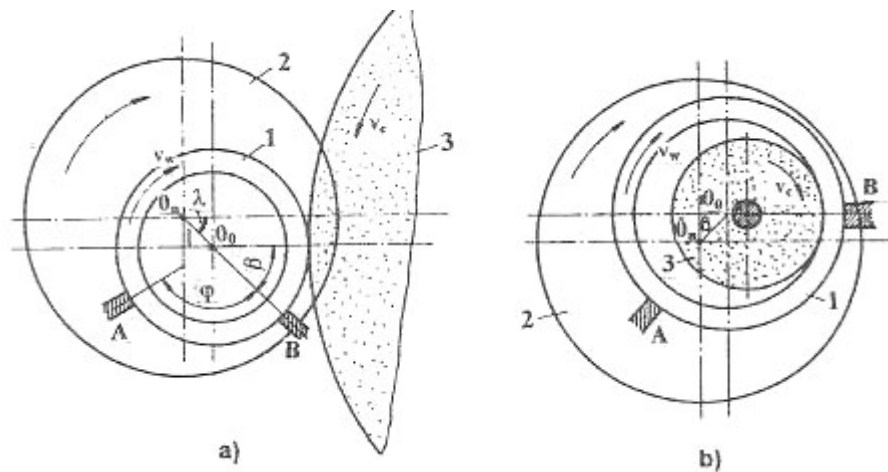
Součást se vkládá mezi kotouče 2,3 a 4 (*Obr. 4*). Podávací kotouč 2 zabezpečuje polohu součásti, upínací kotouč se 4 přitlačuje a tím upíná součást během broušení. Tento způsob broušení se může použít jen u broušení součástí, které mají válcový vnější povrch souosý s broušeným vnitřním povrchem. Geometrické úchyly vnějšího povrchu součásti (hranatost, oválnost) vyvolá nepřesnosti při otáčení, protože se součást ustavuje podle vnějšího povrchu. Bezhroté vnitřní broušení zabezpečuje větší přesnost v porovnání s běžným vnitřním broušením, protože při tomto způsobu broušení řezné síly nedeformují broušenou část.



Obr. 4 Bezhruté broušení [1]

Bezhruté broušení v tuhých opěrkách

Vysokou geometrickou přesnost tvaru součásti je možno dosáhnout aplikací bezhrutého broušení v tuhých opěrkách. Metoda je aplikovatelná pro vnější i vnitřní broušení.



Obr. 5 Broušení v tuhých opěrkách

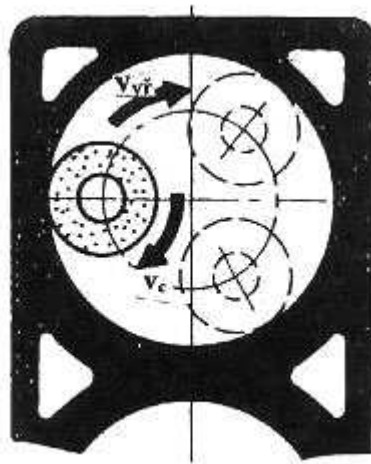
a) vnější broušení; b) vnitřní broušení;

1-obrobek; 2-příruha ; A,B-opěrky; 3-brousící

kotouč [1]

Planetové broušení

Při broušení děr v součástech, které nelze upnout na brusce na díry do sklíčidla nebo čelistí, se používá planetové broušení na planetových bruskách. Obrobek se upne pevně na stole brusky a vřeteno s brousícím kotoučem se otáčí kolem vlastní osy obvodovou rychlostí v_c a obíhá kolem osy broušené díry rychlostí $v_{vř}$ a současně se pohybuje ve směru osy díry axiální rychlostí v_{fa} . Přesnost planetového broušení je menší, protože vřeteno má delší vyložení a je proto méně tuhé.



Obr. 6 Vnitřní planetové broušení [1]

1.2.2 Rovinné broušení

Rovinné broušení se používá zpravidla jako operace na čisto po předcházejícím frézování nebo hoblování, často se však používá i místo frézování při obrábění velmi tvrdých materiálů s tvrdou kůrou. Rovinné broušení se dělí na:

- broušení obvodové
- broušení čelní

Broušení obvodové

Broušení obvodem kotouče se nejpřesnějším způsobem broušení ploch, protože se pracuje relativně úzkým kotoučem a obrobek se vlivem tepla deformuje jen nepatrně. Používá se

zejména při broušení přesných rovinných ploch a dále při výrobě nástrojů, měřidel, přípravků, apod. Tímto způsobem je možné zhotovovat i různé tvarové plochy.

Při broušení obvodem kotouč se může obrobek otáčet nebo přímočaře posouvat. V případě přímočarého posuvu obrobku se otáčí brousící kotouč obvodovou rychlostí v_v , obrobek vykonává podélný vratný pohyb posunovou rychlostí v_{ft} . V jedné nebo obou úvratích se příčně posouvá kotouč vzhledem k obrobku o hodnotu f_{fa} a po obroušení celé plochy se radiálním posuvem f_r nastaví hloubka broušení opakovaně až po celkový přírůstek na broušení. Na bruskách s kruhovým pohybem součásti se obrábějí přesné čelní plochy, jako např. čela kotoučových fréz, okružních pil atd. Kromě toho se na nich dají brousit i plochy mírně kuželovité, např. čela kotoučových fréz, jejichž hloubka se směrem ke středu zmenšuje.

Broušení čelní

Broušení čelem kotouče není sice tak přesné jako broušení obvodem kotouče, je však mnohem výkonnější. Součást se přímočaře posouvá nebo otáčí. Při přímočarém pohybu stolu se v sériové výrobě brousí zejména menší součásti, např. čelní plochy ozubených kol, pístní kroužky, čela kroužků kuličkových ložisek atd.

Při broušení čelem kotouče se pro větší průměry používají nejčastěji segmentové hlavy. Mají několik předností – zejména vyšší využití brousícího materiálu, lepší odstraňování třísek, řezná kapalina má lepší přístup do místa broušení, styčné plochy nástroje s obrobkem jsou menší a broušená součást se zahřívá méně. U rovinných brusek pracujících s celistvými kotouči se někdy vřetenem skloní k obráběné ploše o několik stupňů (max. o 4°), aby se styčná plocha nástroje se součástí zmenšila. Tím se zlepšují řezné podmínky, ulehčuje se odstranění třísky a chlazení, ale obráběná plocha má horší rovinnost.

Doporučené řezné parametry pro rovinné broušení viz (*Tabulka 2*)

Tabulka 2 Směrné hodnoty řezných parametrů pro rovinné broušení [1]

Druh práce	Radiální posuv f_r [mm]	Axiální posuv f_a [mm]	Tangenciální rychlost posuvu stolu v_R [m.min ⁻¹]
<i>Rovinné broušení obvodové</i>			
a) přímočarý pohyb stolu			
-hrubování	0,01-0,04	(0,4-0,7) b_s	8-30
-na čisto	0,005-0,01	(0,2-0,3) b_s	15-20
b) kruhový pohyb stolu			
-hrubování	0,005-0,015	(0,3-0,6) b_s	20-60
-na čisto	0,005-0,01	(0,2-0,25) b_s	40-60
<i>Rovinné broušení čelní</i>			
a) přímočarý pohyb stolu			
-hrubování	0,015-0,04	-	4-12
-na čisto	0,005-0,01	-	2-3
b) kruhový pohyb stolu			
-hrubování	0,015-0,03	-	10-40
-na čisto	0,005	-	10-40

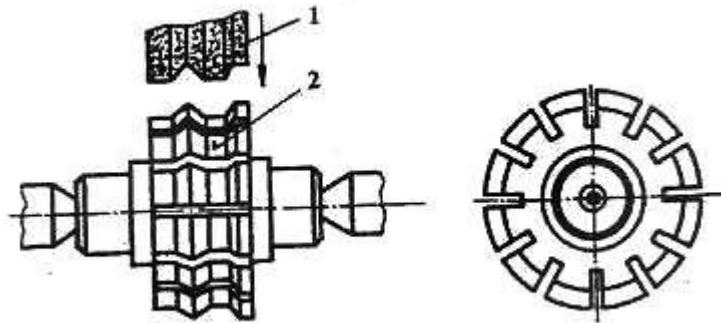
1.2.3 Tvarové broušení

Mimo jednoduchých rovinných, válcových a kuželových tvarů je nutné často brousit i tvarové povrchy někdy i značně složitěho tvaru, např. u kotoučových nožů, šablon nebo různých tvarových kalibrů. Takové tvary se brousí v podstatě dvěma způsoby:

- profilovými kotouči
- kotouči s obvyklým tvarem, přičemž kopírovací pohyb vykonává pomocí šablony brousící kotouč nebo součást, příp. tvar je definován číslicově v programových blocích a realizován pomocí číslicového řízení (CNC brusky)

Pro tvarové broušení se používají jednoduché nebo speciálně upravené (kopírovací) hrotové brusky, dále brusky bezhroté, rovinné brusky s vodorovným vřetenem, speciální brusky a brusky číslicově řízené.

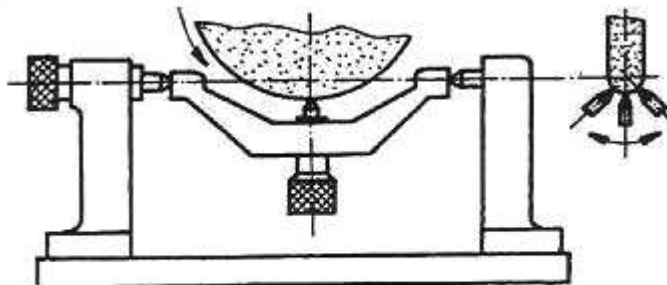
Obecné tvary na obvodu kotouče se pro přesné práce profilují orvnáním diamantem upnutým v přípravku, jehož kopírovací břit se pohybuje po šabloně. Při méně přesných pracích se vytlačuje profil v brousícím kotouči ocelovými kladkami (Obr. 7)



Obr. 7 Tvarování brousícího kotouče ocelovou kladkou [1]

1-brousící kotouč; 2-ocelová kladka

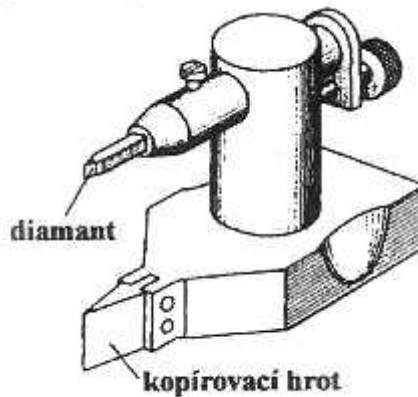
Přesné profily, tvořené kruhovými oblouky, se tvarují diamantem upevněným v otočných přípravcích (Obr. 8). [1]



Obr. 8 Tvarování brousícího kotouče v brusíčské kolébce [1]

Obecné tvary na obvodu brousícího kotouče se pro přesné práce vytvářejí kopírováním pomocí šablony a diamantu upnutého ve speciálním přípravku. Ve spodní části kopírovacího přípravku je břit, který je veden po šabloně. Pro přesné tvarování brousícího kotouče je nutné, aby břit měl v kolmém průmětu stejnou polohu a tvar jako diamant. Tohoto je mož-

né dosáhnout tak, že diamantem se vytvoří rýha v brousícím kotouči a takto tvarovaným brousícím kotoučem se přenese tvar diamantu broušením na kopírovací hrot přípravku (Obr. 9)



Obr. 9 Přípravek pro tvarování brousícího kotouče pomocí šablony [1]

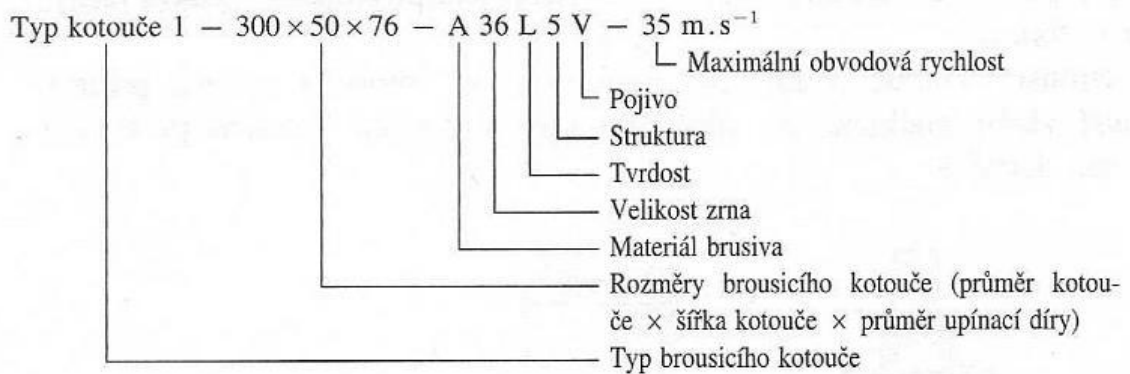
1.3 Brousící nástroje

Brousící nástroje tvoří zrna a brusiva pevně vázaná v tuhých či pružných tělesech různých velikostí a tvarů, jako jsou brousící, řezací a drážkovací kotouče, brousící tělíska, superfinišovací a honovací kameny, brousící a obtahovací kameny a segmenty, brousící pilníky, nebo jsou nanesena a zakotvena na brousících plátnech a papírech. V rámci brousících nástrojů představují největší rozsah brousící kotouče.

1.3.1 Označování brousících kotoučů

Brousící kotouče se označují podle ČSN ISO 0525 (224503) z hlediska tvaru, rozměrů, specifikace složení a maximální obvodové rychlosti. Označení tvaru brousících kotoučů je dáno typem kotouče, doplněným u plochých kotoučů dle potřeby také označením profilu obvodu (Obr. 10).

Příklad pro plochý brousící kotouče, vnější průměr 300 mm, tloušťka 50 mm, díra 76 mm, brousící materiál umělý korund, velikost zrna 36, tvrdost L, struktura 5, pojivo keramické, maximální obvodová rychlost $35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Příklad označení brousícího kotouče:*Obr. 10 Příklad označení brousícího kotouče [1]***Materiál brusiva**

Přírodní brusiva jsou často nečistá a nestejněměrná. Jsou tu buď křemeny SiO₂ (písek, pískovec, pazourek), nebo korund (Al₂O₃). Přírodní brusiva se nahrazují umělými, u kterých lze zaručit stejnoměrnou velikost a vyšší čistotu, čímž zaručujeme stejnoměrné vlastnosti. Výjimkou je diamant, jehož jemně zrněný násyp uložený v litině v barevném kovu nebo v plastické hmotě se hodí k broušení všech materiálů a jehož práškem (pastou) se lapuje.

Mezi umělá brusiva patří umělý korund, karbid křemíku, karbid boru. Umělý korund (tavený kysličník hlinitý Al₂O₃) je nejlepší bílý. Brusné nástroje jsou barveny cihlově červeně. Jakost a vlastnosti záleží na značně na složitém výrobním postupu. Velký význam má chemické složení korundového zrna (např. korund s kysličníkem titaničitým je mnohem tvrdší než bez titanu, tvrdost zvětší též kysličník chromitý apod.) ale ještě větší význam než složení má mineralogické složení v tavbě.

Karbid křemíku (SiC) má tvrdší zrna než korund. Výroba je drahá (pro velkou spotřebu elektrické energie v pecích a čisté suroviny). Tvrdost poznáme podle barvy zrn. Nejtvrdší jsou zelená zrna C49 (49% uhlíku), pak šedá C48 a nakonec černá C47. Je vhodný k broušení tvrdých a křehkých hmot (slinuté karbidy, šedá litina, tvrzená litina) a na kovy malé pevnosti (hliník, měď, mosaz, měkký bronz), protože tam má zrno déle ostré hrany a nevylomí se malým řezným odporem. Na barevných kovech se korund rychleji otupí, kotouč se musí ovrňovat a tím se rychleji spotřebuje.

Karbid boru (B_4C) je ještě tvrdší než karbid křemíku (SiC) a běžně nahradí diamantový prášek. Vyniká pevností v tlaku, výborně snáší teplo a chemické vlivy. Může se také spékat v tělíška. Je drahý a obtížně vyrobitelný. [2]

Označení brusiv dle ČSN 224501:

Smirek.....	S
Pazourek.....	P
Umělý korund bílý	A99B
.....	A99
Umělý korund růžový	A98
Umělý korund hnědý.....	A96
Umělý korund černý.....	A85
Karbid křemíku zelený.....	C49
Karbid křemíku šedý.....	C48
Karbid křemíku černý	C47
Karbid boru	B
Diamant.....	D
Granát.....	G

Pojiva

Vazba spojující brusná zrna. Množství, druh a zpracování pojiva určuje tvrdost brousícího kotouče. Proto se mohou ze stejně tvrdých zrn vyrobit kotouče s různou tvrdostí. Bez pojiva se mohou brusiva spojit stlačením za vysoké teploty a tlaku. Tímto způsobem se vyrábí z práškového korundu velmi tvrdé obtahovací kameny, z karbidu boru průvlaky, trysky a jiné nástroje.

Keramické pojivo (z čistých ohnivzdorných hlín a přísad) je nejrozšířenější. Používá se u 90% všech kotoučů na kovy do obvodové rychlosti $35ms^{-1}$. Křehkost je možné snížit na-

puštěním kotouče plastickou hmotou. Kotouče se pěchují, lisují a po vysušení vypalují. Často je vypálené pojivo příliš tvrdé a dodatečně se změkčuje částečným porušením slinuté vazby.

Silikátové pojivo (směs hlíny, křemičitého prachu a vodního skla) se po vylisování a vysušení vypaluje jen při nízké teplotě (do 300°C). Proto je výroba rychlejší a levnější a pojivo je měkkší než keramické. Používá se především pro velké kotouče a kotouče na dřevo, papír apod. Maximální obvodová rychlost je 25 ms⁻¹.

Magnesitové pojivo (z magnesitu a chloridu vápenatého) se hodí k broušení za sucha do rychlosti 15 ms⁻¹, protože s vlhkostí ztrácí pevnost.

Šelakové pojivo (z taveného rostlinného šelaku) se používají na některé jemné kotouče do rychlostí 60 ms⁻¹ na řezací kotouče, na ostřicí kotouče.

Pryžové pojivo (kaučuk se sírou) je velmi pevné, vhodné na pružné kotouče (do rychlosti 45 ms⁻¹). Nehodí se pro vysoké teploty (nad 150°C). Musí se vždy brousit s chlazením. Je možná vyrobit kotouče tenké jen 0,25 mm. Snáší i boční síly. Požívají se k jemnému broušení nebo ostření.

Pojivo z umělé pryskyřice (bakelit) je vhodné i pro největší rychlosti (do 80 ms⁻¹) u řezacích kotoučů (též na kyvadlových bruskách) na přesné a jemné práce i na závity. Je pórovité, ale kotouče nesnesou ohřátí nad teplotu 180°C. Vazba z umělé pryskyřice váže hladká zrna karbidu křemíku asi stejně jako keramické vazba. [2]

Označení pojiv dle ČSN 224010:

Keramické.....	V	Umělá pryskyřice.....	B
Silikátové.....	S	Galvanické.....	G
Magnesitové.....	O	Metalické.....	M
Šelak.....	E	Magnesitové.....	Mg
Pryž.....	R		

Zrnitost brusiva

Zrna se třídí sítý a plavením (sedimentací u jemných brusiv). Podle velikosti se značí čísla např. od 4 do 1000. Obecně platí čím je číslo větší, tím jemnější je zrno a naopak. Číslo udává počet ok v sítu na jednotku plochy. [2]

Podle ČSN 224010 se značí zrnitost:

Velmi hrubá	8	10	12		
Hrubá	14	16	20	24	
Střední.....	30	36	46	50	60
Jemná	70	80	90	100	120
Velmi jemná.....	150	180	200	220	240
Zvláště jemná.....	280	320	400	500	600

Struktura

Čím méně pórů zbylo v brusném nástroji, tím hutnější je nástroj. Hutné kotouče brousí jemněji. Pórovité kotouče mají mezi zrny větší prostor na třísky, brousí „chladněji“. Neza-
nášejí se třískami, výkon roste, hodí se k broušení vnitřních ploch děr a k broušení na plo-
cho, kde je velký styk kotouče s povrchem. [2]

Podle normy ČSN 224011 struktura brusných nástrojů

Označuje se čísly od 1 do 15

Velmi hutný 1,2

Hutný..... 3,4

Polohutný 5,6

Pórovitý..... 7,8

Velmi pórovitý 9,10

Zvláště pórovitý 11, 12, 13, 14, 15

Tvrдост

Zrna jsou zhruba stále stejně tvrdá, změnou pojiva (druh, vlastností, množstvím aj.) se mění tvrdost kotouče. Tvrдост kotouče se měří např. vrypem dlátem, podle jamky po tryskání písku, vtlacením kuličky atd. Rozhodující je však pracovní tvrdost, která se mění četnými vlivy (bez výměny kotouče např. změnou rychlosti, lepším vyvážením aj.) Nevyvážené kotouče se „změkčují chvěním“, zrna se snadněji vylomí čímž klesá pracovní tvrdost, tj. mechanický odpor proti uvolnění zrn. Chvěje li se bruska, volíme hned v počátku tvrdší kotouče. Podobně to platí i tam, kde je malá styčná plocha mezi kotoučem a materiálem.

Kotouč je pro práci příliš tvrdý, když pálí; pak skoro neřeže, jen leští povrch a změny v rychlosti podávání materiálu nepomáhají

Kotouč je pro práci příliš měkký pokud ho příliš rychle ubývá i když zmenšíme rychlost podávání materiálu.

Čím větší průměr brousíme, tím měkkší volíme kotouč. Čím menší průměr brousíme, tím tvrdší může být kotouč nebo tím menší volíme rychlost podávání materiálu.

Řezivost brusného kotouče je rychlost, jakou vniká kotouč do broušeného materiálu při jednotkovém řezném odporu. Se vzrůstající řeznou rychlostí se řezivost zlepšuje, protože se zmenšuje řezný odpor. [2]

Podle normy ČSN 224501 se značí tvrdost takto:

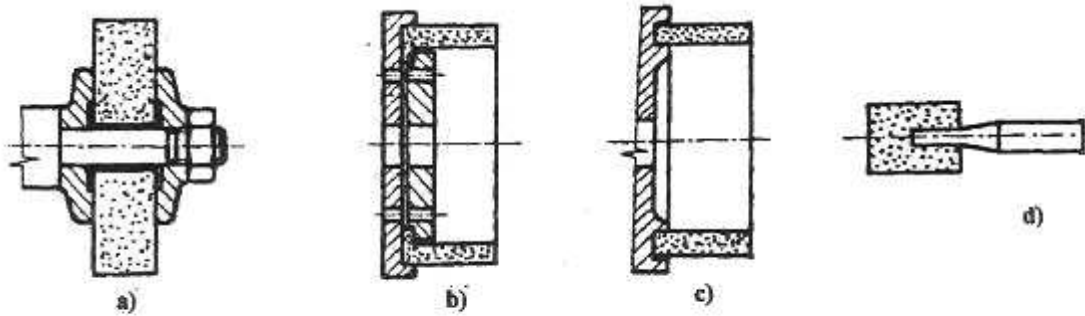
Velmi měkký kotouč.....	E	F	G	
Měkký	H	I	J	K
Střední.....	L	M	N	O
Tvrdý.....	P	Q	R	S
Velmi tvrdý.....	T	U	V	
Zvláště tvrdý	X	Y	Z	

Tabulka 3 Označování tvarů a rozměrů brousících kotoučů [1]

Typ	Vyobrazení	Označení - charakteristika
1		Kotouče ploché Typ 1 – profil – D x T x H
2		Kotouče prstencové Typ 2 – D x T x W
3		Kotouče jednostranně zkosené Typ 3 – D/J... x T/U... x
5		Kotouče s jednostranným vybráním Typ 5 – D x T x H – P..., F
6		Kotouče hrncovité Typ 6 – D x T x H – W..., E

1.3.2 Upínání brousících kotoučů

Brousící kotouče se na vřeteno brusky upínají pomocí upínacích přírub, nejčastěji mechanickým sevřením nebo přilepením speciálními tmely.



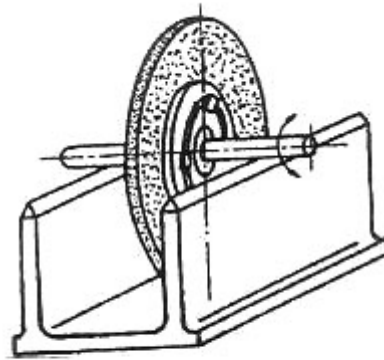
Obr. 11 Upínání brousících kotoučů: a, b-mechanické; c, d-lepené [1]

Průměr obou přírub musí být stejný a roven nejméně 1/3 průměru brousícího kotouče. Mezi příruby a kotouč se vkládá z obou stran pružné podložky z pryže, kůže nebo papíru.

1.3.3 Vyvažování brousících kotoučů

Při vyšších nárocích na klidný chod vřetene brusky je třeba brousící kotouč vyvažovat. Odstředivé síly nevyváženého kotouče jsou zdrojem vynucených kmitů, které mají za následek zhoršení jakosti povrchu. Statické vyvažování brousícího kotouče se provádí na vyvažovacím stojánku a přestavováním tělísek v drážkách upínacích přírub.

Pro přesné broušení a pro větší obvodové rychlosti než $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je třeba brousící kotouče o větší šířce než 30mm vyvažovat i dynamicky na speciálním vyvažovacím zařízení, kdy se eliminuje také vliv momentových dvojic nevyvážených hmot. Některé brusky jsou vybaveny přídatným zařízením, kterým lze vyvážit kotouče za chodu brusky přímo na vřetenu automaticky nebo poloautomaticky. (Obr. 12)



*Obr. 12 Statické vyvažování
brousícího kotouče [1]*

1.4 Brousicí stroje

Brousicí stroje jsou vyráběny a dodávány v širokém sortimentu druhů a použití.

- hrotové brusky
- bezhroté brusky
- brusky na díry
- vodorovné rovinné brusky
- svislé rovinné brusky

Hrotové brusky

Využívají se k broušení rotačních ploch na obrobcích upnutých mezi hroty. Nejrozšířenějším provedením jsou univerzální hrotové brusky, používané pro broušení válcových, kuželových a čelních ploch a případně pro broušení děr. Na zadní části stojanu je otočně uložen brousící vřeteník, což umožňuje broušení strmých kuželů. Proti vřeteníku je na stojanu umístěno lože, po jehož vedení se pohybuje stůl s pracovním vřeteníkem a koníkem. Horní část stolu je možno natáčet, což se využívá při broušení táhlých kuželů.

Pomocí speciálního vřetená je možno brousit také díry v obrobcích upnutých ve sklíčidle.

Bezhroté brusky

U bezhrotých brusek odpadá upínání obrobku. Jsou konstruovány nejčastěji pro vnější broušení, ale také v menším rozsahu pro vnitřní broušení rotačních ploch. Bezhroté brusky pro broušení vnějších ploch umožňují zápichové a průběžné broušení. Mají dva vřeteníky – brousící vřeteník, na jehož vřetenu je brousící kotouč a vřeteníky podávacího kotouče. Každý vřeteník má vlastní náhon, brousící vřeteno má konstantní otáčky, vřeteno podávacího kotouče má otáčky měnitelné. Podávací vřeteník lze přestavovat po vedení lože a nastavit tak požadovaný průměr broušení. Natáčením podávacího vřeteníku se nastavuje mimoběžnost os obou kotoučů pro vyvození axiálního pohybu obrobku při průběžném broušení. Bezhroté brusky se využívají obvykle v sériové výrobě, kde mohou pracovat automatickým pracovním cyklu.

Brusky na díry

Brusky na díry jsou vyráběny a dodávány jako sklíčidlové, planetové a bezhroté. Významným představitelem těchto strojů je sklíčidlová bruska na díry. Obrobek se upíná do sklíčidla pracovního vřeteníku uloženého na příčných saních, které umožňují nastavení obrobku proti brousícímu kotouči na požadovaný průměr. Brousící vřeteno má vlastní elektromotor a vykonává axiální posuv obrobku vzhledem k brousícímu kotouči. Brousící vřeteník je v tomto případě uložen na příčných saních a vykonává pohyb v radiálním směru. Zvláštní variantu konstrukce s vysokou automatizací pracovního cyklu představují brusky na díry kroužků valivých ložisek.

Vodorovné rovinné brusky

Jsou určeny pro broušení vodorovných rovinných ploch a jsou charakterizovány vodorovnou osou brousícího vřetena. Obrobky se nejčastěji upínají na elektromagnetickou desku umístěnou na pracovním stole. Pracovní stůl vykonává přímočarý vratný nebo otáčivý pohyb. Používají se v kusové a malosériové výrobě s vyššími požadavky na přesnost broušených ploch. Brousící vřeteník je svisle přestavitelný. Na stojanu stroje je vedení pro příčné saně, na nichž se v podélném směru pohybuje stůl. Rychlost stolu je možné plynule měnit. Velikost stroje je charakterizována šířkou pracovního stolu.

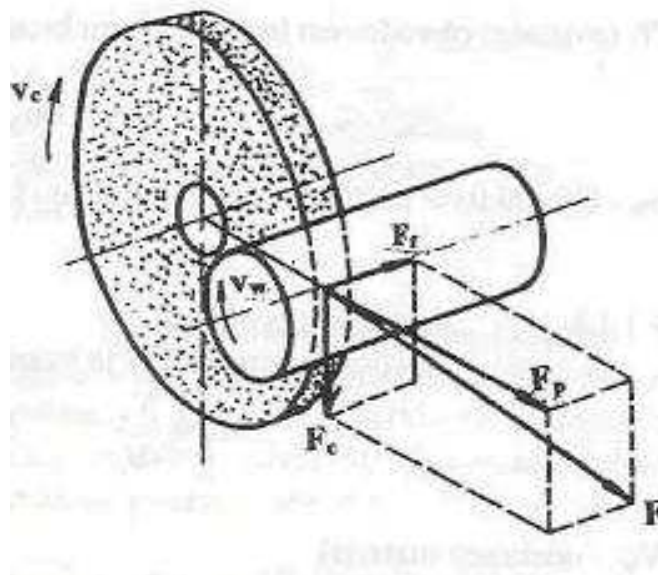
Svislé rovinné brusky

Tyto brusky jsou charakterizovány svislou osou broušícího vřetena a vysokými výkony broušení, avšak horšími parametry přesnosti broušené plochy. Typickým představitelem těchto strojů je svislá rovinná bruska s přímočarým vratným pohybem stolu. Broušící vřeteník je posuvný po stojanu. Pracovní stůl uskutečňuje pouze přímočarý vratný pohyb, takže průměr broušícího kotouče musí být větší než je šířka broušené plochy. Broušící kotouč je zpravidla segmentový. Jakost broušeného povrchu je horší než při broušení na vodorovných bruskách. Obrobky se obvykle upínají na magnetickou desku, umístěnou na pracovním stole. [1]

1.5 Řezné síly

Celková řezná síla F působící v obecném směru mezi broušícím kotoučem a obrobkem se rozkládá do tří vzájemně kolmých směrů. Ve směru řezné rychlosti leží řezná síla F_c , pasivní síla F_p je kolmá k broušené ploše a posuvová síla F_f působí ve směru podélného posuvu, tzn. kolmo na rovinu otáčení kotouče.

Při broušení platí, že $F_p > F_c > F_f$ a $F_p/F_c = 1,2-3$.



Obr. 13 Rozložení řezných sil při obvodovém axiálním broušení do kulata [1]

Velikost řezných sil závisí zejména na způsobu broušení a na průřezu třísky, dále na zrnitosti brusiva, druhu a tvrdosti pojiva a struktuře brousícího kotouče. S otupováním brousícího kotouče může vrůst řezná síla až několikanásobně.

Orientačně je možné řeznou sílu F_c určit z experimentálně získané rovnice. Pro obvodové axiální broušení vnějších rotačních ploch se používá vztah:

$$F_c = 25 \cdot (v_w \cdot f_a)^{0,6} \cdot a_e^{0,5} \quad (5)$$

v_w - obvodová rychlost obrobku [m.min⁻¹]

f_a - axiální posuv stolu na otáčku obrobku [mm]

a_e - pracovní (radiální) záběr [mm]

Hodnotu řezné síly F_c lze také vypočítat z rovnice:

$$F_c = k_c \cdot A \quad (6)$$

k_c - měrná řezná síla [MPa]

A - průřez odebírané vrstvy [mm²]

Měrná řezná síla nabývá hodnot: pro ocel $k_c=10\ 000\div 35\ 000$ MPa

pro litinu $k_c=4\ 000\div 12\ 000$ MPa

(vyšší hodnoty platí pro broušení na čisto a jemné broušení)

Průřez odebírané vrstvy A se vyjádří v závislosti na způsobu broušení.

Pro obvodové axiální vnější broušení do kulata bude:

$$A = a_e \cdot h_{eq} \quad (7)$$

a_e - pracovní (radiální) záběr [mm]

Při rovinném obvodovém tangenciálním broušení s přímočarým pohybem stolu je

$$A = b_D \cdot h_{eq} \quad (8)$$

b_D - šířka aktivní části brousícího kotouče [1]

2 DOPROVODNÉ JEVY VZNIKAJÍCÍ PŘI BROUŠENÍ

2.1 Tepelné jevy při broušení

V procesu mikrořezání se vytváří v povrchové vrstvě obrobku při broušení velký počet míst s vysokými teplotami, jejichž působením se povrchová vrstva intenzivně zahřívá.

Tepelný proces v povrchové vrstvě obrobku se vyznačuje vysokou rychlostí místního ohřevu, krátkou prodlevou na této teplotě a rychlým ochlazením (zvláště při použití chladicí kapaliny).

Téměř veškerá mechanická práce v procesu mikrořezání přechází při broušení v teplo a pouze její zanedbatelná část (desetiny procenta) se spotřebuje na přeměnu krystalické mřížky obráběného materiálu.

Vzniklé teplo přechází do obrobku, kotouče, třísky a řezné kapaliny:

$$Q_C = Q_O + Q_K + Q_T + Q_{CH} + Q_V \quad (9)$$

kde Q_O – teplo přecházející do obrobku

Q_K – teplo přestupující do kotouče

Q_T – teplo odcházející třískami

Q_{CH} – teplo odebírané řeznou kapalinou

Q_V – teplo vyzařené

Největší množství tepla (až 80%) přechází při broušení do obrobku, nejmenší část tepla se ztrácí vyzařováním do okolního prostředí.

Vysoké teploty broušení mohou způsobit defekty povrchové vrstvy obrobku (opal nebo trhlinky) a obrobek se znehodnotí. Proto se tepelný vliv stává jedním ze základních činitelů broušení. [7]

2.1.1 Rozdělení teplot

Při broušení rozeznáváme::

1) okamžitou teplotu T_0 , která se vyvíjí přímo v místě záběru zrna brusiva; dosahuje vysokých hodnot po krátkou dobu

2) stykovou teplotu T_d v oblasti styku kotouče a obrobku (v místě broušení); vyhodnocujeme její průměrnou hodnotu v rozmezí šířky kotouče

3) střední teplotu T_s ustálenou teplotu na povrchu broušeného obrobku. Okamžitá teplota nebyla ještě experimentálně změřena, lze ji však zhruba určit nepřímo podle strukturních změn ve velmi tenkých okrajových vrstvách obrobku.

O vysokých okamžitých teplotách, které vznikají při broušení materiálu s vysokou pevností, svědčí proud jisker, vznikajících dokonce i při dostatečném množství řezné kapaliny. Tyto teploty zvyšují plastičnost obráběného kovu, a tím příznivě ovlivňují odebírání třísek.

Styková teplota v místě broušení je mnohem větší než okamžitá (zvláště při použití řezné kapaliny), neboť teplo z místa broušení intenzivně přestupuje do obrobku.

Vznik a rozdělení tepla při broušení závisí na všech podmínkách broušení: na typu kotouče, řezných podmínkách, mechanických a fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, vlastnostech řezné kapaliny atd.

Teplotu při broušení lze snížit zmenšením intenzity působení zdrojů tepla a jeho intenzivnějším odváděním.

Toho lze dosáhnout:

1) technologicky – výběrem optimálního způsobu broušení, vhodným typem broušicího kotouče, řezných podmínek, vhodné řezné kapaliny atd.

2) konstrukčně – vhodnou konstrukcí kotoučů pro dané podmínky obrábění zdokonalováním čistících a chladících zařízení pro řeznou kapalinu apod.

2.1.2 Procesní materiály při broušení

Při broušení se používají různé řezné prostředky s chladícím a mazacím účinkem v pevném, kapalném i plynném stavu. Mají různé složení a fyzikálně chemické vlastnosti a podstatně ovlivňují produktivitu broušení a kvalitu broušené plochy.

Pevné procesní materiály – polymerní, lehce tavitelné, chemicky aktivní vrstvy tuhé pasty nanášené na brusný kotouč nebo obrobek

Plynné procesní materiály – především aerosoly, což jsou rozprášené řezné kapaliny

Kapalné procesní materiály – nejčastěji používané, mají chladicí, mazací, řezný a čistící účinek

Od řezné kapaliny se vyžaduje:

- 1) chladicí a mazací účinek, usnadňování odvodu třísek
- 2) antikoroziční účinek
- 3) chemická a fyzikální stálost
- 4) musí být netoxická, baktericidní a hygienická
- 5) bezpečnost před požárem a explozí
- 6) příznivý vliv na sedimentaci odpadu broušení, aby nedocházelo k jeho opakovanému oběhu

2.1.3 Vznik jisker při broušení

Jiskry, které vznikají při broušení kovů s vysokou pevností, jsou velmi drobné roztavené částice kovů, odletující ve směru tečny k obvodu rotujícího kotouče v místě jeho styku s obrobkem. Tříška nebo roztavené částice kovu odletují působením odstředivé síly.

Obsahuje-li broušený kov uhlík, je styk rozžhavených částic se vzduchem provázen oxidací, přičemž se uhlík spaluje na oxid uhličitý ($C+O_2=CO_2$) za vzniku jisker.

Barva a tvar jisker (struktura paprsků) jsou dány hlavně chemickým složením broušeného materiálu; toho se využívá k určování druhů ocelí podle jisker vznikajících při broušení. [7]

2.2 Jakost povrchu

Kvalita obrobeného povrchu, kterou požaduje konstruktér, je jedním z rozhodujících vstupních údajů životnosti a spolehlivosti strojů i samostatného výrobního procesu. Horší drsnost ohrožuje kvalitu výrobku, trvanlivost a provozuschopnost strojů. Avšak neúměrná vysoká kvalita povrchu neúčelně a zbytečně zvyšuje výrobní náklady. Proto je třeba předepisovat jen takovou drsnost, která je potřebná na správnou a spolehlivou funkci uvažované

plochy. Ukazatelem kvalitativního hodnocení obrobku je míra dodržení všech výkresem předepsaných rozměrů, odchylek tvaru a polohy a požadované drsnosti obrobených ploch. Při výrobě součástku ovšem nikdy nezhotovíme úplně přesně. Skutečné rozměry se vždy odchyľují od jmenovité hodnoty nahoru nebo dolů. Geometrie obrobené plochy se také liší od ideální geometrie zadané výkresem. Na obrobené ploše jsou vlivem stop po řezném nástroji a plastických deformacích určité mikronerovnosti. Stav a jakost obrobeného povrchu obrobeného povrchu mají vliv na únavovou pevnost, odolnost vůči opotřebení, protikorozní stabilitu, životnost a provozuschopnost strojů. Stav a jakost obrobené plochy komplexně posuzujeme z hlediska geometrie obrobeného povrchu, fyzikálně-mechanických vlastností povrchové vrstvy, struktury i deformace, případně i dalších mimořádných jevů povrchové vrstvy. Při zkoumání geometrických odchylek skutečného tvaru od ideálního si všímáme makrogeometrických a mikrogeometrických odchylek a vlnitosti.

Jakost obrobeného povrchu je možné posuzovat podle následujících hledisek:

- 1) *Přesnost rozměru a tvaru* – je dána vlastní přesností stroje, tuhostí systému stroj-nástroj-obrobek-přípravek a dalšími faktory, které ale působí přímo na technologický proces
- 2) *Drsnost a mikrostruktura* – je ovlivněna bezprostředně procesem broušení. Nejvýznamnější prvky tohoto vlivu jsou řezná rychlost, tvar nástroje, působení různých broušicích materiálů, jejich opotřebení apod.
- 3) *Vlastnost povrchové vrstvy* – je vyjadřována strukturními změnami, stupněm zpevnění, které jsou úměrné velikosti zbytkových napětí

Na kvalitu obrobeného povrchu má vliv i míra (velikost) zpevnění a hloubka zpevněné vrstvy. Velký vliv mají i zbytková napětí pod obrobeným povrchem. Tyto jevy se vyskytují především u broušených povrchů. Při řešení konkrétních úloh průmyslové praxe je třeba realizovat takovou technologii, která je schopná trvale zabezpečovat všechny požadavky kladené na kvalitu obrobeného povrchu. Zabezpečení přiměřené stability jakostních parametrů obráběním nejehospodárnějším způsobem je základní úlohou optimální technologie.

[8]

2.3 Zbytková napětí

Zbytková napětí jsou definována jako napětí, která se v materiálu vyskytují bez působení vnějšího zatížení. Jejich vznik je spojen s technologií výroby a úpravy materiálu. Velký význam mají povrchová zbytková napětí, přičemž jejich vliv může být prospěšný i škodlivý. Tahová napětí jsou považována za škodlivá. Tlaková napětí naopak zlepšují únavové vlastnosti materiálu a omezují vznik a rozvoj povrchových trhlin. Vysoké hodnoty zbytkového napětí a s nimi spojené relaxační procesy obecně ovlivňují pevnostní charakteristiky materiálu a mohou vést k nestabilitě tvaru a kvality povrchu součásti.

Zbytková napětí:

1. *druhu* – zasahují celý objem součástky, či její podstatnou část, tj. mají makroskopický charakter. K těmto napětím patří i napětí v nekonečně tenké, ale rozsáhlé oblasti. Porušení kompaktnosti součásti (např. jejím rozdělením) dojde ke změně její makrogeometrie
2. *druhu* – zasahují objem několika krystalových zrn. Porušením kompaktnosti (např. jejím rozdělením) součásti nemusí dojít ke změně makrogeometrie
3. *druhu* – projevují se v objemu několika atomových vzdáleností a dosahují rovnováhy jen v dostatečně velké části zrna. Porušením kompaktnosti (např. jejím rozdělením) nikdy nedojde ke změně její makrogeometrie

Zbytková napětí vznikají při:

- 1) nerovnoměrných plastických deformací v obrobeném povrchu
- 2) nerovnoměrném ohřevu a ochlazování materiálu, které vyvolá jeho roztažení a smršťování
- 3) nerovnoměrné změně struktury, vyvolané působením tepla a mechanických sil
- 4) chemických procesech, spojených s reakcí částic pronikajících do povrchové vrstvy

2.4 Zpevnění

Deformační zpevnění obráběného materiálu při plastické deformaci můžeme charakterizovat velikostí tangenciálního napětí τ , které vyvolává smyk. V prvním přiblížení jej lze charakterizovat tangenciálními napětími v třech rozlišných zónách – v zóně tvoření třísky a v zóně kontaktu třísky s obráběným materiálem na čele a na hřbetu zrna. Takové rozdělení podmiňuje to, že ve sledovaných zónách je gradient deformace, rychlosti deformace a teploty. Zpevnění obráběného materiálu při plastické deformaci v zóně tvoření třísky můžeme přibližně charakterizovat střední hodnotou smykového napětí na plochu smyku τ .

Podobně můžeme charakterizovat zpevnění při plastické deformaci v kontaktních vrstvách střední hodnotou smykového napětí deformovaných vrstev třísky podél čela zrna τ_{ky} a střední hodnotou smykového napětí plasticky deformovaných vrstev obráběného materiálu podél hřbetu zrna τ_{ka} . Protože teploty a rychlost deformace na čele a hřbetu zrna se odlišují málo můžeme přibližně napsat $\tau_{ka} \approx \tau_{ky}$.

Rozsáhlé experimentální studie plastické deformace v zóně tvoření třísky ukázalo, že velikost poměrné deformace ε a rychlost deformace $\dot{\varepsilon}$ obráběného materiálu jsou v místě smykové plochy a v kontaktních vrstvách neobyčejně velké a mnohokrát převyšují deformaci materiálu při standardních deformačních zkouškách. Například velikost poměrné deformace na ploše smyku se při obrábění plastických materiálů pohybuje v hranicích $\varepsilon = 2$ až 10 a v kontaktních vrstvách $\varepsilon = 20$ až 50 . Při standardních zkouškách v tahu bývá $\varepsilon < 1$.

V začáteční fázi se s zvětšováním deformace materiál intenzivně zpevňuje a napětí prudce roste. Dalším zvětšováním deformace se snižuje přírůstek napětí a křivka deformačního zpevnění se asymptoticky blíží k určité hranici. Můžeme dokázat, že když smyková deformace dosahuje $\varepsilon = 1$, možnosti zpevňování většiny materiálů jsou vyčerpané. [8]

2.5 Opotřebení brousicího kotouče

Opotřebení pracovní plochy brousicího kotouče je složitý fyzikálně chemický proces jehož průběh závisí na všech podmínkách broušení: charakteristice kotouče, vlastnostech obráběného materiálu, řezných podmínkách atd.

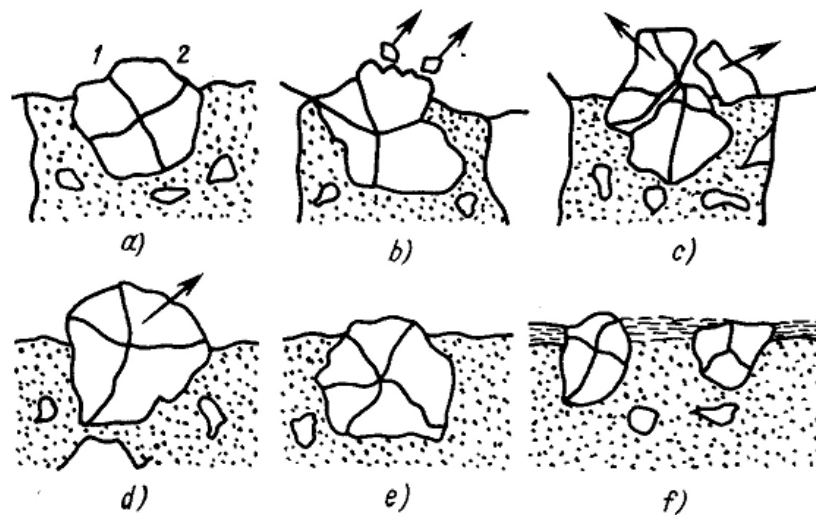
Podle vlastnosti brousících kotoučů (tvrdosti, druhu pojiva, brusiva atd.) a podle řezných podmínek probíhá při broušení buď otupení kotouče nebo se uplatňuje jeho samoostření.

Otupení kotouče nastává v důsledku vylamování nevhodně položených zrn brusiva a jejich postupným štěpením a zaoblováním, takže zrna ztrácejí řezivost.

Samoostření brousícího kotouče probíhá v důsledku postupujícího otupování zrn brusiva, která jsou vzrůstajícím řezným odporem vylamována (celá nebo jen jejich části) z pojiva. Po vydrolení pojiva pak začínají pracovat nová zrna, takže se pracovní plocha kotouče neustále obnovuje. Tato schopnost obnovování řezné plochy je význačnou specifickou vlastností brousících kotoučů.

Na počátku činnosti kotouče se na vrcholech zrn vytvářejí opotřebené plošky, které se postupně zvětšují a podporují účinky všech činitelů broušení a růst řezných sil, jejich působením se zrno i pojivo rozrušují. Jsou-li zrna s pojivem dostatečně pevně spojena, mohou být plošky opotřebení dosti velké.

Podle podmínek broušení (fyzikálně mechanické vlastnosti zrna, obráběného materiálu a pojiva, řezných podmínek atd.) rozlišujeme tyto základní druhy opotřebení (Obr. 14):



Obr. 14 Základní způsoby opotřebení brousícího kotouče [8]

- 1) Otěr řezných částí (vrcholů) zrn brusiva se vznikem více či méně hladkých plošek
- 2) Mikroskopické porušování (štěpení zrn) – s oddělováním malých úlomků

- 3) Porušování celých zrn – s oddělováním celých částí zrna
- 4) Úplné vylamování zrn z pojiva
- 5) Porušování působením chemických vlivů ve styčném pásmu zrna a obráběného materiálu
- 6) Difúzní a adhezní opotřebení – vznikající v zóně broušení při vysokých teplotách
- 7) Zanášení prostoru mezi zrny (pórů) třískami a brusným odpadem [7]

3 DYNANOMETR

Siloměr (řec. *dynamometr*) je přístroj k měření velikosti síly nebo kroutícího momentu. Měřítkem velikosti síly je stupeň deformace pružné části siloměru, například pružiny. Tvar a tuhost pružné části siloměru je volen s ohledem na měřicí rozsah siloměru a na způsob odečítání hodnoty deformace.

Měřená síla se odečítá buď opticky na stupnici nebo prostřednictvím elektrického měření. Nejobvyklejší elektrický siloměr je tenzometrický, využívající vhodně tvarovanou pružnou část polepenou tenzometry. V soustavě SI je jednotkou síly newton (N). Pro řadu technických měření je přiměřenější udávat výsledek v násobku kilonewton (1 kN zhruba odpovídá tíže břemene o hmotnosti 100 kg).

Princip: Podle Hookova zákona čím větší síla, tím větší deformace a tím větší také výchylka na stupnici siloměru. [3]

3.1 Druhy siloměrů

Siloměry lze rozdělit podle:

Technického provedení:

- mechanické
- elektrické, dnes obvykle s digitální indikací

Provedení pružné části siloměru:

- krabicový, v němž se měření síly převádí na měření tlaku v kapalině
- kroužkový
- pružinový
- torzní
- smyčkový

Podle směru a účinku působící síly:

- tahové
- tlakové
- tahotlakové
- zkrutné

Podle použití:

- demonstrační
- laboratorní
- obchodní
- průmyslové [3]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

V experimentální části diplomové práce je řešena problematika sil působící na broušený materiál. Velikost síly působící v místě řezu se mění dle použitého kotouče a broušeného materiálu. Hlavním úkolem bylo zjistit, jak velké jsou síly v řezu při použití různých typů kotoučů a materiálů. Tyto výsledky byly zpracovány do tabulek, z nich byly zhotoveny grafy s přímkou s rovnicí regrese. Po každém měření byla měřena také jakost povrchu, aby byla možnost srovnání jak velikosti jednotlivých řezných sil působí na jakost povrchu různých materiálů a jak ovlivňuje jakost povrchu zvolený brousící kotouč.

5 DYNAMICKÉ DOPROVODNÉ JEVY PŘI BROUŠENÍ NÁŘADÍ

Diplomová práce se zabývá měřením a analýzou dynamických doprovodných jevů, které vznikají v důsledku obrábění materiálů broušením. Bylo použito šesti různých brousících kotoučů z nichž dva kotouče měly pojivo z umělé pryskyřice (B) a čtyři pojivo keramické (V). Broušeno bylo šest materiálů, z čehož čtyři vzorky byly ocelové a dva plastové.

Průběh a velikost sil byl měřen v závislosti na čase pomocí dynamometru. Vyhodnocovány byly velikosti sil působící v řezu u různých materiálů obrobku, při různých typech kotoučů, technologických podmínkách a posuzována byla také jakost povrchu.

5.1 Používaný stroj bruska BRH 20.03 F

Bruska je rovinná s horizontálním vřetenem a pravoúhlým stolem. Je určena pro broušení rovinných a tvarových ploch součástek z oceli litiny a ostatních kovových i nekovových materiálů, u kterých se vyžaduje dosažení vysoké přesnosti a kvality opracování. Brousí se převážně obvodem brousícího kotouče. Broušené součástky podle svých rozměrů, tvaru a materiálu mohou být upínané přímo na elektromagnetickou desku nebo prostřednictvím vhodných upínačů.

Bruska pracuje v uzavřeném automatickém pracovním cyklu. K řízení automatického cyklu je bruska vybavena číslicovou indikací NV 300E fy FAGOR, která 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. Bruska také může pracovat s ruční obsluhou v uzavřeném nebo neuzavřeném automatickém cyklu. [4]

Tabulka 4 Bruska BRH 20.03F – charakteristika [4]

Vlastnost	Jednotky	Hodnota
Výška	mm	2240
Hmotnost	kg	1860
Brousící kotouč	mm	250x20-50x76
Rychlost stolu plynule regulovatelná	m/min ⁻¹	1-30
Pracovní plocha stolu	mm	200x630
Otáčky brousícího vřetene	ot/min ⁻¹	2550



Obr. 15 Bruska BRH 20.03F

5.2 Charakteristika obrobků

Při měření vzorků se měnil pracovní záběr. Materiály měly různé tepelné zpracování, z toho vyplývá různě vysoká tvrdost. Zkoumané materiály byly oceli a plasty. Oceli 11600.0, 19436.0, 14109.4, 19 436.4. Zkoumané plasty byly PMMA nebo jinak řečeno plexisklo a PVC.



Obr. 16 Vzorky použitých materiálů

Geometrie obrobků: hranoly 60 x 60 x 10 mm

Tabulka 5 Použité materiály

Označení EN	Označení ISO	Označení ČSN
E335GC	Fe590	11600.0
X20Cr13	X210Cr12	19436.0
102Cr6	TYPE 0-1	14109.4
X20Cr13	X210Cr12	19436.4
PVC	PVC	PVC
PMMA	PMMA	PMMA

Materiál ČSN 11600.0

Vzorek bez tepelného zpracování:

Oceli třídy 11 jsou konstrukční uhlíkové oceli se zaručeným obsahem fosforu a síry. Tyto oceli se vyrábí s obsahem uhlíku do 0,65% a jsou v jakostech vhodných pro tvářeni. Vlastnosti ocelí jsou odstupňovány v závislosti na obsahu uhlíku od nejmenší pevnosti v normalizačně žíhaném stavu od 340MPa do 900MPa.

Od hranice 0,2% uhlíku je možno oceli zušlechťovat, při čemž dosahovaná pevnost s obsahem uhlíku stoupá. Nejběžnějšími oceli pro strojní součásti jsou z ušlechtilých ocelí třídy 11.

Zvláštním případem jsou tak zvané automatové oceli. Ty obsahují až 0,2% síry. Síra je vázána zvýšeným obsahem manganu (přibližně 1%) na MnS. Tyto oceli se vyznačují dobrou jakostí povrchu a dobrou obrobitelností i při velkých řezných rychlostech. Mezi automatové oceli patří 11109, 11110, 11120, 11121, 11140, 12012, 12056. [12]

Tabulka 6 Vlastnosti materiálu 11600 [5]

Označení dle ČSN (obsah C%)	Mechanické vlastnosti			Třída odpadu	Vlastnosti a použití
	R_m [MPa]	$R_{e\ min}$ [MPa]	Tvrdość HB		
11600 (0,5)	412 až 745	284 až 588	max. 286	001	Svařitelnost obtížná. NŽ. Na strojní součásti vystavené velkému tlaku, výkovky hřídelů, ozubená kola, čepy, písty, klíny, pastorky, šneky, včetně lisů apod.

Materiál ČSN 19436.0 a 19436.4

Oceli třídy 19 jsou oceli nástrojové. Požaduje se u nich vysoká tvrdost a pevnost, dostatečná houževnatost, odolnost proti opotřebení, vhodná prokalitelnost a leštitelnost. Různým chemickým složením a vhodným tepelným zpracováním lze u nástrojových ocelí měnit jejich vlastnosti v širokém rozsahu. Oceli třídy 19 se dělí na oceli legované a nelegované.

Ocel 19 436 je vysoce legovaná chromová ocel s velkou prokalitelností ke kalení v oleji a na vzduchu. Obsahuje 1,8 až 2,05% C, 0,2 až 0,45% Mn, 0,2 až 0,45% Si a 11 až 12,5% Cr.

Vlastnosti této oceli jsou vysoká odolnost proti opotřebení, dobrá řezivost, velmi vysoká pevnost v tlaku. Ocel je citlivá na rychlý a nestejný ohřev, vhodná ke kalení na sekundární tvrdost (možnost nitridování).

Tato ocel se používá na nástroje pro stříhání za studena, nástroje pro tváření a protlačování. Ocel je také vhodná při výrobě malých forem s vysokou životností pro tváření plastických a práškových hmot, skla, porcelánu a keramických materiálů.

Tabulka 7 Vlastnosti a použití nástrojové materiálu 19436 [5]

Označení dle ČSN chem. složení	Vlastnosti, tepelné zpracování °C	Tvrдость HRC	Třída odpadu	Vlastnosti a použití
19436 2,0 C 12,0 Cr	Vysokolegovaná chromová ocel ke kalení v oleji a na vzduchu, s velkou prokalitelností a odolností proti opotřebení a nižší houževnatostí, dobře tvárná za tepla, dobře obrobitelná ŽM: 800 až 840 K: 920 až 970 (olej) P: 180 až 250	asi 63	010	Nástroje na stříhání za studena: všechny druhy nástrojů na stříhání na lisech, materiálů o velkých pevnostech a tvrdých materiálů Nástroje pro tváření za studena: všechny druhy jednoduchých nástrojů pro přetváření a ražení, tj. nástroje, u nichž nedochází k přídavnému namáhání na ohyb, dále nástroje pro tažení, menší průvlastky, nástroje k protlačování a tlačení, nebo závitové válce pro válcování závitů Řezné nástroje: nože pro obrábění kovových materiálů o malé pevnosti při požadavku vyšší odolnosti na opotřebení, avšak menší houževnatost, protahovací a protlačovací nástroje: nože a frézy pro obrábění nekovových abrazivních materiálů Formy: malé formy pro tváření plastů, zejména reaktoplastů velmi namáhané vtokové vložky, hlavice pístů a komory

Materiál ČSN 14109.4

Oceli 14. skupiny jsou legovány chromem, popř. chromem a manganem nebo křemíkem a hliníkem. Jsou to nejvíce používané slitinové oceli, které umožňují dosáhnout velmi dobrých vlastností bez použití nedostatkových prvků. Obvykle se cementují, zušlechťují, kalí, některé jsou určeny k nitrídování např. 14 340. Chromové oceli jsou vhodným materiálem na součásti kuličkových a válečkových ložisek. Na tyto oceli (14 109) je kladen velký požadavek, co se týká mikročistoty materiálu. Sleduje se hlavně velikost a tvar nekovových vměstků, zejména siřníků a oxidů, hlavně Al₂O₃. [12]

Tabulka 8 Vlastnosti a použití materiálu 14109 [5]

Označení dle ČSN (obsah C%)	Mechanické vlastnosti			Třída odpadu	Vlastnosti a použití
	R_m [MPa]	$R_{e \min}$ [MPa]	Tvrdość HB		
14109 chromová (0,9 až 1.1)	610 až 725	440	max. 225	021	Ocel dobře obrobitelná a tvárná za tepla. ŽM: 720 až 780°C; K:820 až 840°C; P:150 až 170°C (olej) Použití: Kuličky do 0,25 mm, válečky a kuželíky do 0,18 mm, kroužky valivých ložisek do tloušťky stěny 16 mm.

Materiál PMMA – polymetylmetakrylát

PMMA, známější pod obchodním názvem Plexisklo nebo jako akrylátové sklo je průhledný syntetický polymer s vlastnostmi termoplastu. PMMA se vyrábí blokovou polymerací methylmetakrylátu (lité plexisklo) nebo extruzí methylmetakrylátu (extrudované plexisklo). Oba způsoby vedou k čirým materiálům. PMMA má výborné optické vlastnosti, vysokou tvrdost, tuhost a pevnost. Je odolný proti poškrábání a má vysokou tepelnou odolnost. V kyslíkové atmosféře má teplotu zápalu 460° C a při hoření se zcela rozkládá na oxid uhličitý a vodu. Je stabilní v přírodě, snadno se však rozpouští řadou rozpouštědel. Požívá se v průmyslu především kvůli svým optickým vlastnostem jako krytky světel, tachometrů, displejů apod.

Tabulka 9 Vlastnosti a použití materiálu PMMA

Označení	Mechanické vlastnosti				Vlastnosti a použití
	R_m [MPa]	E [MPa]	ρ [kg/m ³]	T _g [°C]	
PMMA	67-70	1400	1180	100	<u>Zpracování:</u> vstřikováním, vytlačováním, tvarováním, mechanickým opracováním <u>Použití:</u> desky, trubky, tyče, profily, kryty, kopule letadel, zubní technika

Materiál PVC –polyvinylchlorid

PVC je jedním z nejčastěji používaných plastů. Vyrábí se polymerací vinylchloridu a liší od jiných plastů především obsahem chlóru. Příčinou jeho mimořádného rozšíření jsou levné způsoby výroby a významné vlastnosti. Snadno se zpracovává všemi základními postupy jako válcování, vytlačování vstřikování, vyfukování, vakuovým tvářením atd. Schopnost želatinace s různými změkčovadly, značná chemická odolnost, dobrá tepelná odolnost.

Přibližně polovina z celosvětově vyráběného množství se používá ve stavebnictví. PVC tak dnes v masovém měřítku nahrazuje tradiční stavební materiály jako dřevo, beton či hlinu a textilní materiály.

Tabulka 10 Vlastnosti a použití materiálu PVC

Označení	Mechanické vlastnosti			T _g [°C]	Vlastnosti a použití
	R _m [MPa]	E [MPa]	ρ [kg/m ³]		
PVC	35	2500	1360	82	<p><u>Zpracování:</u> vstřikování, vytlačování, lisování, válcování, tepelné tvarování</p> <p><u>Použití:</u> trubky, fólie, desky, armatury na odpadní vodu, profily ve stavebnictví (okna), dutévýrobky (láhve na kosmetiku a čisticí prostředky)</p>

5.3 Použité měřicí přístroje

5.3.1 Dynamometr s tenzometrickými členy

Vyroběn:	v laboratořích školy UTB Tomáše Bati ve Zlíně
Maximální možné zatížení:	$F_f = 440 \text{ N}$ $F_p = 1478,48 \text{ N}$
Rok výroby :	2007



Obr. 17 Dynamometr

5.3.2 Drsnoměr MITUTOYO

Drsnoměr MITUTOYO SJ-301 je mobilní přístroj pro kontrolu jakosti povrchu s protiprachově chráněným, dotykově ovládaným displejem a zabudovanou tiskárnou. Je určen pro rychlé, na elektrické síti nezávislé měření přímo ve výrobě. Zdvih hrotu 12,5 mm. [11]

Vlastnosti drsnoměru:

- funkce automatické dynamické kalibrace
- snímač s vysokým rozlišením a velkým rozsahem měření
- výměnná posuvová jednotka pro měření ve velmi těsných prostorech

- možnost měření vzhůru nohama
- jednoduché uložení až pěti různých podmínek a také naměřených a statistických dat (rozšířitelné pře paměťovou kartu)
- výdej naměřených hodnot na integrovanou termotiskárnu a v různých formátech na externí PC
- sériové rozhraní RS-232-C a také výstup DIGIMATIC



Obr. 18 MITUTOYO SJ-301 [11]

5.4 Brousící kotouče používané při měření

Při měření bylo použito šest druhů brousících kotoučů. Měly různé typy zrn, strukturu i druh pojiva.

Tabulka 11 Použité brousící kotouče

Rozměr	Označení	Materiál zrna	Zrnitost	Tvrdost
250x20x76	AG 92/99 80I 8V 85	Sin.korun/bílý korund (50/50)	80	I (měkký)
250x20x76	AG 92/99 80I 12V 125	Sin. Korund/bílý korund (50/50)	80	I (měkký)
250x20x76	A99 80I 8V	Umělý korund	80	I (měkký)
250x20x76	A99 80I 12V	Umělý korund	80	I (měkký)
2-250-20/3-76	D100/80 K100 B-VI	Diamant	100/80	(tvrdý)
2-250-10/3-76	B107 K100 B-III	Kubický bornitrid	107	(tvrdý)

6 NAMĚŘENÉ HODNOTY

Měření na brusce BRH 20.03F probíhalo u každého vzorku podobně. Dynamometr byl upnut na magnetický stůl stroje a připojen k měřicímu přístroji *Spider 8* (Obr. 19). Toto zařízení bylo připojeno k počítači s příslušným ovládacím programem. V tomto případě to byl program *Comnes Spider*. Po upnutí vzorku do dynamometru byly nastaveny požadované technologické podmínky a orovnan povrch. Následovalo vlastní měření. Po změření sil byla na vzorku změřena jakost povrchu. Všechny hodnoty byly sestaveny do tabulek a vyhodnoceny.

Technologické podmínky:

Posuvová rychlost [m/min]	7	14	21	23
Hloubka řezu ocelových vzorků [mm]	0,005	0,01	0,02	0,04
Hloubka řezu plastových vzorků [mm]	0,01	0,02	0,04	0,1
Otáčky kotouče (konstantní) [ot/min]	2550			



Obr. 19 Měřící zařízení - Spider8

U všech kotoučů i u všech vzorků byly síly vyhodnocovány ve směrech x a y . V tomto případě jsou složky řezných sil označeny F_f a F_p . Složka řezné síly F_f je směr posuvu stolu (feed) a složka řezné síly F_p je kolmá k F_f (passive).

6.1 Výsledky měření kotouče AG 92/99 80I 8V 85

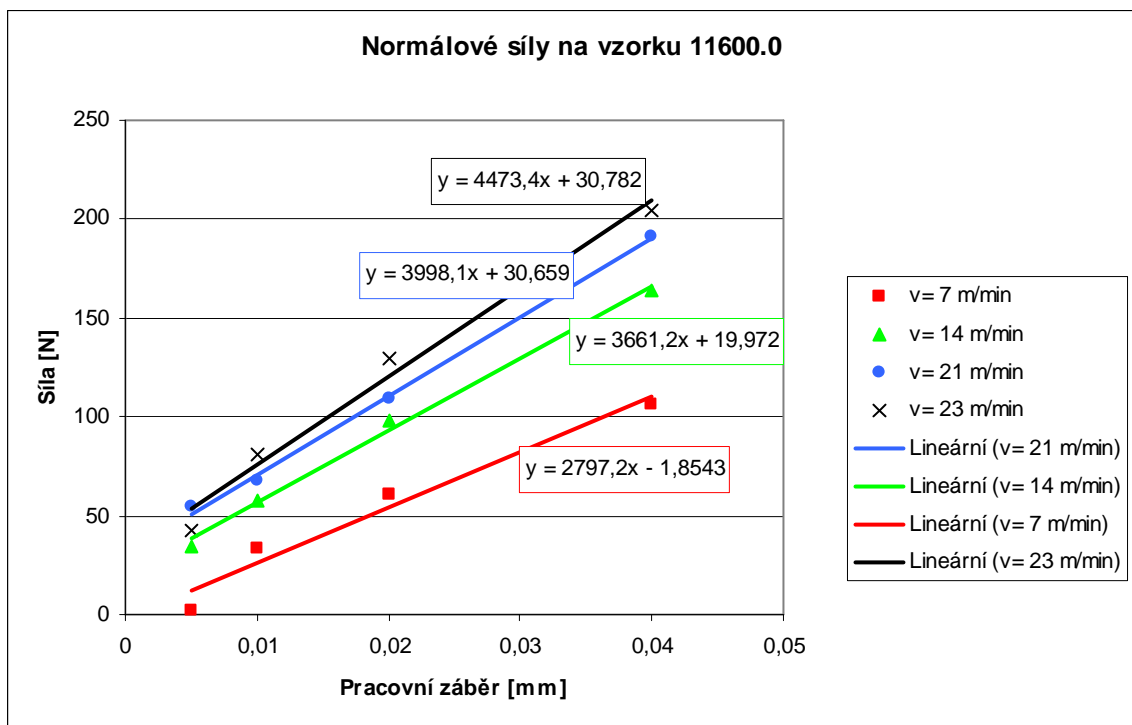
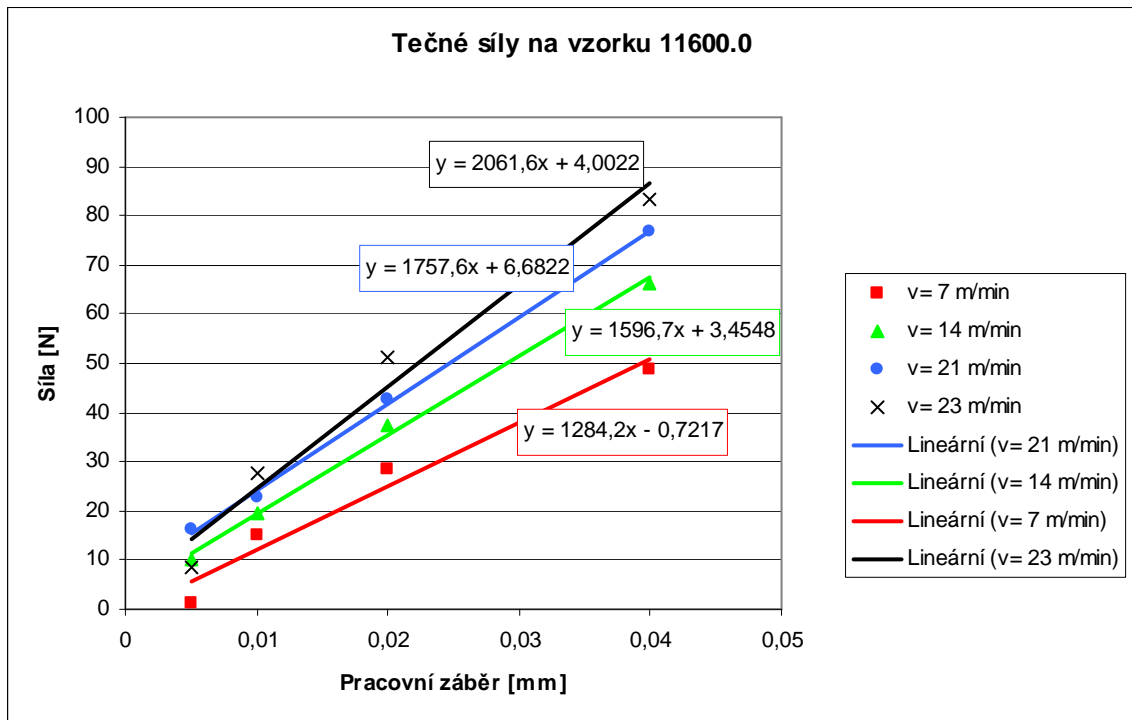
Tento brousicí kotouč obsahuje směs abrazivního materiálu, která se skládá z 50% sintrovaného korundu a 50% bílého korundu. Pórovitost číslo 8 značí, že se jedná o pórovitý kotouč. Kotouče s vyšší pórovitostí se vyznačují chladnějším řezem. V této diplomové práci, se používaly kotouče s pórovitostí číslo 8 a 12. To znamená, že kotouč číslo 8 má vyšší hutnost.

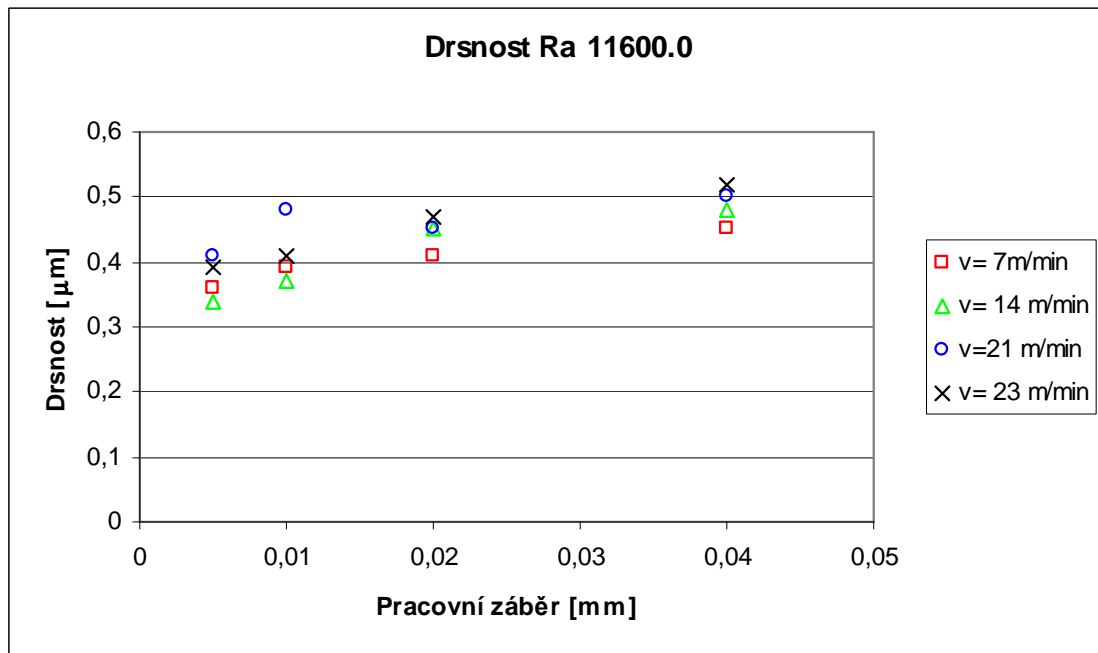
Nejvyšší silové zatížení bylo naměřeno na materiálu ISO X210Cr12 (ČSN 19436.4) při posuvové rychlosti $v_s=21 \text{ m/min}$ a pracovním záběru $a_e=0,04 \text{ mm}$. Normálová složka řezné síly měla velikost $F_p=298,3 \text{ N}$ tečná složka síly $F_f=73,48 \text{ N}$. Drsnost povrchu byla naměřena při těchto technologických podmínkách $Ra=0,52 \mu\text{m}$. Z grafů vyplývá, že se zvyšující se posuvovou rychlostí se zvyšuje také silové namáhání na broušeném vzorku. Pracovní záběr také zvyšuje dynamické jevy.



Obr. 20 Kotouč AG 92/99 80I 8V 85 – 40 ms^{-1}

6.1.1 Materiál 11600.0





Výsledky materiálu ISO Fe590 (ČSN 11600.0) byly vybrány jako ilustrativní. Ostatní výsledky jsou umístěny v PŘÍLOZE I.

6.2 Výsledky měření kotouče AG 92/99 80I 12V 125

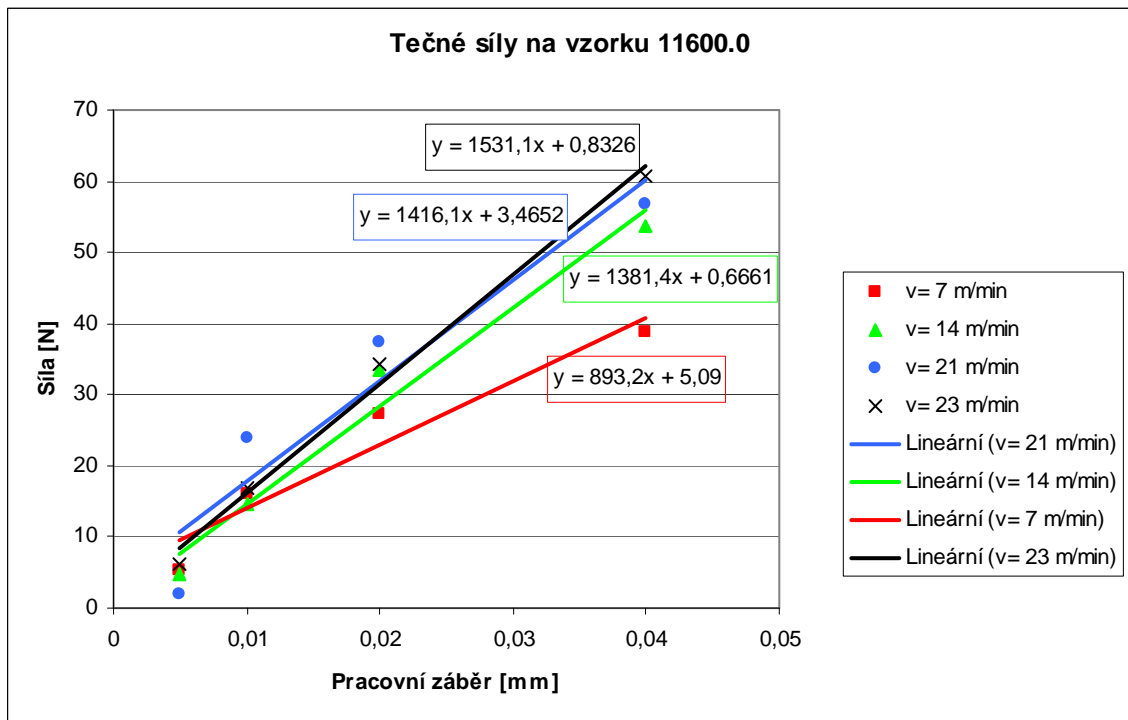
Tento brousící kotouč je podobný jako předchozí (AG 92/99 80I 8V 85) s tím rozdílem, že je velmi pórovitý. Má tedy oproti předchozímu chladnější řez a plocha ovlivněná teplem není tak hluboká jako u kotoučů s vyšší hutností. S tímto kotoučem byly síly v řezu nižší než při porovnání s předchozím kotoučem. Bohužel s vyšší pórovitostí kotouče klesá jakost povrchu a tuto skutečnost bychom měli zahrnout do výběru brousících kotoučů v praxi.

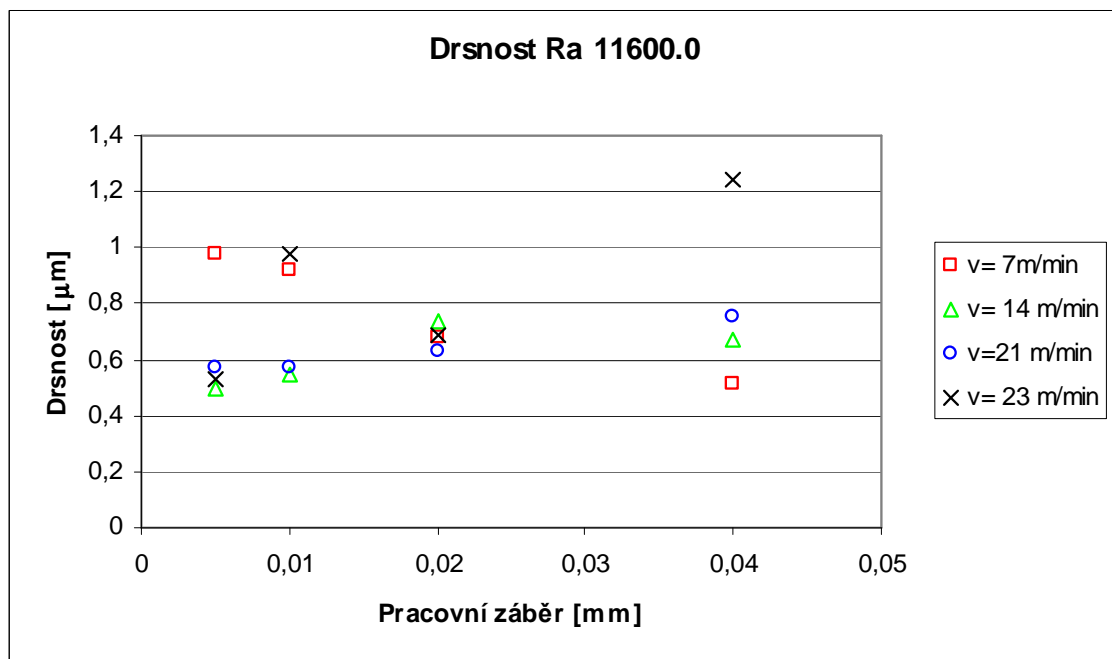
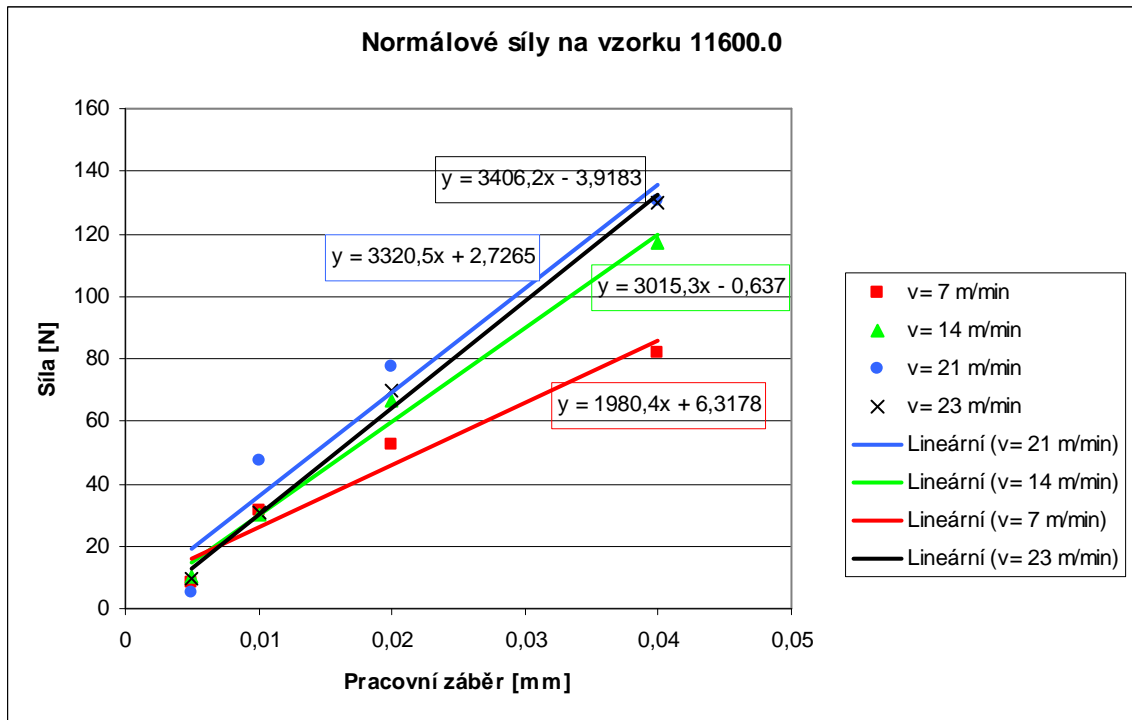
Maximální síla byla naměřena na vzorku ISO X210Cr12 (ČSN 19436.4). Byla to pasivní složka řezné síly $F_p = 220,9 \text{ N}$ a tečná složka síly měla $F_f = 52,03 \text{ N}$. Drsnost povrchu byla naměřena $Ra = 1,14 \text{ μm}$. Jakost povrchu se tedy zhoršila přibližně dvojnásobně při srovnání s předchozím „hutnějším“ typem kotouče. Tyto výsledky byly naměřeny při technologických podmínkách: posuvová rychlost $v_f = 21 \text{ m/min}$ a hloubka záběru $a_e = 0,04 \text{ mm}$.



Obr. 21 Kotouč AG 92/99 80I 12V
125 – 40 ms⁻¹

6.2.1 Materiál 11600.0





Výsledky materiálu ISO Fe590 (ČSN 11600.0) byly vybrány jako ilustrativní. Ostatní výsledky jsou umístěny v PŘÍLOZE II.

6.3 Výsledky měření kotouče A99 80I 8V

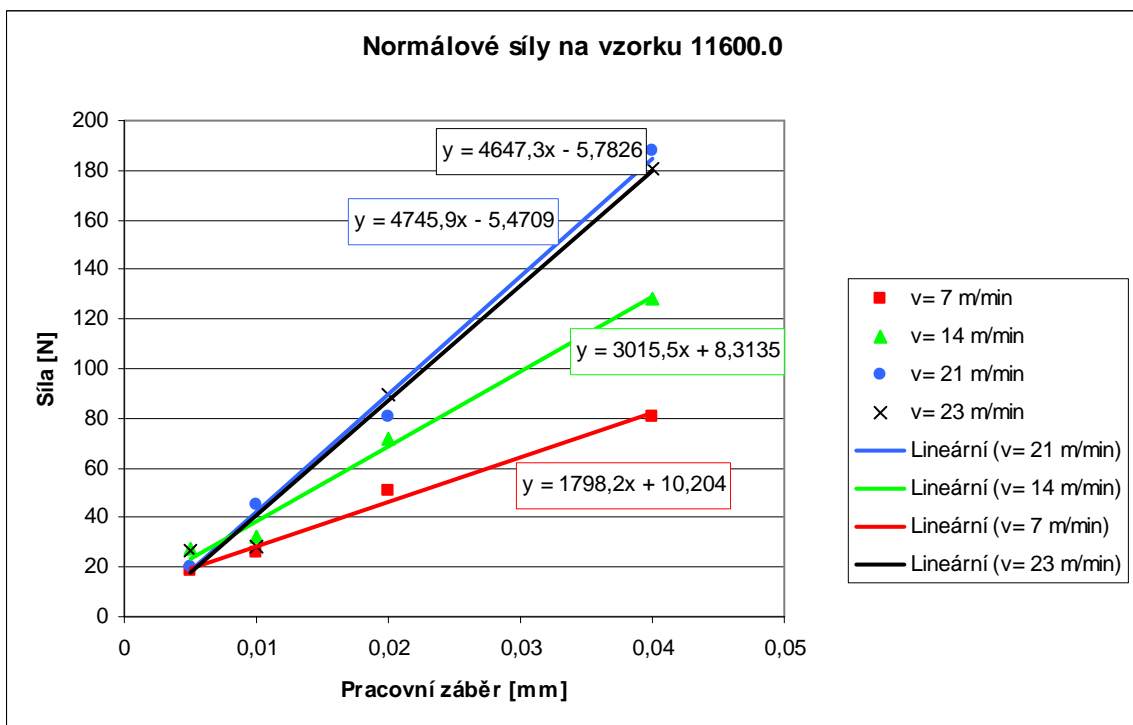
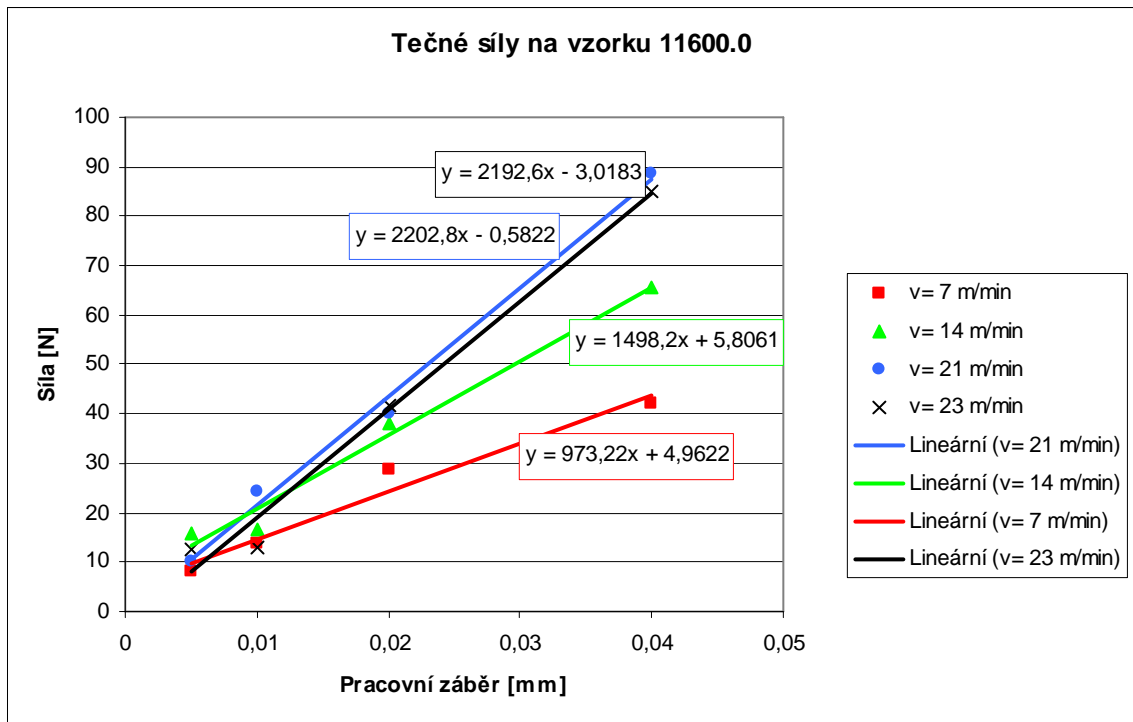
Tento kotouč se řadí mezi měkké s korundovým broušicím zrnem a keramickým pojivem. Barva kotouče byla růžová. Výsledky sil i jakosti povrchů za různých, výše definovaných podmínek broušení vychází lépe než při užití kotouče podobných vlastností s použitím směsi sintrovaného korundu a bílého korundu. U tohoto typu kotouče byly naměřeny menší síly v řezu a to o několik desítek newtonů. Při snížení řezných sil se zlepšila jakost povrchu při porovnávání s kotoučem AG92/99 80I 8V 85, ale toto zlepšení nebylo nijak výrazné. Ovšem vychází několika mikrometrové zlepšení jakosti povrchu.

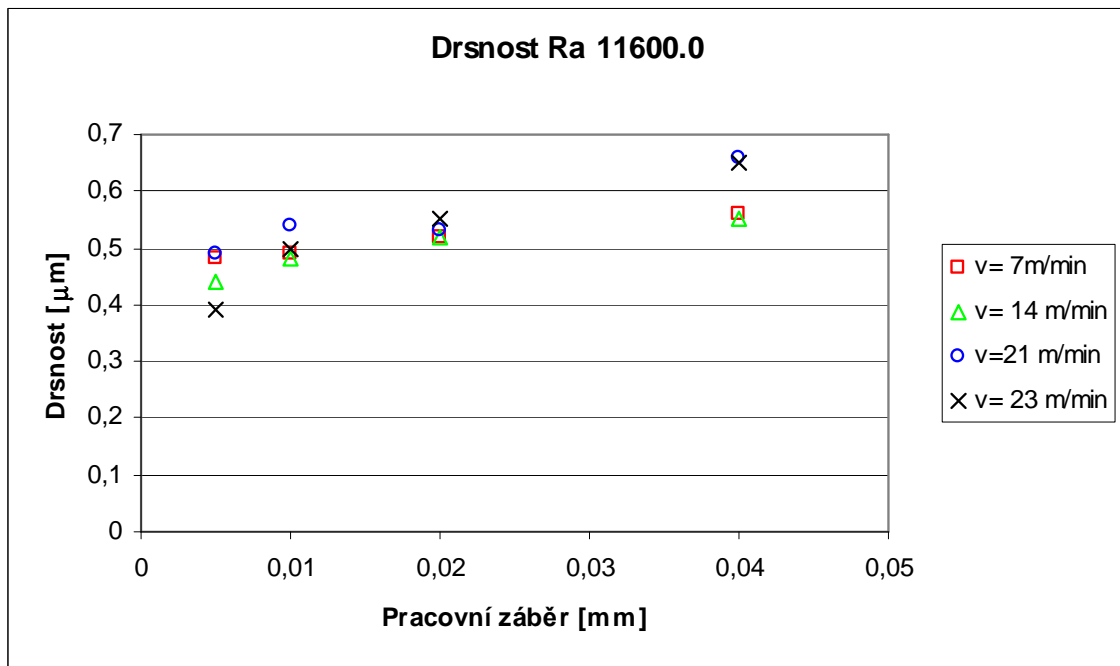
Maximální síla v řezu byla při technologických podmínkách posuvové rychlosti $v_f=23$ m/min a pracovním záběru $a_e=0,04$ mm opět naměřena na materiálu ISO X210Cr12 (ČSN 19436.4). Hodnoty složek této řezné síly byly $F_p=251,64N$ a $F_f=65,17N$. Jakost povrchu byla $Ra=0,55$ μm .



Obr. 22 Kotouč AG 92/99 80I 12V 125 – 40 ms^{-1}

6.3.1 Materiál 11600.0





Výsledky materiálu ISO Fe590 (ČSN 11600.0) byly vybrány jako ilustrativní. Ostatní výsledky jsou umístěny v PŘÍLOZE III.

6.4 Výsledky měření kotouče A99 80I 12V

Kotouč A99 80I 12V má podobné vlastnosti jako předcházející, ale má vyšší pórovitost. Řadí se do skupiny velmi porézních kotoučů. Tento kotouč má chladnější řez, takže neovlivňujeme tolik povrchovou vrstvu teplem. Síly v řezu jsou vzhledem ke kotouči s vyšší hutností menší, protože tento pórovitější kotouč má na jednotku délky méně brousících zrn. Změna sil v řezu je přibližně 10 newtonů vzhledem ke kotouči A99 80I 8V. Jakost povrchu se vzhledem k hutnějšímu kotouči zhoršila. Měřením bylo zjištěno, že se zhorší přibližně o desetinu mikrometru při srovnávání stejných broušených materiálů za stejných technologických podmínek s použitím brousících kotoučů o stejných vlastnostech s pórovitostí 8 a 12.

Pokud tento kotouč srovnáváme s kotoučem o stejné pórovitosti a stejných vlastnostech, ale se sintorvaným korundem (A92/99 80I 12V), výsledky se liší podobně jako při srovnávání kotoučů s pórovitostí označenou číslem 8. Sintrovaný korund má jiný tvar zrna a proto je síla v řezu vyšší. Zvýšení sil je o několik newtonů, jedná se o zvýšení cca 10 N. Sintro-

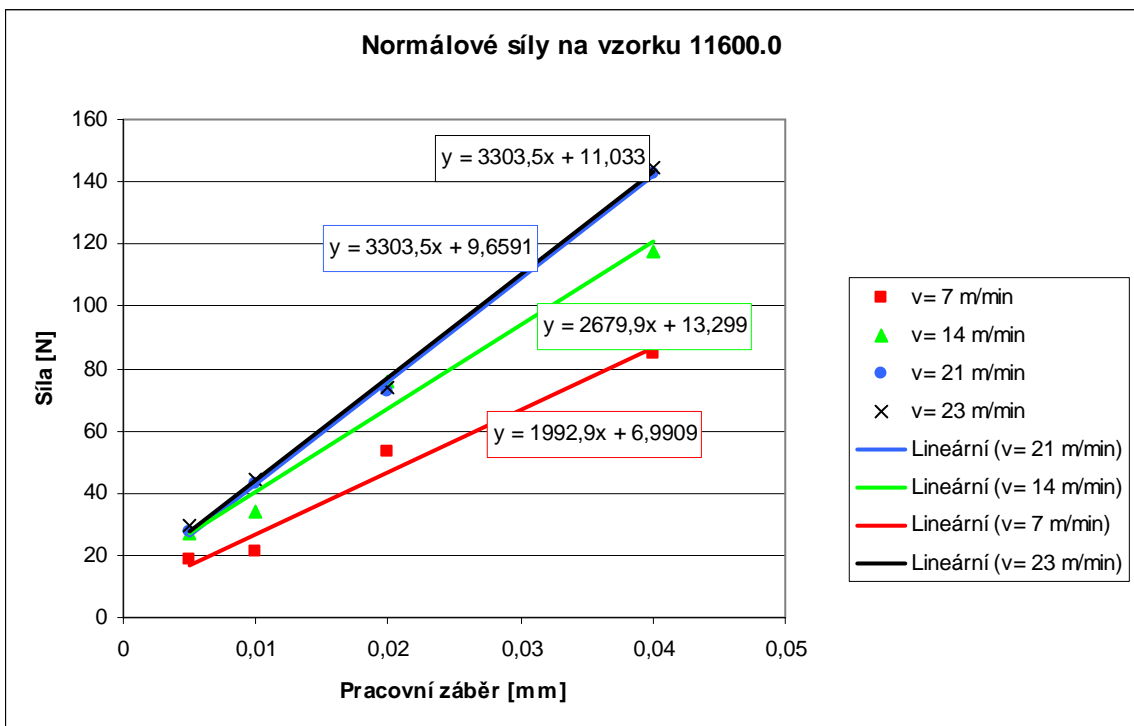
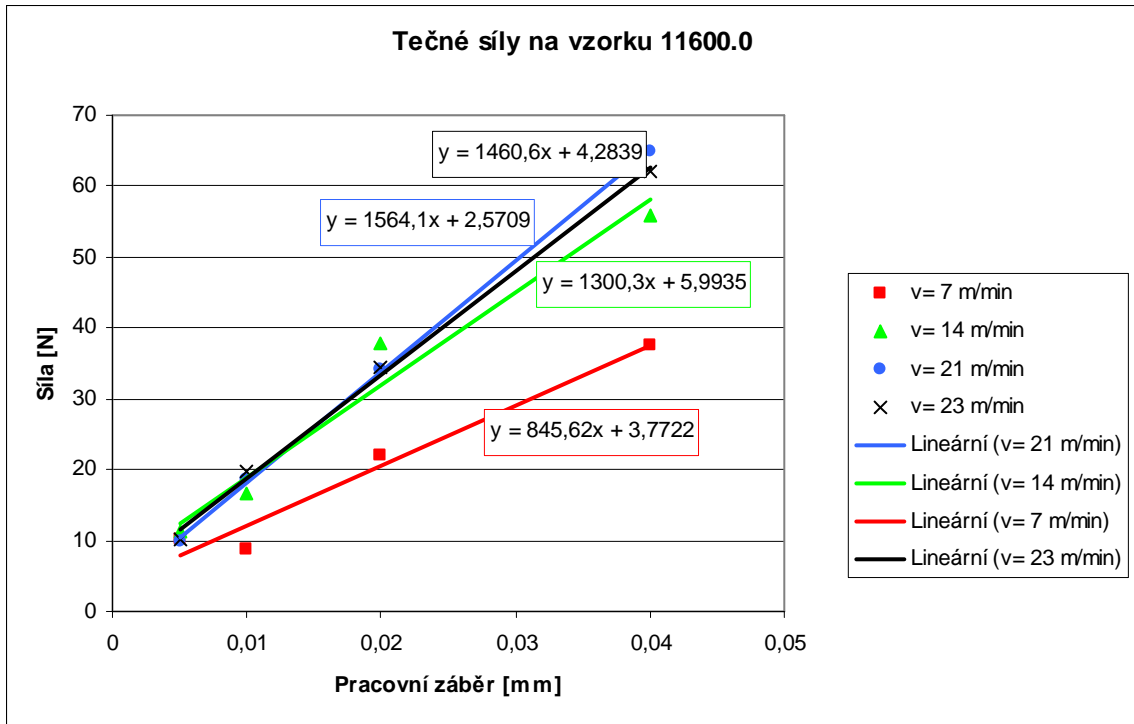
vaný korund má také horší výsledky při jakosti povrchu. Drsnost R_a se mění podobně jako při předchozím srovnání hutnějších kotoučů a to přibližně o desetinu mikrometru.

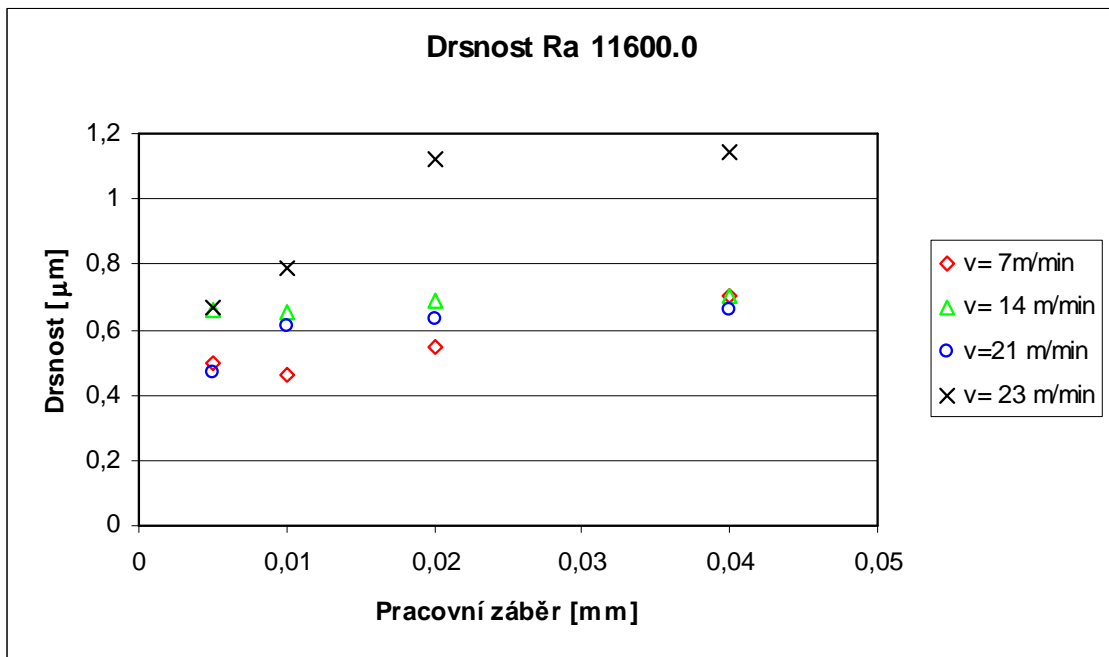
Maximální složky řezné síly byly naměřeny za posuvové rychlosti $v_f = 23 \text{ m/min}$ a pracovním záběru $a_e = 0,04 \text{ mm}$ na materiálu ISO X210Cr12 (ČSN 19436.0). Hodnoty složek byly $F_p = 213,69 \text{ N}$ a $F_f = 65,54 \text{ N}$. Hodnota drsnosti byla $R_a = 0,59 \mu\text{m}$.



Obr. 23 Kotouč AG 92/99 80I 12V 125 – 40 ms-1

6.4.1 Materiál 11600.0





Výsledky materiálu ISO Fe590 (ČSN 11600.0) byly vybrány jako ilustrativní. Ostatní výsledky jsou umístěny v PŘÍLOZE IV.

6.5 Výsledky kotouče měření B 126K 100 8-VII

Kotouč s brousícími zrnny kubického nitridu boru mají vzhledem k diamantovému kotouči menší silové zatížení. Největší zatížení vzniklo při broušení nástrojových materiálů, přesněji ISO X210Cr12 (19436.0).

Maximální síla v ose x byla $F_f=50,49 N$ a v ose y byla $F_p=164,87 N$. Zvláštností je velmi úzký rozptyl mezi hodnotami. Při různých rychlostech posuvu stolu jsou síly velmi blízko sebe. Drsnost povrchu při broušení kotoučem s CBN vychází opět velmi blízko sebe při různých rychlostech, především u kovových materiálů. V případě kdy byly naměřeny maximální hodnoty byla $Ra=1,19 \mu m$. Zvláštní byl pohled na broušený povrch, na kterém byly jasně viditelné plošky (Obr. 25), proto by tento kotouč měl být používán tam, kde by tato skutečnost nijak nevadila.



Obr. 24 B107 K100 B-III

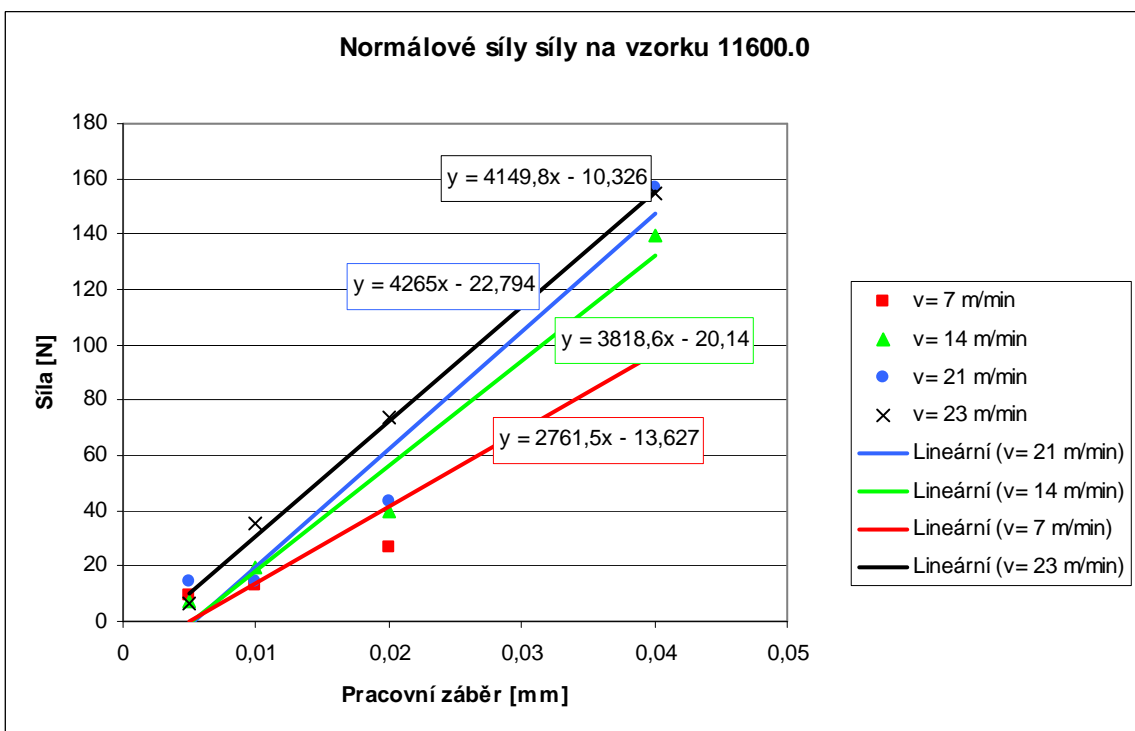
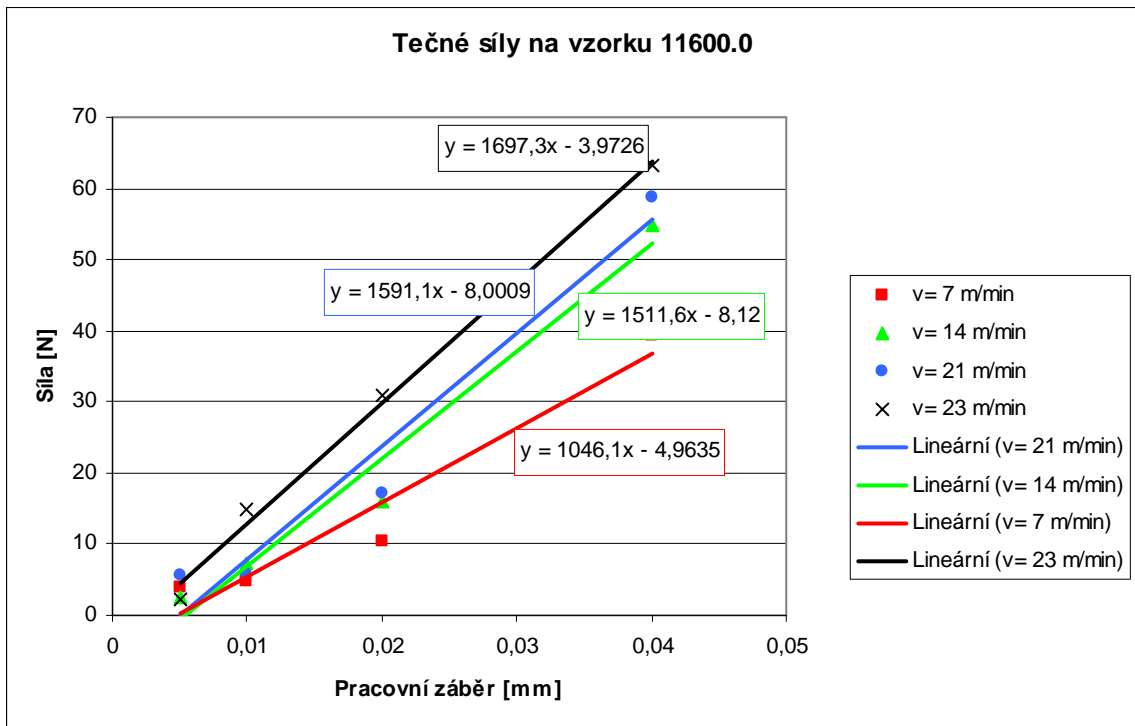


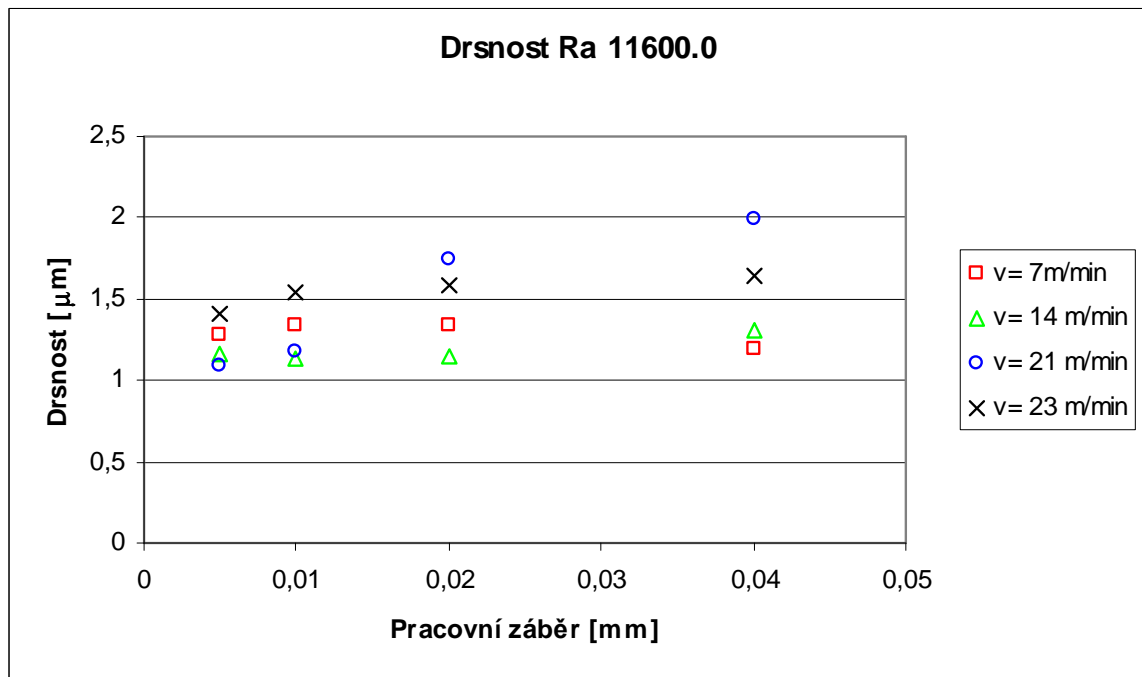
Obr. 25 Srovnání povrchu broušených ploch

Keramické pojivo (nalevo)

Umělá pryskyřice (napravo)

6.5.1 Materiál 11600.0





Výsledky materiálu ISO Fe590 (ČSN 11600.0) byly vybrány jako ilustrativní. Ostatní výsledky jsou umístěny v PŘÍLOZE V.

6.6 Výsledky měření kotouče D100/80 K100 B-VI

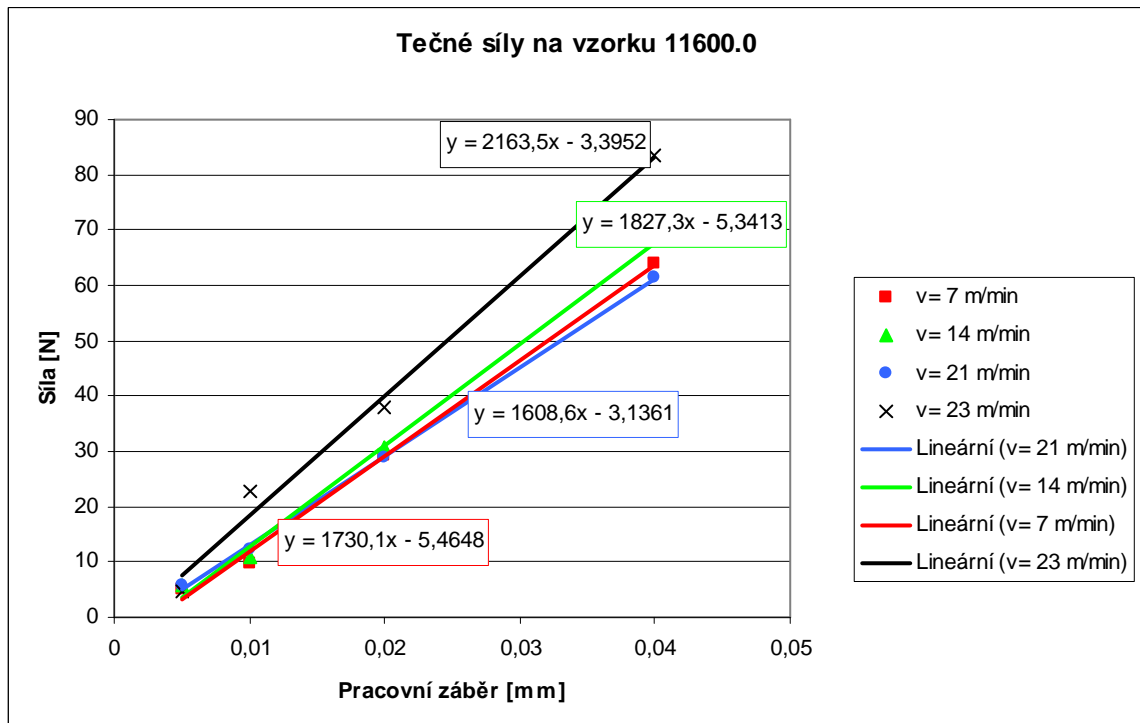
Diamantový kotouč zanechává podobný povrch při broušení jako kotouč s CBN (*Obr. 25*). Silové namáhání je vzhledem ke kotouči B126 K100 8-VII vyšší. Tečná složka síly měla hodnotu $F_f=83,37N$ a normálová složka $F_p=201,27N$. Jsou to maximální naměřené hodnoty při broušení tímto kotoučem. Tyto síly byly naměřeny na vzorku ISO Fe590 (ČSN 11600.0) při posuvové rychlosti $v_f=23m/min$ a pracovním záběru $a_e=0,04 mm$. Rozptyl sil je podobně jako u kotouče s CBN menší než u kotoučů s keramickým pojivem. Zvláštností tohoto brousícího kotouče je, že má vyšší silové zatížení na vzorku v porovnání s kubickým nitridem boru, ovšem jakost povrchu je lepší. V některých případech až dvojnásobná. Pro maximální naměřenou sílu byla drsnost $Ra=1,67 \mu m$.

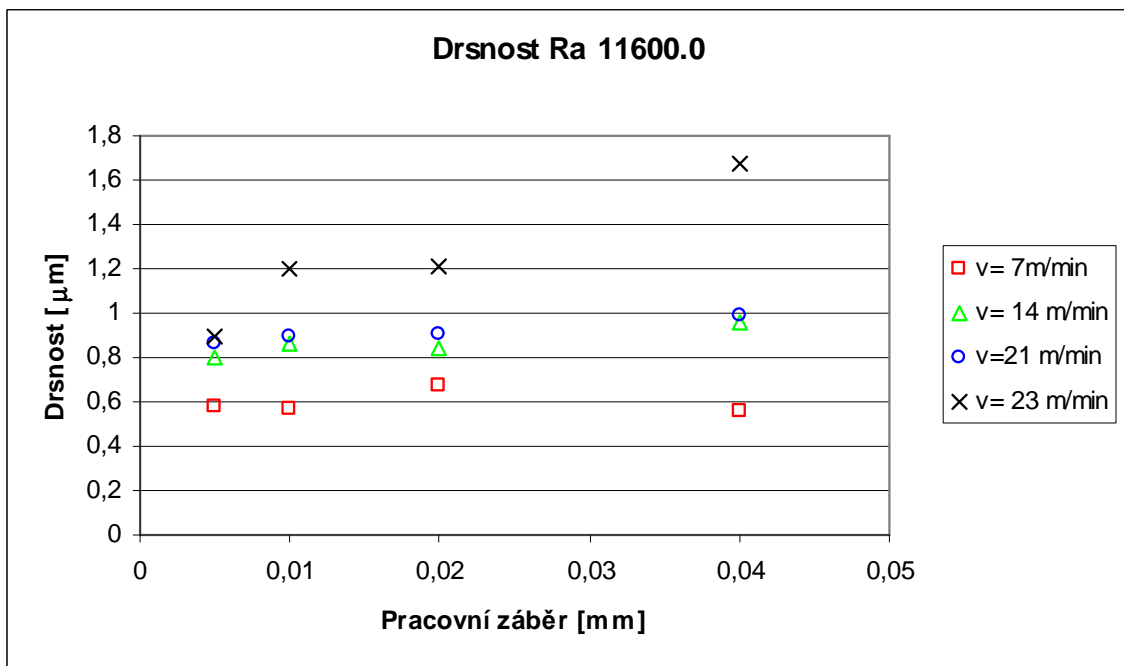
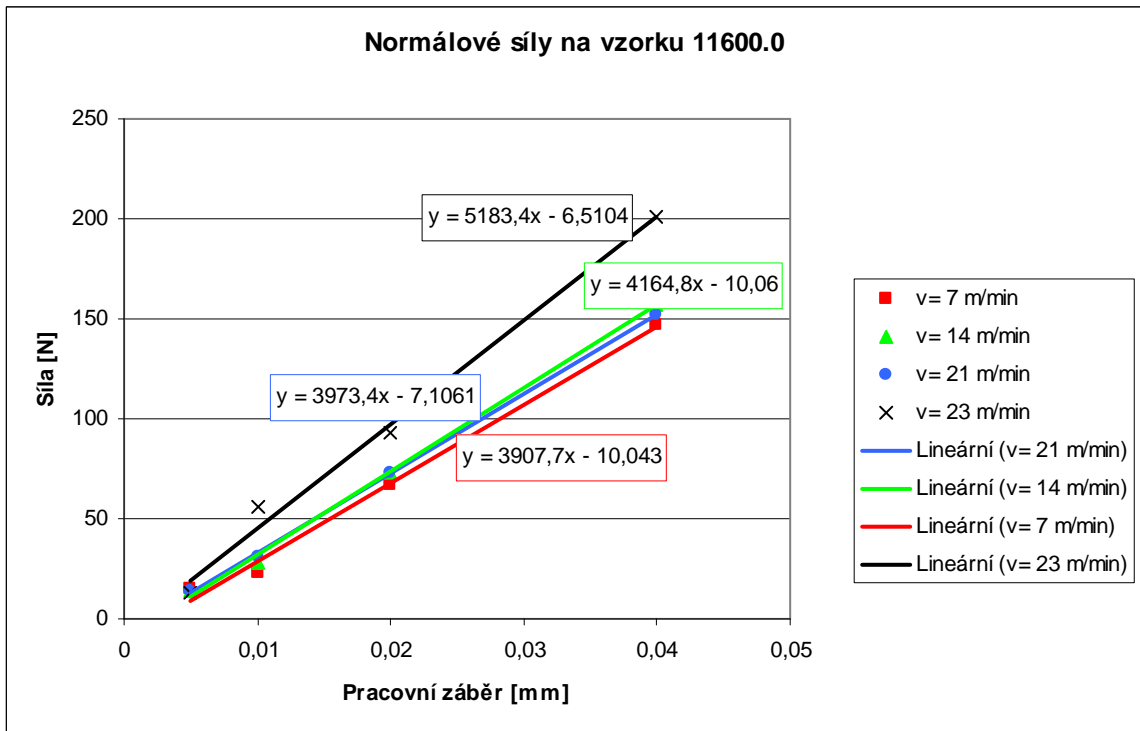
U kotoučů s keramickým pojivem, se jakost povrchu plynule zhoršovala se zvyšující se posuvovou rychlostí a se zvyšujícím se pracovním záběrem.



Obr. 26 Kotouč D100/80 K100 B-VI

6.6.1 Materiál 11600.0





Výsledky materiálu ISO Fe590 (ČSN 11600.0) byly vybrány jako ilustrativní. Ostatní výsledky jsou umístěny v PŘÍLOZE VI.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá problematikou dynamických doprovodných jevů při broušení. Dynamickými jevy se myslí silové účinky, které vznikají při broušení, jejich velikost a závislost na technologických podmínkách a druhu brousícího kotouče.

Měřením bylo dokázáno, že síly působící na kotouč jsou závislé na mnoha faktorech. Jsou závislé na struktuře (pórovitosti) brousícího kotouče. Pokud by jsme měli kotouče o stejných vlastnostech s různě velkou pórovitostí, síla působící v řezu se s narůstajícím číslem pórovitosti snižuje. Pórovitý kotouč má na jednotku plochy menší počet zrn v záběru, které vyvolávají silové účinky. Kotouče s vyšší pórovitostí mají chladnější řez. U poréznějších brousících kotoučů nedochází k tak velkému ovlivnění vrstvy materiálu vlivem tepla. Proto nedochází v místě řezu ke zpevnění materiálu, ke změně struktury nebo například oduhličení vlivem difúze kovu. Se zvyšující se pórovitostí klesá jakost povrchu, které jsme schopni docílit. Proto by tyto kotouče měly být používány tam, kde tomu tato skutečnost nevádí nebo k výkonnému broušení.

Na velikosti síly působící v řezu se také projevuje posuvová rychlost stolu. Se zvyšující se posuvovou rychlostí se zvyšovala také naměřená hodnota jednotlivých složek řezné síly. Podobně tomu bylo se zvětšováním pracovního záběru. S narůstajícím pracovním záběrem a_e se řezná síla zvyšovala. Tímto způsobem dochází k největšímu nárůstu složek sil v porovnání se zvýšením posuvové rychlosti. Drsnost povrchu naměřená po každém broušení za předem stanovených podmínek ukazovala, že se jakost povrchu zhoršuje se zvyšováním obou parametrů. Tyto závislosti jsou matematicky popsány v této práci. Pokud tedy potřebujeme dobrou drsnost, musíme nastavit technologické podmínky tak, aby pracovní záběr a posuvová rychlost byla co nejmenší.

Poslední složkou, která je schopna změnit silový projev při broušení a následně i jakost povrchu je abrazivní materiál v použitém brousícím kotouči. Z měření nejhůře vychází kotouč s abrazivním materiálem se směsí sintrovaného a bílého korundu. Pokud bychom chtěli výsledky diplomové práce seřadit od nevyšší naměřené síly za daných technologických podmínek, bylo by tomu následovně. Největší silový účinek má směs sintrovaného a bílého korundu, po něm umělý korund růžový čistý, dále brousící kotouč s diamantovými zrny a nejmenší složky řezných sil byly naměřeny na kotouči s kubickým nitridem boru.

Při srovnávání kde se upřednostňuje jakost povrchu by seřazení kotoučů bylo odlišné. Nejhorší jakost povrchu byla naměřena na kubickém nitridu boru, následuje ho diamantový kotouč. Diamantový kotouč je s ohledem na jakost povrchu horší než směs sintrovaném a bílého korundu a korund umělý, růžový, čistý. Porovnávání dosažených jakostí umělého korundu a směsi sintrovaného s bílým korundem je velmi obtížné. Hodnoty drsností jsou velmi blízké. V některých případech má lepší drsnost umělý korund a v některých směs sintrovaného a bílého korundu. Z množství hodnot, které byly v této práci změřeny se nedá jednoznačně určit, které zrno má příznivější vliv na jakost povrchu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOCMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Druhé. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [2] DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Broušení kovů : Teoretické i praktické základy brusičské praxe s příklady nové techniky v broušení*. 1. vydání. Praha : SNTL, 1958. 102 s.
- [3] WIKIPEDIA [online]. 7.10.2010 [cit. 2011-01-13]. Siloměr. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Silom%C4%9Br>>.
- [4] *Rovinná horizontální bruska : BRH 20.03F*. [s.l.] : [s.n.], 1993. Návod k použití, s. 35.
- [5] LEINVERBERG, Jan; ŘASA, Jaroslav; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 3.dopl. vydání. Praha 6 : Scientia, 2000. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [6] VASILKO, Karol; BOKUČAVA, Givi. *Brúsenie kovových materiálov*. Vyd. 1. Bratislava : Alfa, 1988. 240 s. ISBN 063-143-88BKM.
- [7] MASLOV, J.N; *Teorie broušení kovů*. Vyd. 1. Praha : SNTL, 1979. 248 s.
- [8] GAŠPÁREK, J.: *Dokončovacie sposoby obrábania*. Vyd. 1. Bratislava : ALFA, 1980. 360 s.
- [9] *Drsnost povrchu / Atryx spol. s r.o.* [online]. 1999 [cit. 2011-05-02]. Drsnost povrchu. Dostupné z WWW: <<http://www.atryx.cz/prakticka-prirucka/drsnost-povrchu/>>.
- [10] WELD [online]. 02.05.2011 [cit. 2011-05-02]. Ekvivalenty ocelí. Dostupné z WWW: <<http://www.4weld.sk/>>.
- [11] MITUTOYO Česko s.r.o. - *Přesnost je naší profesí* [online]. 2009 [cit. 2011-05-04]. MYTUTOYO. Dostupné z WWW: <<http://www.mitutoyo-czech.cz/cz/center.asp>>.
- [12] ISŠT Mělník [online]. 2005 [cit. 2011-05-05]. Číselné značení ocelí. Dostupné z WWW: <<http://www.isstechn.cz/objekty/Ciselne-znaceni-oceli-dle-Csn.pdf>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

F_p	Pasivní složka řezné síly (normálová)
F_f	Tečná složka řezné síly.
F_c	Hodnota řezná síly
k_c	Měrná řezná síla
f_a	Axiální posuv stolu
v_w	Obvodová rychlost stolu
n_s	Frekvence otáčení brousícího kotouče
n_w	Frekvence otáčení obrobku
v_{fa}	Axiální rychlost posuvu stolu
v_{fr}	Radiální rychlost posuvu stolu
v_{ft}	Tangenciální rychlost posuvu stolu
T_o	Okamžitá teplota
T_d	Styková teplota
T_s	Střední teplota
Q_o	Teplo přecházející do obrobku
Q_k	Teplo přecházející do kotouče
Q_T	Teplo odcházející třískamu
Q_{CH}	Teplo odebrané řeznou kapalinou
Q_v	Teplo vyzářené
A	Průřez odebrané vrstvy
b_d	Šířka aktivní části brousícího kotouče
v_f	Rychlost posuvu stolu
a_e	Pracovní záběr
K	Kalení

mm	Milimetr
μm	Mikrometr
Ra	Střední aritmetická odchylka povrchu
Rz	Výška nerovností profilu určená z 10-ti bodů
KNB	Kubický nitrid boru
K	Koncentrace
N	Jednotka síly (Newton)
kg	Kilogram
R _m	Mez pevnosti materiálu
E	Modul pružnosti v tahu
ρ	Hustota materiálu
T _g	Teplota skelného přechodu
PVC	Polyvinylchlorid
PMMA	Polymethylmetakrylat (plexisklo)

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Vybrané způsoby čelního broušení [1].....</i>	14
<i>Obr. 2 Vybrané způsoby obvodového broušení [1]</i>	15
<i>Obr. 3 Model záběru brousícího zrna [1]</i>	16
<i>Obr. 4 Bezhroté broušení [1]</i>	19
<i>Obr. 5 Broušení v tuhých opěrkách a) vnější broušení; b) vnitřní broušení; 1- obrobek; 2-příruba ; A,B-opěrky; 3-brousící kotouč [1]</i>	19
<i>Obr. 6 Vnitřní planetové broušení [1]</i>	20
<i>Obr. 7 Tvarování brousícího kotouče ocelovou kladkou [1] 1-brousící kotouč; 2- ocelová kladka</i>	23
<i>Obr. 8 Tvarování brousícího kotouče v brusičské kolébce [1]</i>	23
<i>Obr. 9 Přípravek pro tvarování brousícího kotouče pomocí šablony [1]</i>	24
<i>Obr. 10 Příklad označení brousícího kotouče [1]</i>	25
<i>Obr. 11 Upínání brousících kotoučů a,b-mechanické; c,d-lepené [1]</i>	31
<i>Obr. 12 Statické vyvažování brousícího kotouče [1]</i>	32
<i>Obr. 13 Rozložení řezných sil při obvodovém axiálním broušení do kulata [1]</i>	34
<i>Obr. 14 Základní způsoby opotřebení brousícího kotouče [8]</i>	43
<i>Obr. 15 Bruska BRH 20.03F</i>	50
<i>Obr. 16 Vzorky použitých materiálů</i>	51
<i>Obr. 17 Dynamometr</i>	56
<i>Obr. 18 MITUTOYO SJ-301 [11]</i>	57
<i>Obr. 19 Měřící zařízení - Spider8</i>	59
<i>Obr. 20 Kotouč AG 92/99 80I 8V 85 – 40 ms⁻¹</i>	60
<i>Obr. 21 Kotouč AG 92/99 80I 12V 125 – 40 ms⁻¹</i>	63
<i>Obr. 22 Kotouč AG 92/99 80I 12V 125 – 40 ms⁻¹</i>	65
<i>Obr. 23 Kotouč AG 92/99 80I 12V 125 – 40 ms⁻¹</i>	68
<i>Obr. 24 B107 K100 B-III</i>	71
<i>Obr. 25 Srovnání povrchu broušených ploch Keramické pojivo (nalevo) Umělá pryskyřice (napravo).....</i>	71
<i>Obr. 26 Kotouč D100/80 K100 B-VI</i>	74

SEZNAM TABULEK

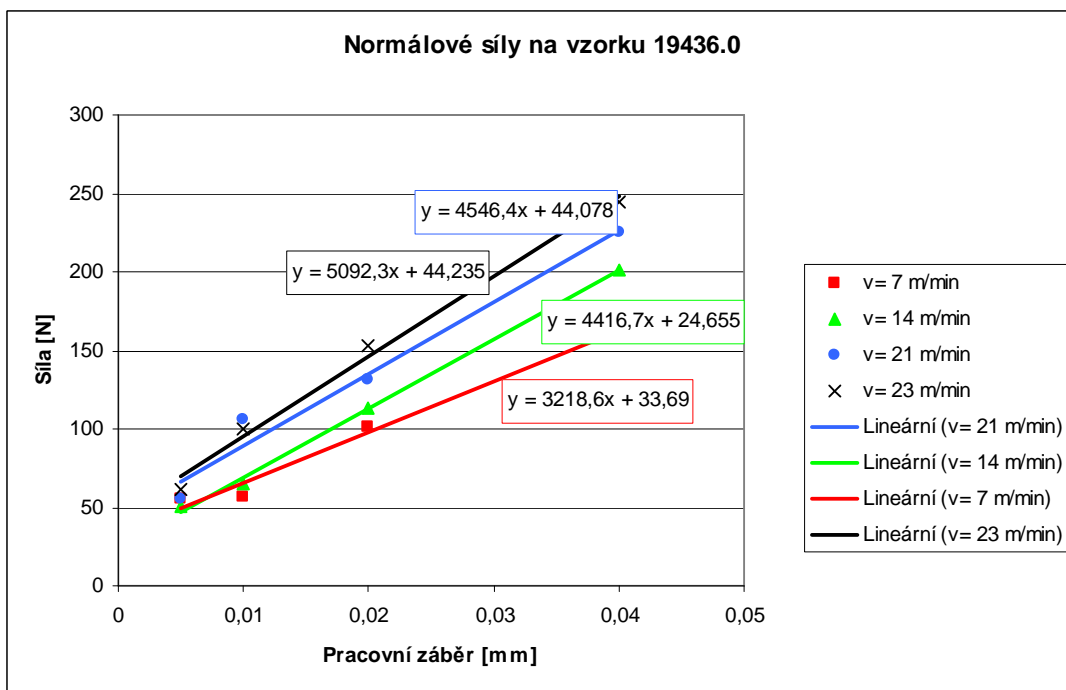
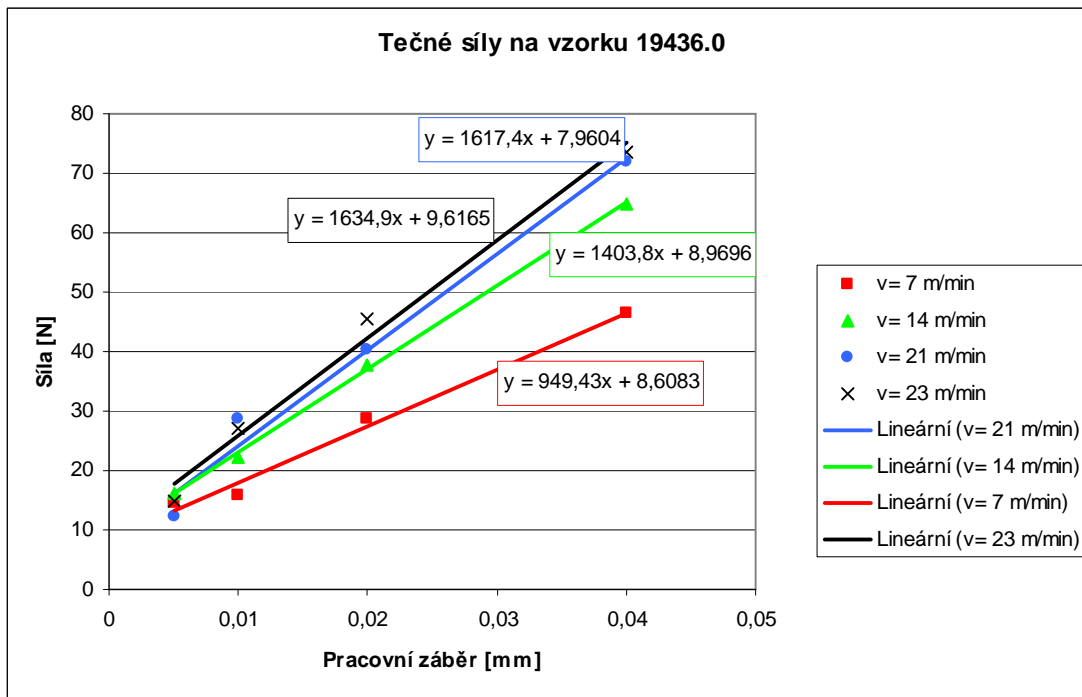
<i>Tabulka 1 Dosahované parametry přesnosti obrobených ploch pro abrazivní metody obrábění [1]</i>	<i>12</i>
<i>Tabulka 2 Směrné hodnoty řezných parametrů pro rovinné broušení [1]</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 3 Označování tvarů a rozměrů brousících kotoučů [1]</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 4 Bruska BRH 20.03F – charakteristika [4]</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 5 Použité materiály</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 6 Vlastnosti materiálu 11600 [5]</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 7 Vlastnosti a použití nástrojové materiálu 19436 [5]</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 8 Vlastnosti a použití materiálu 14109 [5]</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 9 Vlastnosti a použití materiálu PMMA</i>	<i>54</i>
<i>Tabulka 10 Vlastnosti a použití materiálu PVC</i>	<i>55</i>
<i>Tabulka 11 Použité brousící kotouče</i>	<i>58</i>

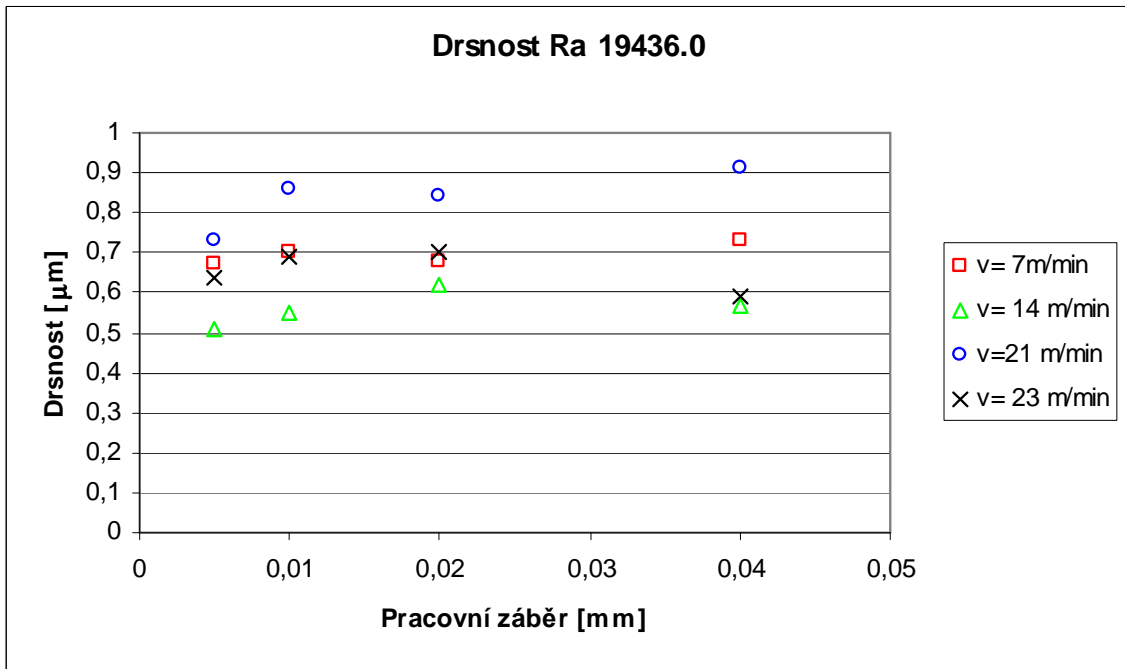
SEZNAM PŘÍLOH

- P I Výsledky pro brousící kotouč AG 92/99 80I 8V
- P II Výsledky pro brousící kotouč AG 92/99 80I 12V
- P III Výsledky pro brousící kotouč A99 80I 8V
- P IV Výsledky pro brousící kotouč A99 80I 12V
- P V Výsledky pro brousící kotouč B107 K100 B-III
- P VI Výsledky pro brousící kotouč D100/80 K100 B-VI

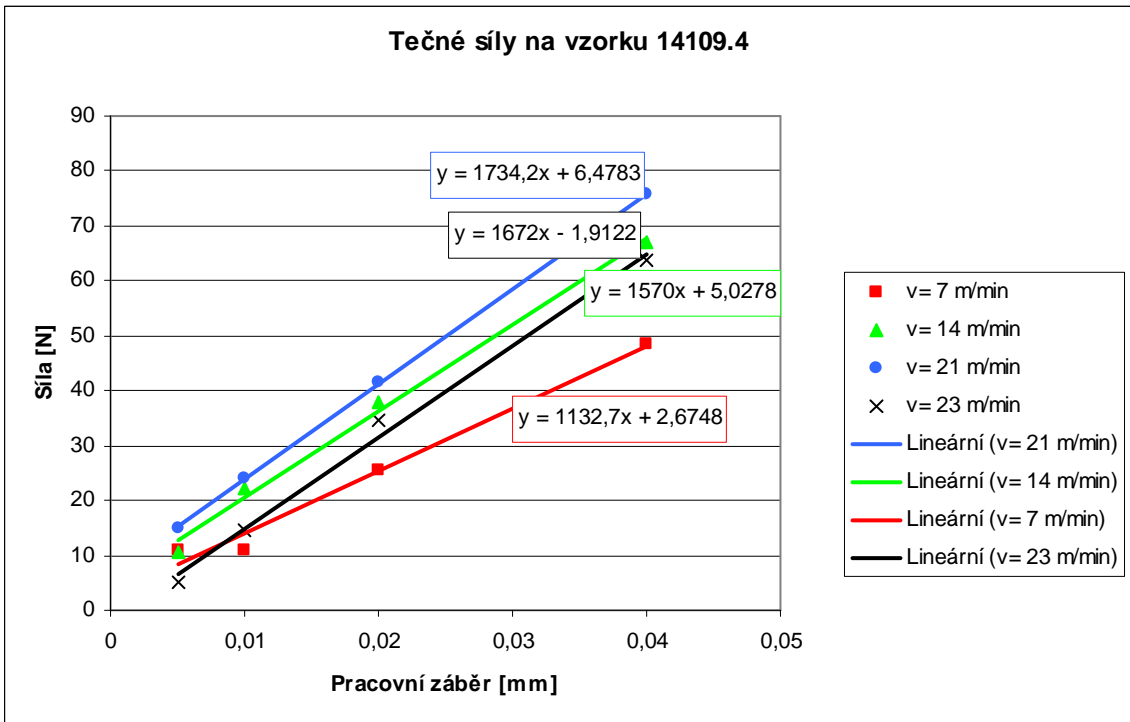
PŘÍLOHA P I: KOTOUČ AG 92/99 80I 8V

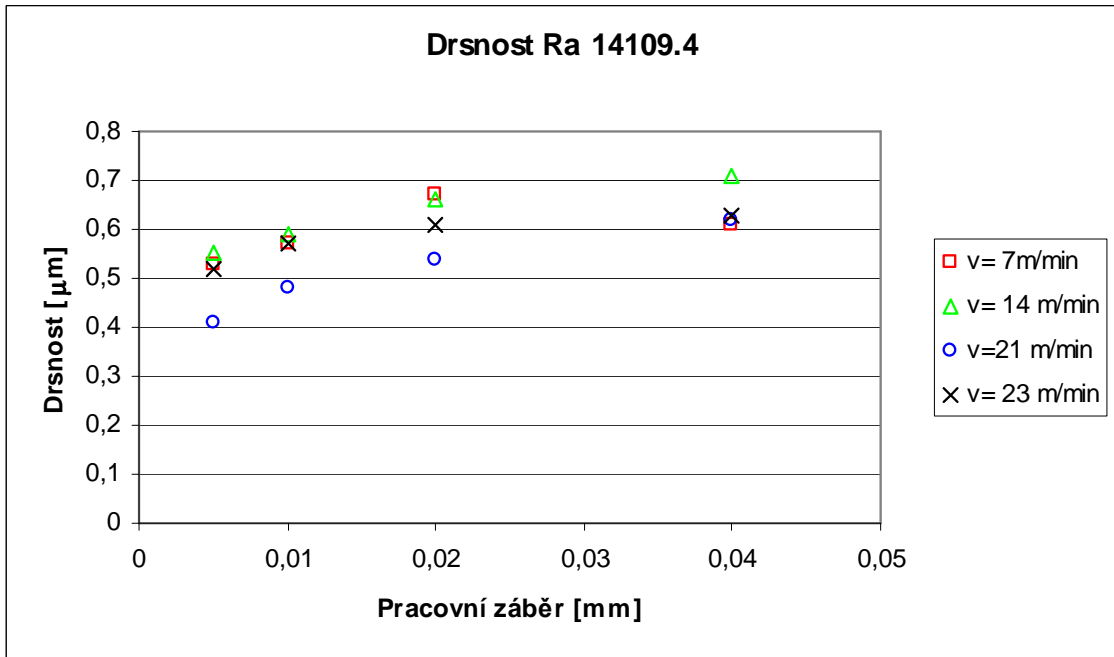
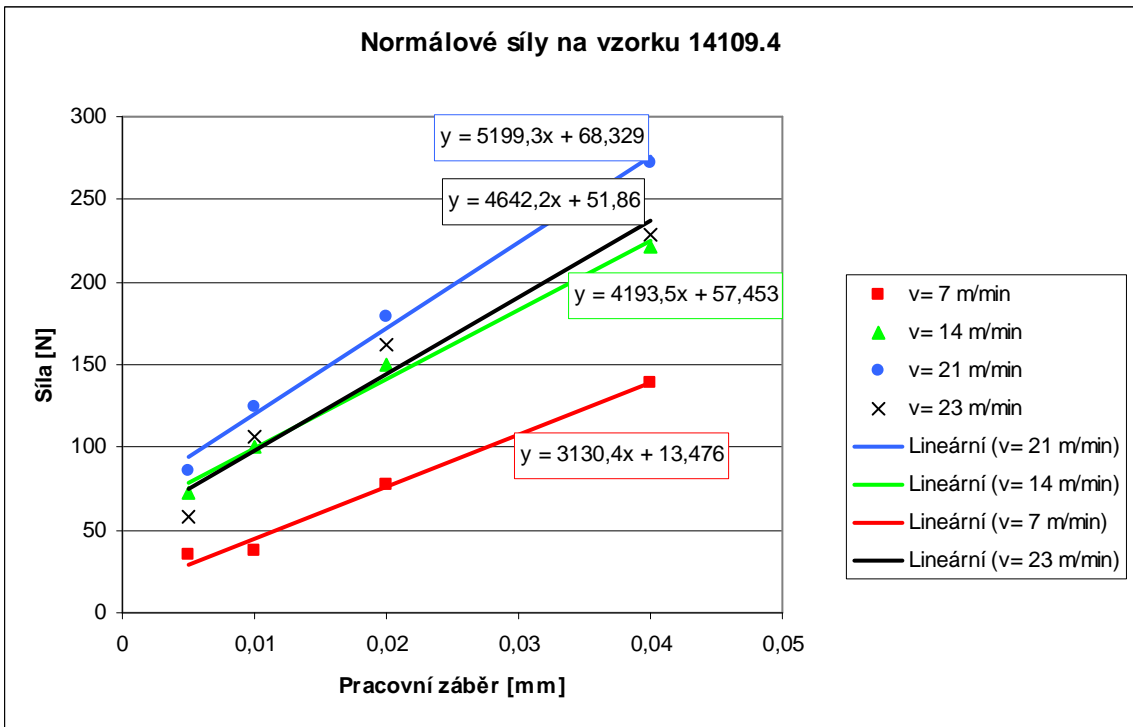
ČSN 19436.0



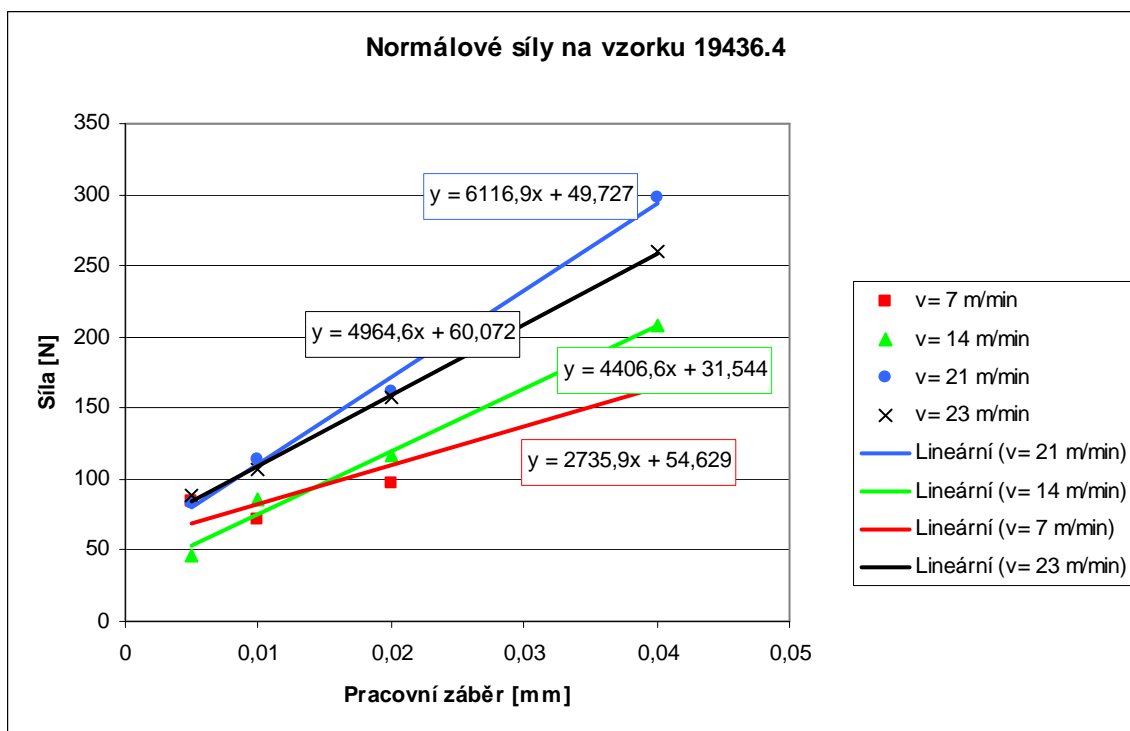
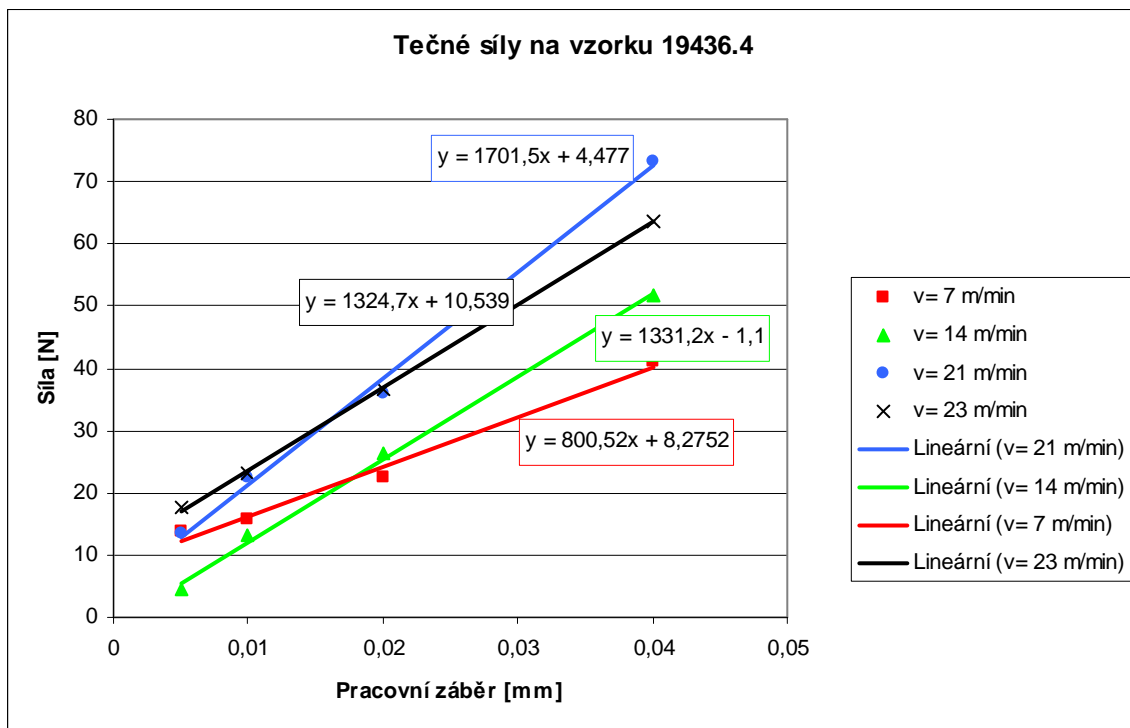


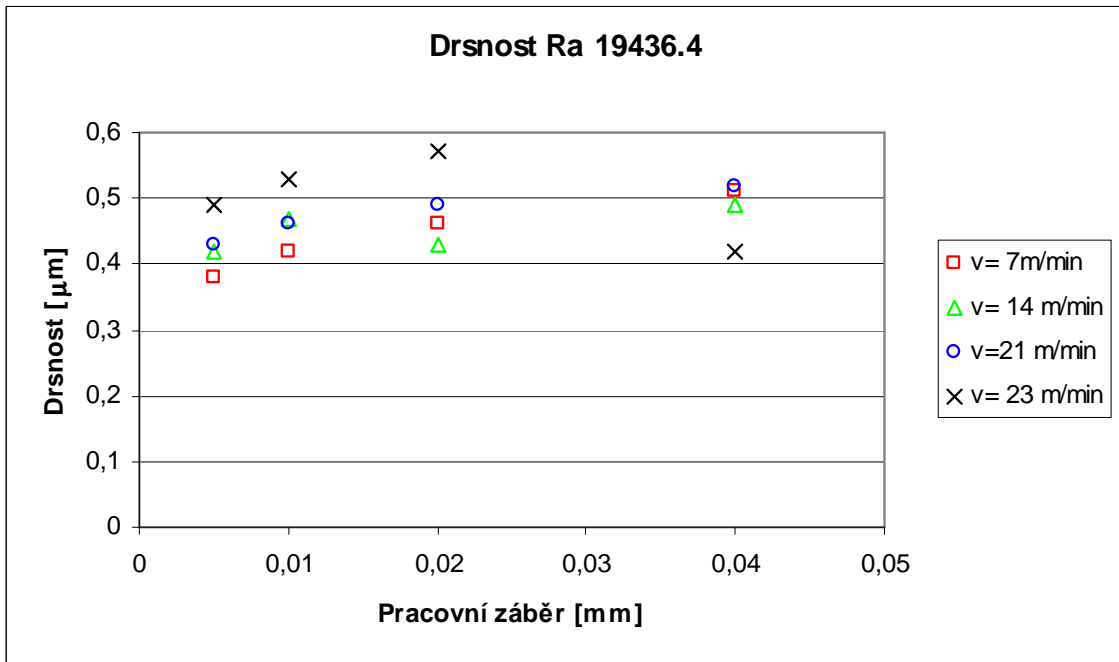
ČSN 14109.4



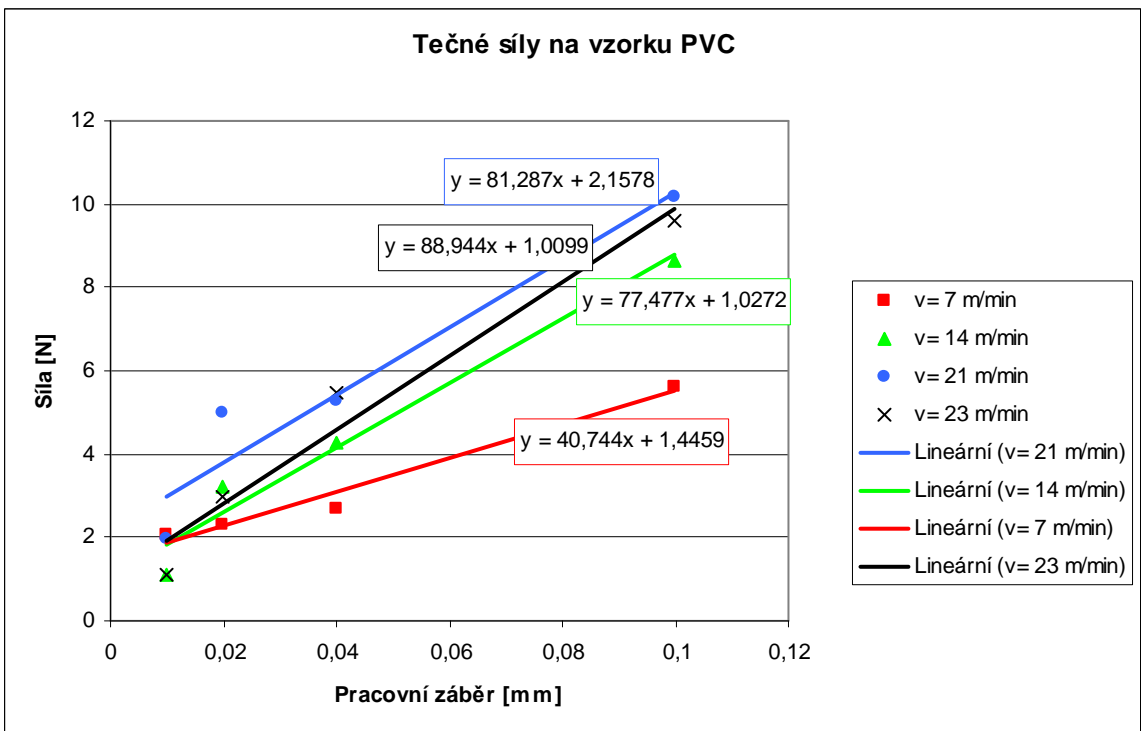


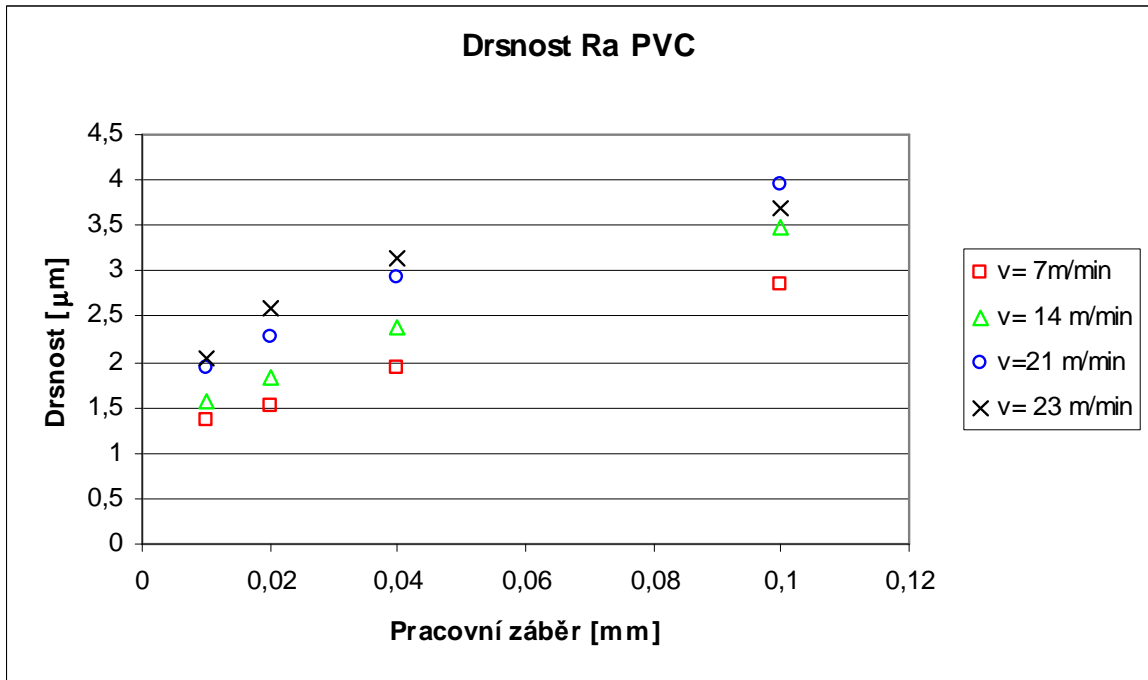
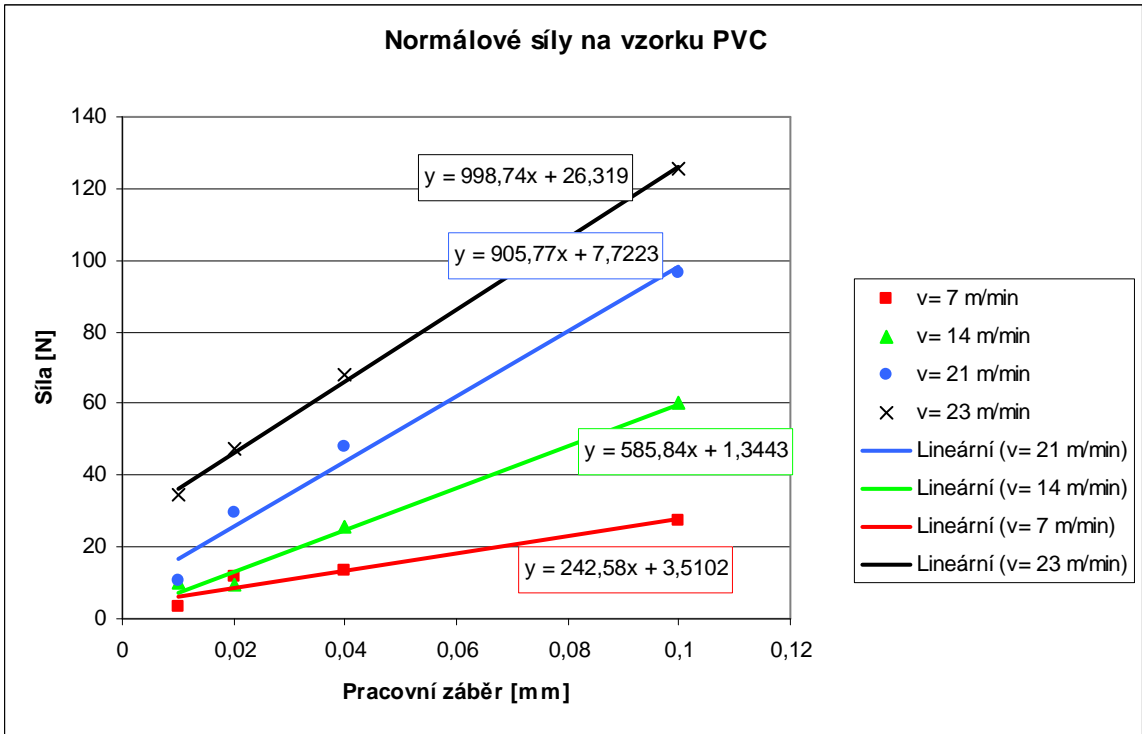
ČSN 19436.4



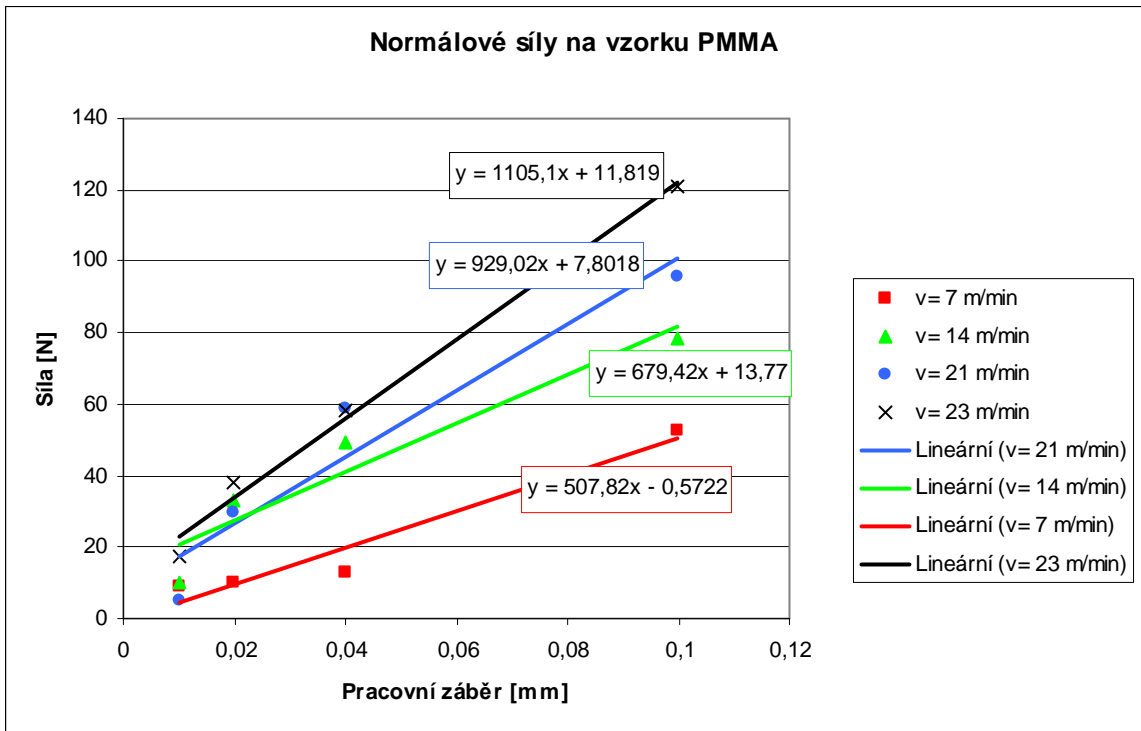
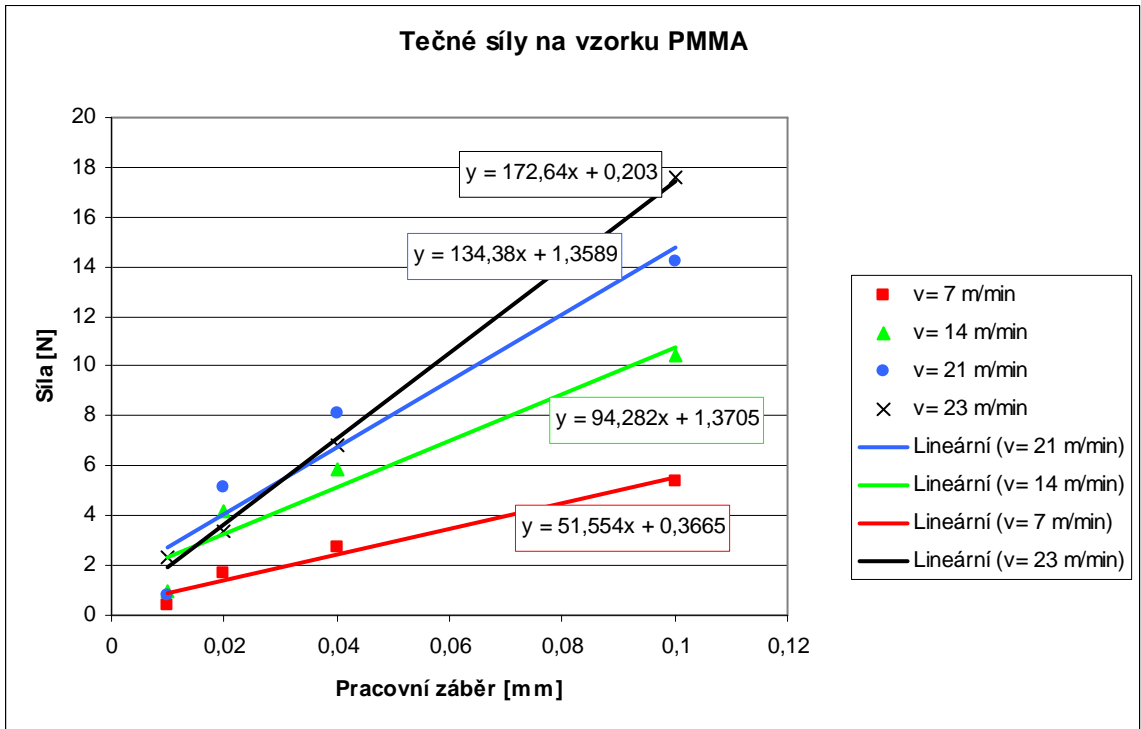


PVC

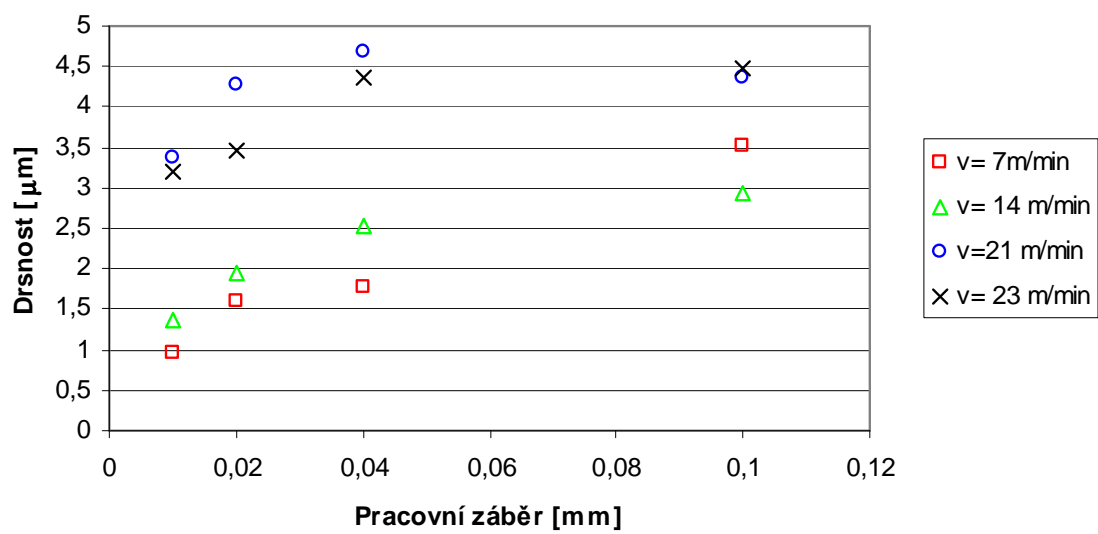




PMMA

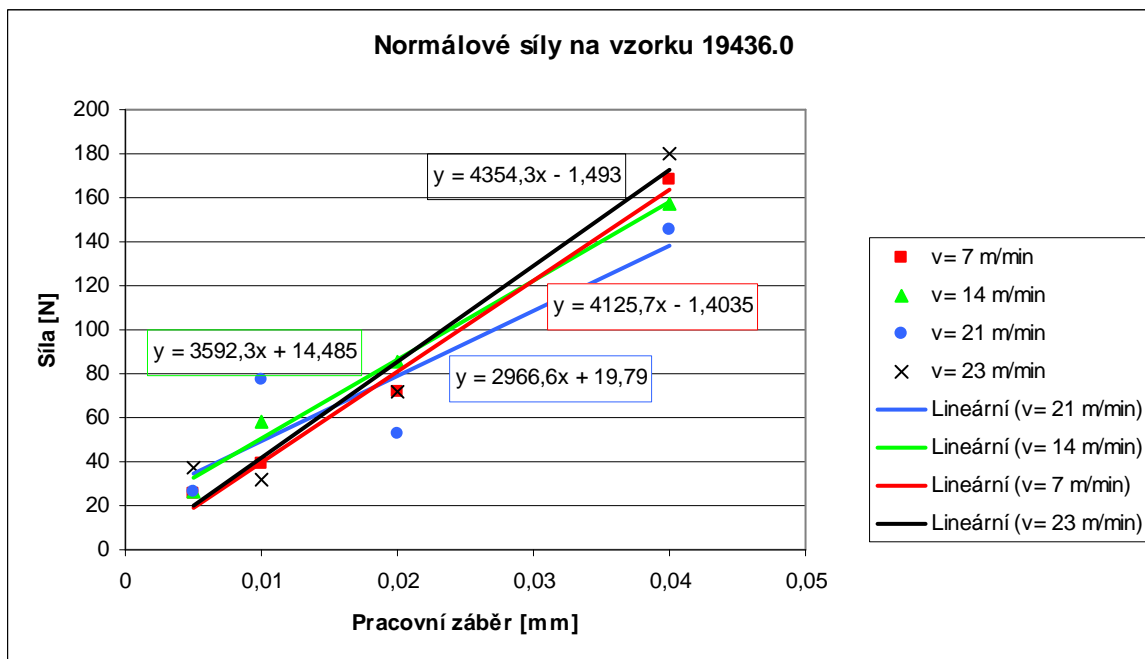
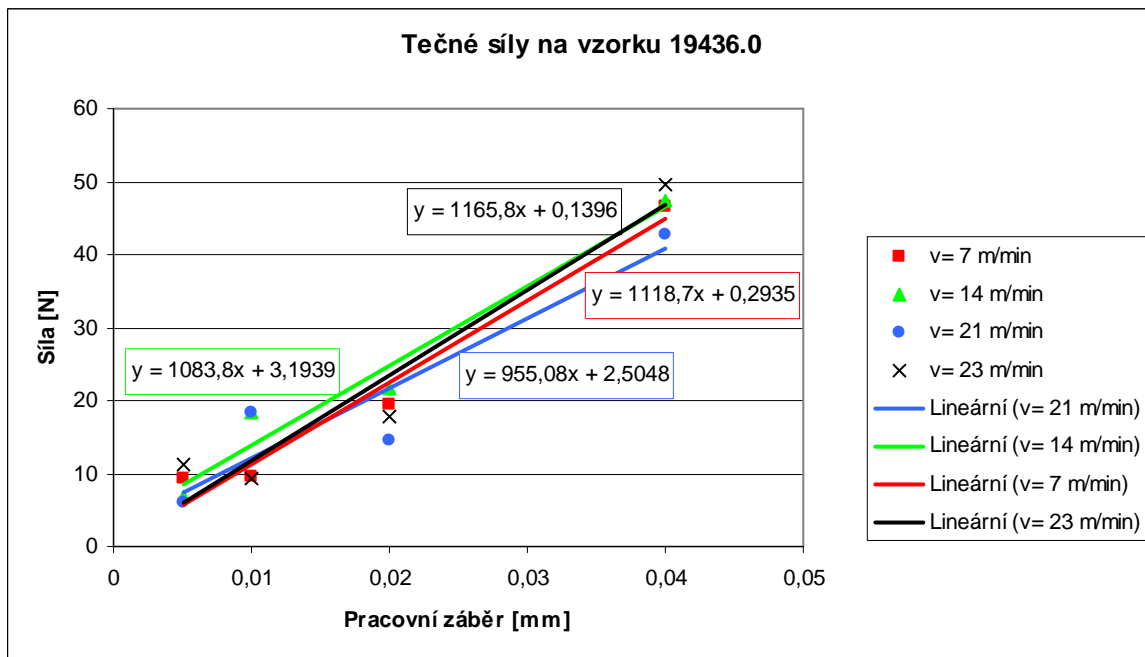


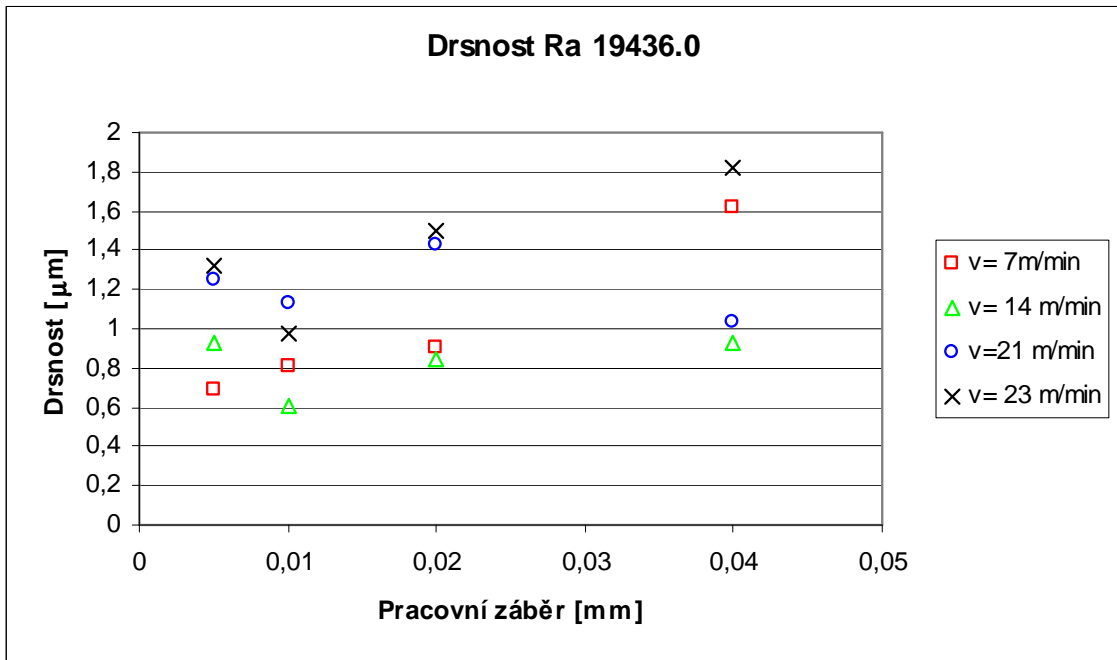
Drsnost Ra PMMA



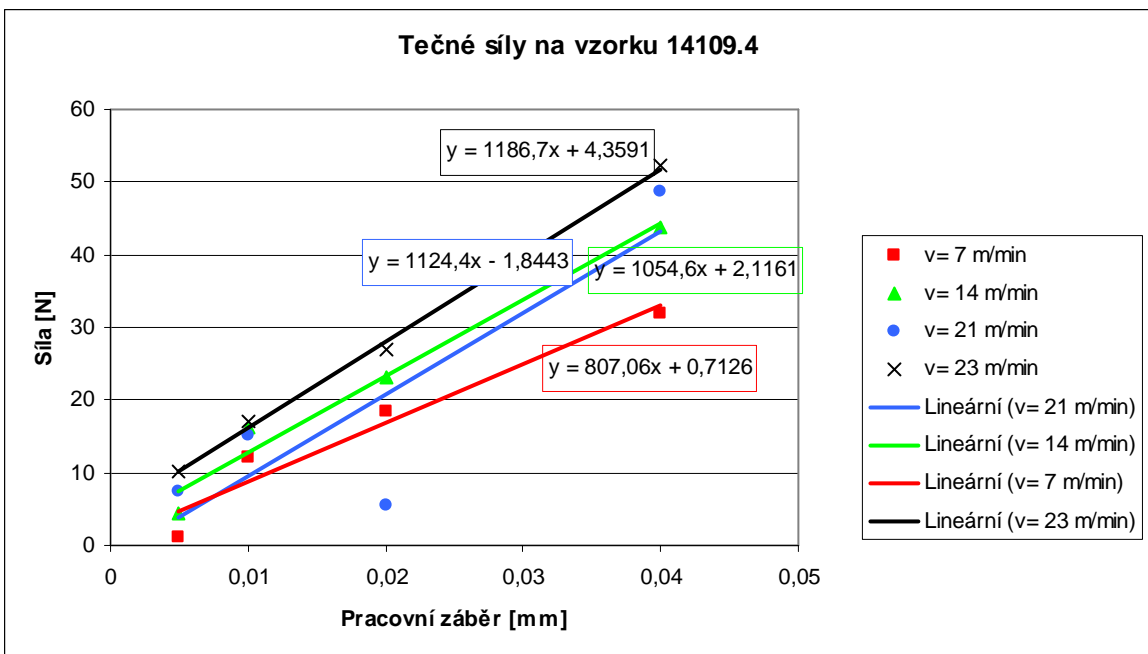
PŘÍLOHA P II: KOTOUČ AG 92/99 80I 12V

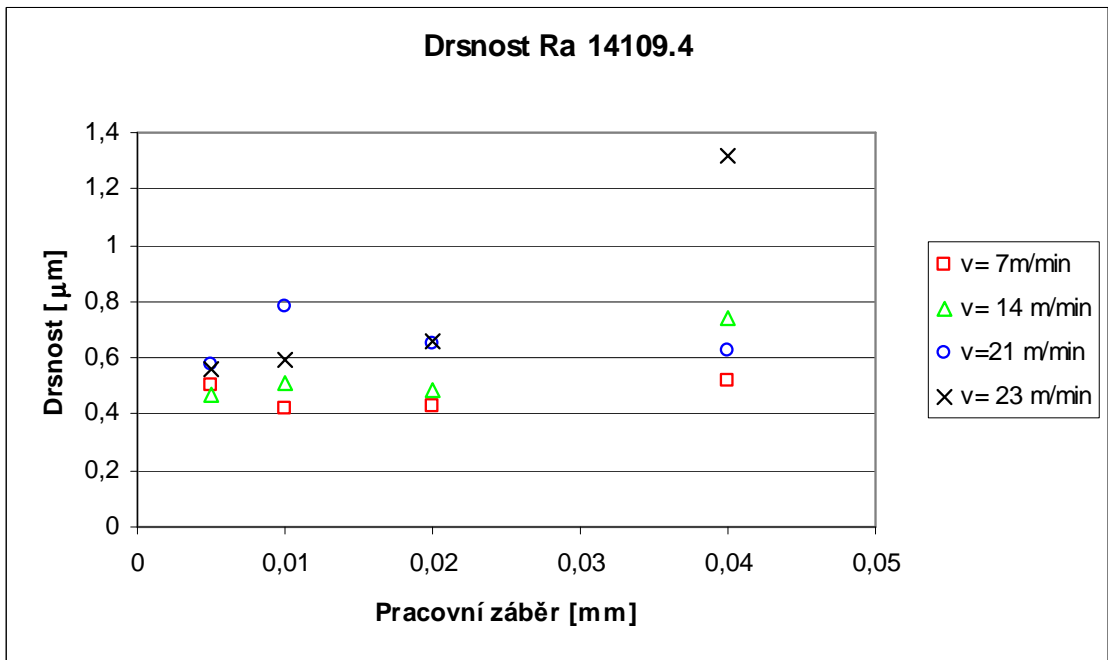
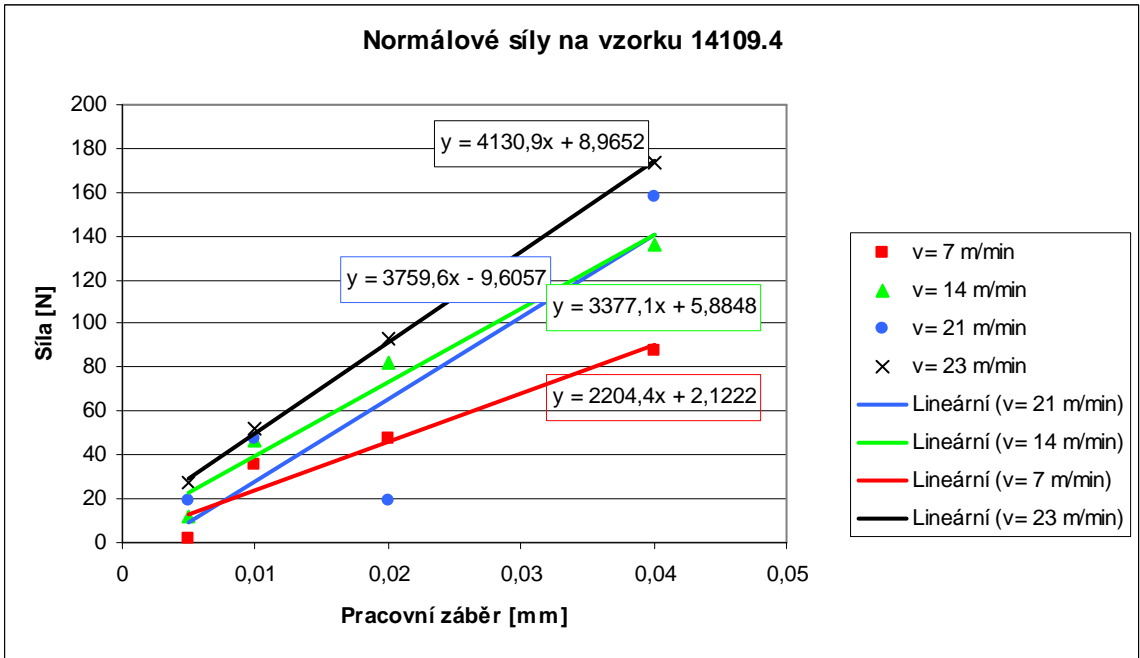
ČSN 19436.0



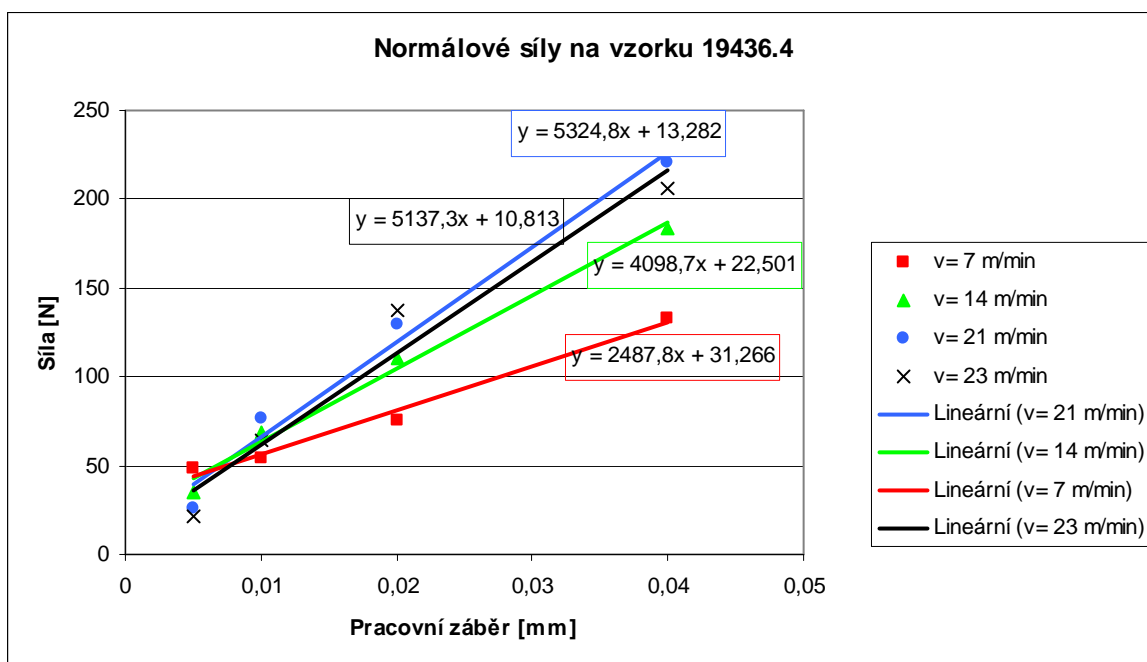
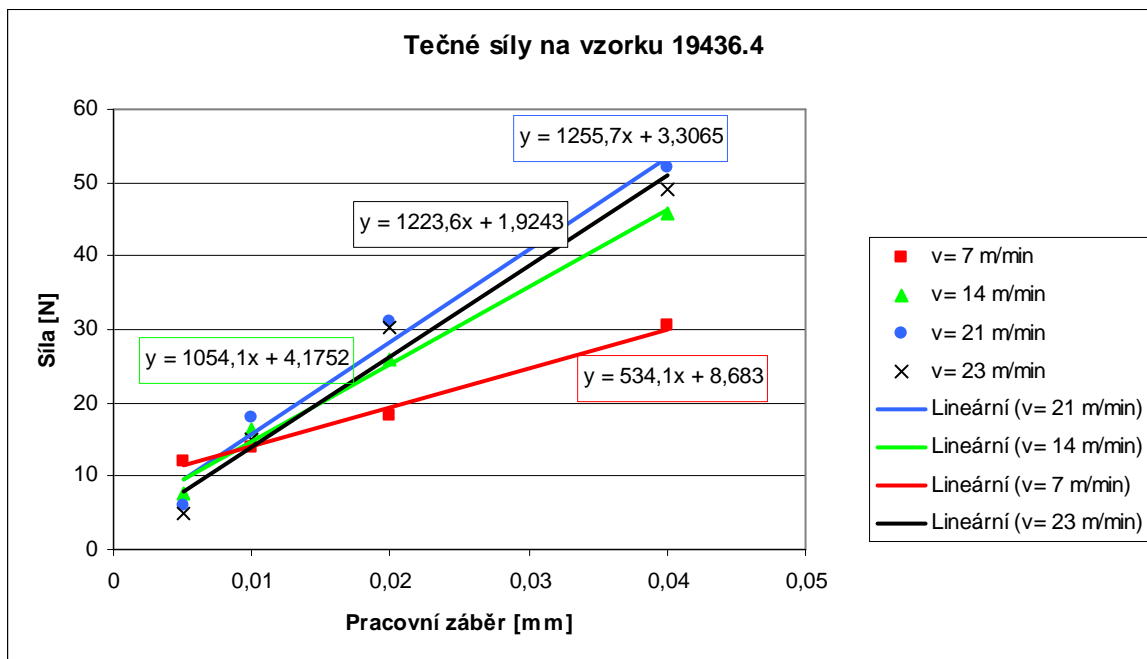


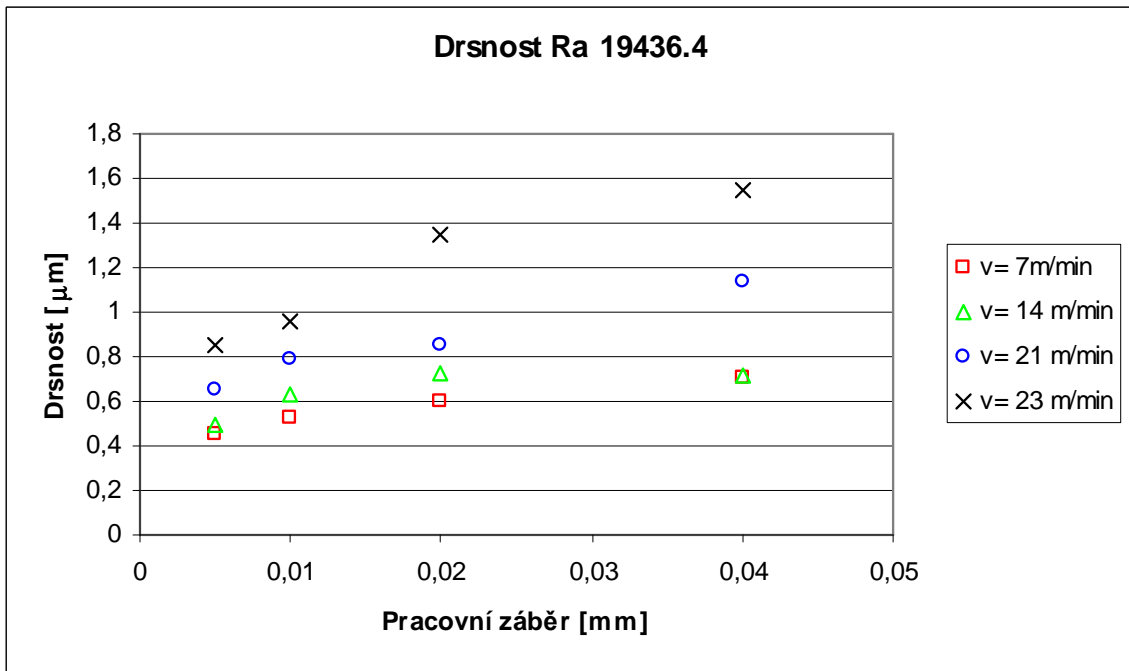
ČSN 14109.4



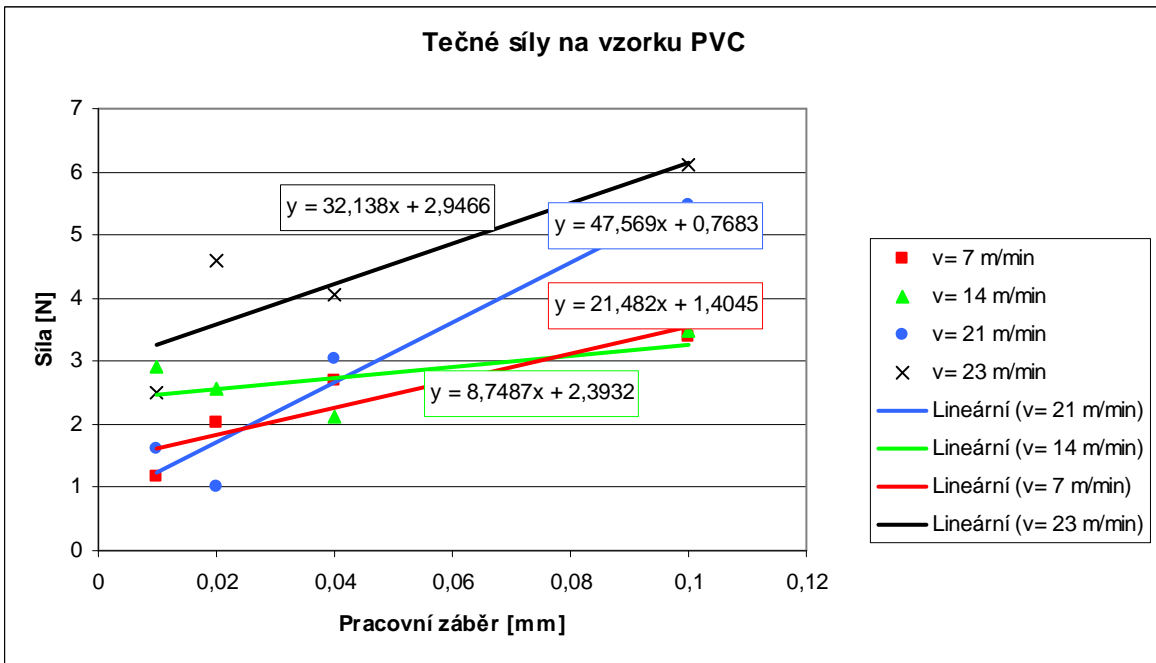


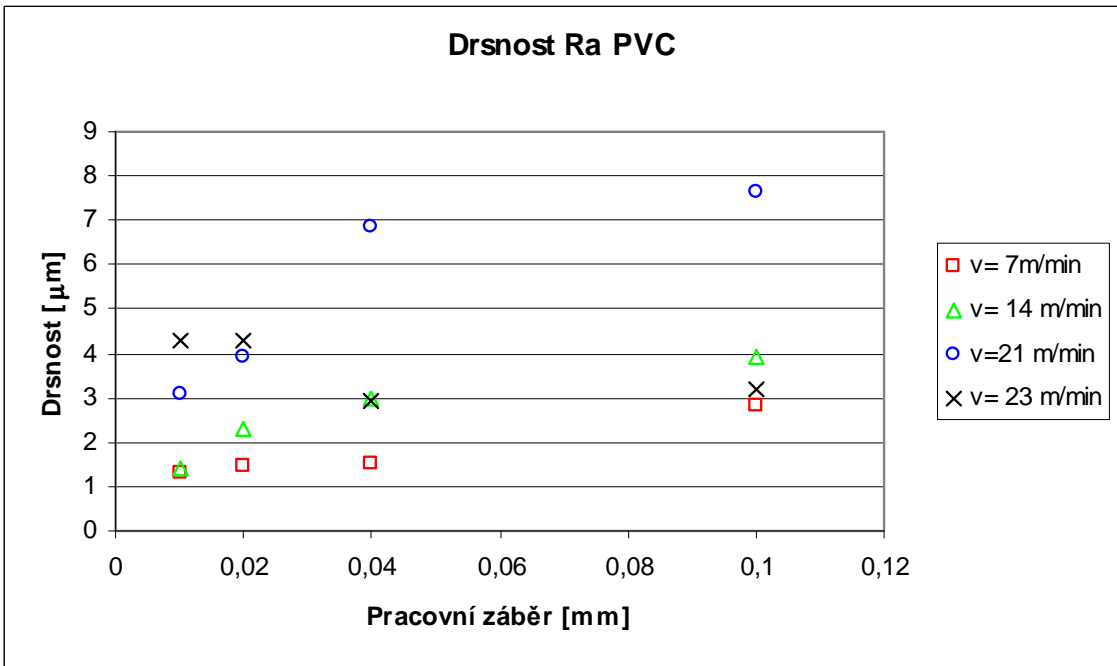
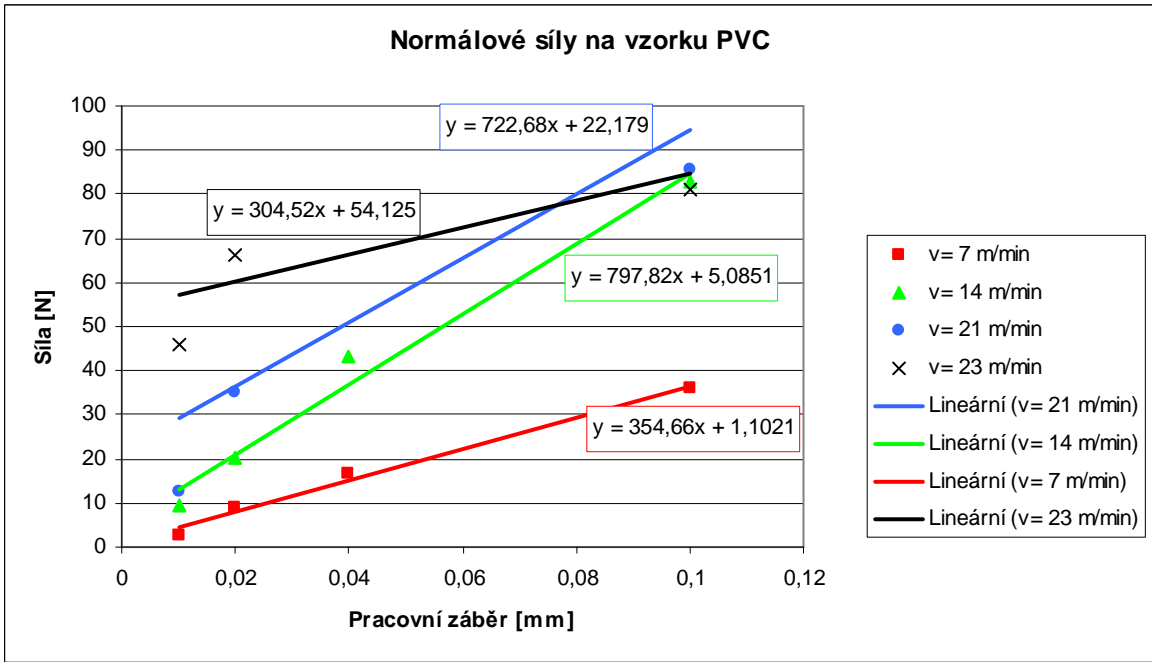
ČSN 19436.4



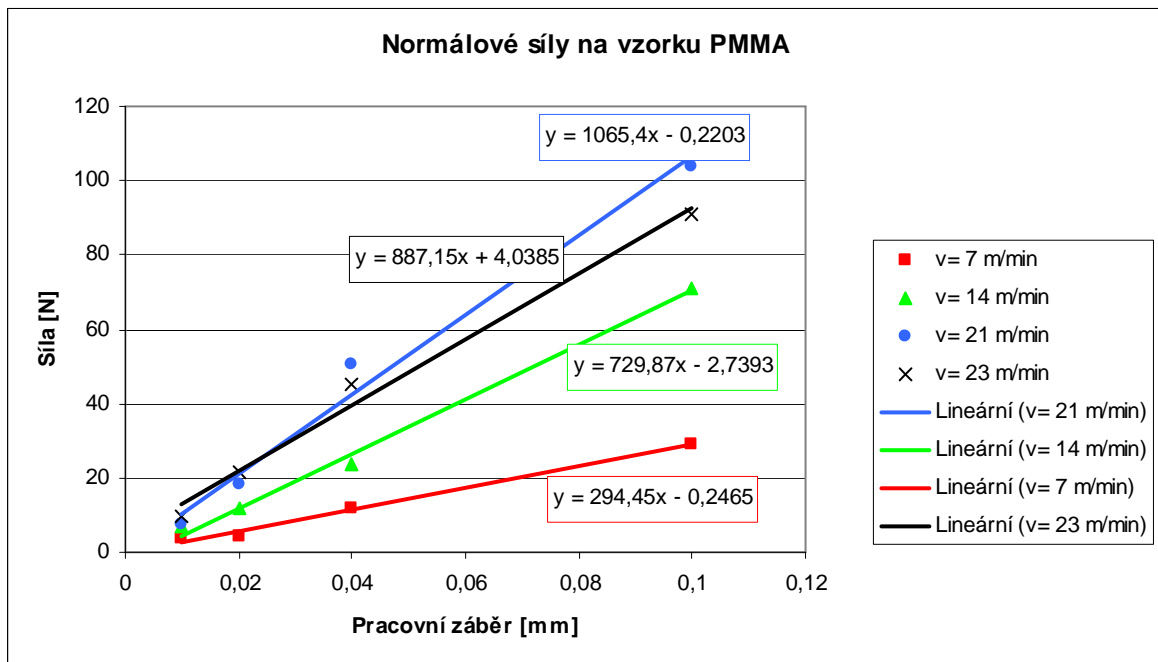
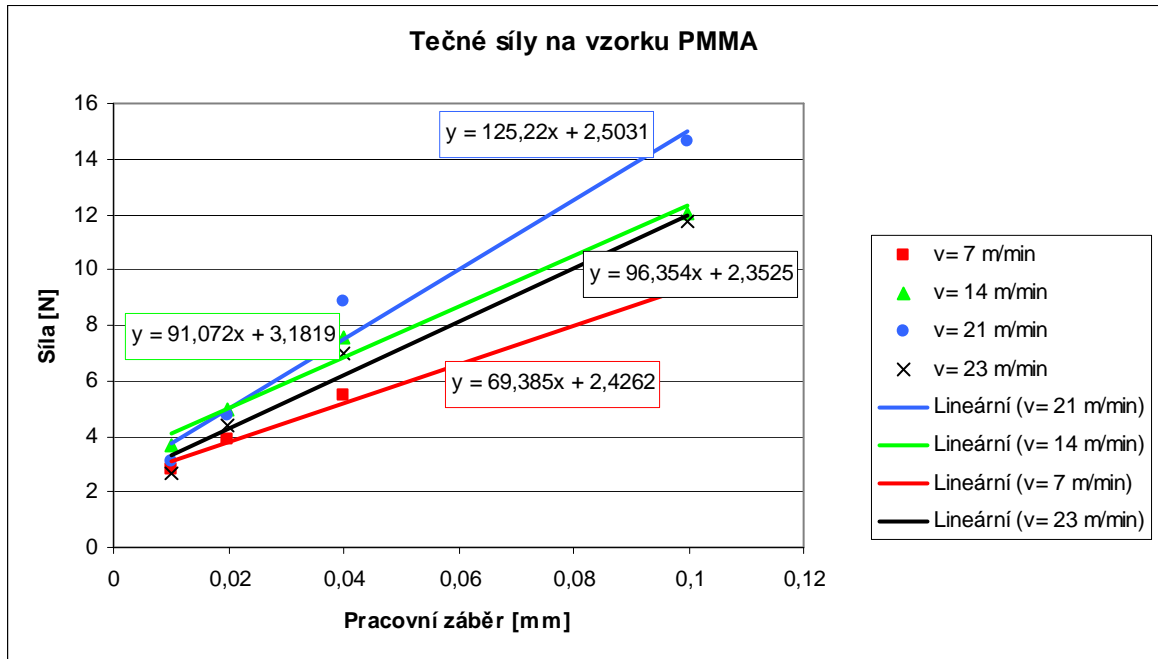


PVC

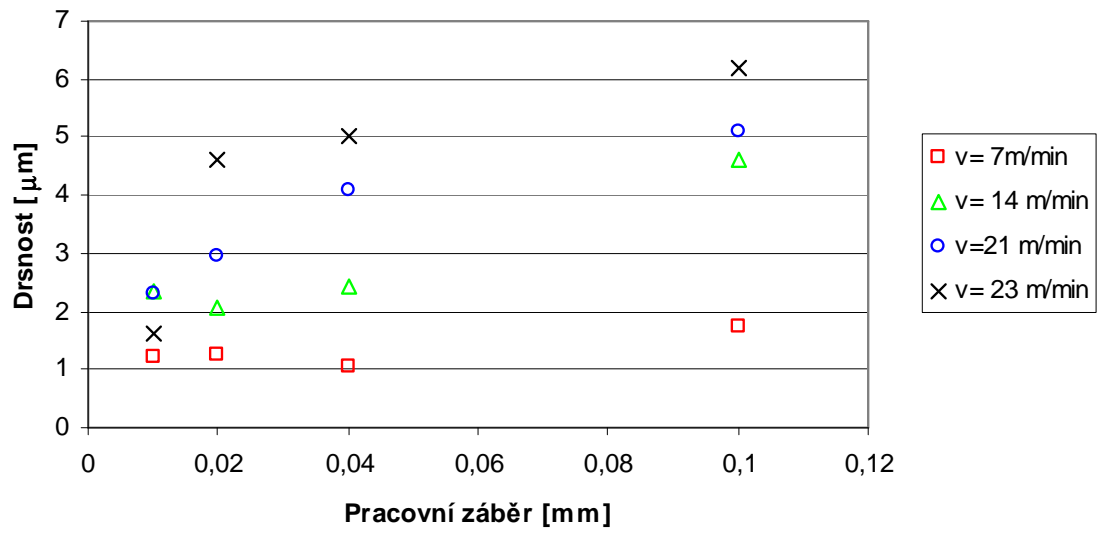




PMMA

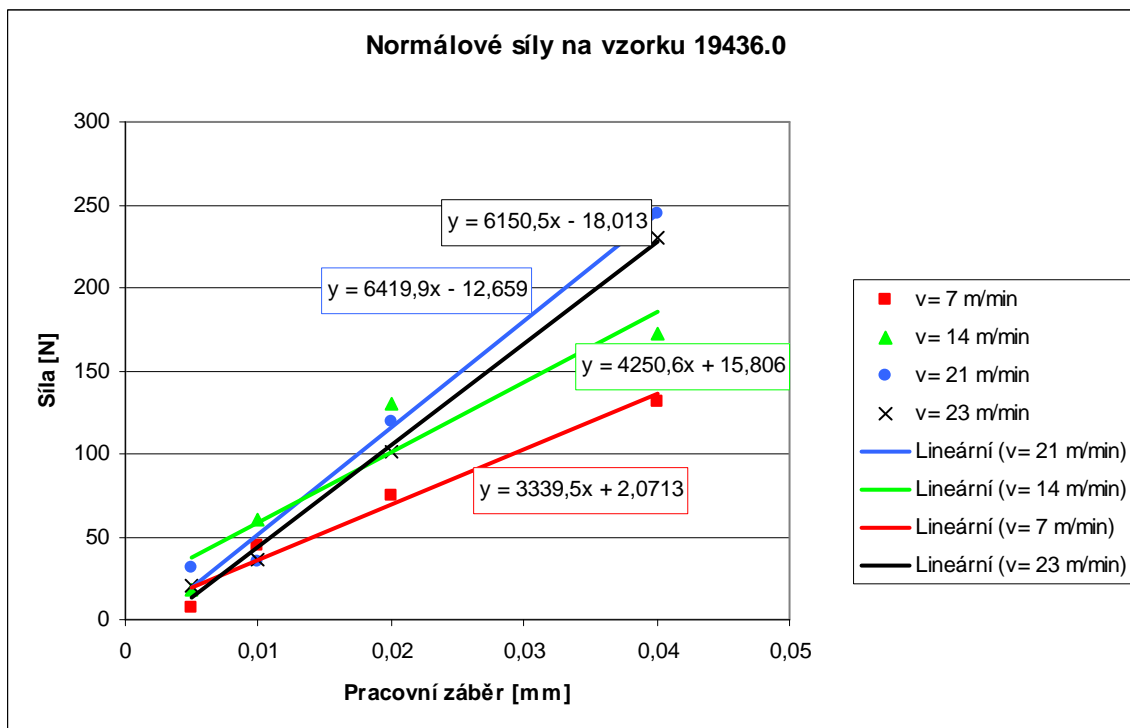
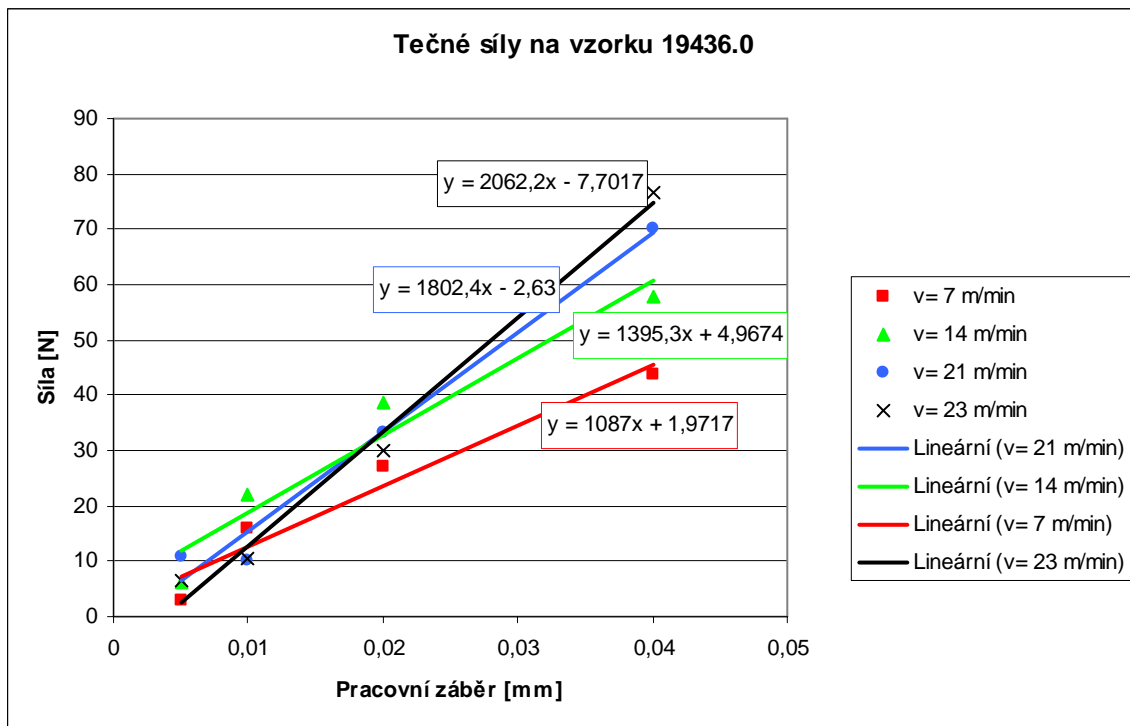


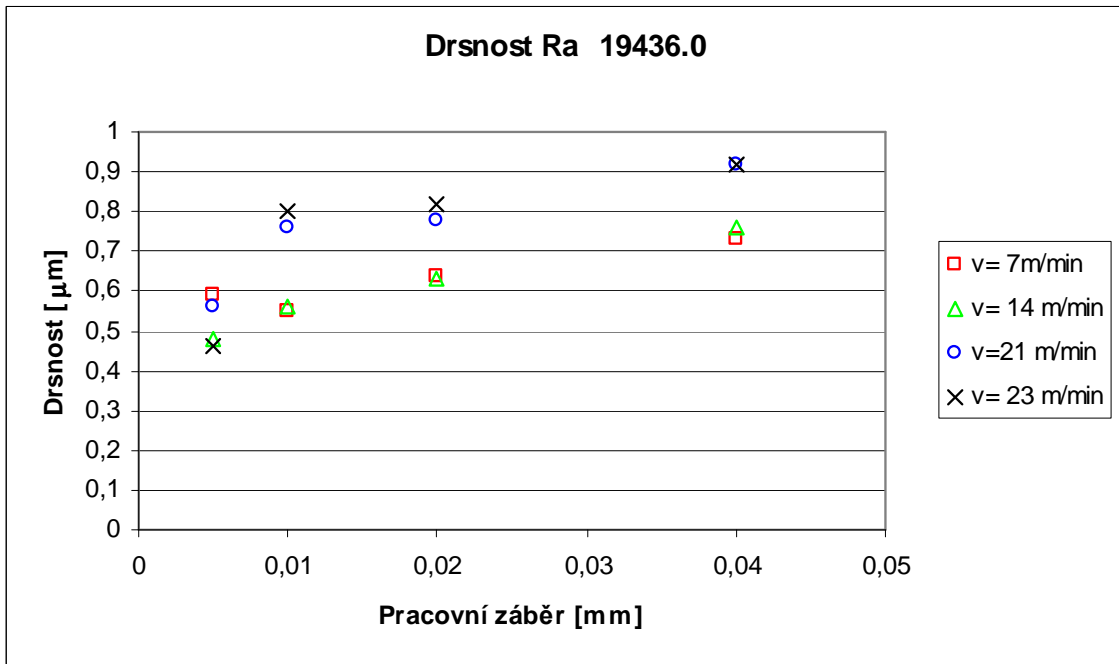
Drsnost Ra PMMA



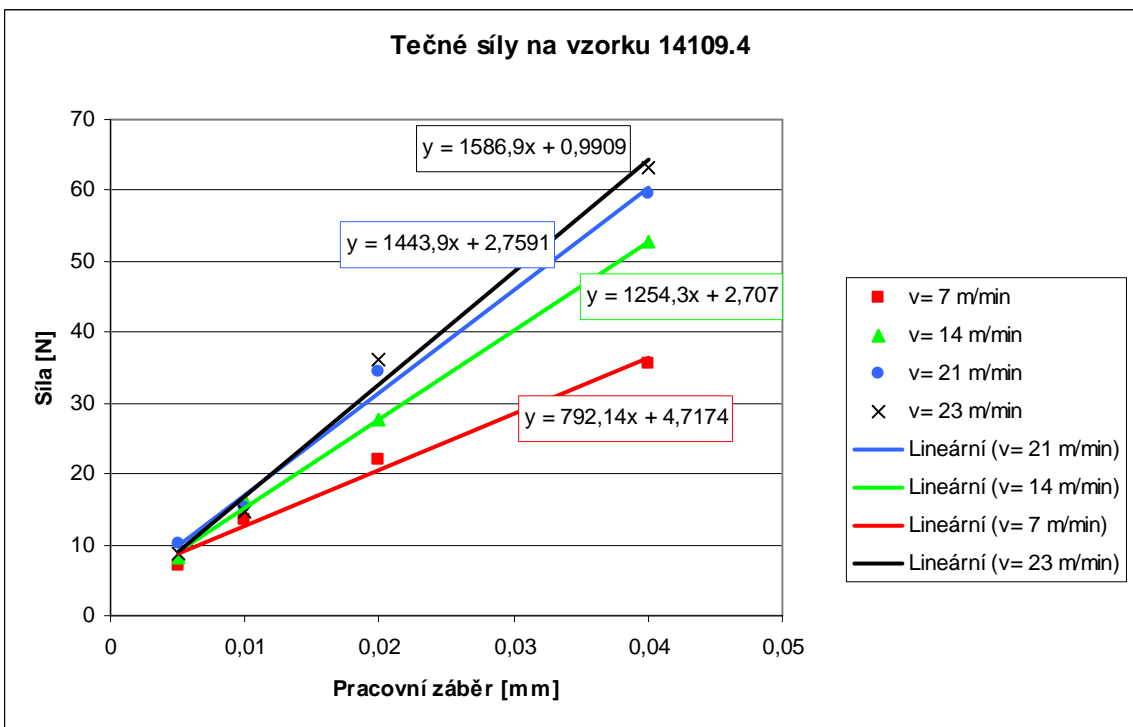
PŘÍLOHA P III: KOTOUČ A99 80I 8V

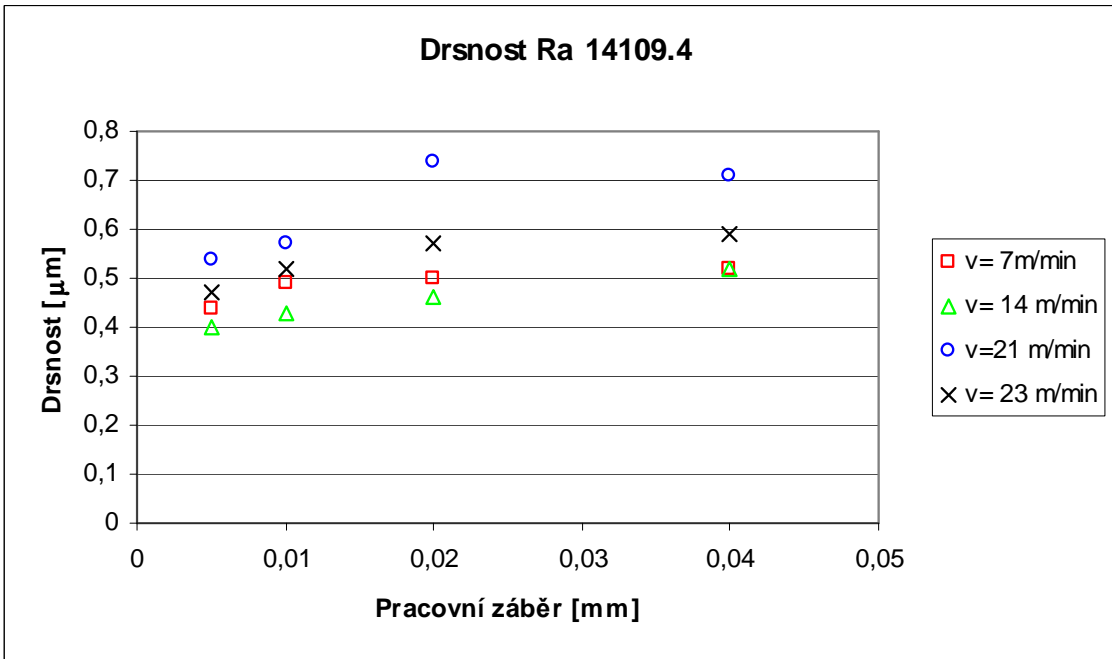
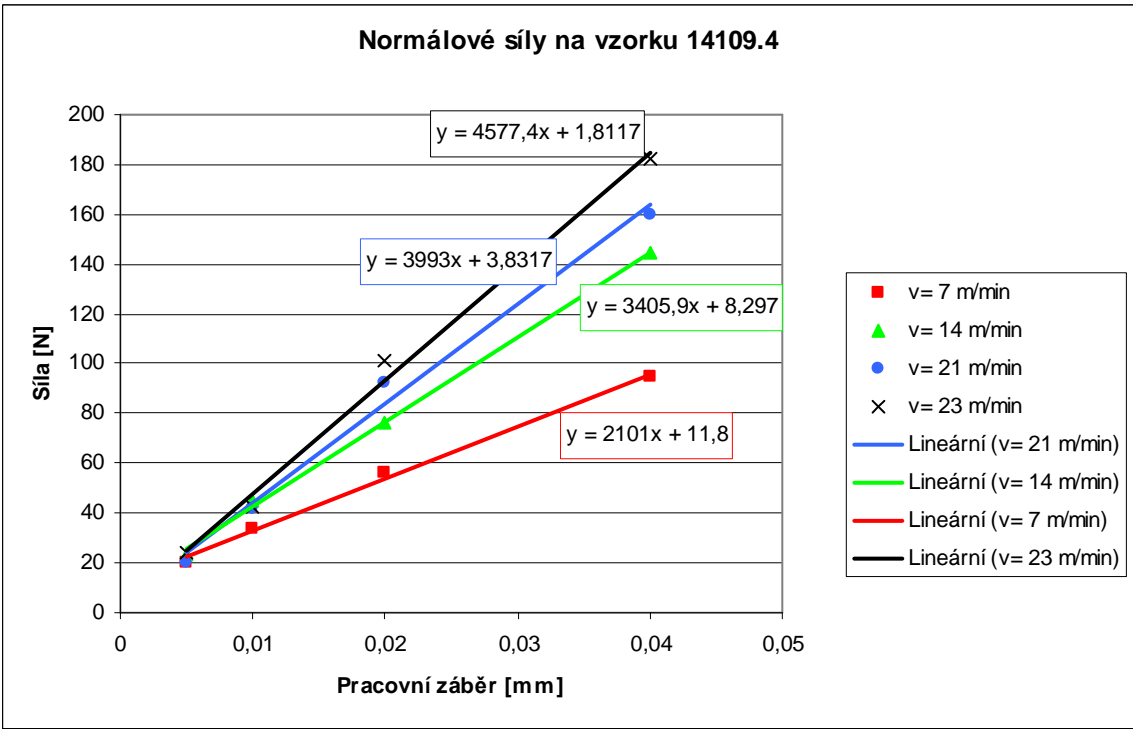
ČSN 19436.0



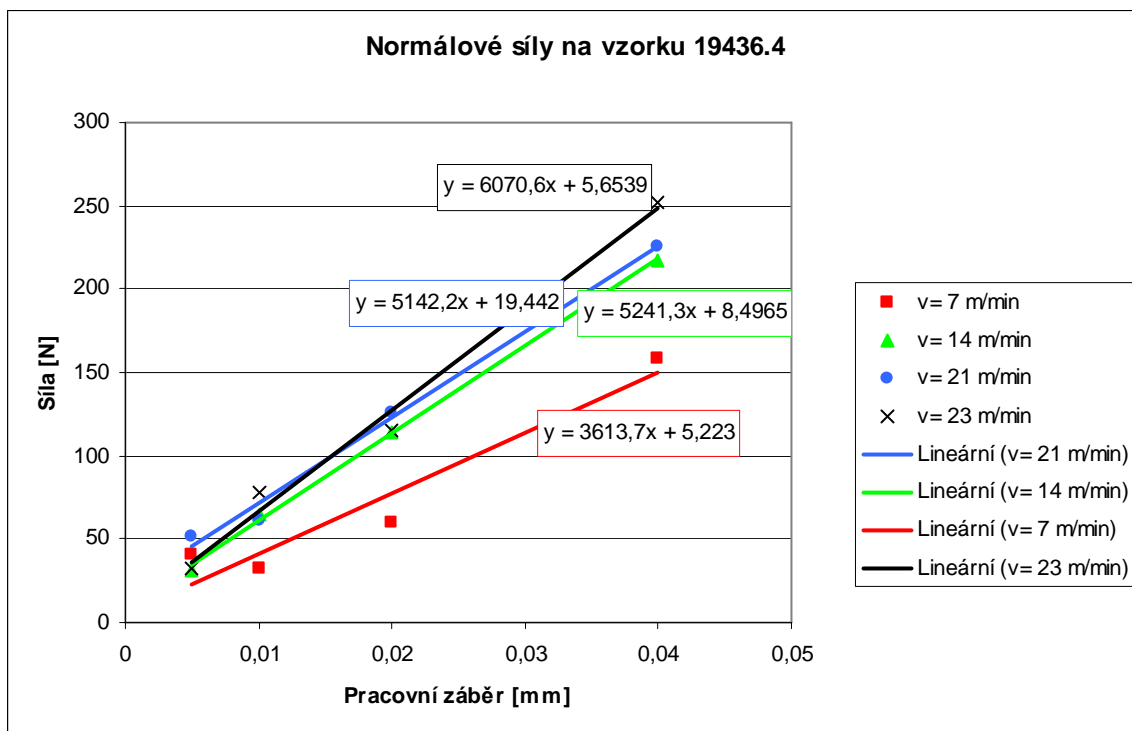
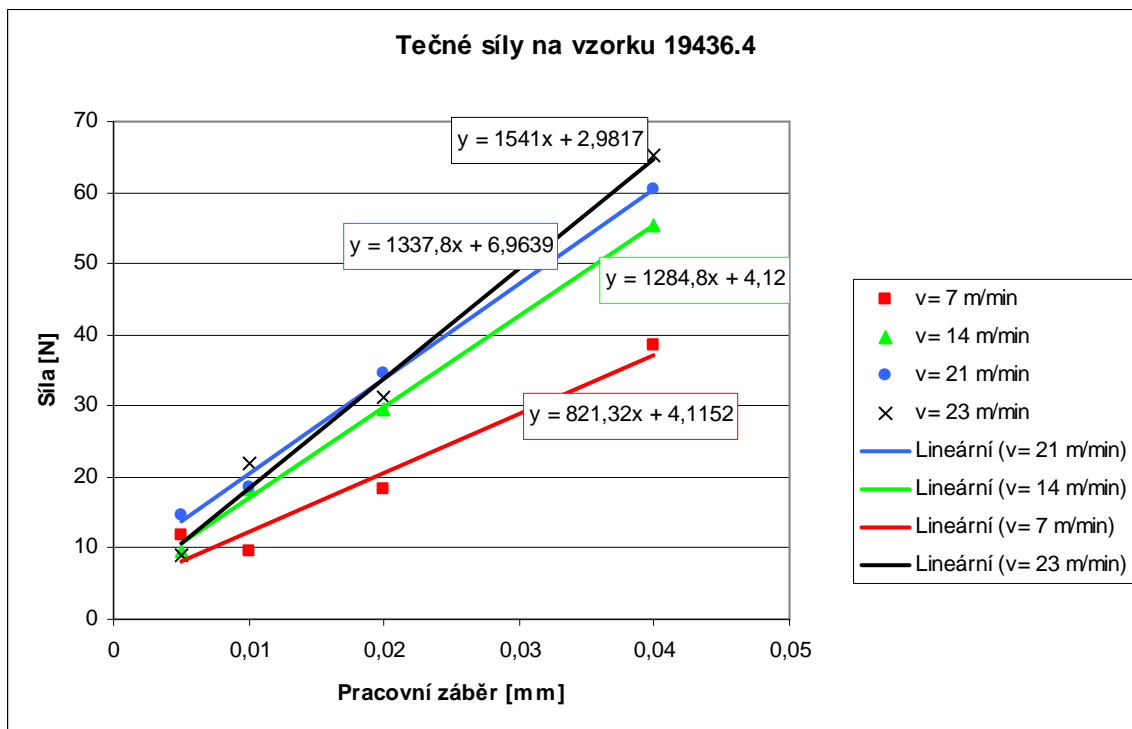


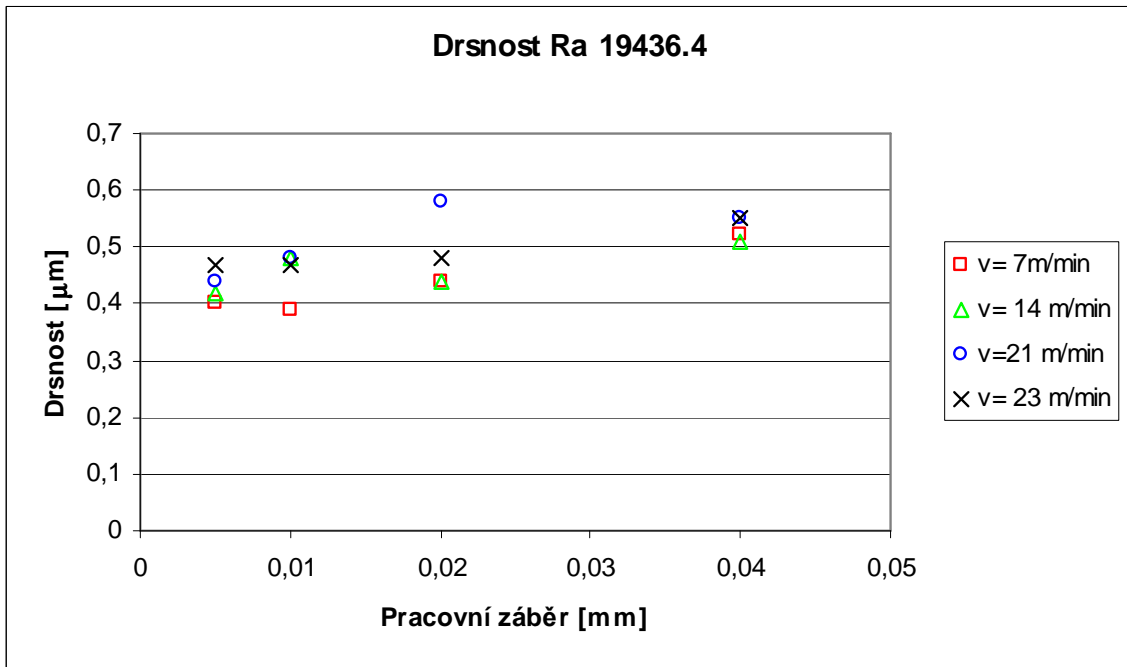
ČSN 14109.4



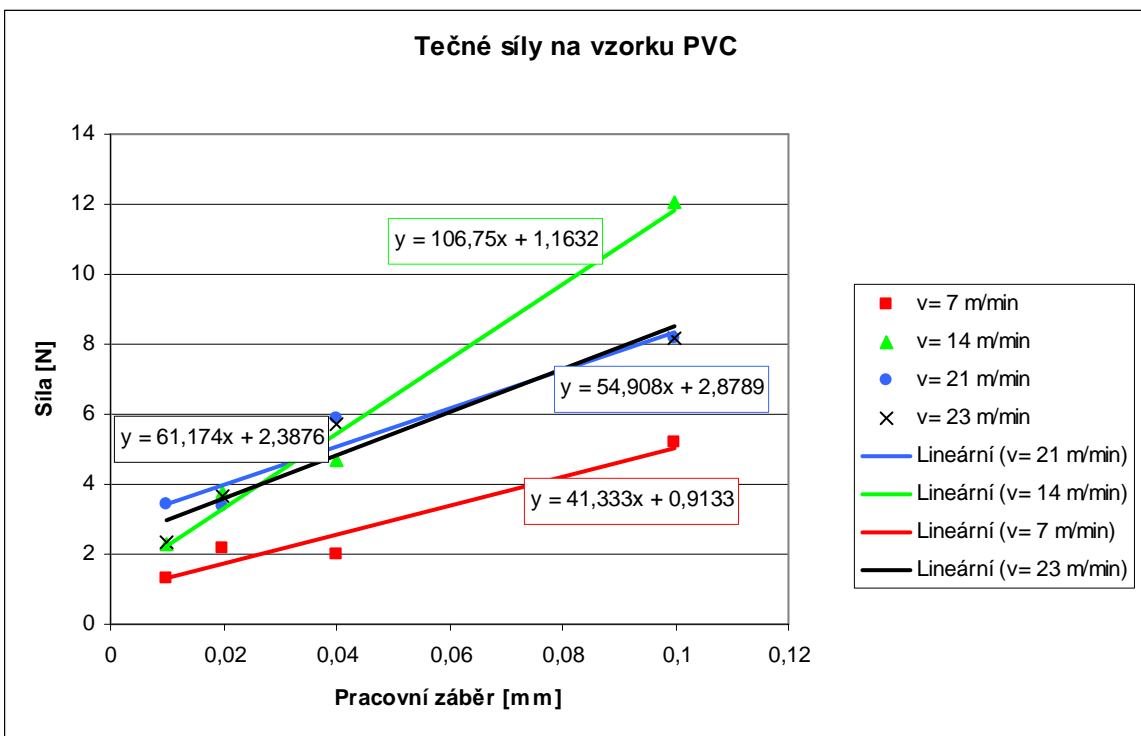


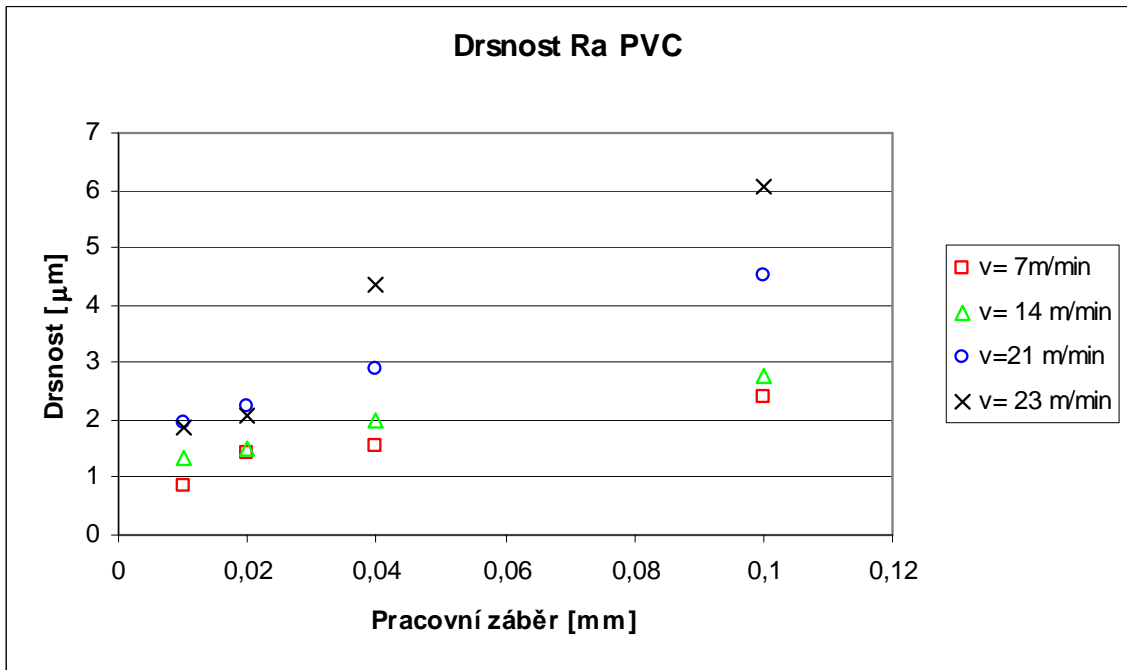
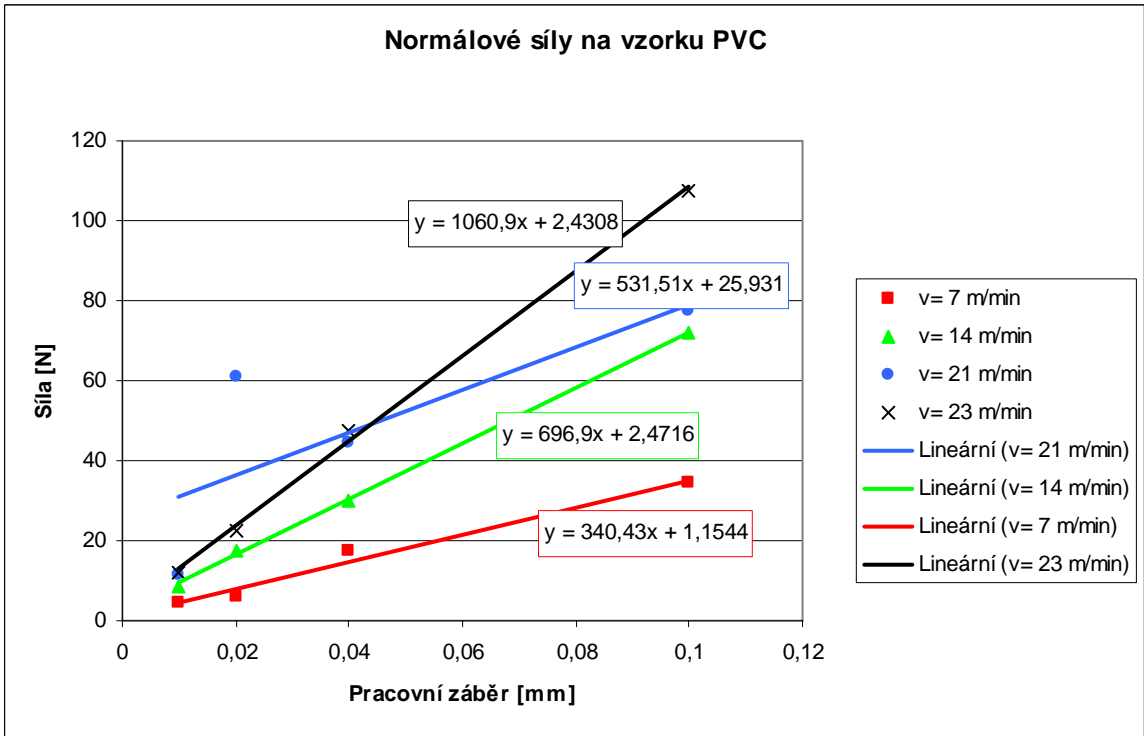
ČSN 19436.4



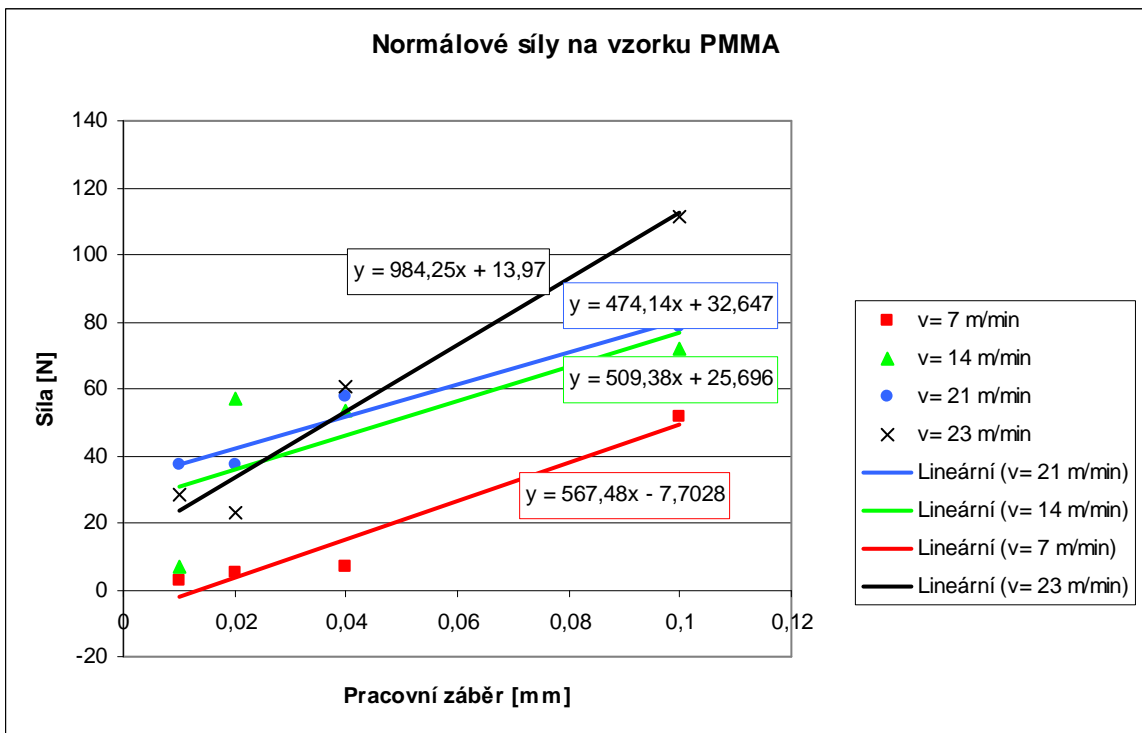
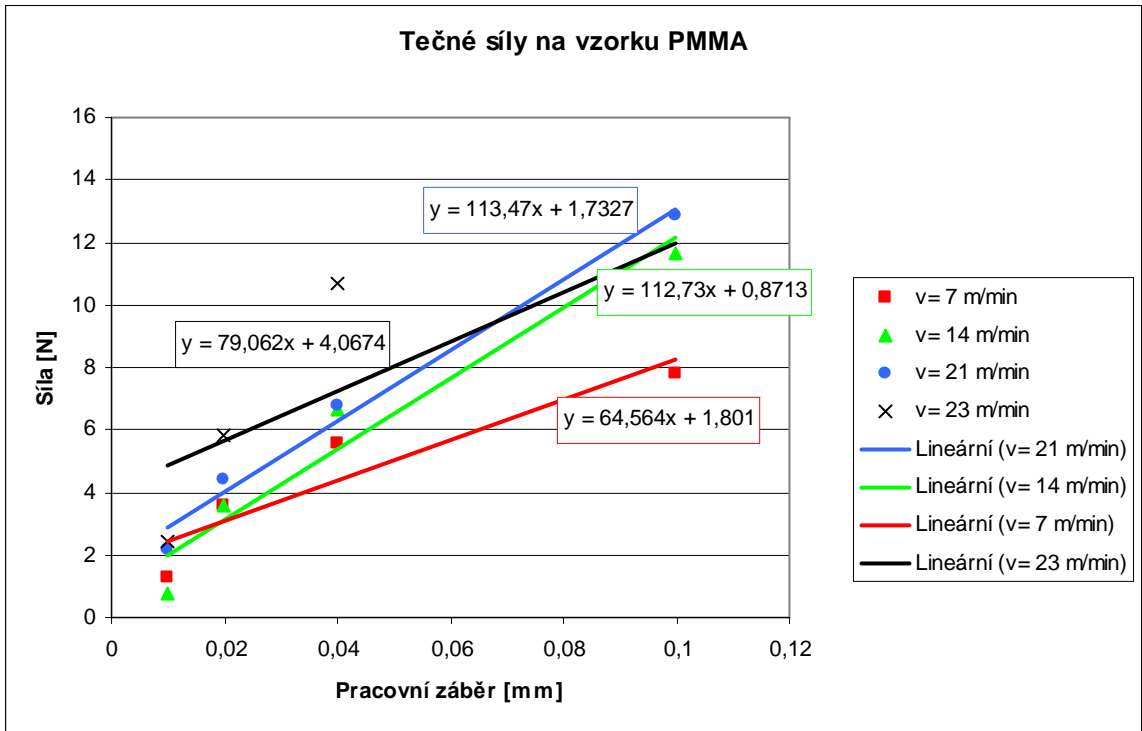


PVC

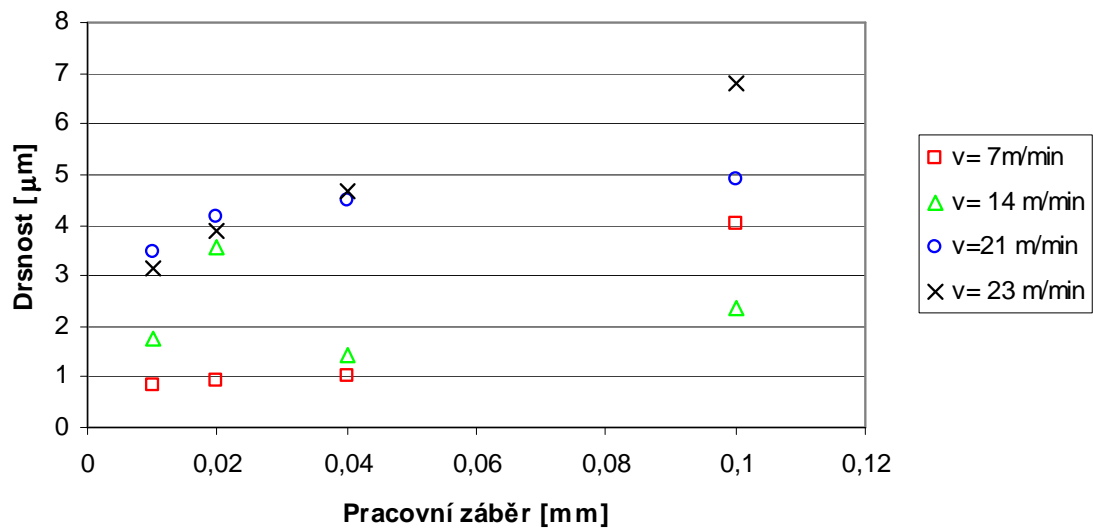




PMMA

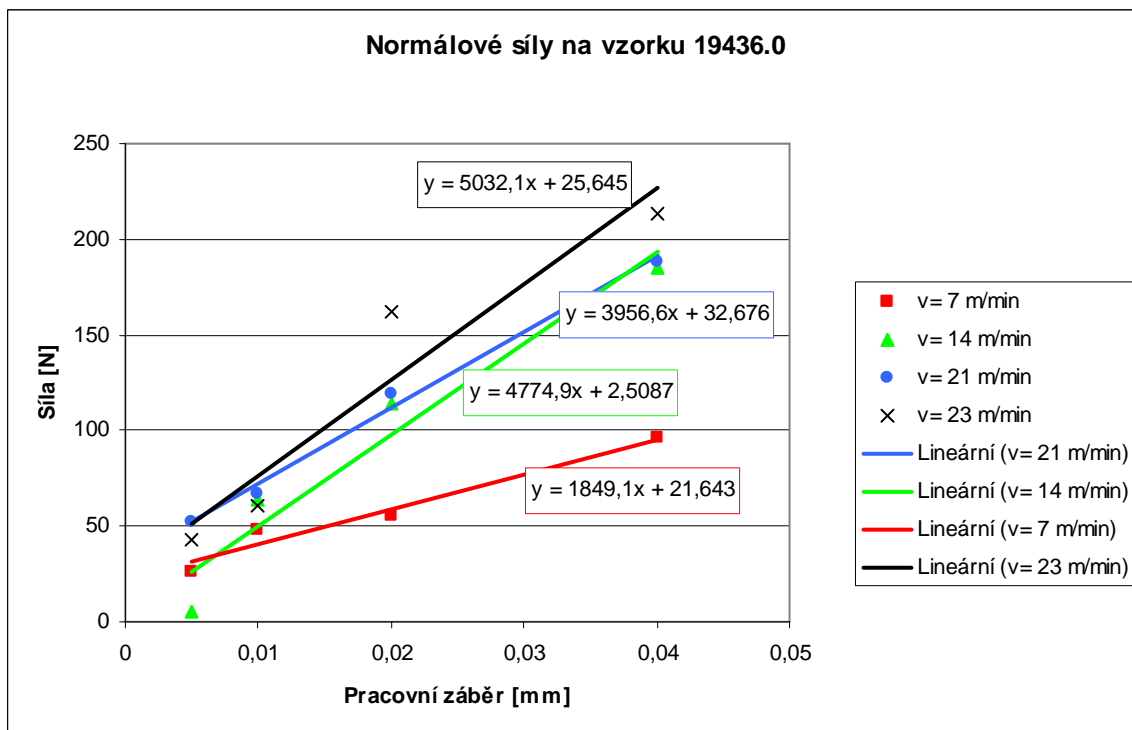
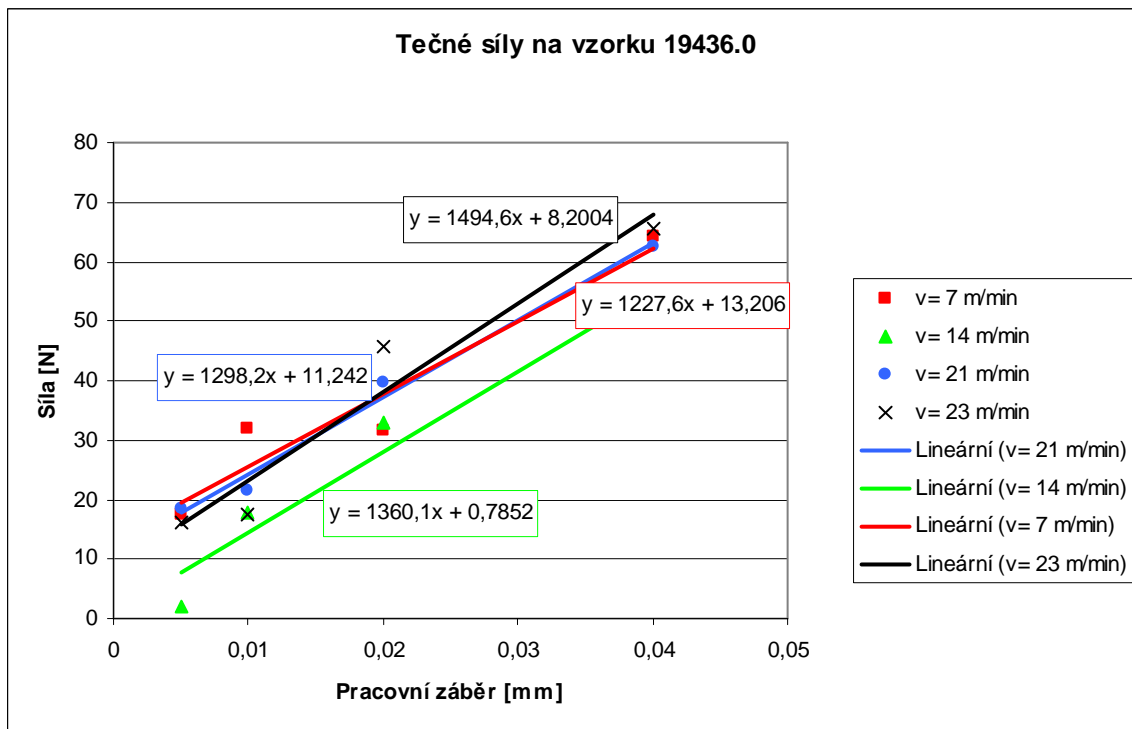


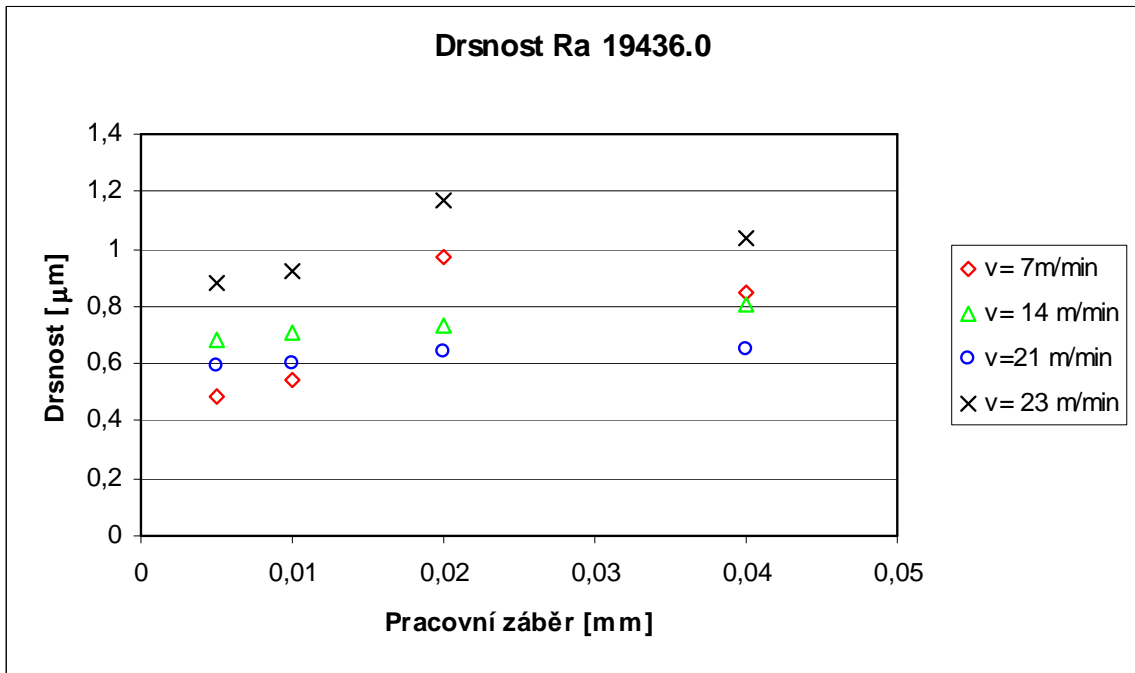
Drsnost Ra PMMA



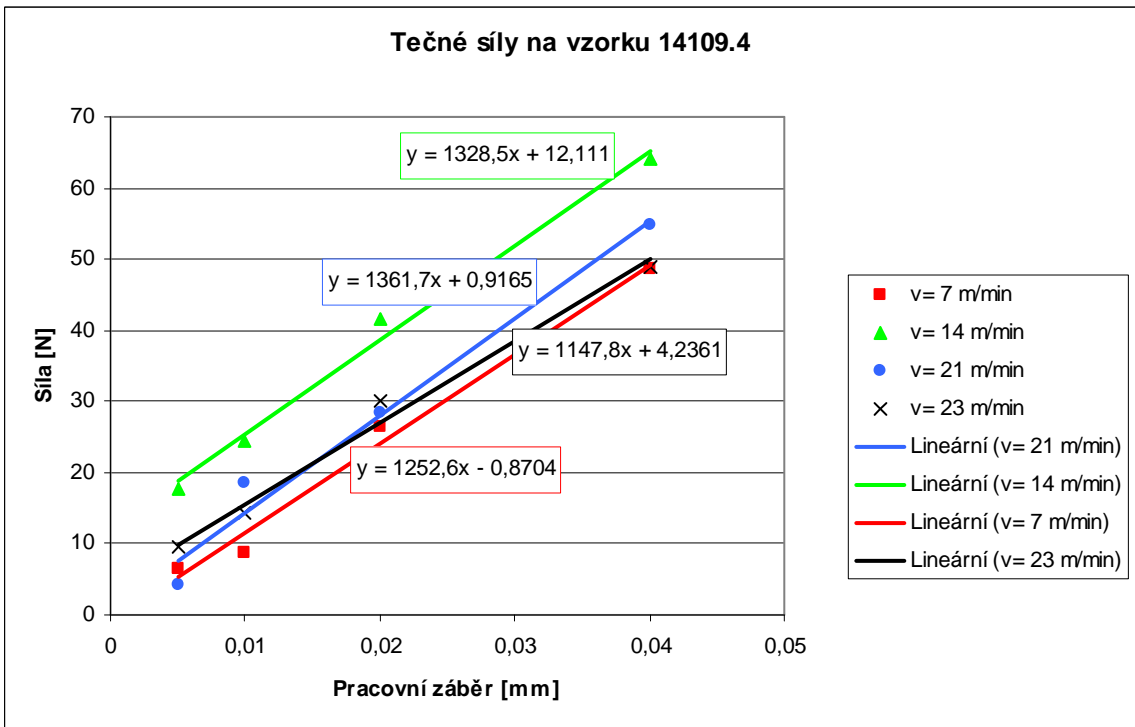
PŘÍLOHA P IV: KOTOUČ A99 80I 12V

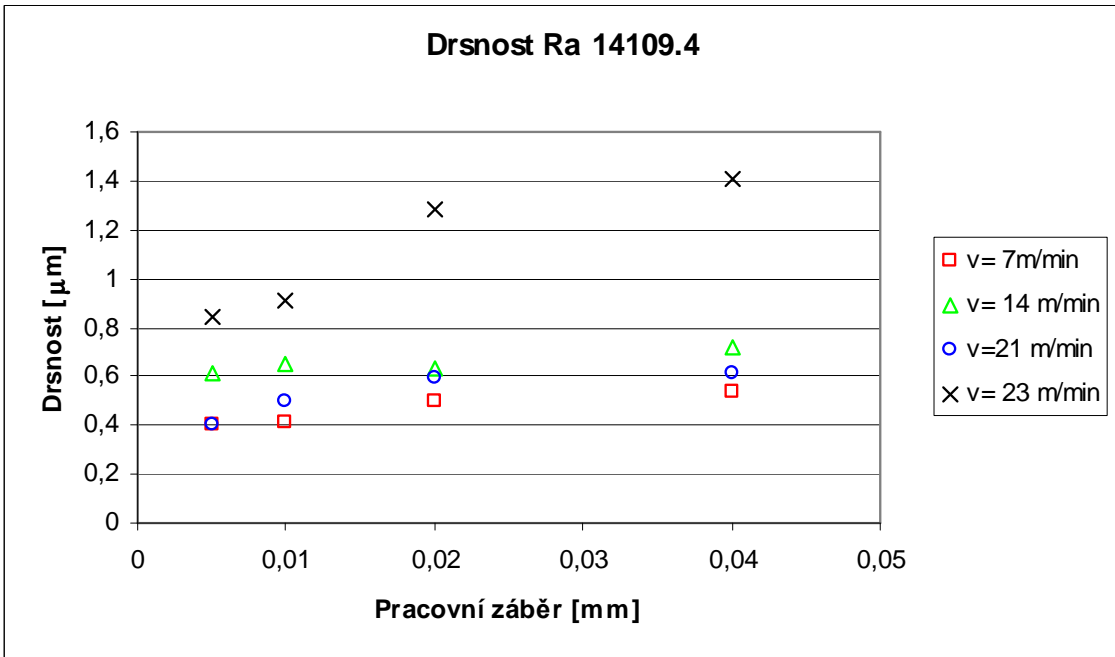
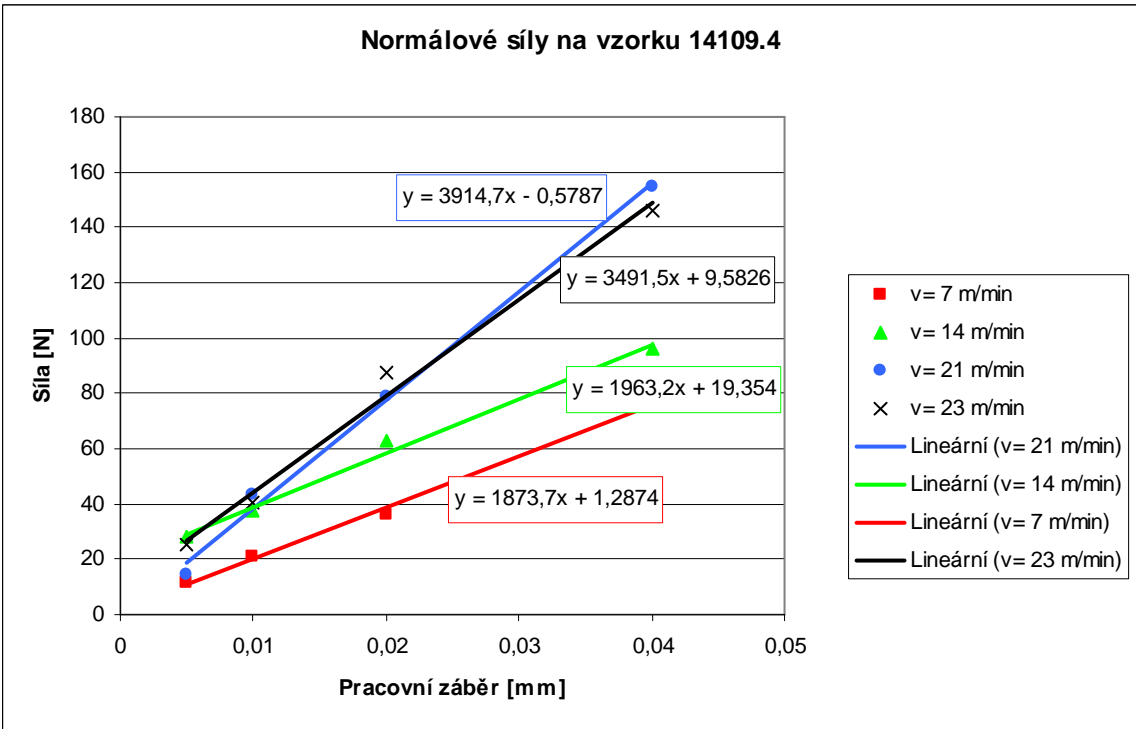
ČSN 19436.0



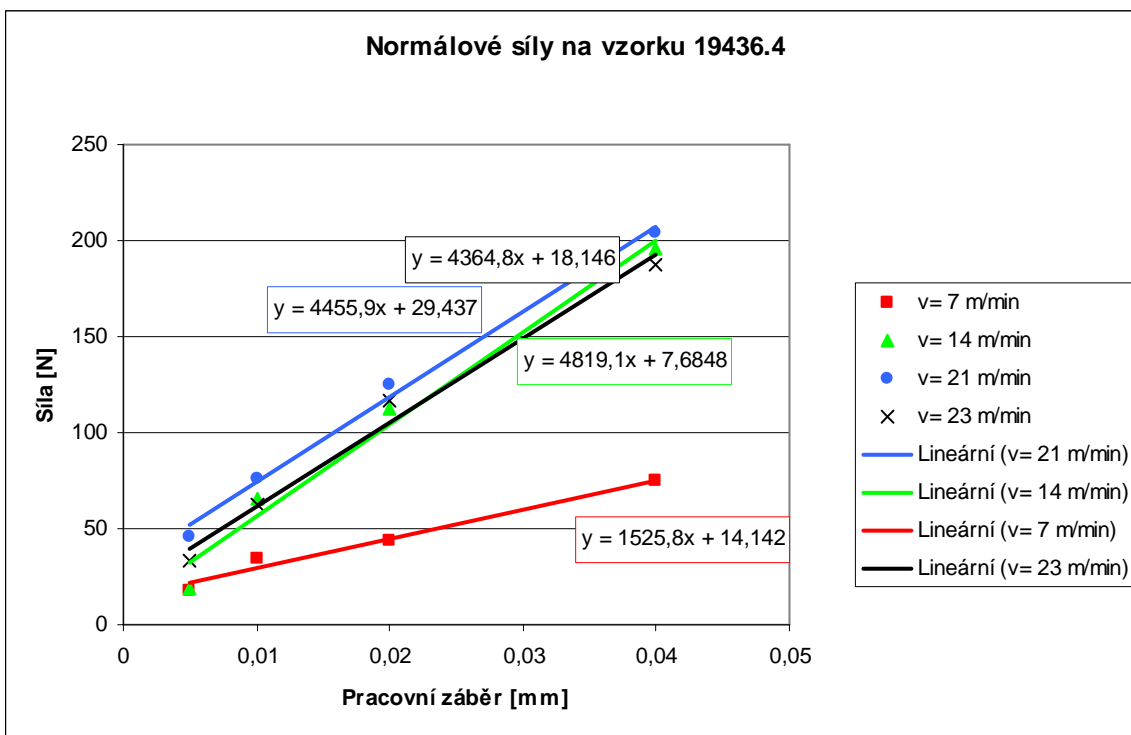
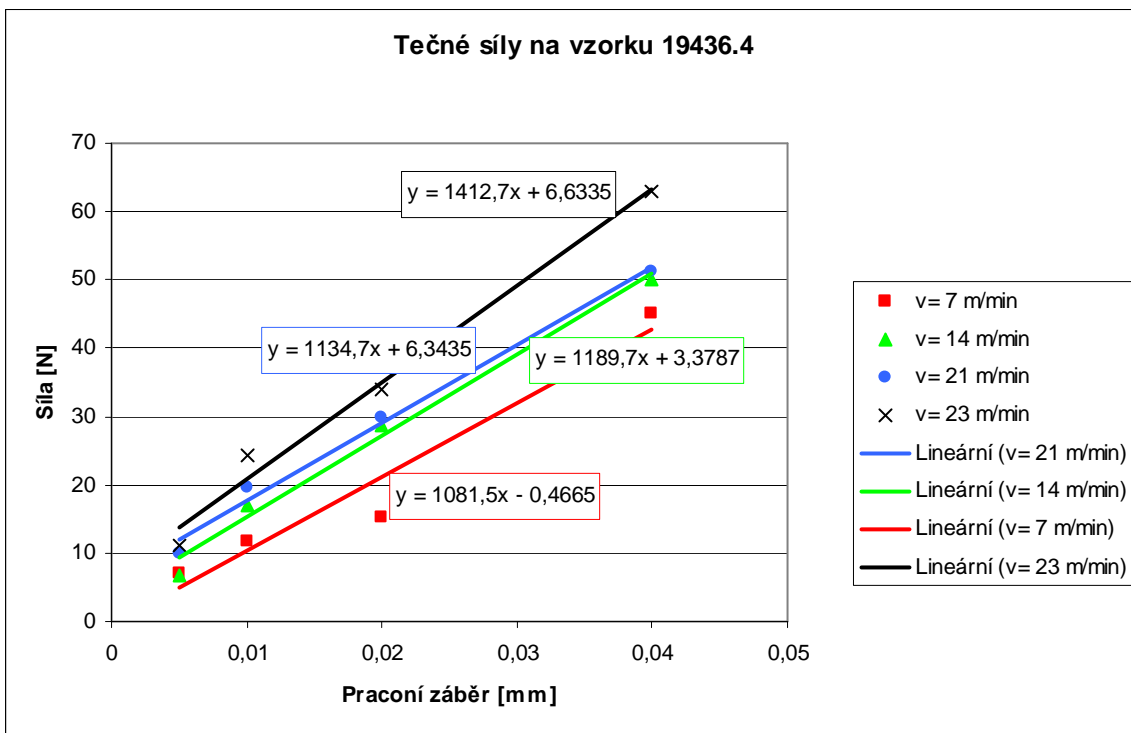


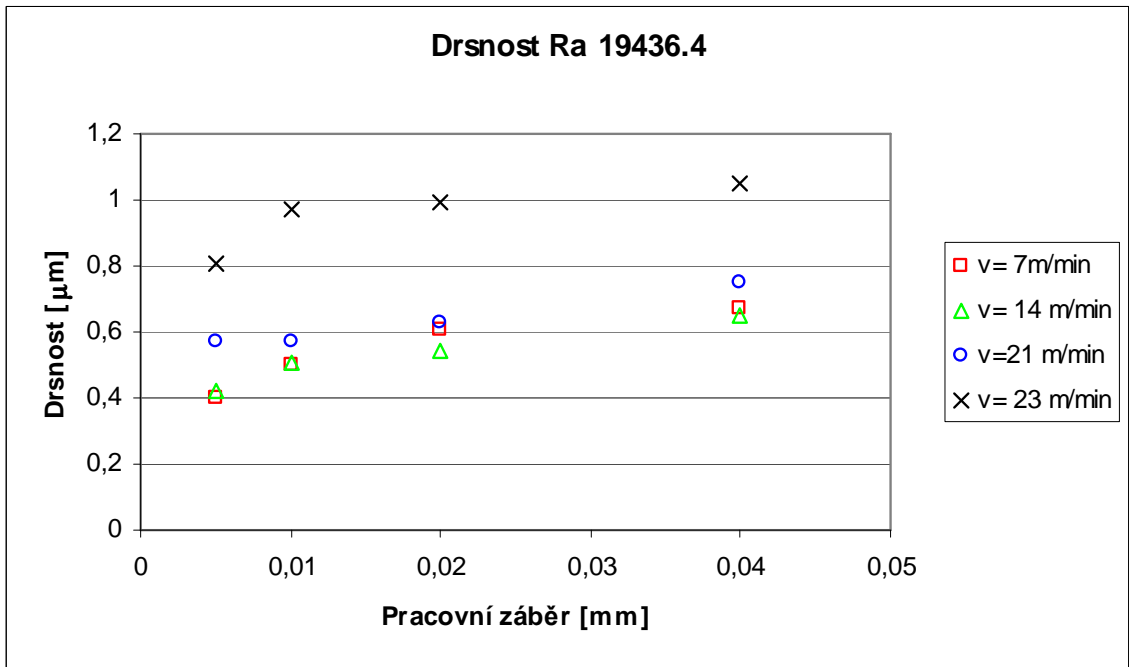
ČSN 14109.4



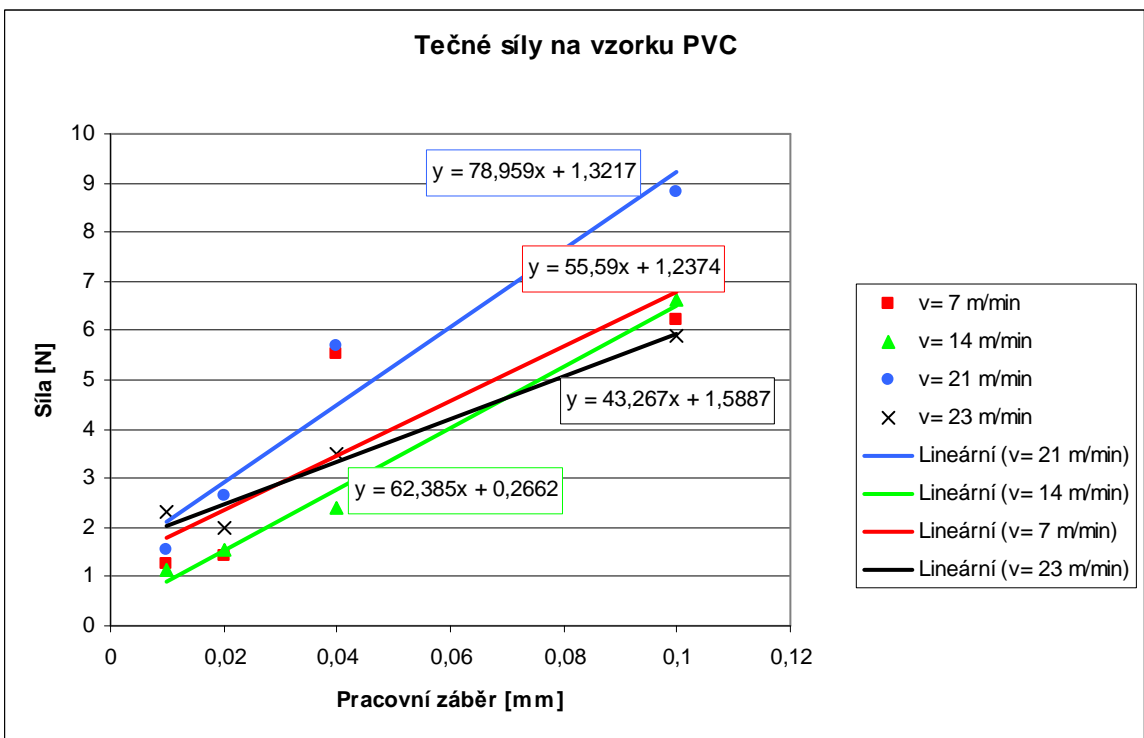


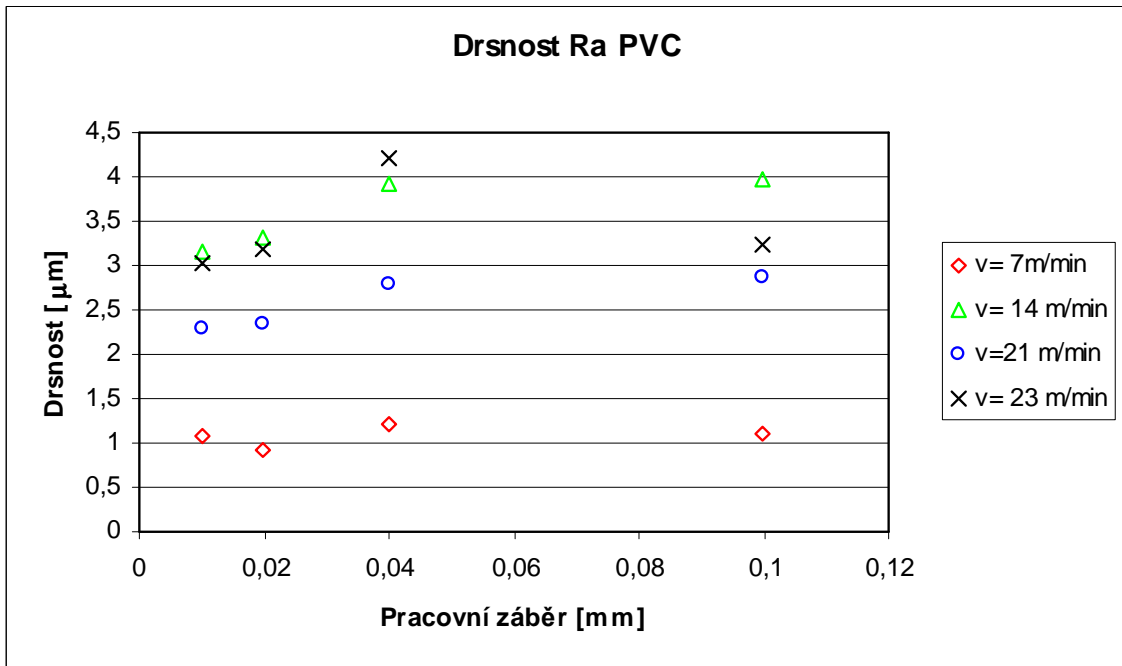
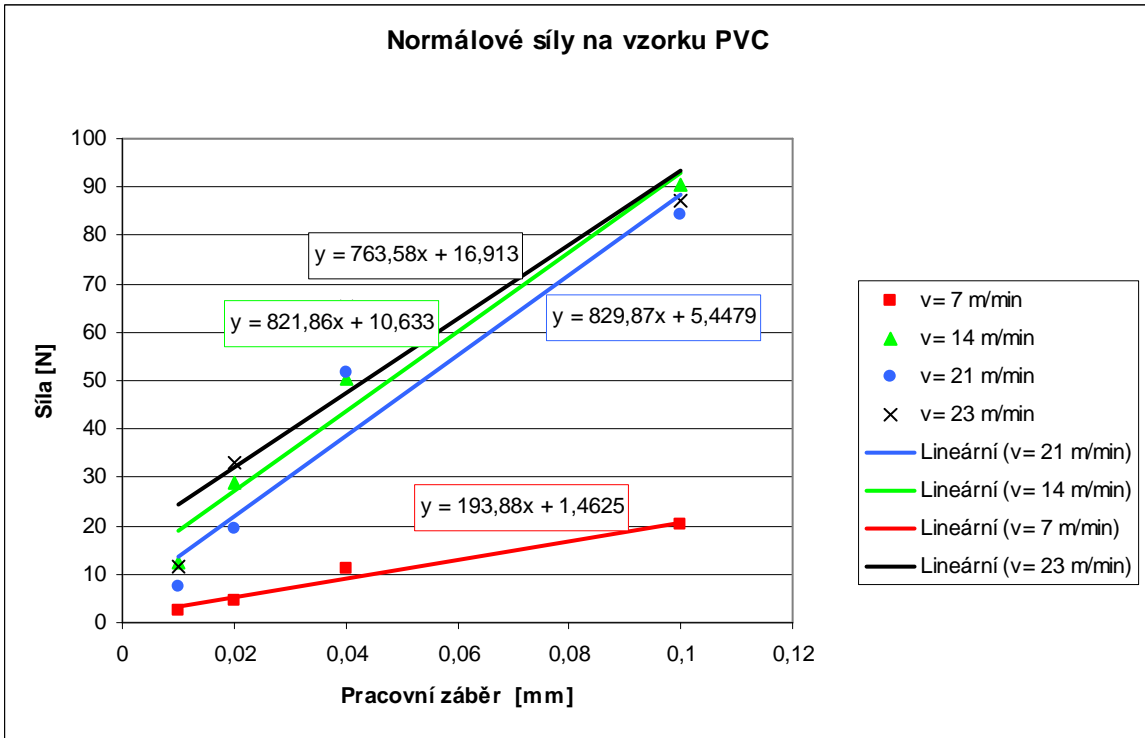
ČSN 19436.4



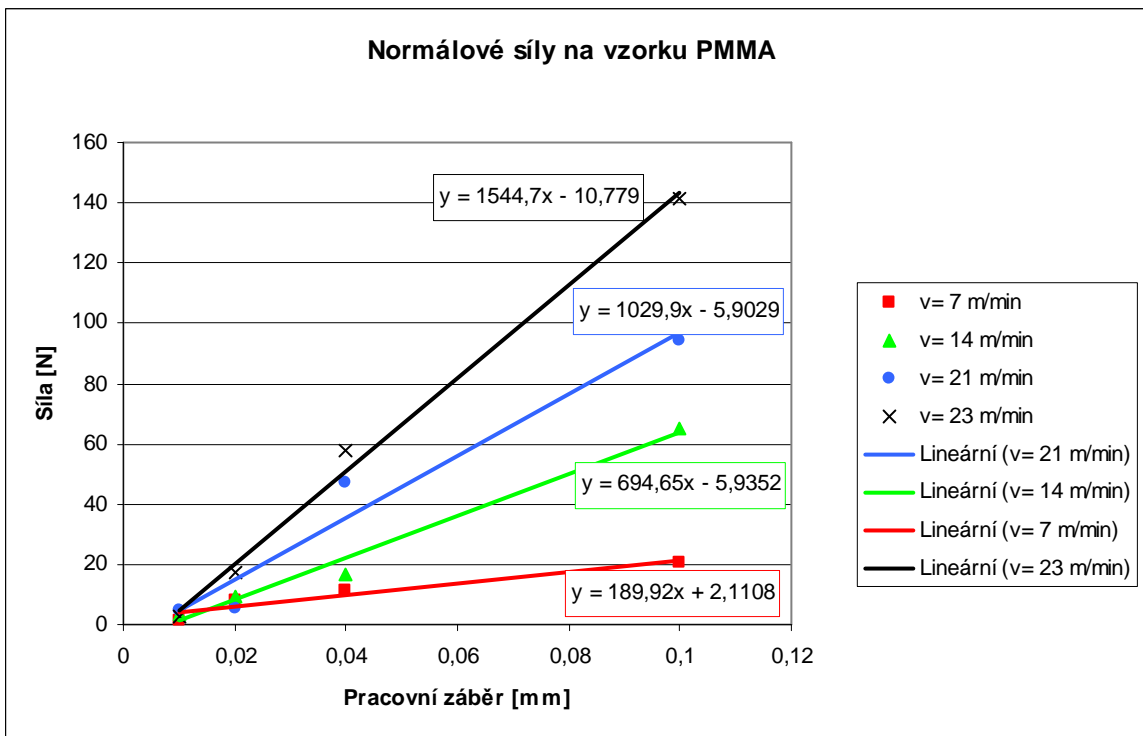
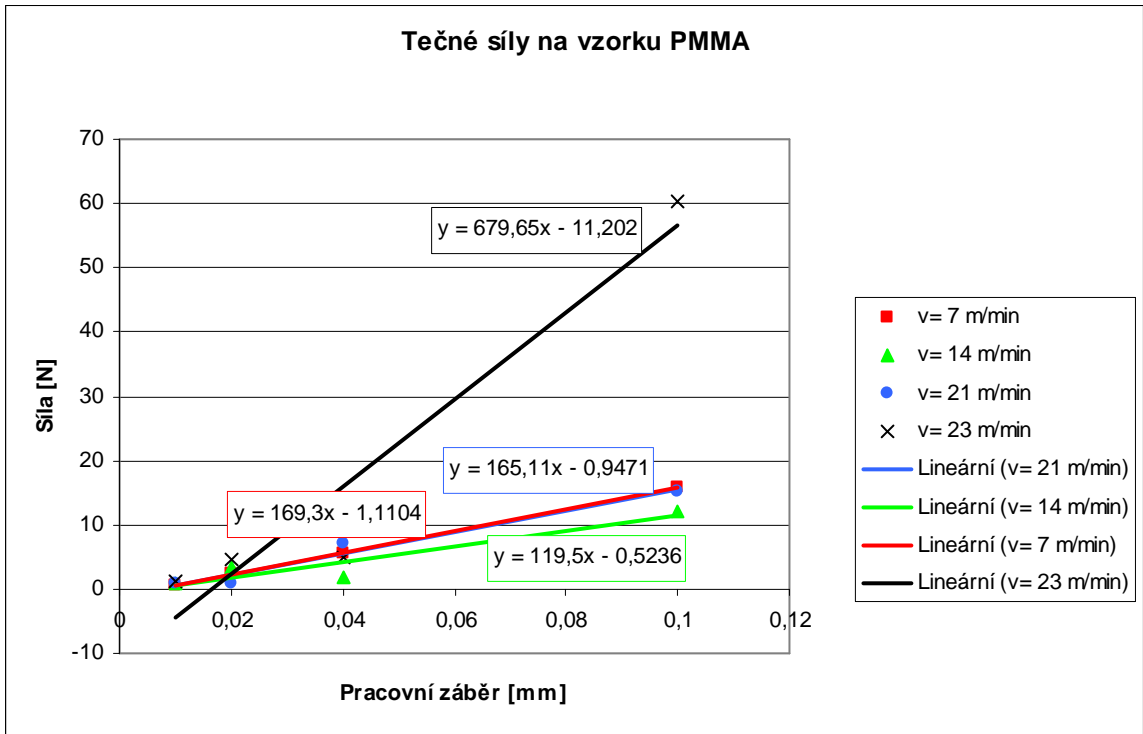


PVC

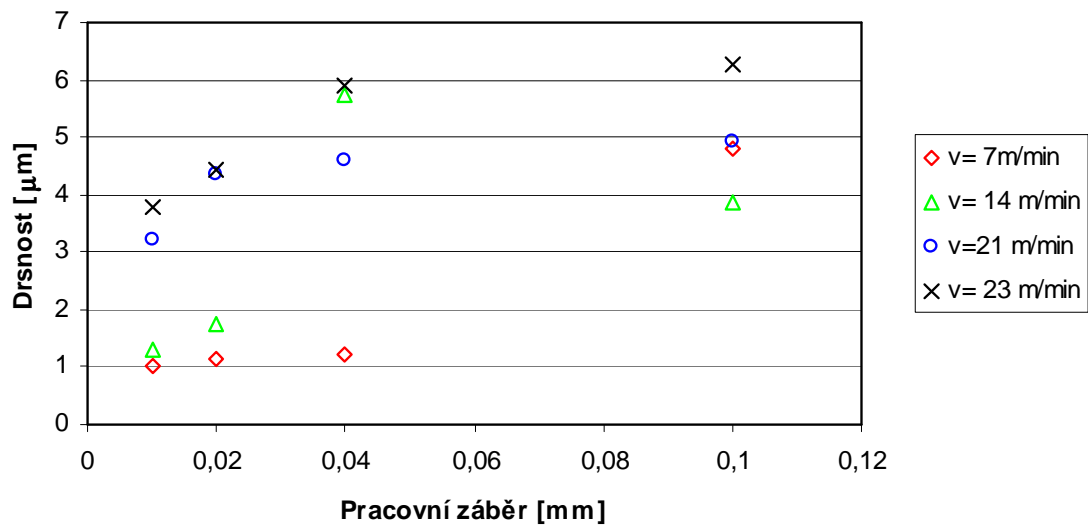




PMMA

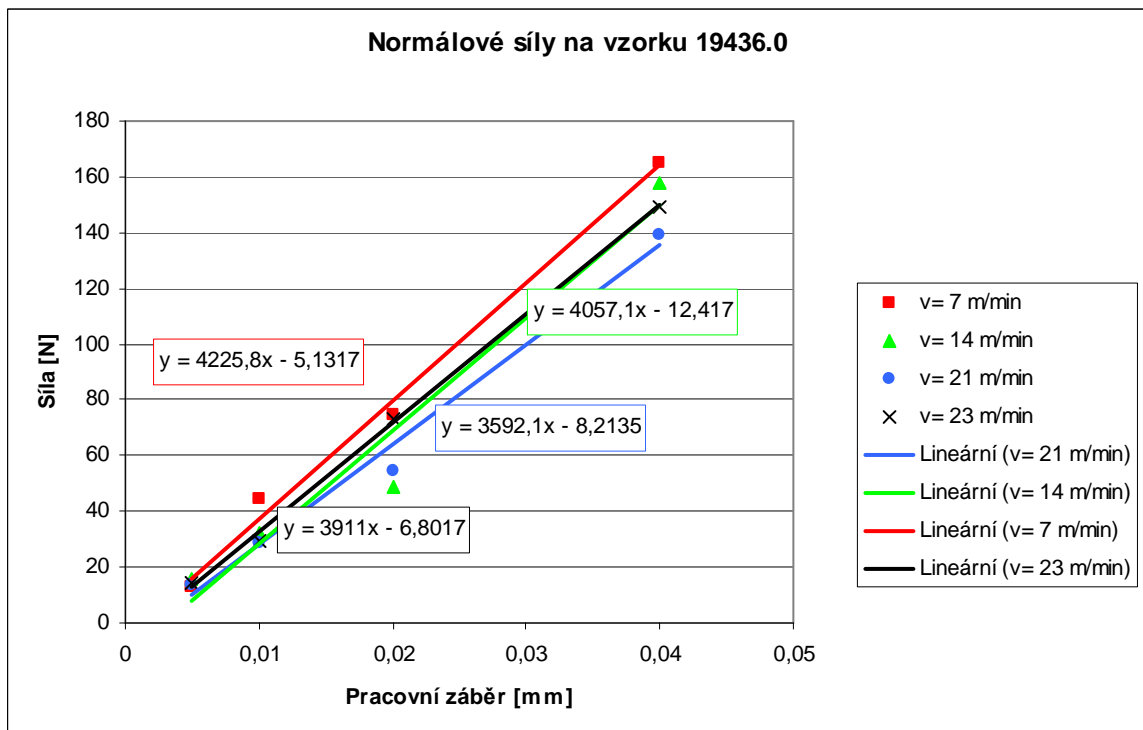
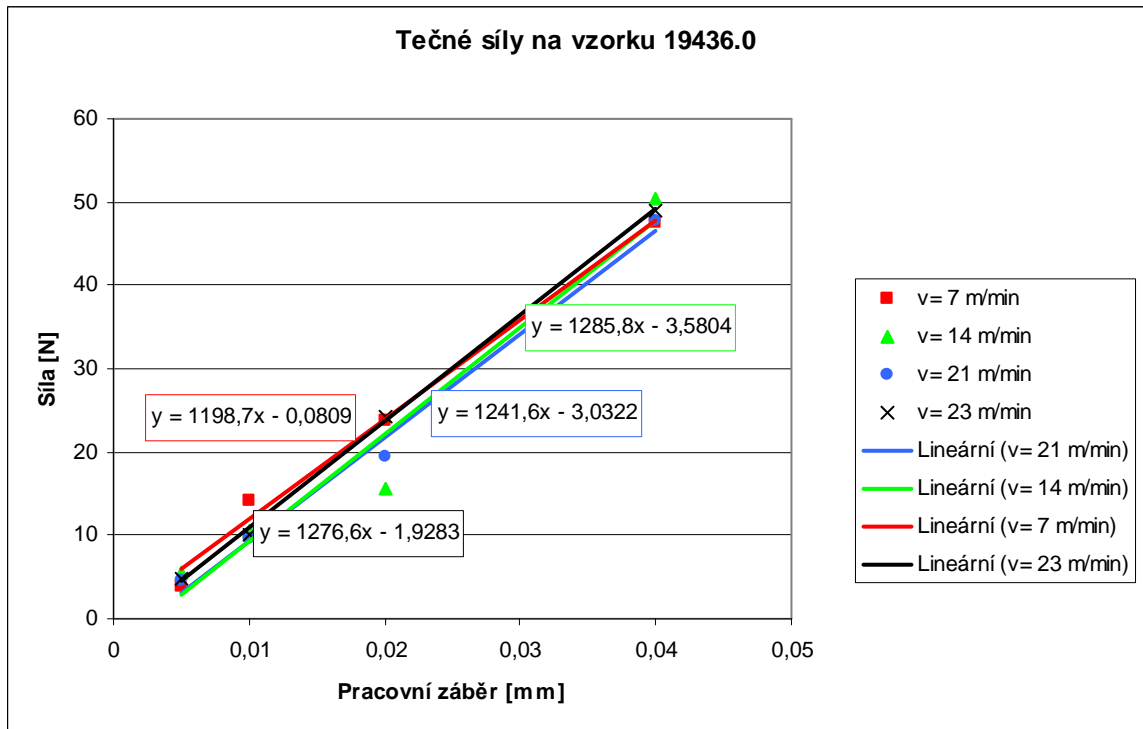


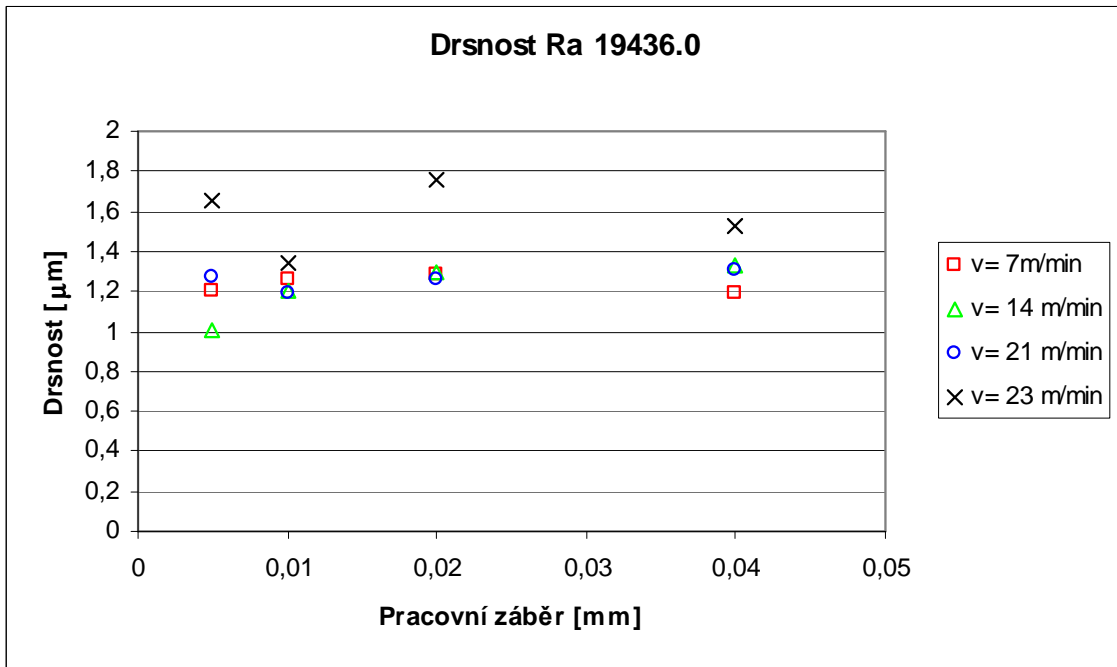
Drsnost Ra PMMA



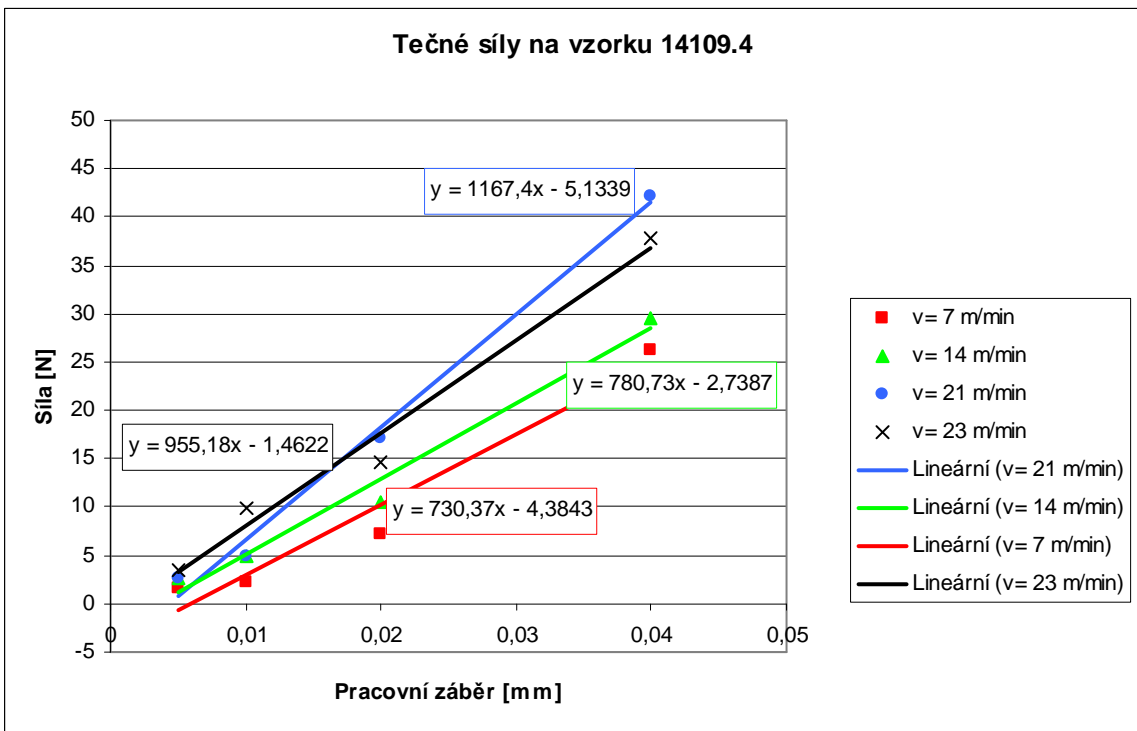
PŘÍLOHA P V: KOTOUČ B107 K100 8-BIII

ČSN 19436.0

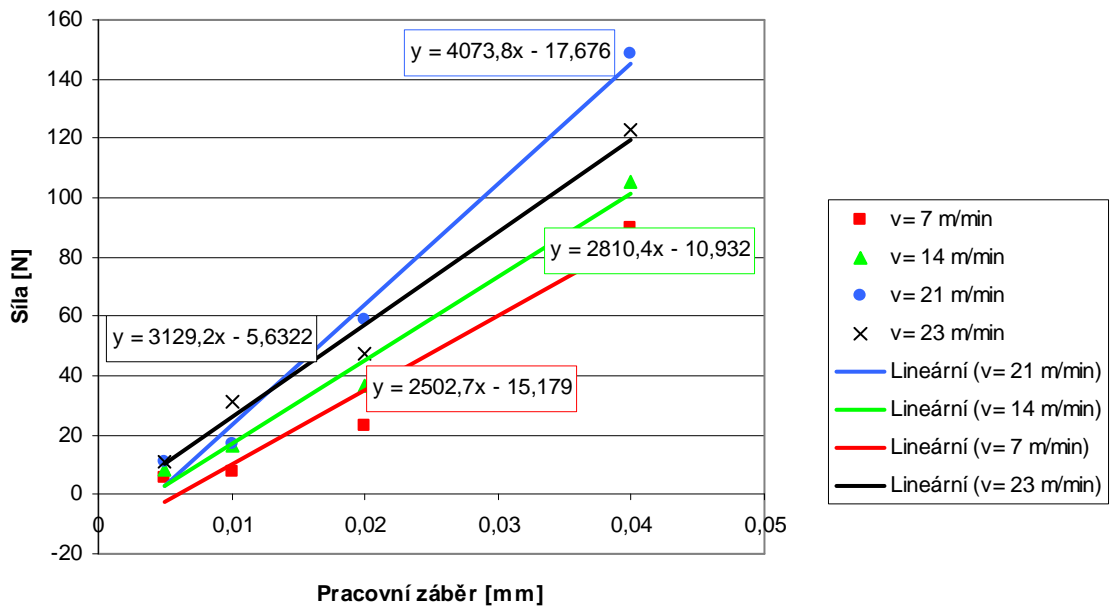




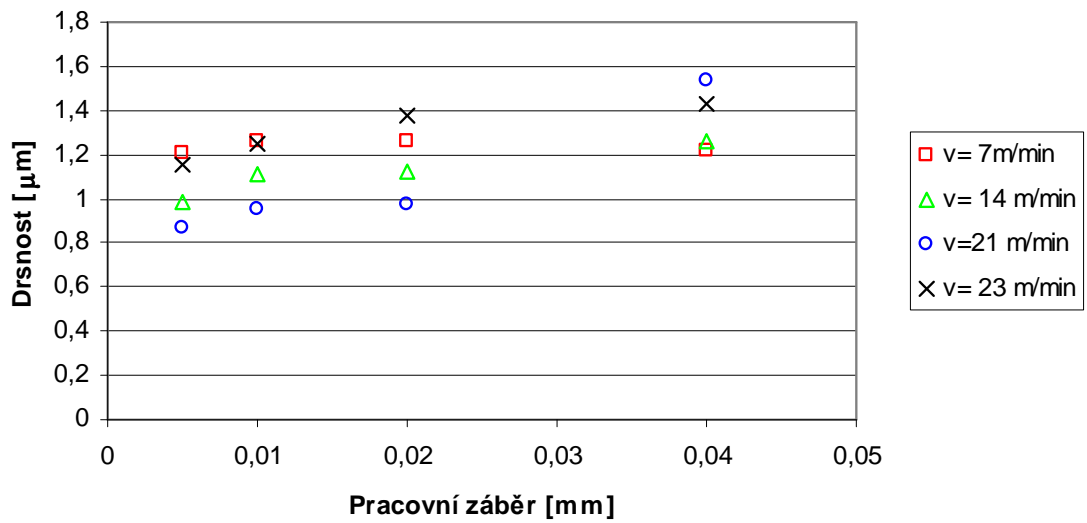
ČSN 14109.4



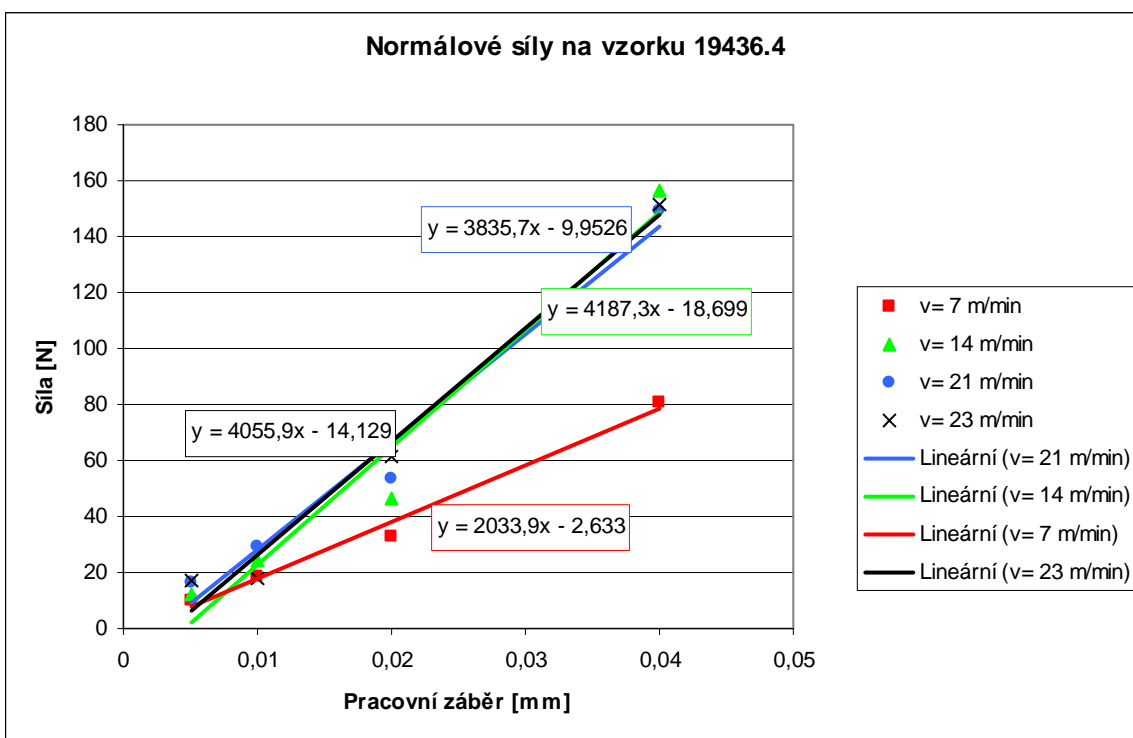
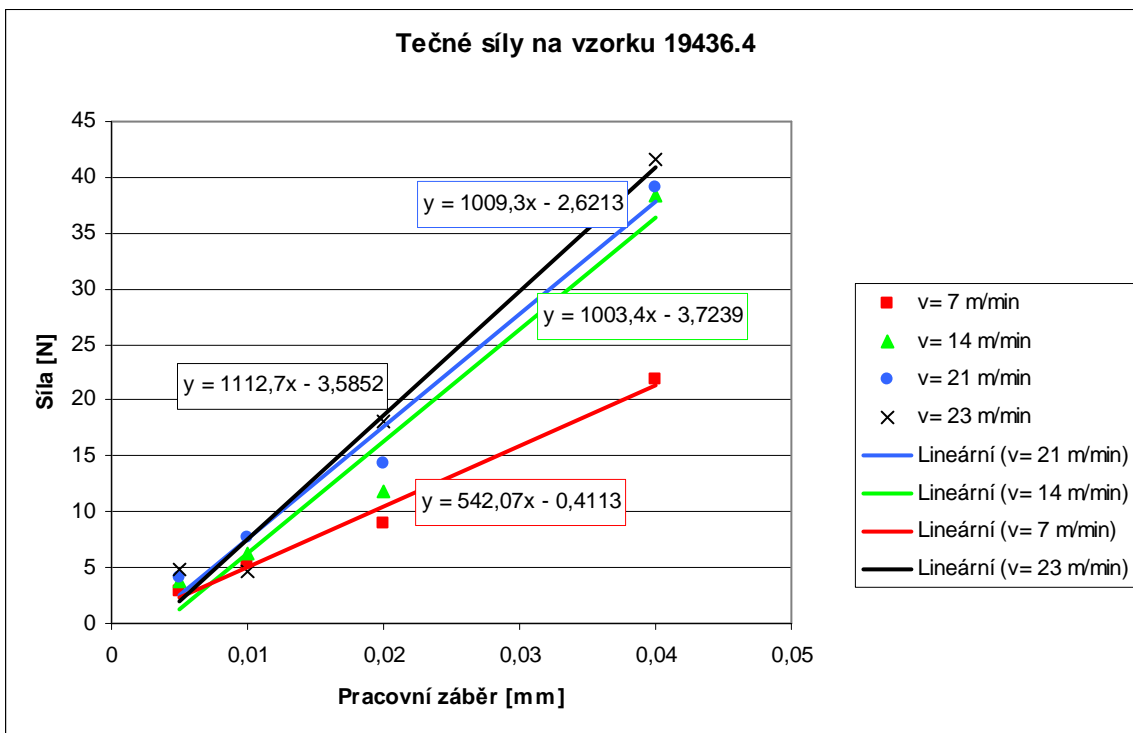
Normálové síly na vzorku 14109.4

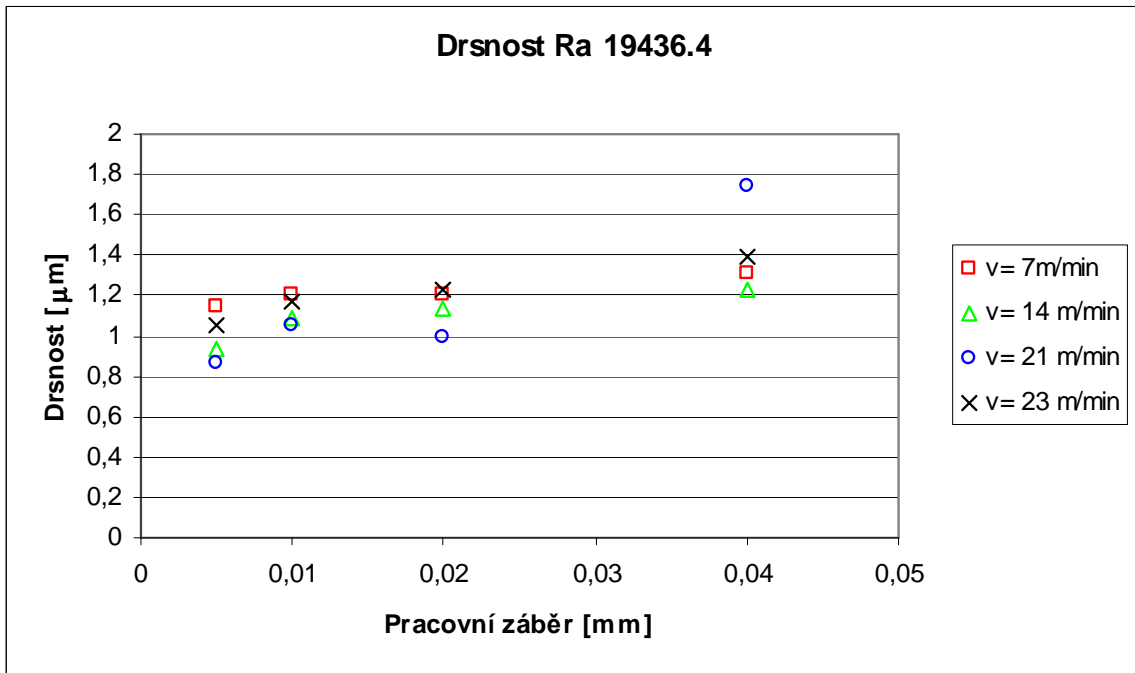


Drsnost Ra 14109.4

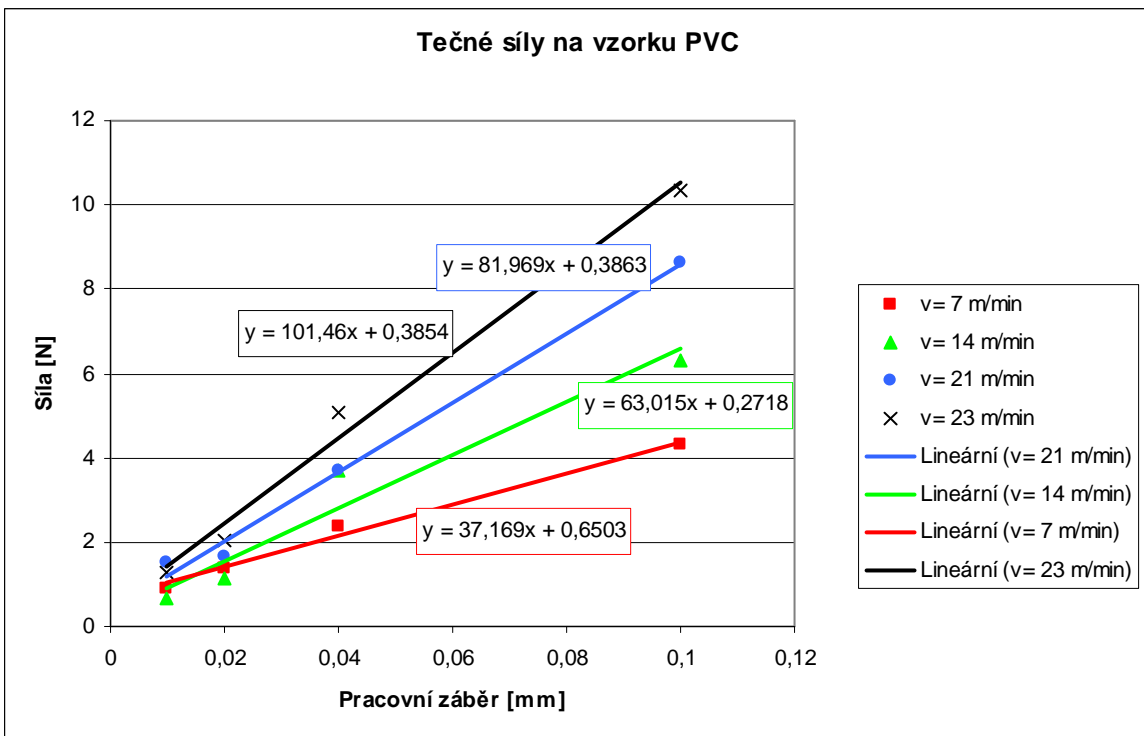


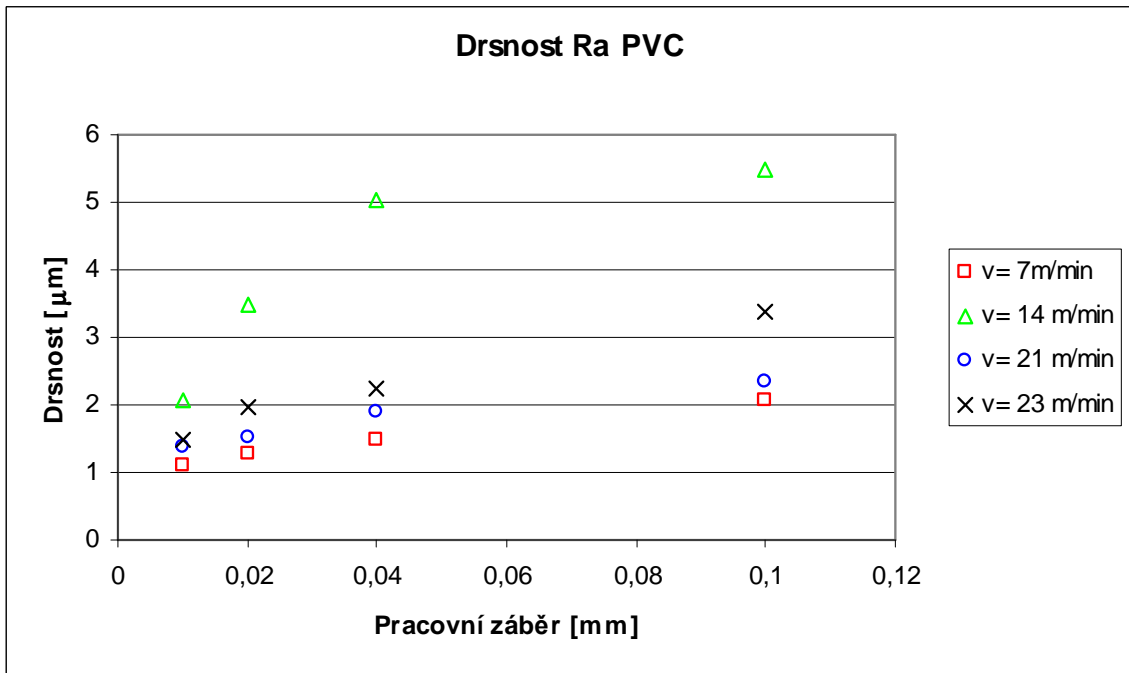
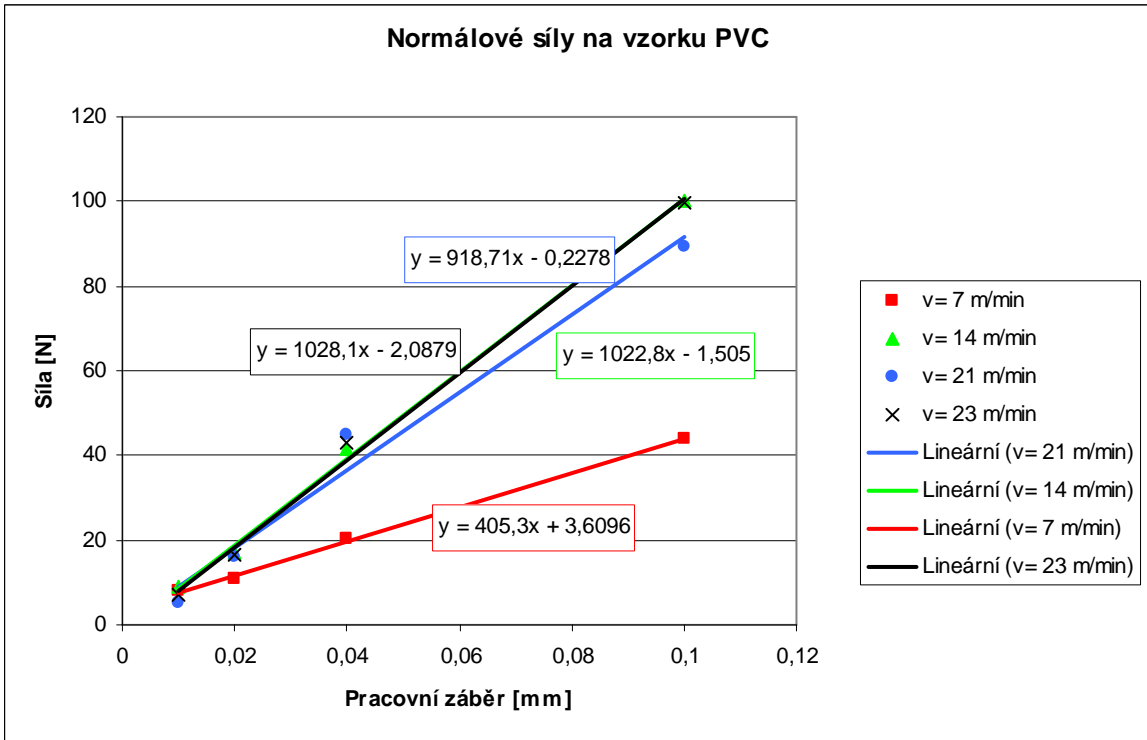
ČSN 19436.4



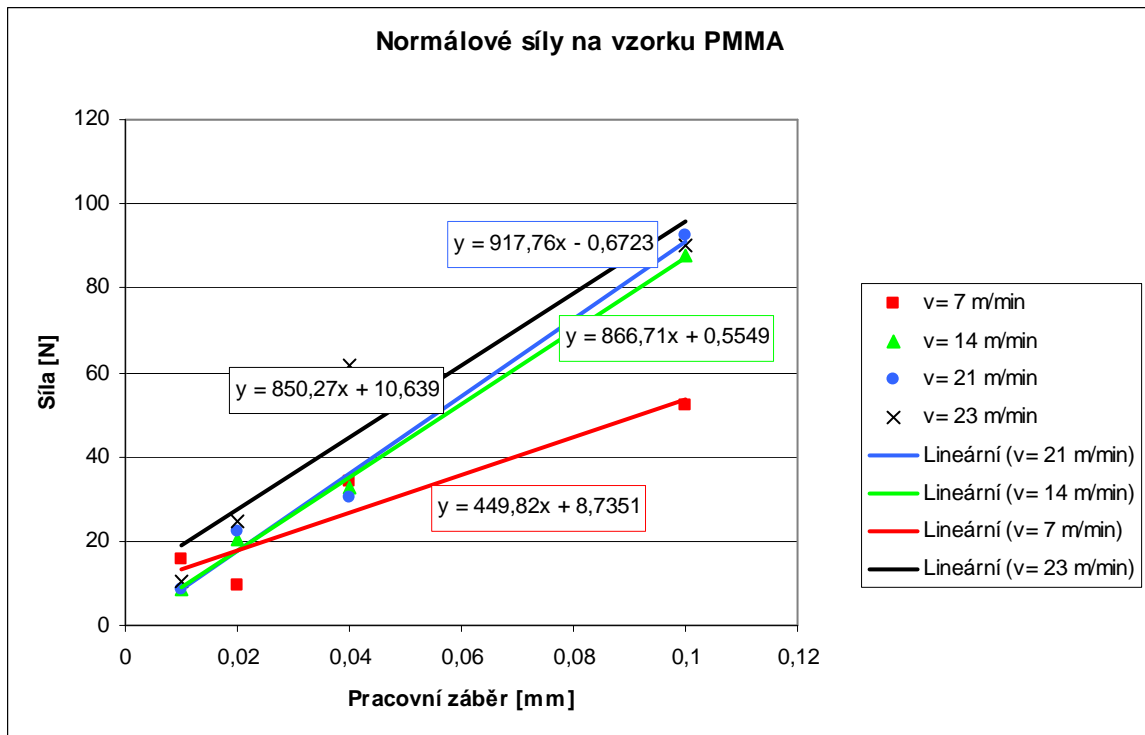
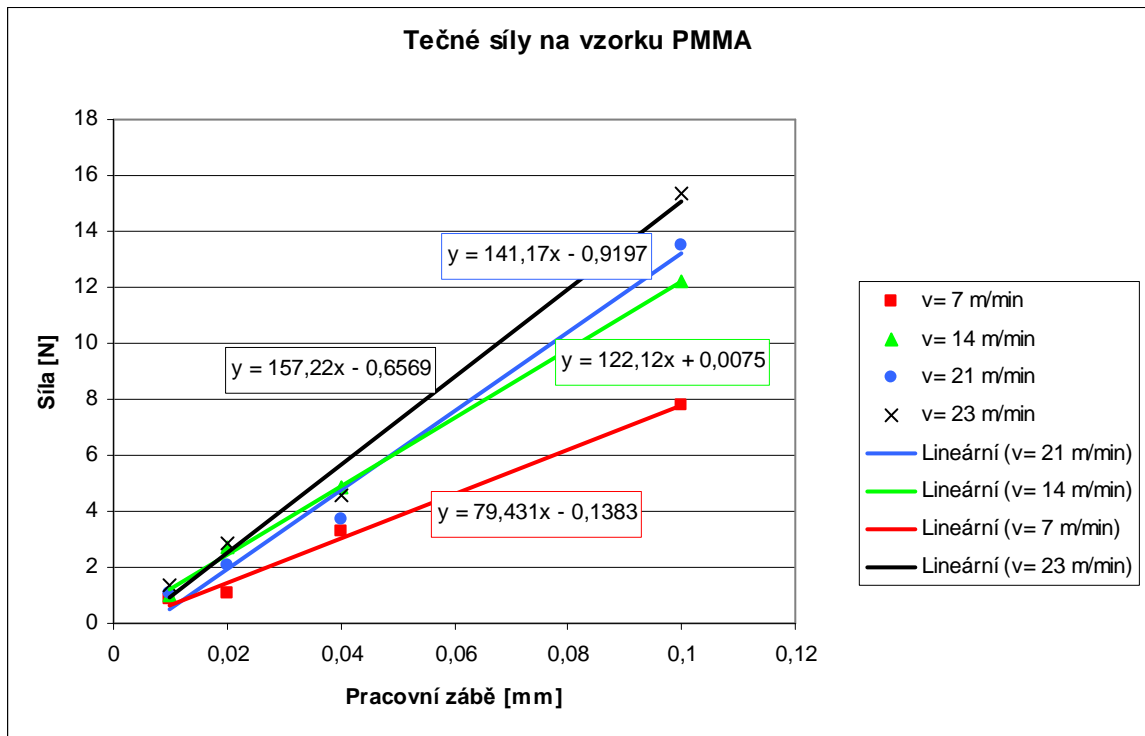


PVC

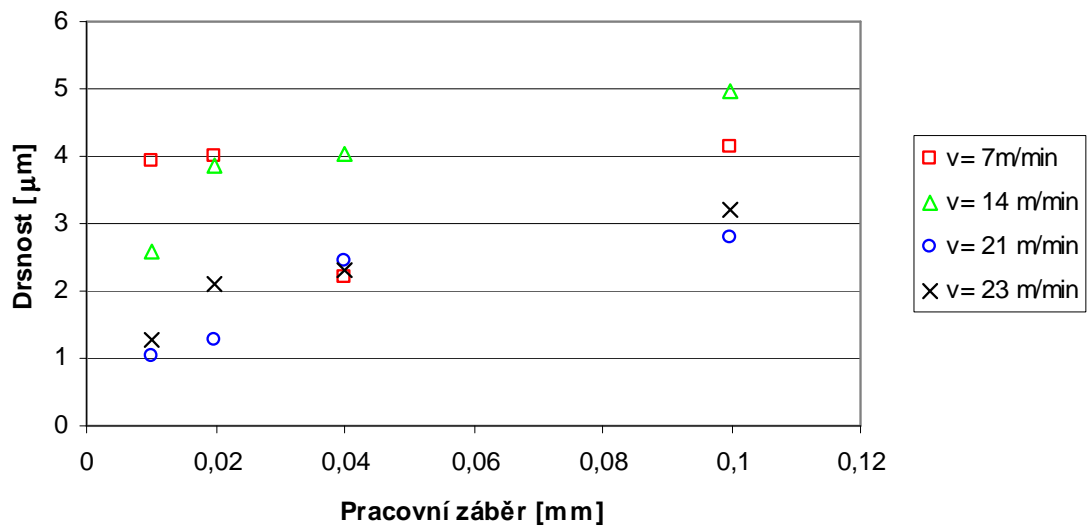




PMMA

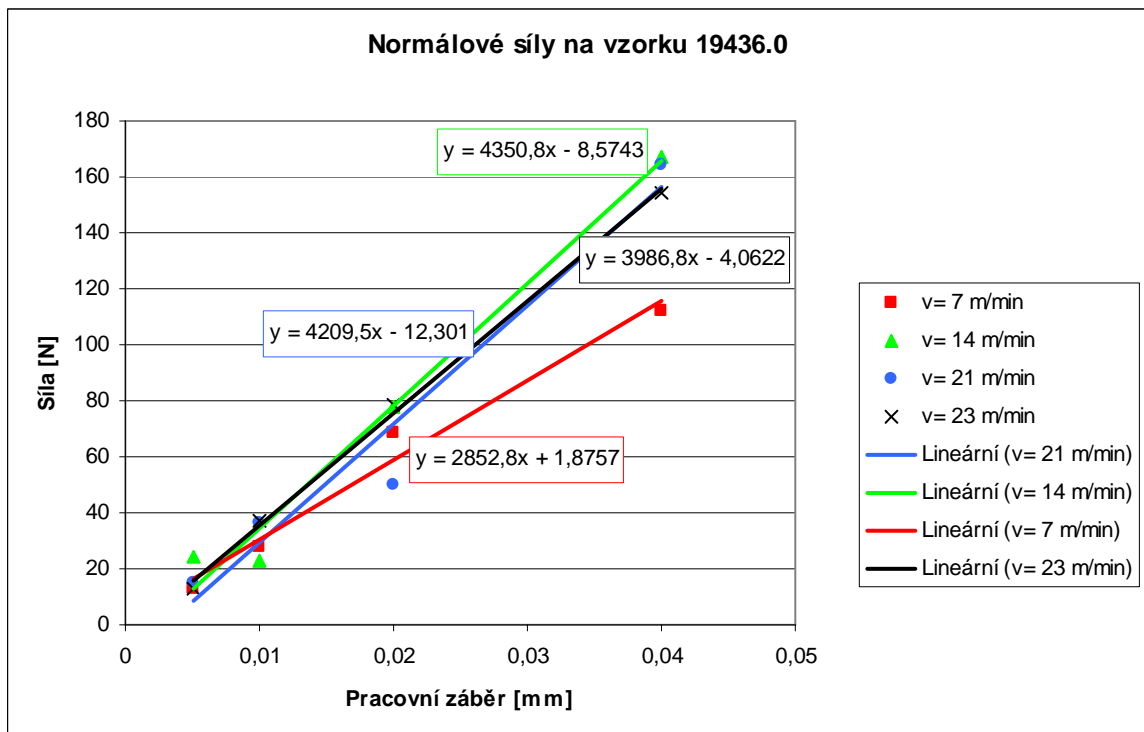
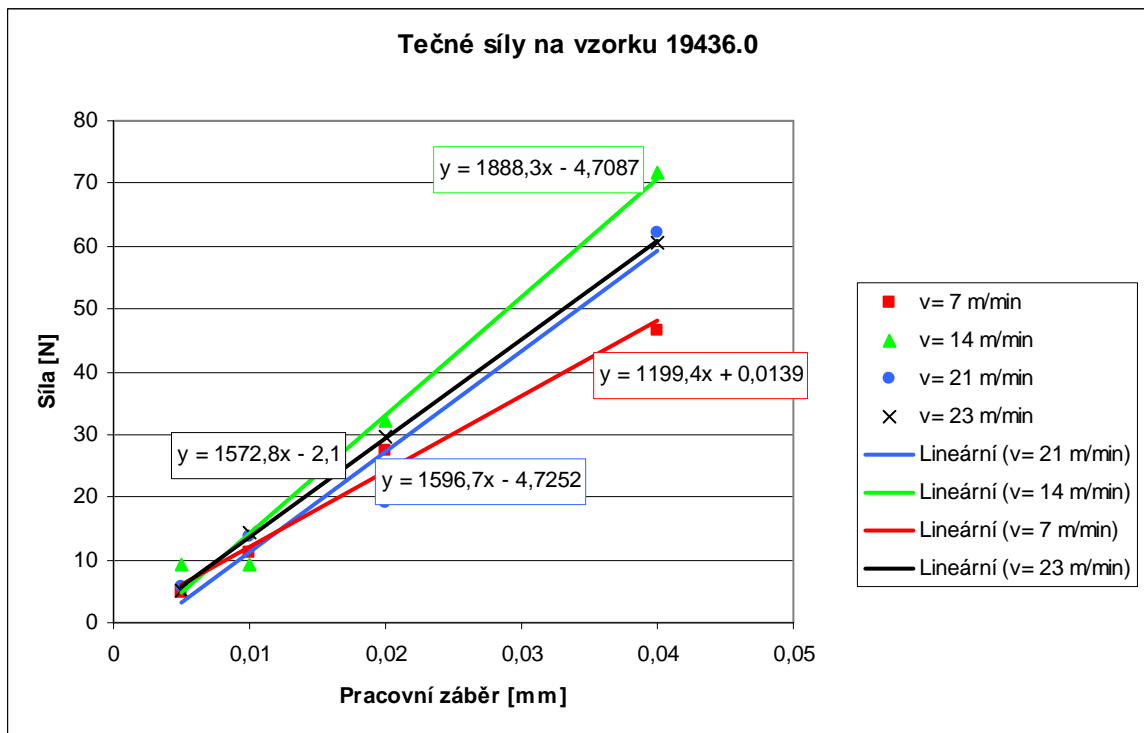


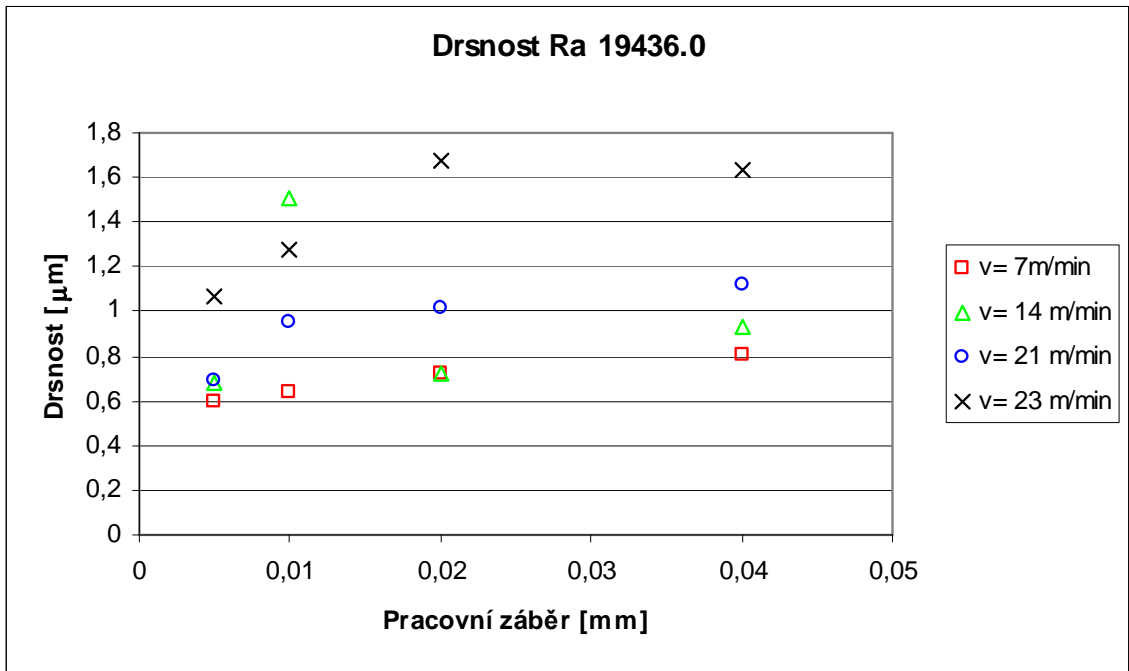
Drsnost Ra PMMA



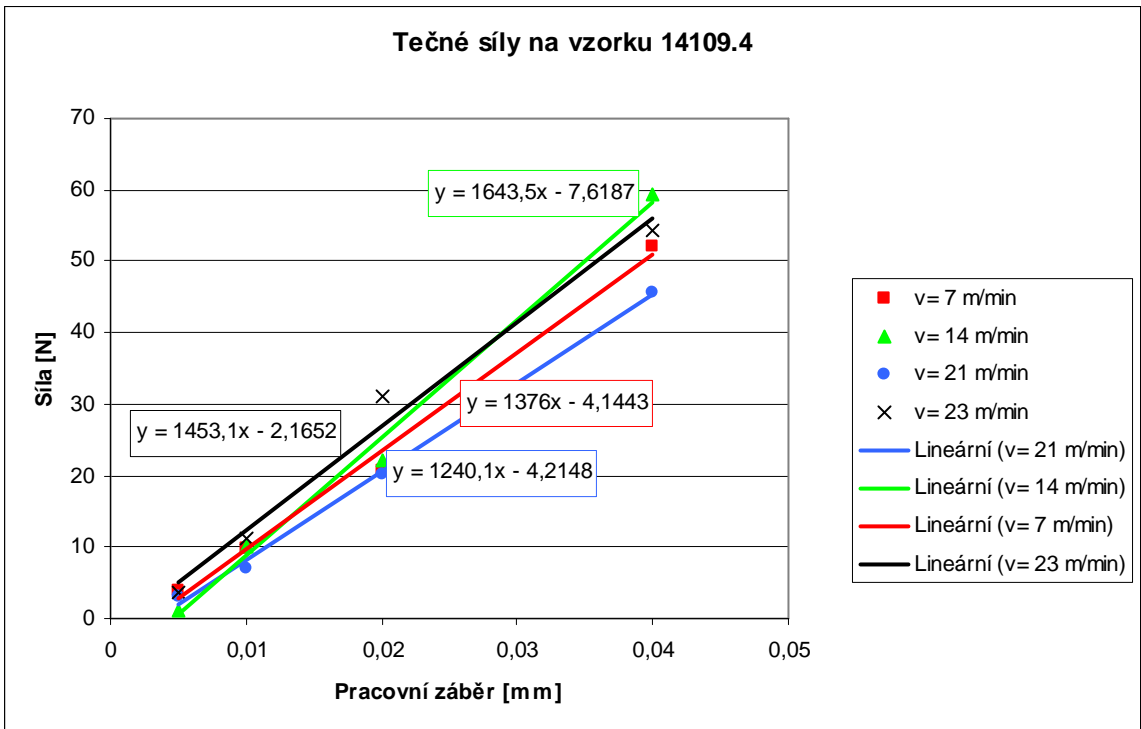
PŘÍLOHA P VI: KOTOUČ D100/80K100 8-BVI

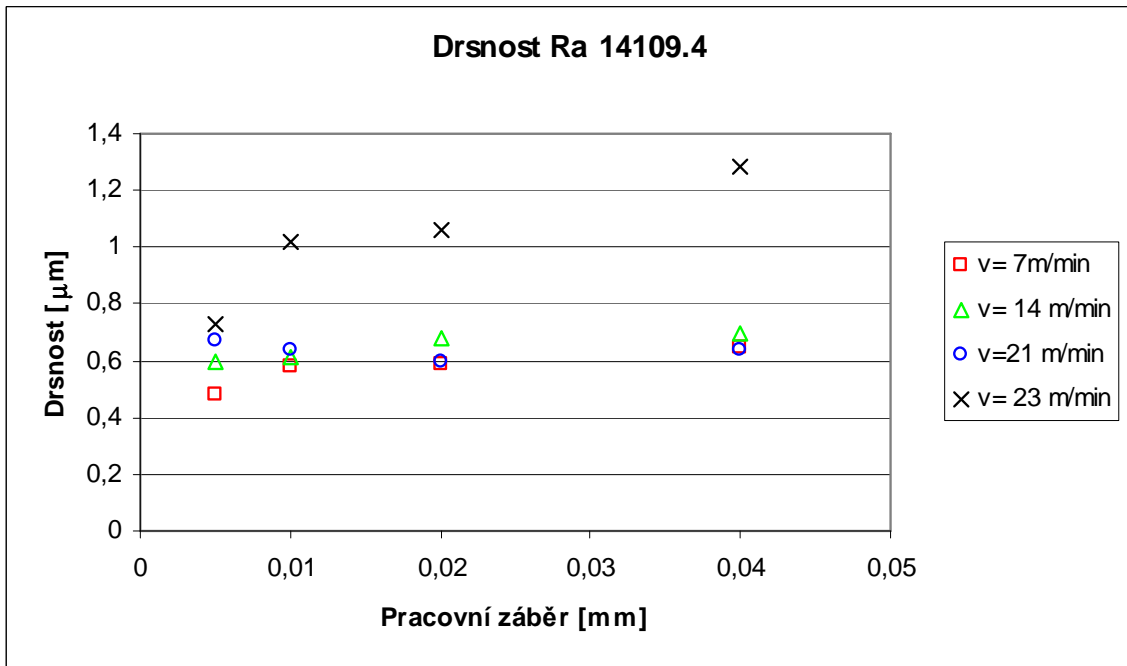
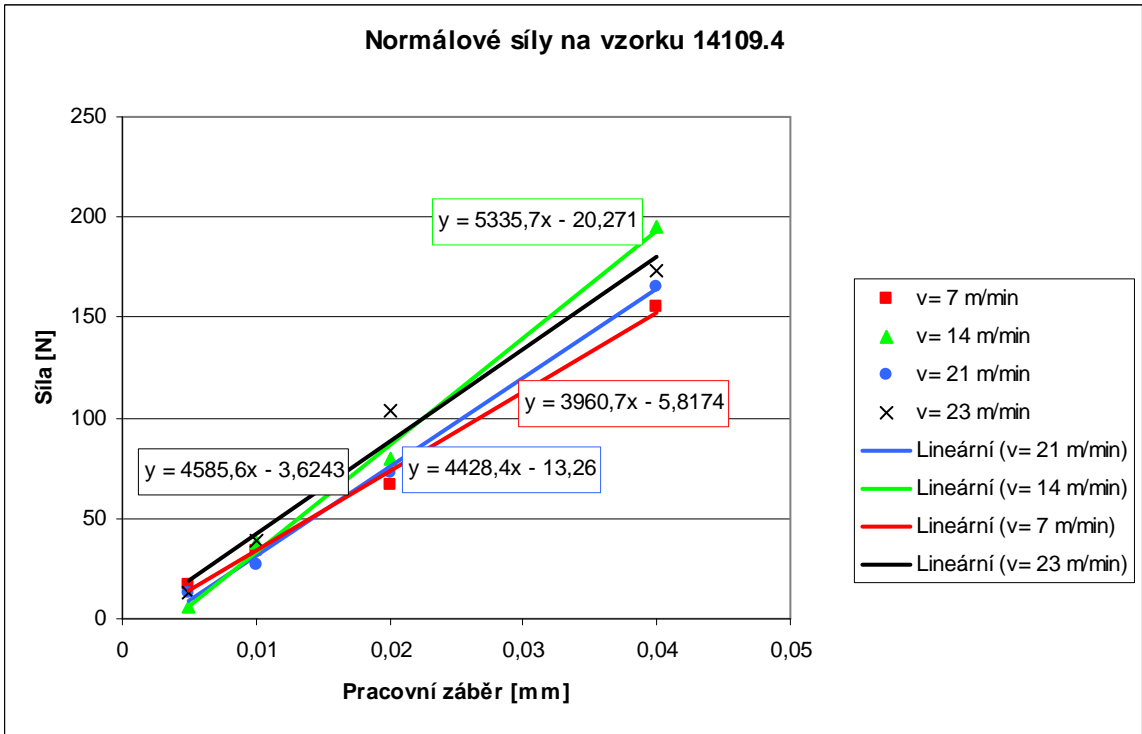
ČSN 19436.0



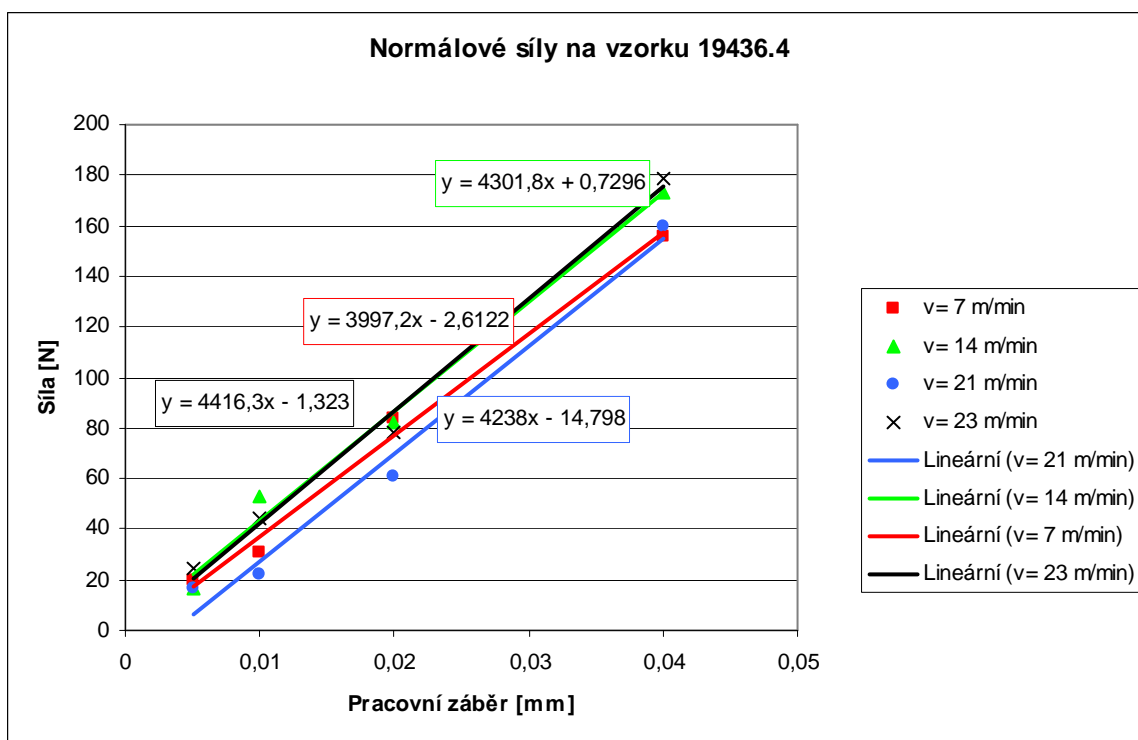
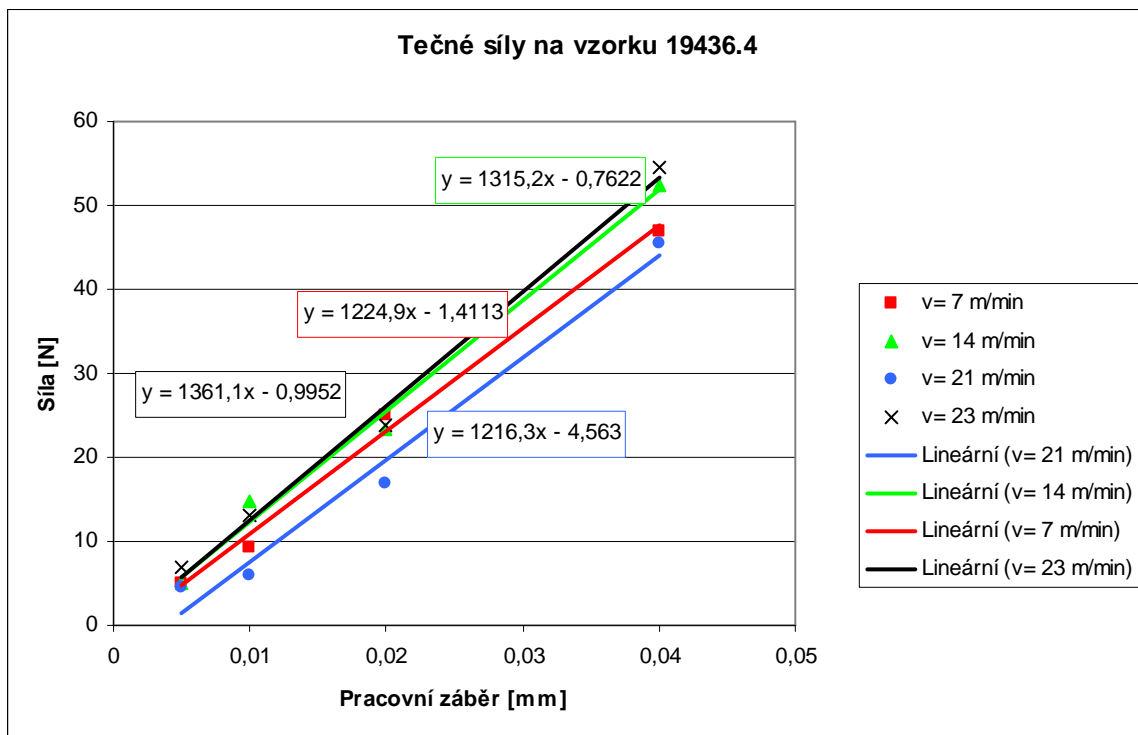


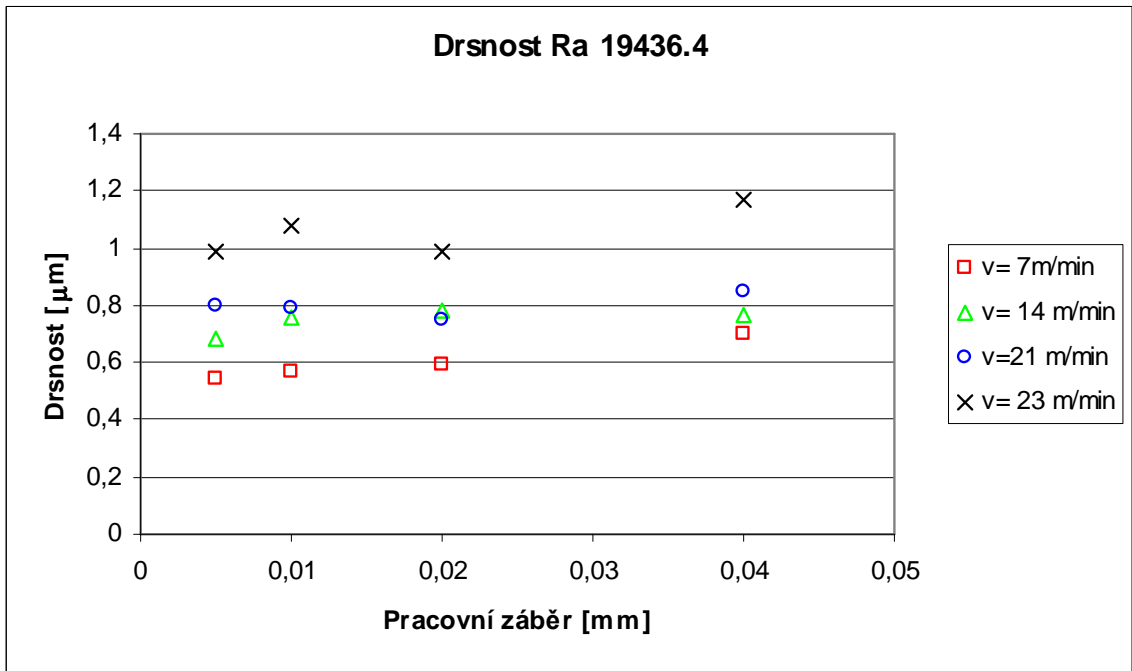
ČSN 14109.4



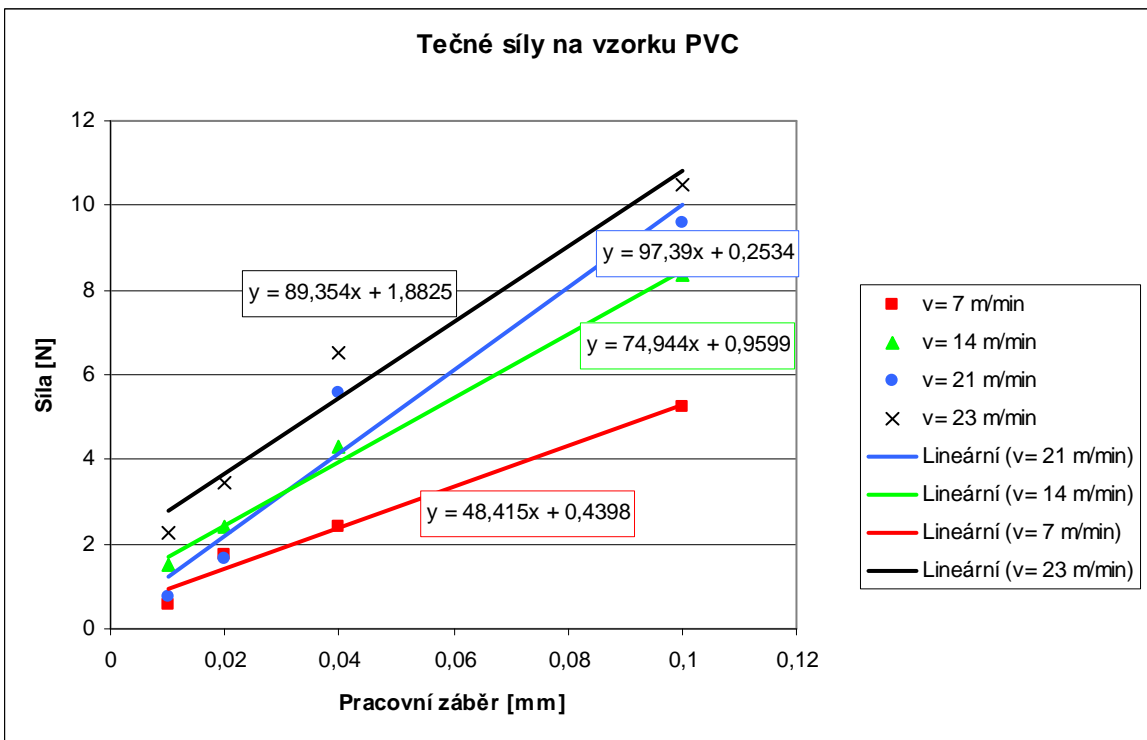


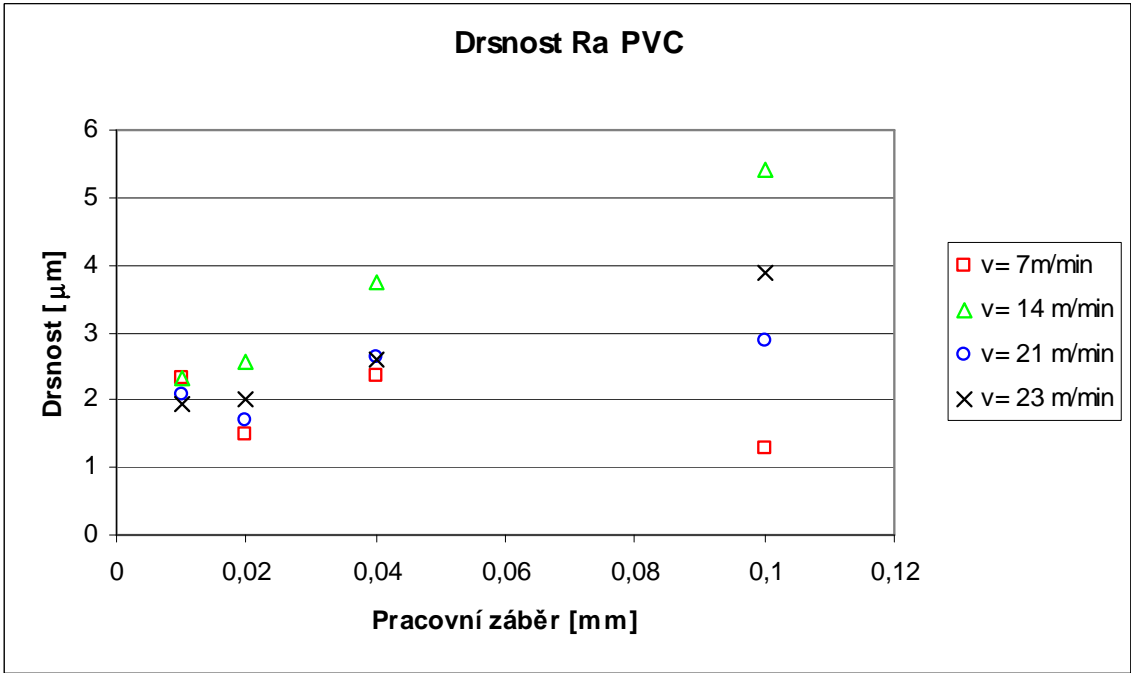
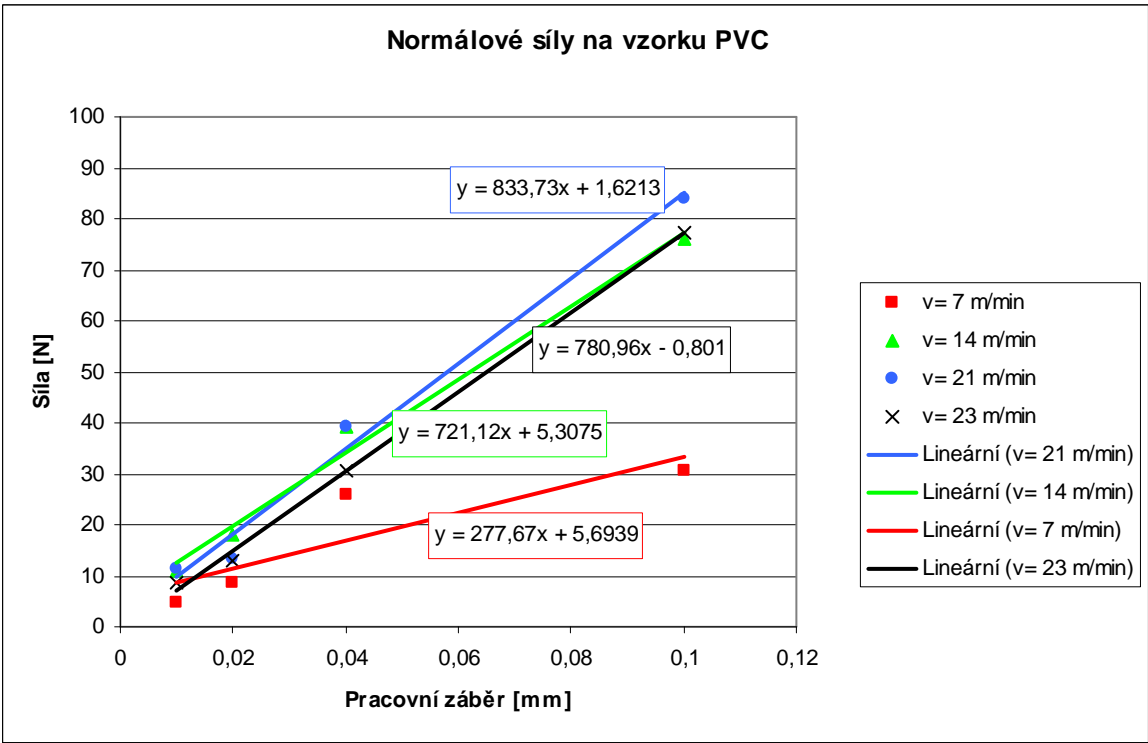
ČSN 19436.4



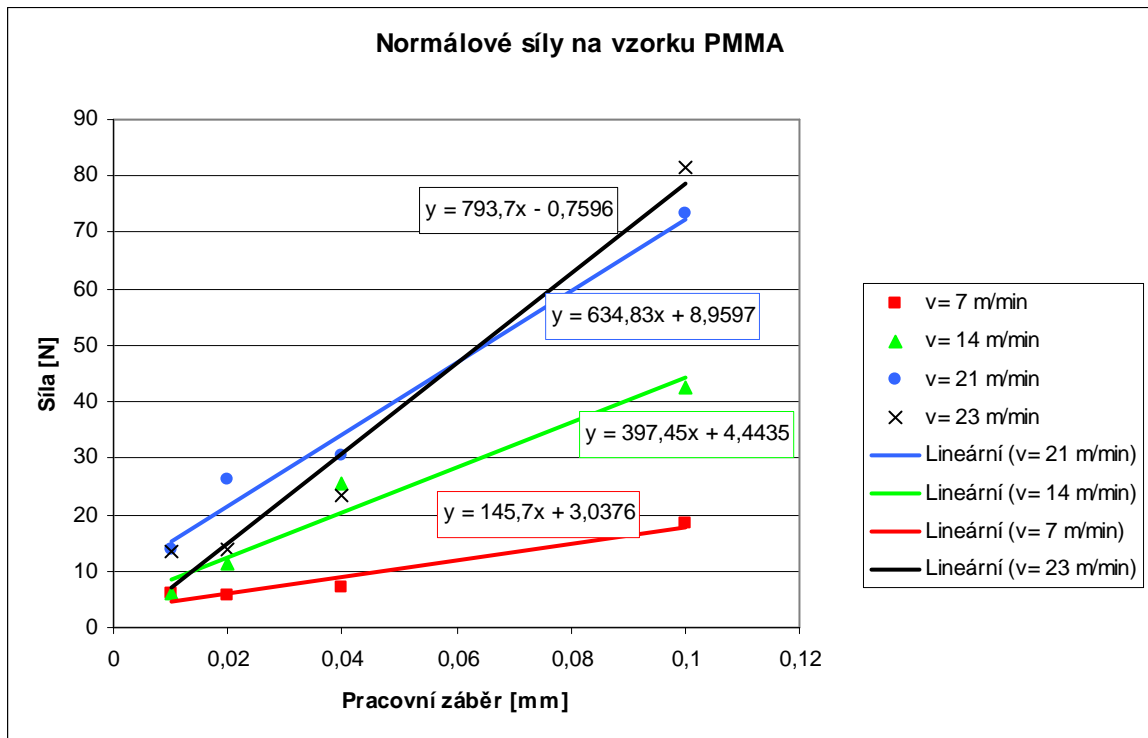
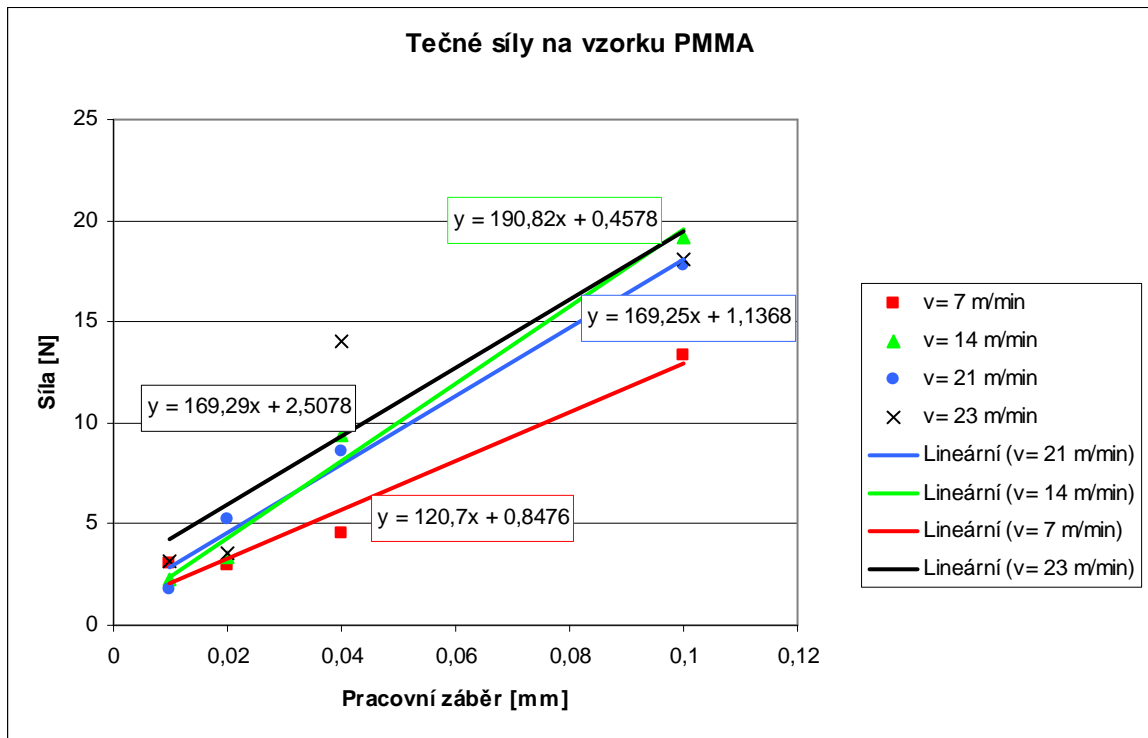


PVC





PMMA



Drsnost Ra PMMA

