

Studium metod obrábění vnitřních ploch součástí

Miroslav Raška

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Miroslav RAŠKA

Osobní číslo: T10108

Studijní program: B3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Forma studia: kombinovaná

Téma práce: Studium metod obrábění vnitřních ploch součástí

Zásady pro vypracování:

- 1) Provedte studium teorií a technologií metod výroby vnitřních ploch**
- 2) Určete metody hodnocení jakosti**
- 3) Experimentálně určete vliv technologických podmínek na výstupní parametry procesu**
- 4) Porovnejte ekonomickou výhodnost metod výroby děr**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Literatura:

- 1) Bumbálek, L. aj.: *Kontrola a měření*. Informatorium Praha. 2009. ISBN 978-80-7333-072-9
- 2) Holešovský, F.: *Broušení a jeho vliv na vlastnosti povrchu*. VŠB-TU Ostrava. 2007. ISBN 978-80-248-1644-9
- 3) Kocman, K.: *Technologické procesy*. CERM Brno. 2011. ISBN 978-80-7204-724
- 4) Lukovics, I.: *Progresivní metody dokončování funkčních ploch nástrojů*. VŠB-TU Ostrava. 2007. ISBN 978-80-248-2033-0
- 5) Maslov, J.N.: *Teorie broušení kovů*. 1st ed. SNTL Praha. 1979
- 6) Neslušán, M. aj.: *Experimentální metody v trieskovom obrábání*. EDIS Žilina. 2007. ISBN 978-8070-711-8

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem technologických parametrů procesu, použité technologie výroby a použitého materiálu na jakost povrchu.

V teoretické části jsou popsány jednotlivé technologie výroby vnitřních ploch a metody hodnocení jakosti povrchu.

V praktické části je vyhodnocen vliv technologických podmínek na jakost povrchu a vliv technologie výroby a vliv použitého materiálu na jakost povrchu. V závěru je provedeno ekonomické porovnání výhodnosti metod výroby děr.

Klíčová slova: posuvová rychlost, řezná rychlost, jakost povrchu, technologie výroby vnitřních ploch

ABSTRACT

This bachelor thesis deal with technology of the inner surface production, influence of the process technological parameters, used production technology and used material on finish quality.

In theoretic parts there are described individual production technology of the inner surfaces and method of the surface quality assessment.

In practical parts there are evaluations of these influences on the finish quality:

- technological conditions
- production technology
- used material.

At the end there is effected economics comparison of the merit of holes production methods.

Keywords: motion rate, cutting rate, finish quality, technology of inner surfaces production

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu prof. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za odborné vedení a cenné připomínky během vypracování.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Šálkovi za pomoc poskytnutou v laboratořích.

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

Příjmení a jméno: Miroslav Raška

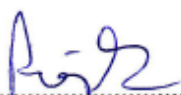
Obor: Technologická zařízení.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně .05.05.2013.


.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ TECHNOLOGIÍ OBRÁBĚNÍ VNITŘVÍCH POLOCH	12
2 KONVENČNÍ OBRÁBĚNÍ	13
2.1 VRTÁNÍ	13
2.2 VYHRUBOVÁNÍ A VYSTRUŽOVÁNÍ	14
2.3 ZAHLUBOVÁNÍ	14
2.4 VYVRTÁVÁNÍ	15
3 ABRAZIVNÍ METODY OBRÁBĚNÍ	16
3.1 BROUŠENÍ	16
3.1.1 Základní pojmy	18
3.1.2 Obvodové broušení vnitřních ploch do kulata	20
3.1.2.1 Axiální broušení.....	20
3.1.2.2 Bezhroté broušení	21
3.1.2.3 Planetové broušení	22
3.2 HONOVÁNÍ	22
3.3 LAPOVÁNÍ	25
3.3.1 Lapovací nástroje	25
3.4 SUPERFINIŠOVÁNÍ	25
4 BEZTRŽÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ	27
4.1 DYNAMICKÉ VÁLEČKOVÁNÍ	27
4.2 PROTLAČOVÁNÍ.....	27
5 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ	28
5.1 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ	29
5.1.1 Elektrojiskrové obrábění	29
5.1.1.1 Elektrojiskrové hloubení.....	29
5.1.1.2 Elektrojiskrové řezání	30
5.2 OBRÁBĚNÍ PAPRSKEM PLAZMY	31
5.3 OBRÁBĚNÍ LASEREM.....	32
5.4 OBRÁBĚNÍ PAPRSKEM ELEKTRONŮ	32
5.5 ELEKTROCHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ	33
5.6 CHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ.....	34
5.7 OBRÁBĚNÍ ULTRAZVUKEM	34
5.8 OBRÁBĚNÍ VODSNÍM PAPRSKEM	35
6 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU	36
6.1 METODY KVALITATIVNÍ	36
6.1 METODY KVANTITATIVNÍ.....	36
6.1.1 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu – Ra (Pa, Wa).....	37
6.1.2 Největší výška profilu Rz /Ry/ (mm)	37
6.1.3 Celková výška profilu Rt (μm).....	38

6.1.4	Materiálový poměr R _{mr} (%).....	39
6.2	DOSAHOVANÉ DRSNOSTI POVRCHU JEDNOTLIVÝMI TECHNOLOGIEMI.....	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST	41
7	CÍL PRAKTICKÉ PRÁCE	42
8	VRTANÍ, VYVRTÁVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ A MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU POMOCÍ DRSNOMĚRU SURFEST SJ 301	43
8.1	POUŽITÉ STROJE	43
8.2	MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU	44
8.3	OBRÁBĚNÝ MATERIÁL 12 060 – VLIV TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK	44
8.3.1	Hodnoty při obrábění	45
8.3.1.1	Vrtání:	45
8.4	OBRÁBĚNÝ MATERIÁL 12 060 A 11523 - VLIV POUŽITÉ TECHNOLOGIE.....	45
8.4.1	Hodnoty při obrábění	46
8.4.1.1	Vrtání:	46
8.4.1.2	Vystružování	46
8.4.1.3	Vyvrtávání	46
9	VLIV RYCHLOSTI POSUVU NA JAKOST VRTANÝCH OTVORŮ	47
9.1	VLIV RYCHLOSTI POSUVU NA RA.....	47
9.2	VLIV RYCHLOSTI POSUVU NA RZ.....	48
9.3	VLIV RYCHLOSTI POSUVU NA RT.....	49
9.4	VLIV RYCHLOSTI POSUVU NA RMR.....	50
10	VLIV ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA JAKOST VRTANÝCH OTVORŮ.....	51
10.1	VLIV ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA RA	52
10.2	VLIV ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA RZ	53
10.3	VLIV ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA RT	53
10.4	VLIV ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA RMR	54
10.5	VÝPOČET ŘEZNÉ RYCHLOSTI Z OTÁČEK.....	54
11	VLIV TECHNOLOGIE A MATERIÁLU NA JAKOST VNITŘNÍCH OTVORŮ	55
11.1	MATERIÁL 12 060 TECHNOLOGIE VRTÁNÍ	55
11.2	MATERIÁL 12 060 TECHNOLOGIE VYVRTÁVÁNÍ.....	55
11.3	MATERIÁL 12 060 TECHNOLOGIE VYSTRUŽOVÁNÍ	56
11.4	MATERIÁL 11 523 TECHNOLOGIE VRTÁNÍ	56
11.5	MATERIÁL 11 523 TECHNOLOGIE VYVRTÁVÁNÍ.....	57
11.6	MATERIÁL 11 523 TECHNOLOGIE VYSTRUŽOVÁNÍ	57
11.7	VLIV TECHNOLOGIE A MATERIÁLU OBROBKU NA RA.....	58
11.8	VLIV TECHNOLOGIE A MATERIÁLU OBROBKU NA RZ.....	58
11.9	VLIV TECHNOLOGIE A MATERIÁLU OBROBKU NA RT.....	59
11.10	VLIV TECHNOLOGIE A MATERIÁLU OBROBKU NA RMR.....	59
11.11	CELKOVÉ VYHODNOCENÍ Vlivu MATERIÁLU NA JAKOST POVRCHU	60
11.12	CELKOVÉ VYHODNOCENÍ Vlivu TECHNOLOGIE NA JAKOST POVRCHU.....	60
12	EKONOMICKÁ VÝHODNOST JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ VZHLEDEM K DOSAŽENÝM PARAMETRŮM.....	61

12.1	VRTÁNÍ:	61
12.2	VYSTRUŽOVÁNÍ	61
12.3	VYVRTÁVÁNÍ	61
12.4	PRŮMĚRNÁ ARITMETICKÁ ÚCHYLKA RA VŮČI STROJNÍMU ČASU AS	62
12.5	NEJVYŠŠÍ VÝŠKA PROFILU RZ VŮČI STROJNÍMU ČASU AS	63
12.6	CELKOVÁ VÝŠKA PROFILU RT VŮČI STROJNÍMU ČASU AS	64
12.7	MATERIÁLOVÝ POMĚR RMR VŮČI STROJNÍMU ČASU AS	65
12.8	CELKOVÉ EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ	65
13	DISKUZE	66
13.1	VLIV POSUVOVÉ A ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA JAKOST OBRÁBĚNÝCH DĚR.....	66
13.2	VLIV TECHNOLOGIE VÝROBY A OBRÁBĚNÉHO MATERIÁLU NA JAKOST POVRCHU.....	67
13.3	EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ.....	67
	ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	70
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	71
	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
	SEZNAM TABULEK.....	74
	SEZNAM ROVNIC	75
	PŘÍLOHA P I: TABULKA JAKOSTÍ POVRCHU U MAT. 12.060.....	76

ÚVOD

Jedním z důležitých úkolů při obrábění součástí je dosažení požadované jakosti povrchu ať už vnitřního nebo vnějšího.

Praktické zkušenosti a statistiky ukazují, že počátek vad (trhlin) materiálu nastává na povrchu. Proto má velký význam sledování a vyhodnocování povrchové vrstvy a řízení její jakosti.

Jakost povrchu podstatně ovlivňuje vlastnosti součástek. Určují odolnost proti opotřebení, proti koroznímu napadení atd. Dá se očekávat, že vliv technologie výroby a její účinek na vlastnosti povrchové vrstvy se bude projevovat stále výrazněji.

Jakost povrchu je dnes označována jako „INTEGRITA POVRCHU.“ Integrita povrchu je proto odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká, bere v úvahu důsledky působení technologických metod na jakost obrobené plochy a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek.

Vlivu jakosti povrchové vrstvy na funkční vlastnosti součástí je věnována stále větší pozornost. Ukazuje se, že aplikace znalostí o vlastnostech povrchu a jeho změnách vede k poznání chování součástí nebo zařízení v provozu. Základní pochopení změn v povrchové vrstvě je důležité pro budoucí zlepšení výrobku.

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem technologických parametrů procesu, použité technologie výroby a použitého materiálu na jakost povrchu.

V teoretické části jsou popsány jednotlivé technologie výroby vnitřních ploch a metody hodnocení jakosti povrchu.

V praktické části je vyhodnocen vliv technologických podmínek na jakost povrchu a vliv technologie výroby a vliv použitého materiálu na jakost povrchu. V závěru je provedeno ekonomické porovnání výhodnosti metod výroby dř.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ TECHNOLOGIÍ OBRÁBĚNÍ VNITŘVÍCH POLOCH

Technologie obrábění studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu jako integrální složky výrobního procesu strojírenských součástí. Obráběcí proces se provádí v obráběcím systému, který lze obecně rozčlenit podle obráběcích strojů, řezných nástrojů, manipulačních prostředků a obráběcího prostředí. Objektem obráběcího procesu je obrobek a výstupem obráběcího procesu jsou obrobené plochy, [1]

Rozdělení obrábění:

1. **Konvenční obrábění**
2. **Abrazivní metody obrábění**
3. **Beztřískové obrábění**
4. **Nekonvenční obrábění**

2 KONVENČNÍ OBRÁBĚNÍ

Vrtání, vyhrubování, vystružování, zahlubování a vyvrtávání

Uvedené metody se používají při obrábění válcových děr. Charakteristickým znakem je nástroj, který svým tvarem a dalšími technologickými vlastnostmi výrazně ovlivňuje parametry obrobenejch děr. V převážné většině případů se využívají vícebřité nástroje.

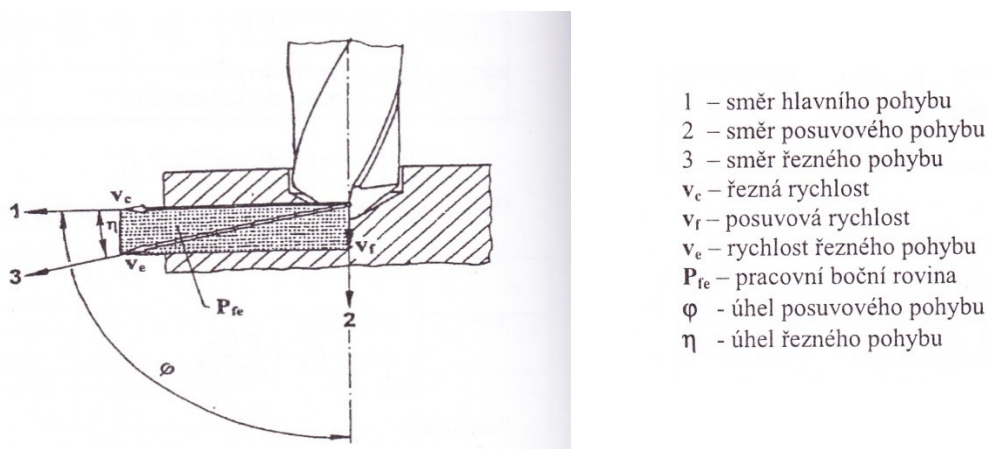
Řezná rychlost v_c je dána obecnou závislostí $v_c = \pi \cdot d \cdot n$, kde d je průměr nástroje a n jsou otáčky nástroje (někdy také otáčky obrobku). Posuvová rychlost v_f se vyjádří ze vztahu $v_f = f \cdot n$ přičemž se pracuje s hodnotou posuvové rychlosti na otáčku nástroje, nebo s posuvovou rychlostí nástroje na zub. Při vyhrubování, vystružování a zahlubování se využívají analogické pohyby nástroje pro dosažení vyšších kvalitativních parametrů obráběných děr. Při zahlubování se provádí úprava tvaru konců děr a ploch k nim přilehlých,

Charakteristickou vlastností všech nástrojů na díry je, že řezná rychlost se u nich zvětšuje od středu nástroje k obvodu nástroje. Za řeznou rychlost se zpravidla považuje obvodová rychlost na maximálním průměru nástroje.

2.1 Vrtání

Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují nebo zvětšují již předvrtané otvory. Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho obvykle nástroj, méně často obrobek.

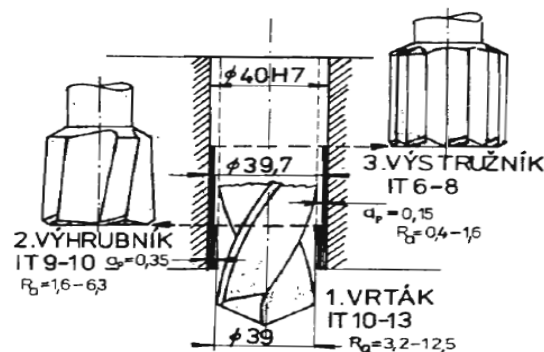
Osa vrtáku je kolmá k ploše, ve které vstupuje vrták do obráběného materiálu, posuvová rychlost vrtáku probíhá ve směru jeho osy vrtané díry. [2]



Obrázek 1 - Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovitým vrtákem [1]

2.2 Vyhrubování a vystružování

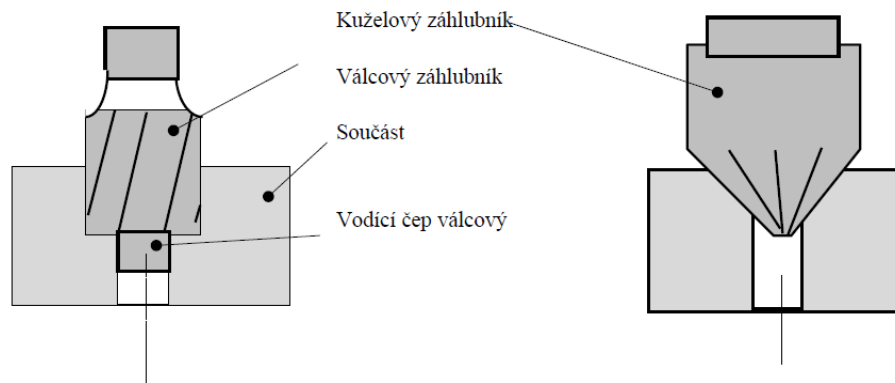
Při vyšších požadavcích na parametry přesnosti otvorů se tyto dokončují výhrubníky a výstružníky. Díry do průměru 10 mm se pouze vystružují, větší díry se vyhrubují a pak vystružují. Přidávky pro vyhrubování a vystružování závisí zejména na požadované přesnosti a drsnosti povrchu obrobene díry, ale i na druhu obráběného materiálu a nástrojového materiálu, konstrukci nástroje a dalších činitelích. [3]



Obrázek 2 - Vrtání, vyhrubování a vystružování [2]

2.3 Záhlabování

Záhlabování je operace, kterou se rozšiřuje vyvrtaná díra, např. pro zapuštění hlavy šroubu apod. Záhlubníky jsou buď jednobřité, dvoubřité nebo několikabřité nástroje na válcové, kuželové nebo tvarované díry. Zuby záhlubníku jsou frézované, v pravé šroubovici s úhlem $\omega = 20$. Vyrábějí se z nástrojové rychlořezné oceli. Jsou vedeny buď vodícím čepem v díře součásti, nebo čep nemají a jsou vedeny svou válcovou částí ve vodícím pouzdru vrtačního přípravku při sériové výrobě. [3]



Obrázek 3 – Zahlubování [3]

2.4 Vyvrtávání

Vyvrtávání je obrábění předvrtaných vnitřních rotačních ploch jednobřitým nebo vícebřitým nástrojem. Vyvrtáváním se zvětšují díry kruhového průřezu, vytvořené vrtáním, tvářením, předlitím apod. Lze opracovávat díry průchozí i neprůchozí v širokém rozsahu přesnosti a jakosti obrobeneho povrchu. Hlavní řezný pohyb je otáčivý. Na vodorovných vyvrtávacích ho vykonává nástroj upnutý ve vřetenu, na soustruzích obrobek. Na soustruzích vykonává posuvovou rychlost nástroj, upnutý v nožové hlavě, na vodorovných vyvrtávacích může posuvovou rychlost konat buď nástroj nebo obrobek, upnutý na pracovním stole vodorovné vyvrtávky. Před dokončovací operací se díra upravuje hrubováním. Zpřesní se poloha díry a její geometrický tvar. Při vyvrtávání načisto se používá vyšších řezných rychlostí a průřezy třísek jsou malé. Vyvrtávání se používá u děr obvykle větších průměrů než **30 mm**, lze ale vyvrtávat i díry menší, od průměru asi 10 [2]



Obrázek 4 – Vyvrtávací hlava [7]

3 ABRAZIVNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

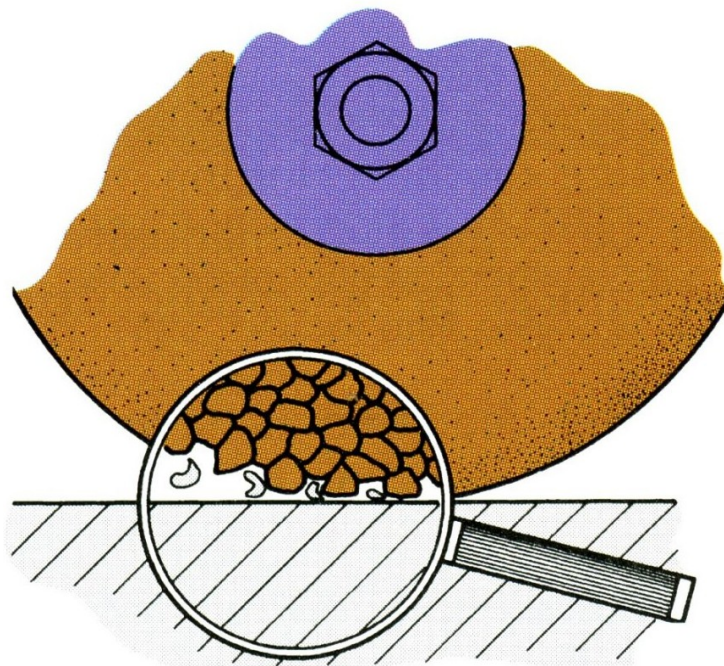
Abrazivní metody obrábění jsou charakterizovány použitím nástrojů s nedefinovanou geometrií břitu a představují nejvíce využívané aplikace při obrábění strojírenských součástí, u kterých jsou požadovány vysoké jakosti obroběných ploch. K uvedeným metodám patří zejména broušení, honování, lapování a superfinišování.

Z hlediska technologických výstupů těchto obráběcích procesů jsou důležité zejména dosahované parametry přesnosti obroběných ploch.

3.1 Broušení

Je dokončovací operace, která se vyznačuje velkou přesností, správností geometrického tvaru, z pravidla velmi dobrou jakostí povrchu a patří k nejvýznamnější části technologie výroby dnešní doby. Operace broušení umožňuje vyšší tvarovou a rozměrovou kvalitu a v technologickém procesu je známa jako vysoce přesná dokončovací operace. Pro broušení je charakteristické rozložení zrn brousícího kotouče, která jsou rozložena nepravidelně na celém jeho povrchu a odebírají velké množství malých třísek.

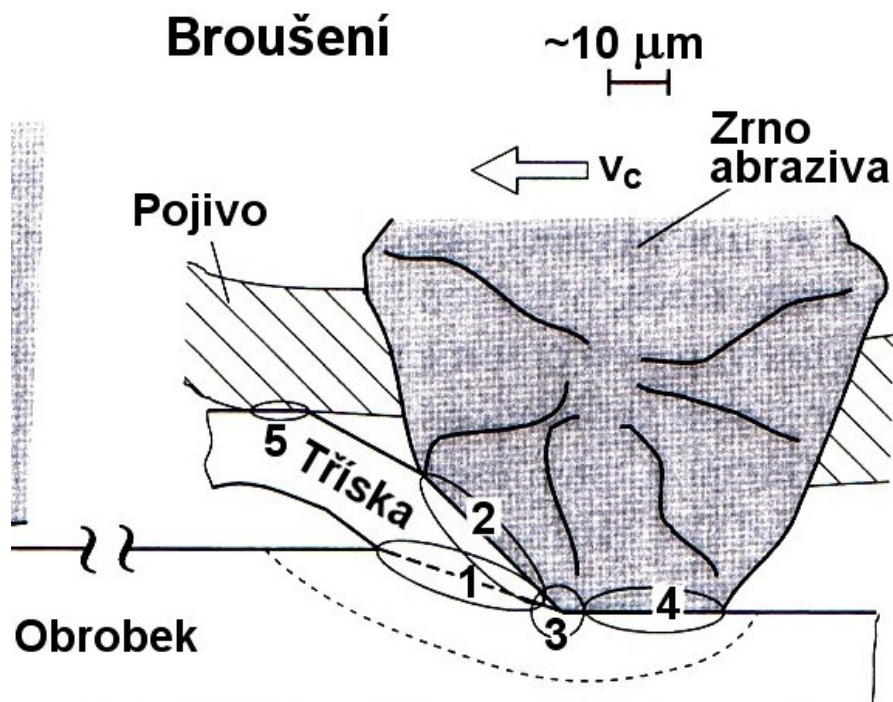
Na rozdíl od jiných metod třískového obrábění, není zde pevně definována geometrie břitu. Při vysokých řezných rychlostech však rovněž platí, že s rostoucí řeznou rychlostí roste



Obrázek 5 - Úběr třísky jednotlivými zrn [7]

úhel roviny stříhu, snižujte se primární plastická deformace v oblasti tvorby třísky a snižujte se pěchování třísky. Toto vede ke snížení třecí síly (sekundární plastická deformace), a zároveň se sníží čas kontaktu třísky a řezného klínu. Při překročení mezní hodnoty řezné rychlosti pak dochází ke snížení tepelného ovlivnění obrobku a nástroje. Volba správné hodnoty řezné rychlosti má pak značný vliv na vlastnosti nově vytvořené plochy.

Ve srovnání s dalšími metodami obrábění je plocha řezu odstraněné třísky velmi malá, obvykle kolem $0,001 \text{ mm}^2$. Relativně vysoká řezná rychlost a negativní úhel řezu jednotlivých brousících elementů vedou ke vzniku velkého množství tepla, které může produkovat značná reziduální napětí (500 - 2000 MPa) v tenké povrchové vrstvě několika mikrometrů a může značně ovlivnit životnost povrchů namáhaných především dynamicky a cyklicky. [1] V důsledku velkých plastických deformací a vnějšího i vnitřního tření se některé třísky ohřejí natolik, že se roztaví a vytvoří kapky kovu nebo shoří (jiskření). [7]



1-stříh, 2,4 – tření a kluz, 3 - pěchování a oddělení., 5 - tření

Obrázek 6 - Tříška při broušení [7]

Velikost vzniklého reziduálního napětí je v přímé úměrnosti k teplu generovanému během broušení. V povrchové vrstvě broušené součásti dochází kromě elastické a plastické deformace ke strukturálním změnám. Podle velikosti objemových změn v jednotlivých vrstvách

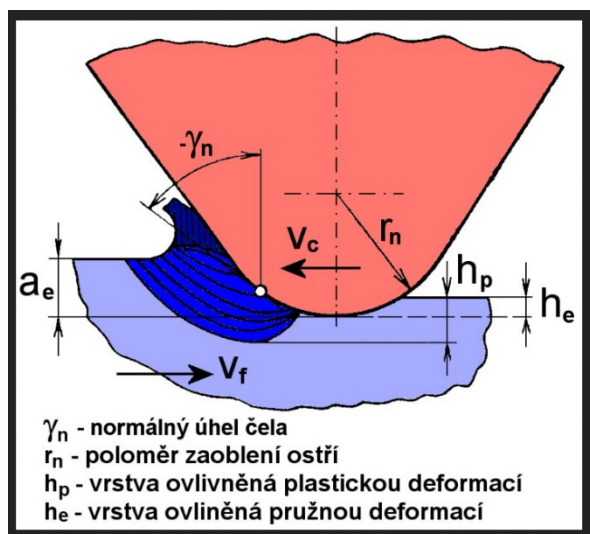
pak dochází k vytváření tahového nebo tlakové reziduálního napětí. Tlakové napětí je pozitivní, způsobuje zvýšení únavové pevnosti a zlepšuje odolnost povrchu proti otěru. Naopak tahové napětí snižuje únavovou pevnost a podporuje poškození dynamicky namáhaných povrchů, např. oběžné dráhy valivých ložisek,

Vývoj nových technologií v oblasti dokončování funkčních ploch je orientován na výrobu nových progresivních brousících materiálů, které zaručí zvýšení výkonů a snížení teploty kontaktu broušeného povrchu s brousícím kotoučem. Očekávaným výsledkem je zvýšení kvality broušených ploch, Inovací v aplikaci nových brousících materiálů jsou brousící materiály na bázi vysokoporézních brousících materiálů, sintrovaných korundů. Jedná se o uměle vytvořený typ mikrokrystallického korundu, který se drtí na extrémně malou velikost krystalů stejných řezných vlastností, které jsou v průměru až 50krát menší oproti ušlechtilému korundu.

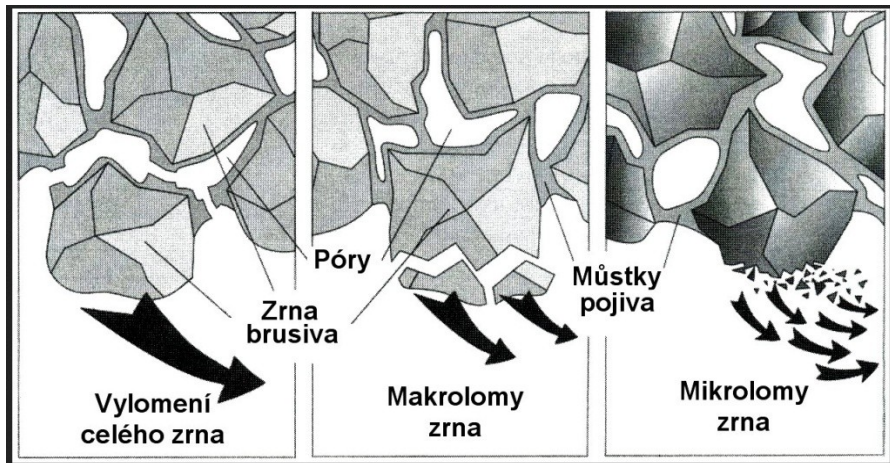
3.1.1 Základní pojmy

Broušení je převážně dokončovací operace, při které brousící elementy:

- jsou nepravidelně rozloženy po celém povrchu obvodu brousícího kotouče
- odebírají velké množství malých třísek.
- mají nepravidelný geometrický tvar, vysokou tvrdost a odolnost proti teplotě
- mají nepravidelné zaoblení hrotu a zpravidla negativní úhel čela γ_n a poměrně velký úhel hřbetu α_n , [1]



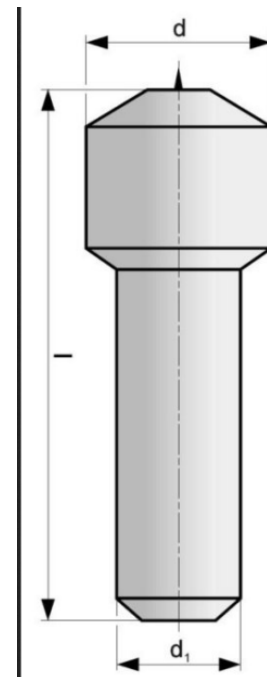
Obrázek 7 - Geometrie brusného zrna [7]



Obrázek 10 – Samoostření [7]



Obrázek 9 – Vícekamenové orovnávače [7]



Obrázek 8 - Jednokamenový orovnávač [7]

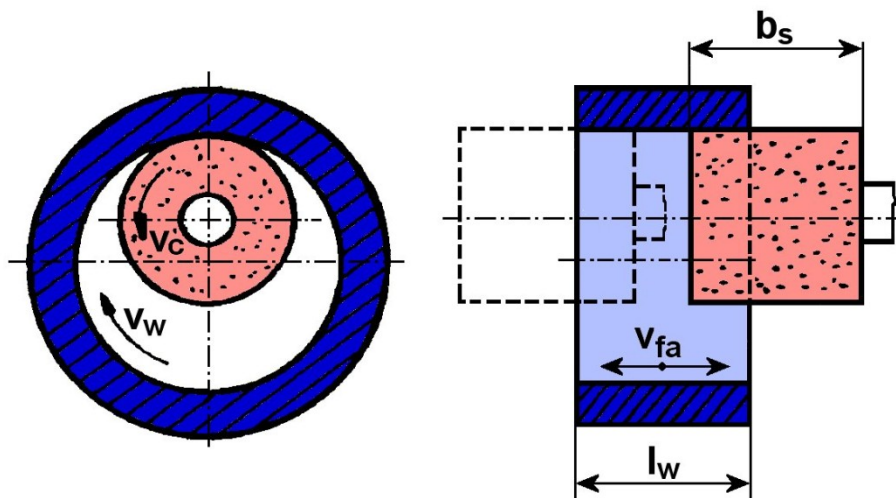
- e) Poměrně slabě upevnění zrna v pojivu brousícího kotouče - zrna jsou schopna přenášet pouze malé řezné síly, při broušení dochází k samovolnému uvolňování jednotlivých zrn nebo jejich částí (tzv. „samoostření“ brousícího kotouče). [7]
- f) Zanášení pórů nástroje třískami, což spolu s otupováním ostří jednotlivých zrn brusiva vede ke ztrátě řezivosti nástroje. Řezivost brousících kotoučů (i jejich původní tvar) lze

obnovit pomocí různých typů orovnávačů (jednokamenové orovnávače a vícekamennové orovnávače firmy Urdiamant)

3.1.2 Obvodové broušení vnitřních ploch do kulata

3.1.2.1 Axiální broušení

Tato metoda se používá obvykle v případech, kdy je délka obrobku větší než je šířka broušícího kotouče. Kotouč se otáčí uvnitř broušené díry s frekvencí odpovídající požadované řezné rychlosti v_c [m s⁻¹] a posouvá ve směru její osy axiální rychlostí v_{fa} [m min⁻¹]. Obrobek se otáčí s frekvencí otáčení n_w [min⁻¹], která mu uděluje obvodovou rychlost v_w [m min⁻¹] (vztaženo na průměr broušené díry). Odbroušení přídavku je zabezpečeno vzájemným posunutím obráběné součásti a broušícího kotouče o hodnotu radiálního záběru (ve směru kolmém na broušený povrch). Odpružení kotouče v radiálním směru je v průběhu každého axiálního zdvihu proměnlivé, následkem menších pružných deformací se proto



Obrázek 11 – Axiální broušení [7]

kotouč v oblasti přeběhu (v obou úvratích zdvihu) zařezává do obrobku hlouběji.

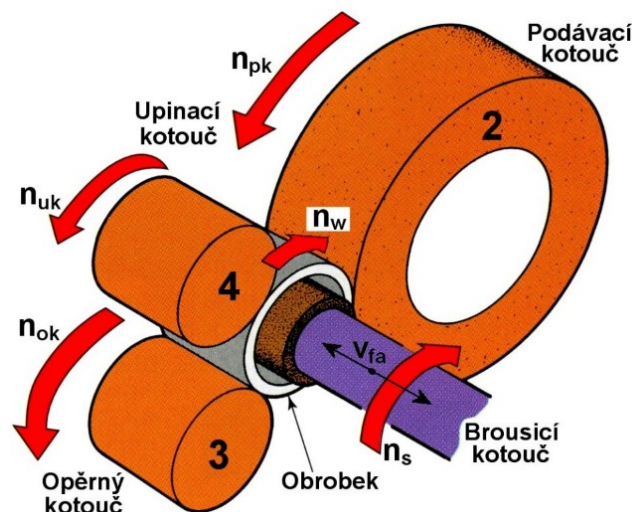
Proces vnitřního broušení ovlivňují zejména geometrické rozměry součásti, především průměr broušené díry. Průměr broušícího kotouče může dosáhnout maximálně 0,7 až 0,9 násobku průměru broušené díry, což při obrábění malých děr vyžaduje použití kotouče velmi malých průměrů. Podmínky broušení jsou nepříznivé, protože broušící zrna, která vstupují do aktivního procesu oddělování třísky, jsou velmi namáhána. Vnitřní broušení se používá hlavně v těch

případech, kdy pro výrobu přesné díry nelze použít jiných, efektivnějších metod obrábění, jako je např. vystružování, vyvrtávání, honování apod.

Brousicí kotouč malého průměru musí mít vysoké otáčky, což lze zajistit jen velmi stěží, protože např. při $d_s = 10 \text{ mm}$ a $v_c = 35 \text{ m s}^{-1}$ by se musel otáčet s frekvencí $n_s = 66845 \text{ min}^{-1}$. Protože zajištění tak vysokých otáček vřetena je poměrně obtížné, brousí se malé díry nízkými řeznými rychlostmi, což má za následek zhoršení jakosti broušeného povrchu a snížení výrobnosti. Navíc se kotouč rychle opotřebovává, zanáší, ztrácí řeznou schopnost i geometrický tvar a proto musí být často orovnáván.

3.1.2.2 *Bezhraté broušení*

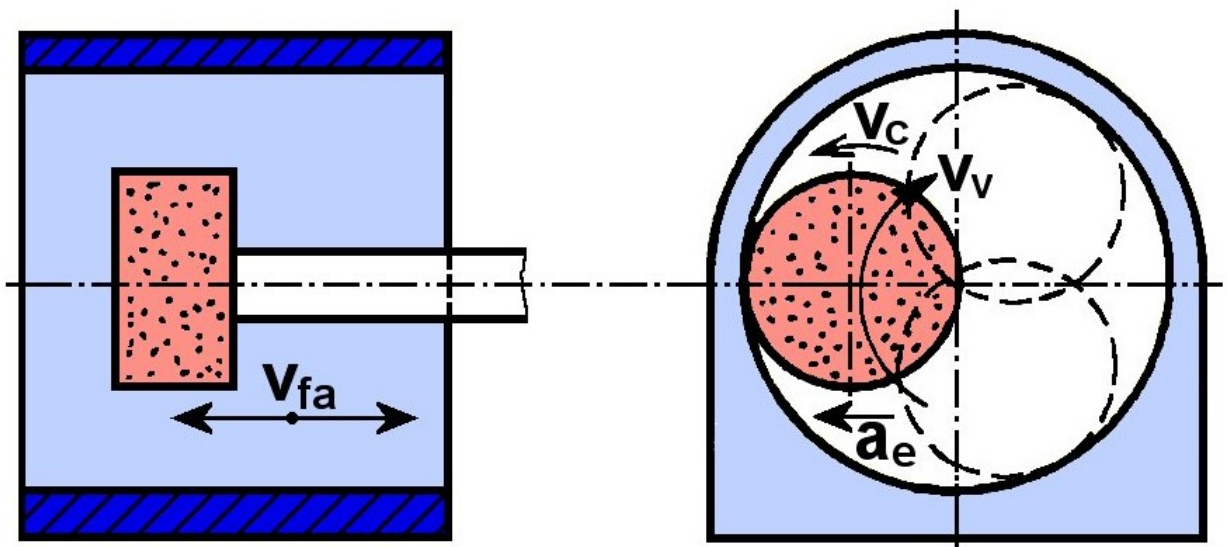
Bezhraté broušení se podobá axiálnímu broušení - všechny základní pohyby brousícího kotouče a obrobku jsou zachovány, rozdíl je v upínání součásti. Součást se vkládá mezi tři kotouče. Podávací kotouč 2 zabezpečuje otáčení součásti, opěrný kotouč 3 určuje polohu součásti a upínací kotouč 4 ji přitlačuje ke kotoučům 2 a 3 a tím ji během broušení upíná. Tento způsob broušení se může použít jen u součástí, které mají válcový vnější povrch souosý s broušeným vnitřním povrchem. Geometrické úchytky vnějšího povrchu součásti (kruhovitost, válcovitost) vyvolávají nepřesnosti při otáčení, protože se součást ustavuje od vnějšího povrchu. Bezhraté vnitřní broušení zabezpečuje větší přesnost v porovnání s axiálním vnitřním broušením, protože při tomto způsobu řezné síly nedeformují broušenou součást.



Obrázek 12 – Bezhraté broušení [7]

3.1.2.3 Planetové broušení

Při broušení děr ve větších 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 broušícím kotoučem se otáčí kolem vlastní osy obvodovou rychlostí v_c , obíhá kolem osy broušené díry rychlostí v_v a současně se pohybuje ve směru osy díry axiální rychlostí v_{fa} (axiální pohyb může alternativně vykonávat obrobek). Přesnost planetových brusek je menší, protože vřeteno má delší vyložení a je proto méně tuhé



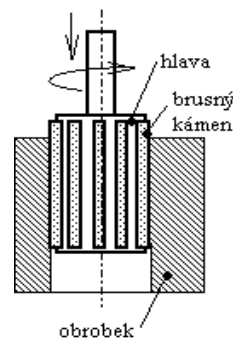
Obrázek 13 – Planetové broušení -[7]

3.2 Honování

Použití na obrábění vnitřních válcových ploch (válce spalovacích motorů, kompresory, hydraulika) Díra se musí před honováním jemně vyvrtat nebo vybrousit

- a) Nástroj je honovací hlava s honovacími kmeny

Obrázek 14 - Honovací hlava [5]



- b) V honovací hlavě může být upnuto 3 ÷ 12 broušících kamenů

- c) U kmenů se určuje brusivo, zrnitost, tvrdost, pojivo (viz broušení)
- d) Honovací stroje jsou se svislým vřeteníkem
- e) Vřeteníky bývají jedno nebo více vřetenové
- f) Jde o broušení honovacími kameny upnutými v honovací hlavě
- g) Kameny jsou na obráběnou plochu přitlačovány malým tlakem
- h) Honovací hlava koná rotační a přímočarý pohyb
- i) Obvodová rychlost je dvakrát větší než posuvová rychlost
- j) Výsledná IT a R_a závisí v na době honování [5]



Obrázek 15 – Honovací hlava [5]

Honování je dokončovací metoda obrábění, při které se obráběný materiál odebírá abrazivním účinkem brusiva honovacích kartáčků, upevněných v honovací hlavě, případně tělísek nebo vláken , nesených tenkou válcovou stopkou (může být vytvořena jako pružná, ze stočených drátů).

Honování se nejčastěji používá pro dokončování vnitřních válcových ploch. Honovat lze válcové díry průchozí i neprůchozí, s drážkami různých tvarů a velikostí v rozsahu průměrů 1 až 750 mm a délek až 24 m a s přídatným zařízením i kuželové díry.



Obrázek 16- Honování nylonová vlákna [7]

Honováním se dokončují hydraulické, pneumatické a brzdové válce, válce spalovacích motorů, kliková ložiska motorových bloků, ojníc, bubny, pouzdra, ložiska vřeten, apod. Honovat lze kalené i nekalené oceli, litiny, hliníkové slitiny, neželezné kovy, slinuté karbidy, tvrdé povlaky a další materiály. Podle požadované přesnosti honovaného povrchu se rozlišuje honování:

- a) jednostupňové (jeden nástroj pro hrubovací i dokončovací honování, pro dokončování se buď sníží tlak nebo se zmenší úhel),
- b) dvoustupňové (použije se jeden nástroj s hrubší zrnitostí pro hrubování a jeden jemnozrný pro dokončování).

Vibrační honování probíhá za podmínek, kdy se na posuvový nebo rotační pohyb nástroje přidává kmitavý pohyb o amplitudě 1 až 10 mm a frekvenci až 1500 Hz. Tento způsob honování zaručuje vyšší jakost obrobeneho povrchu.

Firma Gehring uvádí na své internetové stránce i netradiční metodu honování pomocí laserového paprsku

3.3 Lapování

Lapování je dokončovací metoda obrábění, kterou se dosahuje nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti povrchu obrobenej plochy. Lapování je zvláštní druh velmi jemného broušení, při němž k úběru materiálu dochází volným brusivem, které se přivádí mezi vzájemně se pohybující lapovací nástroj a obrobek (u měkkých lapovacích nástrojů mohou být zrna brusiva zamačkána nebo jinak upevněna v lapovacím nástroji). Z technologického hlediska se lapování rozděluje na hrubovací, jemné a velmi jemné. Při hrubovacím lapování dochází k odřezávání nerovností a výstupků obráběného povrchu velkým počtem zrn brusiva. Při velmi jemném lapování dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy lapované plochy. Nevýhodou lapování je velká pracnost, malá produktivita a vysoké náklady na jednotku plochy v porovnání s ostatními dokončovacími metodami obrábění. Proto se lapování nahrazuje (kde to je možné z hlediska požadované přesnosti a drsnosti povrchu) honováním nebo superfinišováním.

3.3.1 Lapovací nástroje

Lapovací nástroje mají negativní tvar lapovaných ploch, nosným médiem pro brusivo je buď kapalina (nejčastěji petrolej s přísadou oleje a 3÷5% oleinu) nebo pasta. Vyrábějí se z jemnozrné perlitické nebo feritické litiny, z mědi, měkké oceli, olova, plastických hmot. Pro velmi jemné lapování se používají také nástroje z kalené oceli nebo tvrdě chromované nástroje. Při ručním lapování se používají lapovací trny pro lapování děr.

3.4 Superfinišování

Superfinišování je vysoce produktivní metoda dokončovacího obrábění vnitřních rotačních ploch s vysokou přesností a nízkou drsností. Nejčastěji se uplatňuje při dokončování valivých ložisek a součástí v automobilovém průmyslu. Superfinišovat lze součásti z kalených i nekalených ocelí, slitin těžkých kovů, litin a plastů.

Superfinišování je zvláštní druh broušení, při němž se z dokončovaného povrchu oddělují vrcholky nerovností abrazivním účinkem velmi jemných zrn superfinišovacích kamenů. Superfinišování je charakterizováno malými řeznými rychlostmi a kmitavým (oscilačním) pohybem superfinišovacího nástroje, přitlačovaného silou na obráběnou plochu (síla vytváří požadovaný tlak). Řezný pohyb při superfinišování vzniká spojením rotačního pohybu

bu součásti s obvodovou rychlostí $v_c = 10 \div 80 \text{ m min}^{-1}$ a kmitavého přímočarého Posuvová rychlost pohybu superfinašovacího nástroje (je zpravidla kolmý na směr rotačního pohybu součásti) s frekvencí $500 \div 3000 \text{ min}^{-1}$. Amplituda zdvihu nástroje se pohybuje v rozsahu $0,1 \div 10 \text{ mm}$. Superfinašovací kameny jsou na obráběnou plochu přitlačovány tlakem $0,1 \div 0,4 \text{ MPa}$, který během superfinašování neustále klesá (v důsledku zvyšování hodnoty nosného podílu povrchu obrobené plochy) tak, že kameny začnou „plavat“ na vrstvě procesní kapaliny a řezný proces se tak v určitém okamžiku automaticky zastaví, přestože pracovní pohyby neustanou. Pokud by v této fázi nedosáhl obrobený povrch požadovaných parametrů, může superfinašovací proces pokračovat, je ale nutné zvýšit přitlačnou sílu, aby tlak znovu zvýšil hodnotu, při které jsou zrna brusiva schopna odebrat třísky z obráběného materiálu.

Největšího úběru se dosáhne při $40 \div 60^\circ$, ale obrobený povrch je matný. Při úhlech 40° se snižuje řezivost kamenů a povrch získá vysoký lesk. Jako procesní kapalina se nejčastěji používá petrolej, směs petroleje s 10 až 15 % minerálního oleje nebo různé oleje s aditivy. Pro jemné superfinašování (dosažení vysokého lesku) a měkčí materiály jsou vhodné kapaliny s vyšší viskozitou (oleje), pro větší úběry kapaliny s nižší viskozitou (např. petrolej). [7]

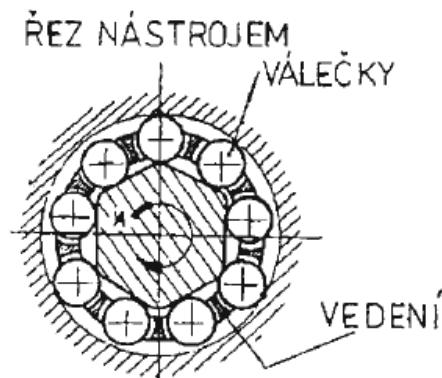


Obrázek 17 - Superfinašovací nástroje [7]

4 BEZTRÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ

4.1 Dynamické válečkování

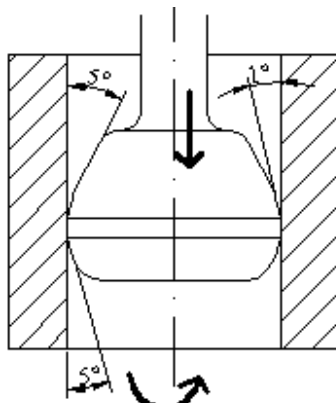
Na řadě obráběcích strojích lze dokončovat též předvrtané otvory cestou plastické deformace tenké povrchové vrstvy. Podmínkou úspěšnosti je dostatečná plasticita materiálu. Dobré výsledky dosahuje uvedená metoda zejména pro konstrukční oceli do pevnosti 1000 MPa. Dosažené parametry jsou srovnatelné s vystružováním. (IT7, $R_a0,4$) [7]



Obrázek 18 – Dynamické válečkování [7]

4.2 Protlačování

- Dokončovací operace, která zmenšuje drsnost plastickou deformací
- Nástroj je protlačovací trn, který je o několik tisícín větší, než je průměr díry
- Stroje jsou libovolné lisy
- Dochází k zpevněním materiálu, zvyšuje se tvarová a rozměrová přesnost [5]



Obrázek 19 – Protlačování [5]

5 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

Rostoucí rozsah využívání nekonvenčních metod obrábění (dále jen MNO) je vyvolán vývojem a používáním materiálů s vysokou pevností, tvrdostí, houževnatostí, materiálů odolných proti opotřebení, které nelze standardními metodami hospodárně obrábět.

NMO jsou charakterizovány těmito skutečnostmi :

- a) rychlost, možnosti a výkonnost obrábění nezávisí na mechanických vlastnostech obráběného materiálu;
- b) materiál nástroje nemusí být tvrdší než obráběný materiál, zvláště tvrdé materiály se dají obrábět nástroji z měkkých materiálů;
- c) možnost provádění složitých technologických operací, jako výrobu děr se zakřivenou osou, obrábění děr složitých tvarů, tvarových dutin v materiálech o vysokých mechanických vlastnostech;
- d) umožňují i zavádění plné mechanizace a automatizace a tím včlenění dané operace do výrobní linky;
- e) umožňují zvýšení technologičnosti konstrukce a sériovosti výroby se současným omezením výroby zmetků a snížení pracnosti daných operací;
- f) současně s výrobou tvaru dochází u některých NMO také k řízené změně vlastností povrchové vrstvy, zejména zvýšení odolnosti proti korozi, zvýšení únavové pevnosti apod,

Podle převládajících účinků oddělování materiálu je možné provést následující třídění NMO :

a) Oddělování materiálu tepelným účinkem

- elektroerozivní obrábění (Electro Discharge Machining - EDM)
- obrábění paprskem plazmy (Plasma Beam Machining - PBM)
- obrábění paprskem laseru (Laser Beam Machining - LBM)
- obrábění paprskem elekttronů (Elektron Beam Machining - EBM)

b) Oddělování materiálu elektrochemickým nebo chemickým účinkem

- elektrochemické obrábění (Electro Chemical Machining - ECM)
- chemické obrábění (Chemical Machining - CM)

c) Oddělování materiálu mechanickým účinkem

- ultrazvukové obrábění (Ultrasonic Machining - USM)
- obrábění paprskem vody (Water Jet Machining - WJM)

Uvedené NMO jsou charakterizovány širokým rozsahem parametrů, jak z hlediska technologických podmínek, tak i z hlediska výstupů příslušných procesů. Pro nekonvenční metody obrábění se často využívají CNC řídicí systémy, které výrazně rozšiřují oblast jejich využití.

CNC systémy pro nekonvenční metody obrábění mají přednost v řízeném cyklu pohybů a úběru materiálu. Příslušné stroje jsou standardně řízeny ve třech osách, ale některé stroje jsou řízené až v šesti osách. CNC stroje pro NMO mohou pracovat s elektrodou, která má kruhové zakončení jako fréza a jejich práce je podobná pracím frézovacích strojů. [1]

5.1 Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění zahrnuje řadu metod, které mají jeden společný znak - úběr materiálu je vyvolán periodicky se opakujícími elektrickými, popř. obloukovými výboji mezi nástrojem a obrobkem. Z obráběného materiálu jsou tavením a vypařováním odstraňovány velmi malé částice (mikročástice - volným okem neviditelné), které mají tvar dutých kuliček a jsou z oblasti obrábění odplavovány pomocí dielektrické kapaliny.

Fyzikální proces úběru materiálu má velmi komplexní průběh. Obrábění je založeno na principu dvou elektrod (musí být z elektricky vodivého materiálu), oddělených jiskrovou mezerou velikosti 0,01 až 0,50 mm, ponořených v dielektrické kapalině. Celkový proces odebrání materiálu se skládá ze střídajících se impulzních výbojů, statisticky rozložených po celé aktivní ploše nástroje. Při každém výboji dojde k narušení materiálu, na obrobku i elektrodě se vytvoří kráter. Doba vypnutí (přerušeni toku elektrického proudu) umožní, aby proudící kapalina odplavila z místa narušení všechny vzniklé mikročástice. Čas přerušeni musí být delší než je čas deionizace kapaliny, aby se ve stejném místě nemohl udržet plynulý výboj. Charakteristické parametry elektroerozivního obrábění jsou určeny tvarem a energií impulzů, velikostí jiskrové mezery a typem a vlastnostmi dielektrika. [7]

5.1.1 Elektrojiskrové obrábění

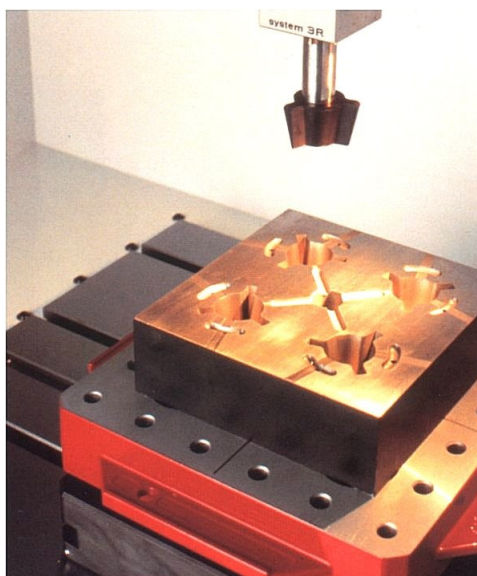
5.1.1.1 *Elektrojiskrové hloubení*

Elektrojiskrové hloubení představuje základní typ elektroerozivních metod obrábění. Uplatňuje se při vytváření tvarově složitých vnitřních ploch ve výrobě tvářecích zápustek,

forem pro lití, střížných nástrojů (Sumitomo), nástrojů pro lisování plastů, atd. K výhodám elektrojiskrového hloubení patří:

- a) možnost obrábění vodivých materiálů bez ohledu na jejich mechanické vlastnosti (pevnost, tvrdost, houževnatost, křehkost),
- b) možnost výroby součástí složitých tvarů a provádění operací, které nelze uskutečnit jinými metodami obrábění (výroba děr se zakřivenou osou),

Nástrojová elektroda (Sodick) se při elektrojiskrovém hloubení automaticky posouvá proti obrobku, řídicí systém musí přitom udržovat konstantní velikost jiskrové mezery. Elek-



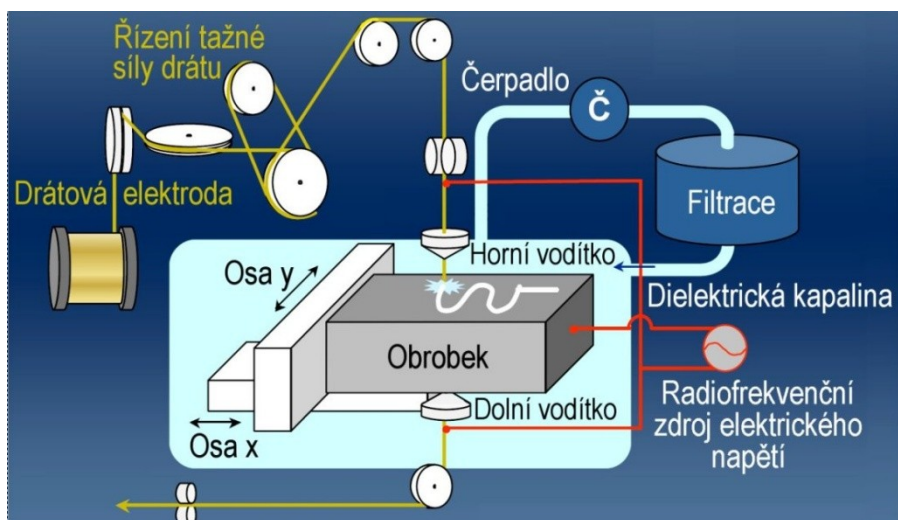
Obrázek 20 - Elektrojiskrové hloubení [7]

troda má negativní tvar obrobene plochy, který je prostřednictvím výbojů kopírován do obrobku. Produktivita obrábění a jakost povrchu obrobene plochy závisí na parametrech elektrického proudu, tvaru a frekvenci výbojů, dielektrické kapaliny, materiálu nástroje a materiálu obrobku. [7]

5.1.1.2 *Elektrojiskrové řezání*

Tato metoda elektrojiskrového obrábění se vyznačuje minimální šířkou řezu a nachází uplatnění zejména při výrobě střížných a lisovacích nástrojů a při dělení velmi pevných a tvrdých materiálů (např. elektricky vodivých keramických materiálů - SiC, Si₃N₄, slinutých

karbidů - kalených ocelí, titanových slitin, superslitin, atd.). Nástrojovou elektrodou je tenký drát, který se pomocí speciálního zařízení průběžně odvíjí z cívky (kvůli zamezení opotřebení) a přes vodící zařízení prochází místem řezu. Drát je napínán konstantní tahovou silou (předpětí ovlivňuje přesnost řezu), prostor mezi obrobkem a drátem je zaplněn dielektrickou kapalinou. [7]



Obrázek 21 – Elektrojiskrové řezání [7]

5.2 Obrábění paprskem plazmy

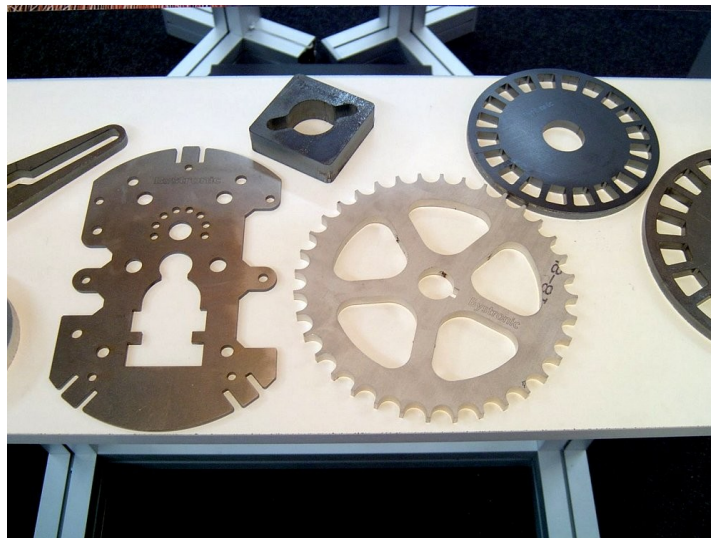
Při obrábění paprskem plazmy je obráběný materiál postupně odtavován, odpařován a rozprašován paprskem plazmy, vystupujícím vysokou rychlostí z plazmového hořáku. Plazma je elektricky vodivý stav plynu, který obsahuje směs volných elektronů, pozitivně nabitých iontů a neutrálních atomů a má vysokou teplotu 10 000 až 30 000 °C. Vlastnosti plazmy jsou ovlivněny použitými plyny, které se podle funkce dělí na:

- a) plazmové, které jsou přiváděny přímo do obloukového výboje a vytvářejí plazmový paprsek - Ar, Ar + H₂, He, N₂, CO₂, vzduch,
- b) fokusační, které slouží ke zužování paprsku při jeho výstupu z trysky plazmového hořáku - Ar, Ar + H₂, Ar + N₂, N₂,
- c) ochranné, které obklopují plazmový paprsek a oblast tavení materiálu a chrání je před účinky atmosféry - Ar.

Plazma se tvoří ohřevem plynu na vysokou teplotu, elektrickým obloukovým výbojem mezi dvěma elektrodami (nejčastěji užívaný způsob - katodou je wolframová elektroda, anodou řezaný materiál), nebo působením koncentrovaného svazku iontů. [7]

5.3 Obrábění laserem

Při laserovém obrábění dochází k odebrání materiálu účinkem úzkého paprsku silného monochromatického světla soustředěného na velmi malou plošku. Působením laserového paprsku dochází k místnímu ohřevu částic materiálu na vysokou teplotu (řádově až 104 °C), která způsobí jejich roztavení. Povrch natavené oblasti se rychle zvětšuje a materiál se dalším působením paprsku začne odpařovat. Při odpařování vznikají v natavené oblasti



Obrázek 22 - Obrábění laserem [7]

poměrně vysoké tlaky, tavenina je tlakem par přemísťována a vytlačena ze vznikajícího kráteru a paprsek proniká do větší hloubky. Používá se pro vrtání laserem přesných a kvalitních děr do velmi tvrdých materiálů o průměru 0,2 až 1,5 do maximální hloubky 15 mm. Díry mohou s povrchem svírat úhel až 10°[7]

5.4 Obrábění paprskem elektronů

Princip metody spočívá ve využití soustředěného svazku elektronů, který vysokou rychlostí (až 3/4 rychlosti světla) dopadá na malou plochu obrobku, kde se energie elektronů mění na jiné formy energie, nejčastěji na energii tepelnou. Paprsek pak působí na zpracovávaný

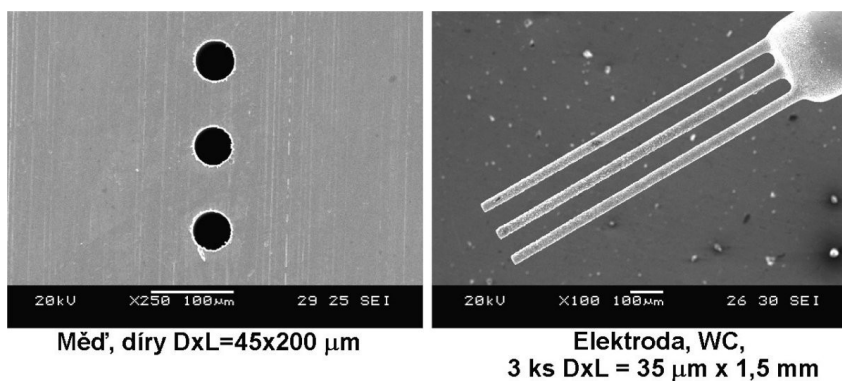
materiál termickým nebo netermickým účinkem (při netermickém účinku se mění chemicky nebo fyzikálně - změna složení a struktury, změna fyzikálních a chemických vlastností, apod.). Tepelný účinek elektronového paprsku může v kompaktním tělese způsobit vypaření (úběr materiálu při výrobě děr a drážek, při řezání a rytí),

Tuto metodu lze použít pro obrábění širokého spektra materiálů (kovových i nekovových), protože není limitována jejich mechanickými nebo fyzikálními vlastnostmi, jako je tvrdost, houževnatost, elektrická vodivost, bod tavení, atd. Nejčastěji se využívá pro vrtání děr malých průměrů (0,01 až 1 mm), zejména v oblasti elektroniky a mikroelektroniky [7]

5.5 Elektrochemické obrábění

Elektrochemické obrábění je řízený proces oddělování materiálu prostřednictvím anodického rozpouštění v elektrolytu, který proudí mezerou ($0,025 \div 1,3$ mm, rychlost proudění $10 \div 50$ m s⁻¹) mezi elektrodami (anoda - obrobek, katoda - nástroj), napájenými stejnosměrným zdrojem nízkého napětí (4 až 30 V) při vysoké hodnotě proudu (50 až 20000 A). Intenzita rozpouštění je závislá na hustotě elektrického proudu ($0,2 \div 3$ A mm⁻²). Její zvyšování nepříznivě ovlivňuje úběr obráběného materiálu, protože na povrchu elektrod se začínají usazovat oxidy, které vytvářejí pasivační vrstvu, zabraňující dalšímu rozpouštění materiálu obrobku. Vrstva oxidů pak musí být odstraňována přiváděním elektrolytu pod tlakem (70 až 2800 kPa).

K základním aplikacím elektrochemického obrábění patří výroba tvarově složitých součástí (zápustky, lisovací nástroje, lopatky turbín), obrábění materiálů s vysokou pevností a tvrdostí (kalené oceli, žárovečné slitiny, slinuté karbidy) a obrábění součástí s malou tuhostí, které by se účinkem řezných nebo upínacích sil mohly při klasickém obrábění deformovat. [7]



Obrázek 23 – Elektrochemické obrábění [7]

5.6 Chemické obrábění

Podstatou chemického obrábění je řízené odleptávání vrstev materiálu o tloušťce od několika setin milimetru do několika milimetrů z povrchu obrobku, založené na chemické reakci obráběného materiálu s pracovním prostředím. Místa, která nemají být leptána, jsou chráněna speciálním povlakem - maskou (tloušťka 0,2÷2,0 mm). Metoda je ekonomicky výhodná zejména při úběru malých tlouštěk materiálu z obrobků velkých plošných rozměrů a složitých tvarů. V praxi se uplatňuje chemické prostřívání a chemické rozměrové leptání. [7]

5.7 Obrábění ultrazvukem

Proces úběru materiálu při obrábění ultrazvukem je společným důsledkem mechanického účinku abrazivních zrn, která se nacházejí mezi obrobkem a nástrojem, kmitajícím s ultrazvukovou frekvencí (20÷30 kHz, amplituda 10÷100 μm) a kavitačního a chemického účinku kapaliny, kterou jsou k obráběnému povrchu přiváděna abrazivní zrna. Velká kinetická energie zrn abraziva způsobuje narušování celistvosti obráběného povrchu, kavitační účinky navíc umožňují rychlou výměnu opotřebovaných zrn za nová. Kapalné prostředí (voda, benzín, petrolej, líh) umožňuje lepší pronikání ultrazvukové energie do místa obrábění, nejlepších výsledků se dosahuje při použití vody.

Jako brusivo se používají zrna B_4C , SiC , Al_2O_3 , výjimečně diamantová zrna nebo zrna kubického nitridu boru. Koncentrace brusiva v kapalině se v závislosti na tvrdosti obráběného materiálu pohybuje v rozsahu 30 až 40 hm.% (při přívodu suspenze pod tlakem může být koncentrace snížena na 20 hm.%). S rostoucí velikostí zrna úběr obráběného materiálu, klesá přesnost obrábění, zvětšuje se pracovní mezera a opotřebování nástroje. Úběr narůstá i při zvětšování amplitudy a frekvence kmitů (s rostoucí frekvencí ale klesá účinnost procesu).

Ultrazvukem jsou obráběny zejména tvrdé (nad 40 HRC) a křehké materiály (měkké materiály nelze tímto způsobem obrábět, protože v nich ulpívají zrna abraziva) - sklo, křemík, keramika (příklady obrobených povrchů - Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2), grafit, kompozity, slinuté karbidy, apod. - s rostoucí tvrdostí klesá obrobitelnost. Při procesu obrábění působí abrazivní zrna nejen na obrobek, ale i na nástroj, proto jsou nástroje kvůli snížení opotřebování vyráběny z pružných a houževnatých materiálů, jako jsou korozivzdorné oceli, nebo pro menší úběry měď a mosazi.

Ultrazvukové technologie se používají pro hloubení drážek a děr kruhových i nesymetrických tvarů (komplexnost tvaru je limitována pouze konfigurací nástroje); minimální prů-

měr díry - 0,003 mm, maximální poměr hloubky díry k jejímu průměru - 3:1, Dále k výrobě trysek z keramických materiálů a k vrtání kompozitních materiálů

Podobně, jako je tomu u laseru, lze i ultrazvuk použít jako podpůrný prostředek běžných metod obrábění, zejména při vrtání. Při vrtání je např. standardní rotující diamantový vrták rozkmitán ultrazvukovou frekvencí 20 kHz (amplituda 0,025 až 0,050 mm), do místa řezu se ale nepřivádí kapalina se zrny abraziva. Kmitání špičky vrtáku snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem, brání zadírání, umožňuje lepší průtok řezné kapaliny a zkracuje jednotkové strojní časy. K dalším přednostem této metody patří větší úběr obráběného materiálu, menší tlaky nástroje na jemné součásti a zlepšení podmínek při hlubokém vrtání. Ultrazvukem podporované vrtání je výhodné i z toho důvodu, že na okraji díry (především při vrtání křehkých materiálů) nevznikají trhliny. [7]

5.8 Obrábění vodním paprskem

Obrábění vodním paprskem využívá k oddělování materiálu kinetickou energii vysokotlakého a vysokorychlostního (rychlost proudění 600 až 900 m s⁻¹) vodního paprsku (řezání čistým vodním paprskem - hydrodynamické obrábění, pracovní tlak až 690 MPa), kombinovanou s kinetickou energií abrazivních částic (vodní paprsek s abrazivem, pracovní tlak vody 60 až 400 MPa).

V případě paprsku s abrazivem dochází k úběru materiálu vysokorychlostním erozivním procesem, v důsledku působení řezného média (abrazivní částice), usměrněného do úzkého paprsku s vysokým řezným účinkem. Paprsek prochází tryskou řezací hlavice (Omax - programovatelná pětiosá hlavice), proniká do obrobku, kde při vzájemném tření s materiálem obrobku postupně ztrácí svoji energii a vychyluje se z původního směru. Tento jev je doprovázen zhoršováním jakosti povrchu obrobené plochy s rostoucí vzdáleností od místa vstupu paprsku a může být potlačen tzv. oscilačním řezáním, kdy rychlost pohybu paprsku v_p není konstantní, ale v průběhu času se s určitou frekvencí mění. Kvalita řezu je ovlivněna výtokovým průměrem trysky (0,75÷2,50 mm), tlakem vody, rychlostí pohybu paprsku, rychlostí proudění, vzdáleností ústí trysky od povrchu obrobku, úhlem sklonu paprsku, druhem abraziva a aditivy, obsaženými ve vodě. Aditiva (různé polymery s lineárními molekulami) zabraňují nadměrné turbulenci a napomáhají tak vytvoření souvislého, vysoce účinného paprsku, který si zachovává kompaktní jádro a při styku s obráběným materiálem se netříští. [7]

6 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

Metody kontroly povrchu rozdělujeme na metody kvalitativní a kvantitativní.

6.1 Metody kvalitativní

Metody kvalitativní jsou založeny na porovnání kontrolovaného povrchu s povrchem vzorovým, jehož drsnost známe. Porovnávat můžeme pouze povrchy opracované stejným nebo alespoň podobným způsobem obrábění a výsledkem je zjištění, že kontrolovaná plocha je hladší nebo hrubší než plocha vzorová, resp. že její drsnost se pohybuje mezi drsnosti dvou vzorků po sobě následujících (např. 0,8 až 1,6 μm). K porovnání slouží vzorkovnice drsnosti povrchu. Jsou obrobena různými druhy opracování v různých stupních drsnosti. Kontrolované součástky porovnáváme se vzorky hmatem nebo zrakem. Hmat umožňuje přesnější rozlišení. Kontrolujeme-li zrakem, pomáháme si lupou, nebo používáme porovnávací mikroskop. [8]

6.1 Metody kvantitativní

Metody kvantitativní vyjadřují drsnost povrchu číselně a to v parametrech Ra, Rz



Obrázek 24 – Vzorkovnice drsnosti [8]

Výsledkem kvantitativní metody je soubor odchylek povrchu od nulové hodnoty komparatoru. Drsnost povrchu posuzujeme v souladu s doporučením ISO v soustavě střední čary (m-čara). V ní se drsnost posuzuje podle střední aritmetické úchylky Ra a výšky nerovnosti Rz. [8]

6.1.1 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu – Ra (Pa, Wa)

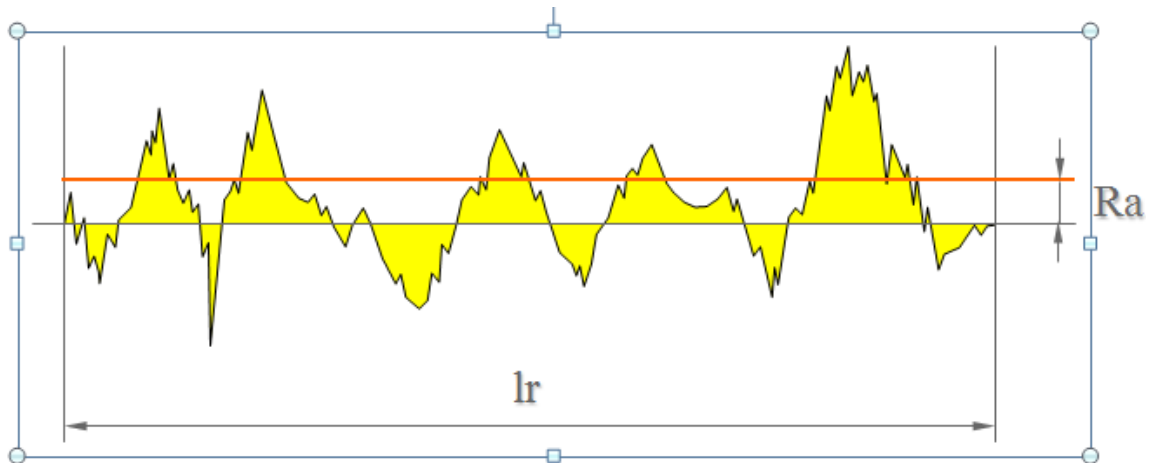
Nazývá se též „Střední aritmetická úchylka“ a je definována jako aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . [9]

Vzorec pro statistickou metodu určení Ra:

Rovnice I – Průměrná aritmetická úchylka

$$Ra = \frac{1}{l_r} \cdot \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (\mu i)$$

Doporučené základní délky l [mm] jsou: 0,08, 0,25, 0,8, 2,5, 8, 25 mm



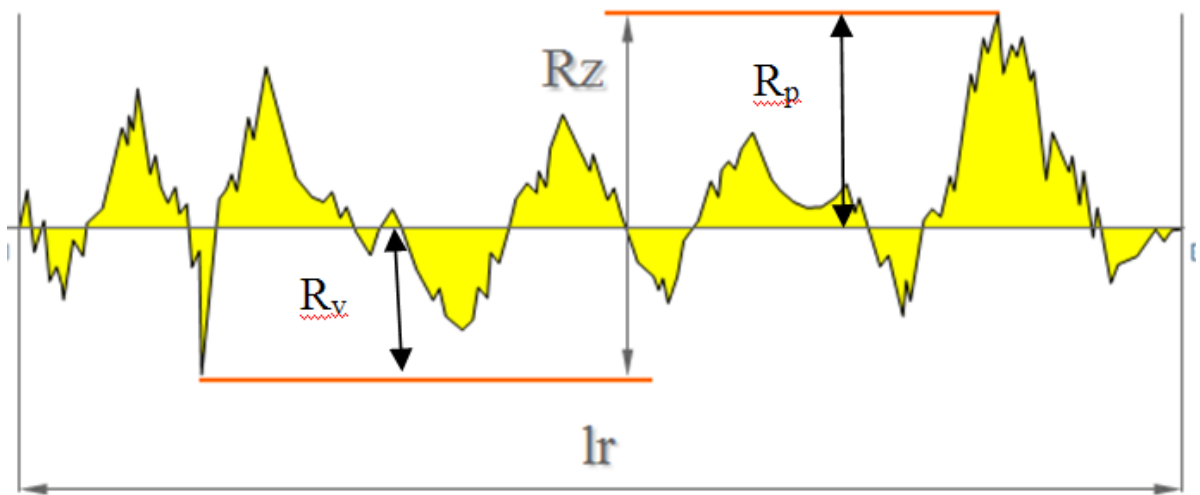
Obrázek 25 – Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [9]

6.1.2 Největší výška profilu Rz /Ry/ (mm)

je součet výšky R_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky R_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky l_r .

Rovnice II – Nejvyšší výška profilu Rz

$$Rz = R_p + R_v \quad (\mu i)$$

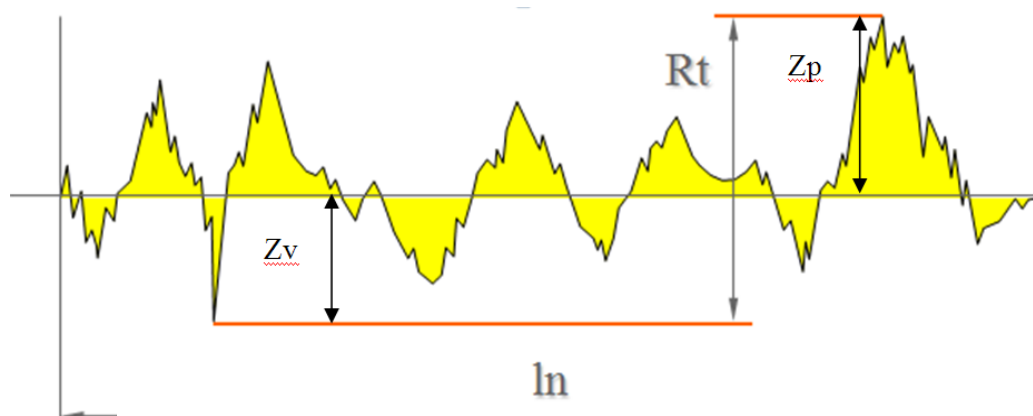
Obrázek 26 – Největší výška profilu R_z

6.1.3 Celková výška profilu R_t (μm)

Je součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky l_n .

Rovnice III – Celková výška profilu

$$R_t = Z_{p_{MAX}} + |Z_{v_{MAX}}|(\mu\text{m})$$

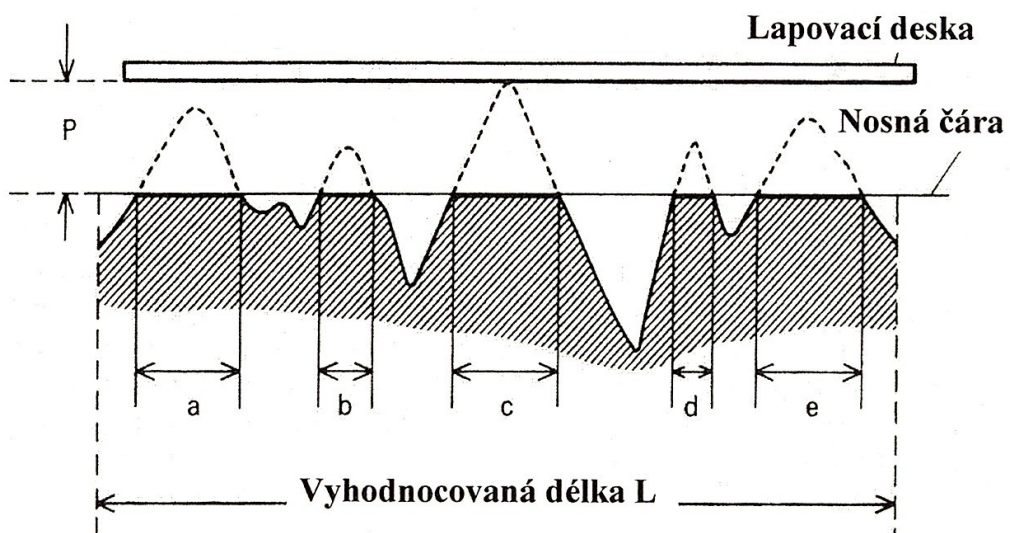
Obrázek 27 – Celková výška profilu R_t (μm)

6.1.4 Materiálový poměr Rmr (%)

Rovnice IV – Materiálový poměr

$$Rmr = \frac{a + b + c + d + e}{L} * 100 (\%)$$

Je to poměr délky nosné plochy v kterékoliv hloubce profilu k celkové délce profilu.



Obrázek 28 – Materiálový poměr Rmr (%)

6.2 Dosahované drsnosti povrchu jednotlivými technologiemi

Tabulka 1 - Dosahovaná jakost povrchu jednotlivými technologiemi

Technologie	Ra (μm)
Vyvrátávání na hrubo	12,5 a více
Obrábění laserem	6,3-12,5
Obrábění plazmou	6,3
Vrtání	3,2-12,5
Vyhrubování	1,6-6,3
Vyvrátávání na čisto	1,6-6,3
Zahlubování	1,6-6,3
Vystružování	0,4-1,6
Vyvrátávání jemné	0,2-1,6
Válečkování	0,2-0,4
Lapování hrubé	0,16-0,40
Lapování jemné	0,08-0,16
Superfinašování	0,04 -0,1
Elektroerozivní obrábění	0,01-0,8
Lapování velmi jemné	0,01-0,04
Obrábění ultrazvukem	0,4
Dynamické válečkování	0,4
Vodní paprsek	0,2

I. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍL PRAKTICKÉ PRÁCE

1. Vyhodnotit vliv posuvové rychlosti na jakost obráběných otvorů technologií vrtání
2. Vyhodnotit vliv řezné rychlosti na jakost obráběných otvorů technologií vrtání
3. Vyhodnotit vliv použité technologie na jakost obráběných otvorů
4. Vyhodnotit vliv použitého obráběného materiálu na jakost obráběných otvorů
5. Porovnat ekonomickou výhodnost technologií výroby děr

8 VRTANÍ, VYVRTÁVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ A MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU POMOCÍ DRSNOMĚRU SURFEST SJ 301

8.1 Použité stroje

Obráběcí operace probíhaly na univerzální frézce FHV – 50 DP

Technické parametry univerzální frézky na kov:

- Typ: Proma FHV-50PD
- Napětí: 400 V / 50 Hz
- Zdvih vřetene: 120 mm
- Příkon horizontálního motoru: 0,85/1,5 kW
- Příkon vertikálního motoru: 1,5 kW
- Maximální doporučený \varnothing vrtání: 50 mm
- Maximální doporučený \varnothing horizontální frézy: 100 mm
- Maximální doporučený \varnothing vertikální frézy: 25 mm
- Maximální doporučený \varnothing frézovací hlavy: 100 mm
- Rozměr stolu: 800 x 240 mm
- Kužel vřetene: Mk 4
- Otáčky vřetene - horizontálního: 60 / 140 / 175 / 200 / 270 / 460 / 690 / 1090 / 1350 min.
- Počet otáček (horizont): 9
- Otáčky vřetene - vertikálního: 115 / 230 / 290 / 360 / 580 / 720 / 875 / 1750 min.
- Počet otáček (vertikál): 8
- Vzdálenost vřetene od sloupu: 200 - 700 mm
- Vzdálenost vřetene od stolu: 100 - 480 mm
- Příčný posuv stolu: 210 mm
- Podélný posuv stolu: 370 mm
- "T" drážka: 14 mm
- Jeden dílek noniusu
 - podélný posuv stolu 0,05 mm
 - příčný posuv stolu 0,02 mm
 - svislý posuv stolu 0,02 mm
 - jemný posuv vřetene 0,05 mm
- Podélný posuv strojní
- Příčný posuv strojní
- Digitální odměřování v ose X,Y
- Rozměry (d x š x v) 1280 x 1100 x 1920 mm
- Hmotnost 700 kg

Obrázek 29 - Technické parametry frézky HV 50 DP



Obrázek 30 – Frézka HV 50 DP

8.2 Měření jakosti povrchu

Měření drsnosti povrchu probíhalo na drsnoměru Surfest Mitutoyo SJ – 301s měřícím hrotem SJ 301. Přístroj se skládá ze dvou částí. První část tvoří zařízení, jehož součástí je dotykový display, zabudovaná tiskárna pro tisk naměřených hodnot. Druhou částí je zařízení, ve kterém je zabudovaný hrot, pomocí kterého měříme nerovnosti povrchu. Z počátku se musí provést na přístroji kalibrace podle daných platných norem. Po provedení kalibrace je přístroj připravený k měření.



Obrázek 31 - Drsnoměr SJ - 301

8.3 Obráběný materiál 12 060 – vliv technologických podmínek

12 060 konstrukční ocel nelegovaná, jakostní k zušlechťování. Uklidněná ocel vhodná na hřídele turbokompresorů, karuselů, zalomené a jiné hřídele, ozubená kola a věnce, plunžry lisů, pístnice, vřetena, čepy, lamely, spojky, pojistky, západky, držáky, šrouby, páky, destičky abnormálních řetězů, různé spojovací součásti apod. Pružiny, konstrukční elementy lisovacího nářadí. Na méně namáhané hřídele silničních vozidel. Na součásti strojů, které mají vzdorovat opotřebení (ozubené věnce, vřetena vrtaček). Svařitelnost obtížná. [9]

8.3.1 Hodnoty při obrábění

8.3.1.1 Vrtání:

Průměr 11mm, čtyři různé řezné rychlosti 8,3m/min, 15,9 m/min, 23,8m/min, 46,6 m/min, a čtyři různé posuvové rychlosti 0,05 mm/ot, 0,1mm/ ot, 0,15mm/ot, 0,20mm/ot., 0,25mm/ot.,



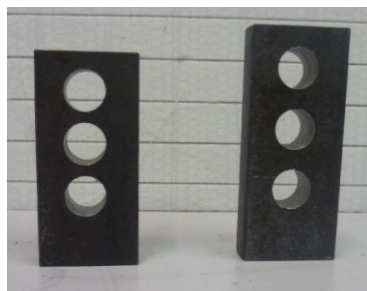
Obrázek 32– Materiál 12 060



Obrázek 33 – Vrták průměr 11mm

8.4 Obráběný materiál 12 060 a 11523 - vliv použité technologie

11 523 nelegovaná konstrukční jemnozrnná jakostní ocel vhodná ke svařování. Mostní a



Obrázek 34 – Materiál 12 060 a 11523

jiné svařované konstrukce, ohýbané profily, svařované konstrukce z dutých profilů a součástí strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. Součásti tepelných energetických zařízení a součásti tlakových nádob vyrobených z tyčí.



Obrázek 35 – Vrták , vyvrtávací hlava, výstružník

8.4.1 Hodnoty při obrábění

8.4.1.1 *Vrtání:*

Průměr 20mm, délka díry 25mm, vrtáno šroubovým vrtákem z průměru 18mm na průměr 20mm, otáčky 450 ot. / min, posuvová rychlost 65 mm/min

8.4.1.2 *Vystružování*

Průměr 20H7, délka díry 25mm vrtáno šroubovým vrtákem na průměr 19,75mm, vystružování výstružníkem na průměr 20H7, otáčky 100ot./min, posuvová rychlost 20mm/min.

8.4.1.3 *Vyvrtávání*

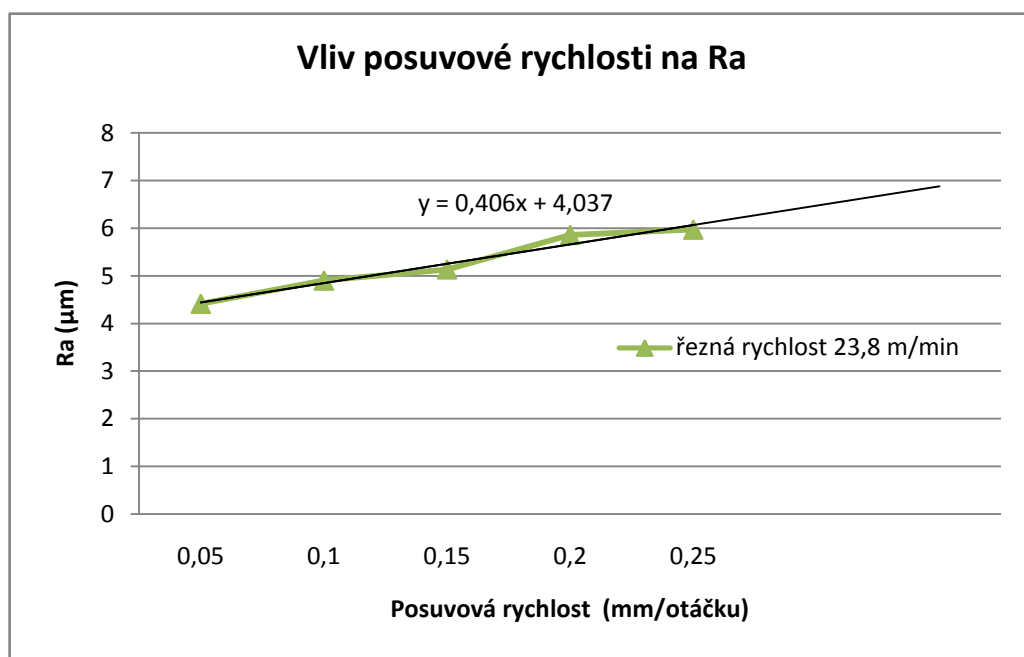
Průměr 20mm, délka díry 25mm vrtáno šroubovým vrtákem na průměr 19,75mm, vyvrtávání vyvrtávací hlavou na průměr 20mm, otáčky 100ot./min, posuvová rychlost 20mm/min

9 Vliv rychlosti posuvu na jakost vrtaných otvorů

9.1 Vliv rychlosti posuvu na Ra

Tabulka 2 - Vliv rychlosti na Ra, $v_c=23,8$ m/min

Řezná rychlost (m/min)	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8
Posuvová rychlost (mm/ot)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
Parametry jakosti (μm)	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra
	4,67	4,48	4,66	6,59	5,44
	4,52	4,62	4,89	5,06	6,4
	4,36	5,01	5,69	6,38	6,25
	4,25	5,17	4,69	5,74	6,29
	4,28	5,23	5,75	5,52	5,47
	4,416	4,902	5,136	5,858	5,97

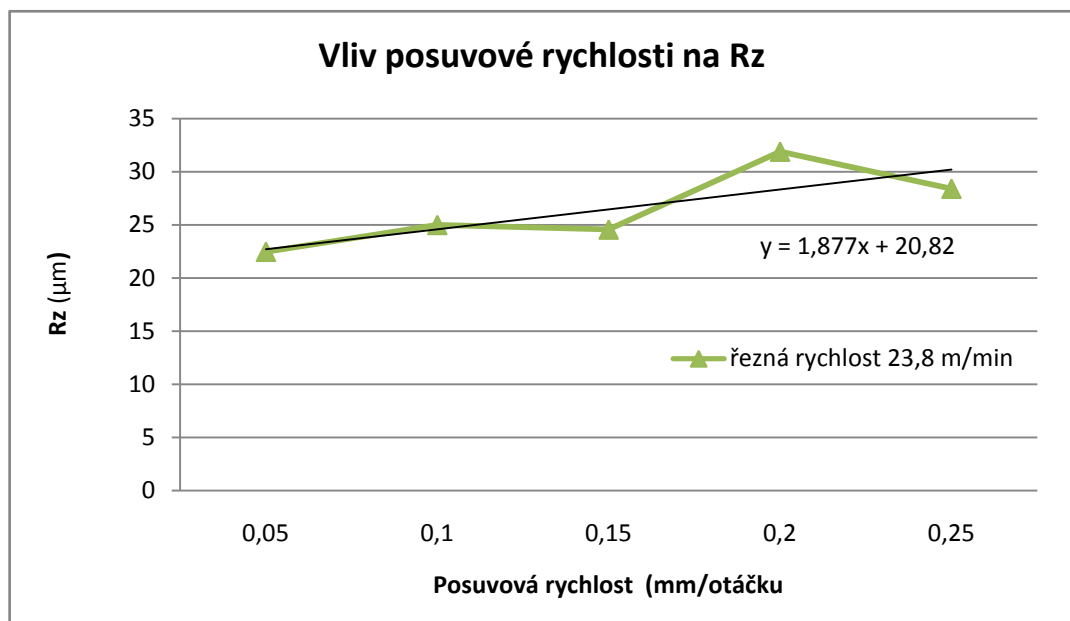


Obrázek 36 Vliv posuvové rychlosti na Ra, $v_c=23,8$ m/min

9.2 Vliv rychlosti posuvu na Rz

Tabulka 3 - Vliv rychlosti posuvu na Rz, $v_c=23,8$ m/min

Řezná rychlost (m/min)	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8
Posuvová rychlost (mm/ot)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
Parametry jakosti (μm)	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt
	29,79	37,31	36,65	47,12	33,57
	32,82	31,61	39,32	41,79	39,9
	32,92	34,25	32,8	53,71	41,96
	30,82	34,55	37,68	38,38	36,92
	29,34	41,09	34,62	36,82	33,19
	31,138	35,762	36,214	43,564	37,108

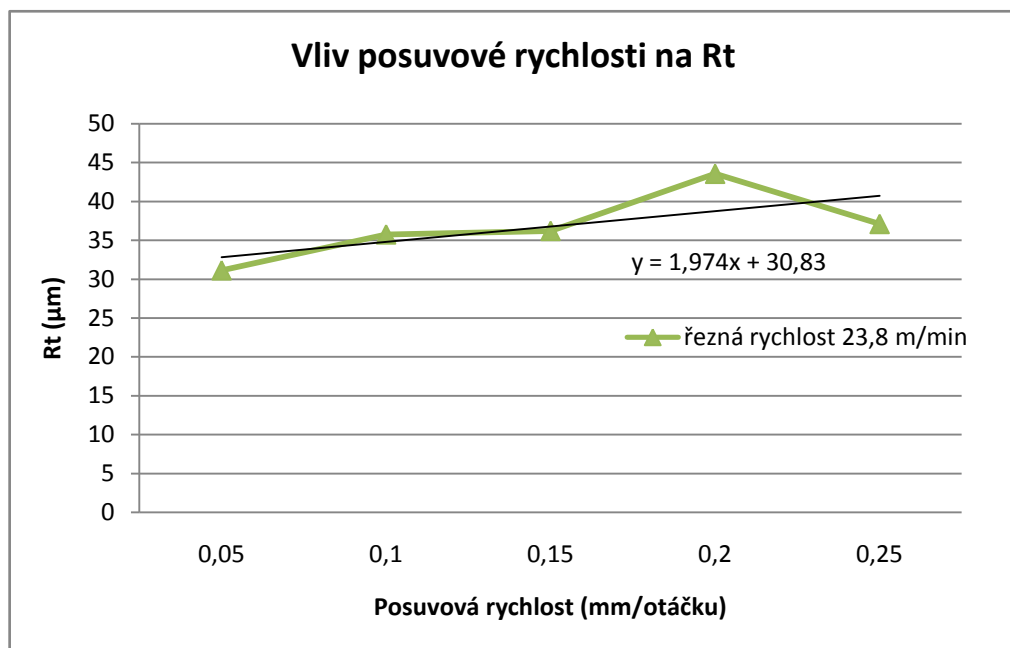


Obrázek 37– Vliv rychlosti posuvu na Rz, $v_c=23,8$ m/min

9.3 Vliv rychlosti posuvu na Rt

Tabulka 4- Vliv rychlosti posuvu na Rt, $v_c=23,8$ m/min

Řezná rychlost (m/min)	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8
Posuvová rychlost (mm/ot)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
Parametry jakosti (μm)	Rt	Rt	Rt	Rt	Rt
	29,79	37,31	36,65	47,12	33,57
	32,82	31,61	39,32	41,79	39,9
	32,92	34,25	32,8	53,71	41,96
	30,82	34,55	37,68	38,38	36,92
	29,34	41,09	34,62	36,82	33,19
	31,138	35,762	36,214	43,564	37,108

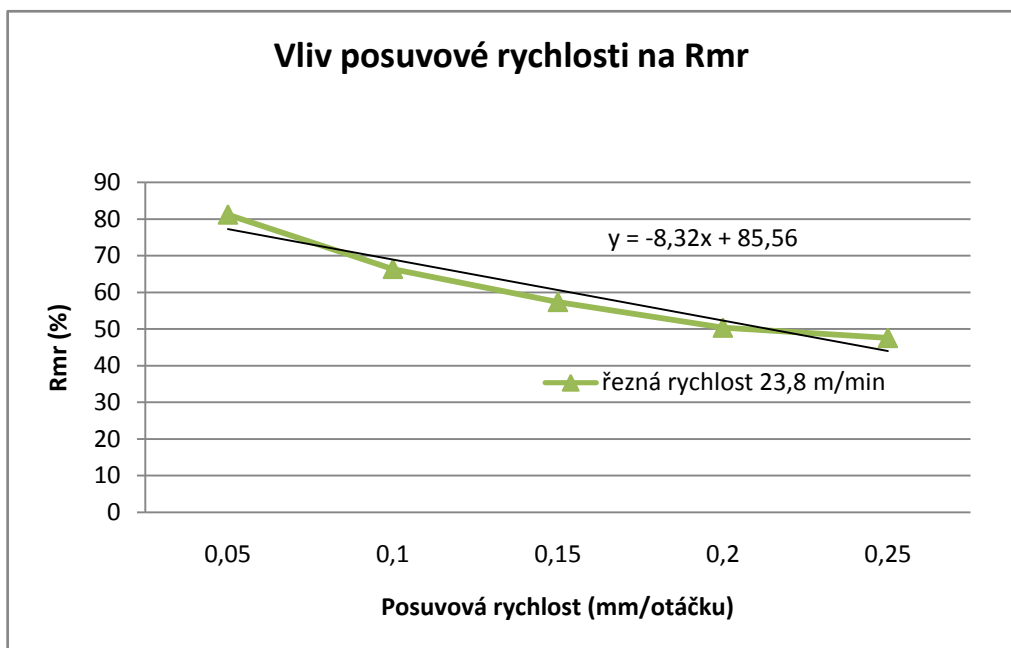


Obrázek 38- Vliv rychlosti posuvu na Rt, $v_c=23,8$ m/min

9.4 Vliv rychlosti posuvu na Rmr

Tabulka 5 - Vliv rychlosti posuvu na Rmr, $v_c=23,8$ m/min

Řezná rychlost (m/min)	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8
Posuvová rychlost (mm/ot)	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
Parametry jakosti (%)	Rmr	Rmr	Rmr	Rmr	Rmr
	86	65	56	48	56
	84	71	60	42	48
	71	77	58	59	45
	88	66	53	45	47
	77	53	60	58	42
	81,2	66,4	57,4	50,4	47,6



Obrázek 39 - Vliv rychlosti posuvu na Rmr, $v_c=23,8$ m/min

10 VLIV ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA JAKOST VRTANÝCH OTVORŮ

Tabulka 6 – Vliv řezné rychlosti na jakost vrtaných otvorů

Řezná rychlost (m/min)	8,3	8,3	8,3	8,3
Posuvová rychlost (mm/ot)	0,15	0,15	0,15	0,15
Parametry jakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt (μm)	Rmr (%)
	7,68	38,45	60,67	59
	6,86	29,53	51,18	44
	7,45	34,53	46,77	48
	7,05	39,28	53,78	42
	6,77	31,37	44,18	41
Aritmetický průměr	7,162	34,632	51,316	46,8

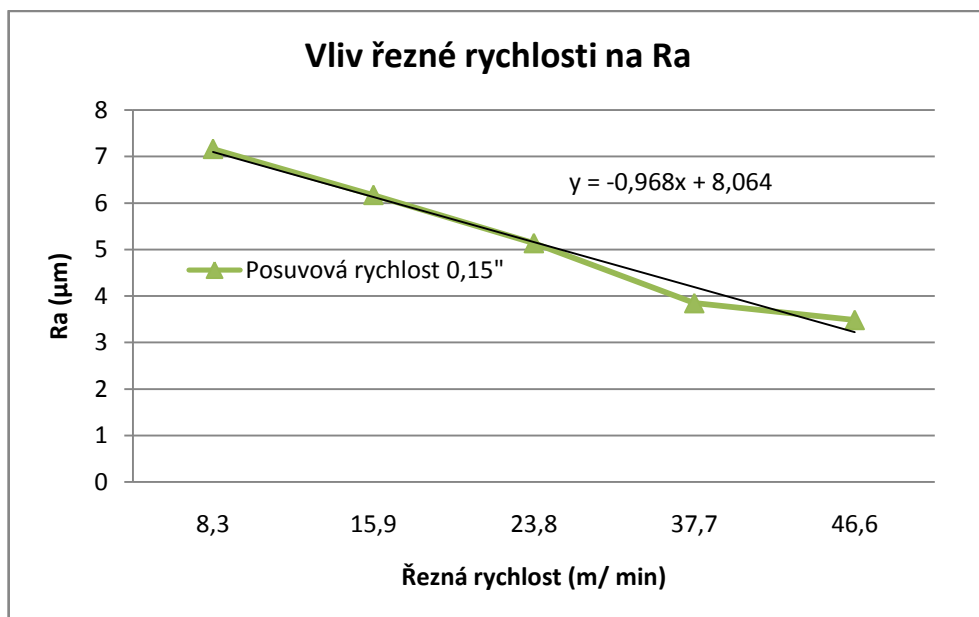
Řezná rychlost (m/min)	15,9	15,9	15,9	15,9
Posuvová rychlost (mm/ot)	0,15	0,15	0,15	0,15
Parametry jakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt (μm)	Rmr (%)
	6,29	29,58	38,27	44
	6,62	33,2	43,72	54
	5,9	29,54	33,5	49
	5,72	28,43	34,48	56
	6,33	30,55	42,12	46
Aritmetický průměr	6,172	30,26	38,418	49,8

Řezná rychlost (m/min)	23,8	23,8	23,8	23,8
Posuvová rychlost (mm/ot)	0,15	0,15	0,15	0,15
Parametry jakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt (μm)	Rmr (%)
	4,66	24,08	36,65	56
	4,89	24,35	39,32	60
	5,69	25,24	32,8	58
	4,69	23,84	37,68	53
	5,75	25,25	34,62	60
	5,136	24,552	36,214	57,4

Řezná rychlost (m/min)	37,7	37,7	37,7	37,7
Posuvová rychlost (mm/ot)	0,15	0,15	0,15	0,15
Parametry jakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt (μm)	Rmr (%)
	3,95	22,54	30,39	71
	4,17	21,69	25,42	58
	3,42	19,59	23,28	79
	3,93	22,87	29,58	61
	3,76	20,43	27,61	69
	3,846	21,424	27,256	67,6

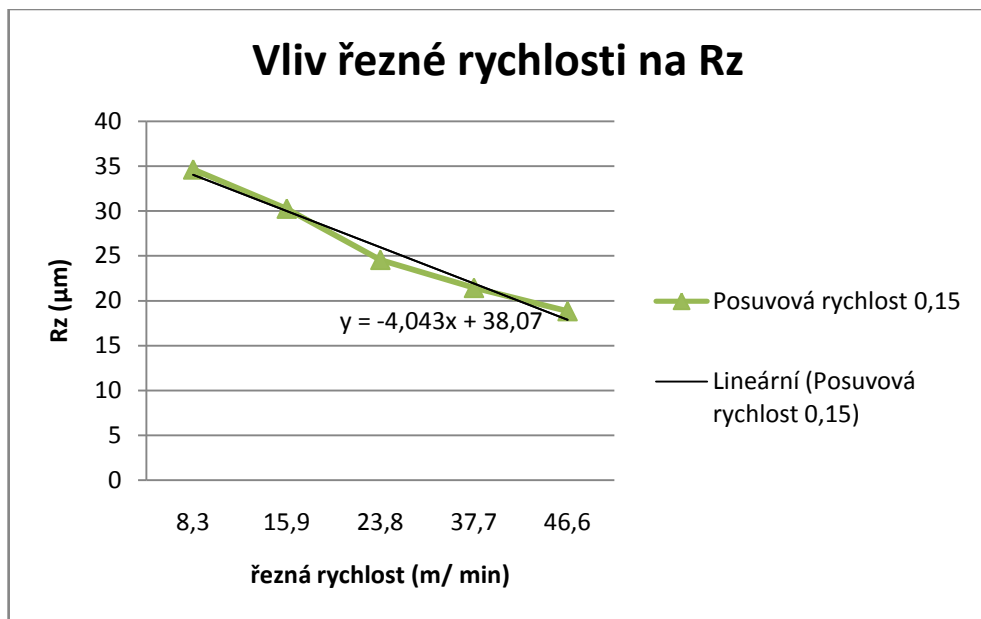
Řezná rychlost (m/min)	46,6	46,6	46,6	46,6
Posuvová rychlost (mm/ot)	0,15	0,15	0,15	0,15
Parametry jakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt (μm)	Rmr (%)
	3,15	18,42	41,28	64
	3,3	18,12	37,48	71
	3,4	18,30	40,51	77
	3,83	21,41	40,16	71
	3,74	17,92	39,82	78
	3,484	18,834	39,85	72,2

10.1 Vliv řezné rychlosti na Ra



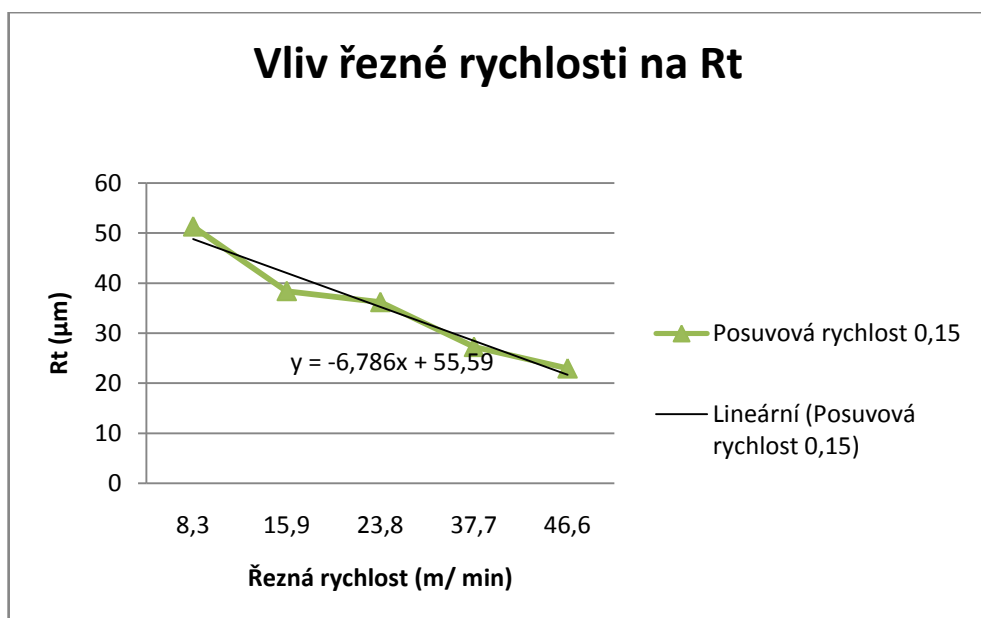
Obrázek 40 - Vliv řezné rychlosti na Ra při rychl. posuvu 0,15 mm/ot

10.2 Vliv řezné rychlosti na Rz



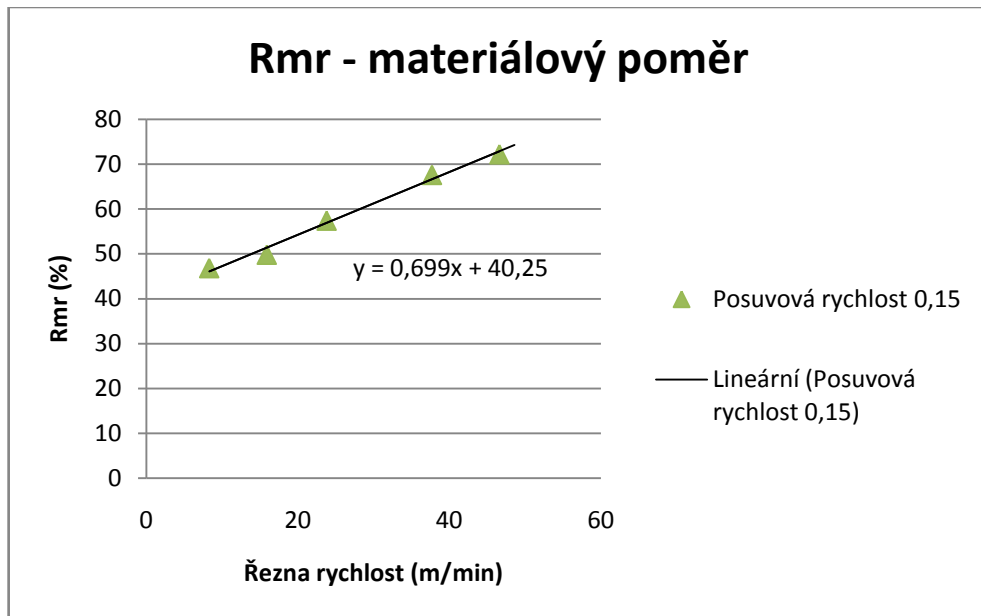
Obrázek 41 - Vliv řezné rychlosti na Rt při rychl. posuvu 0,15 mm/ot

10.3 Vliv řezné rychlosti na Rt



Obrázek 42 - Vliv řezné rychlosti na Rt při rychl. posuvu 0,15 mm/ot

10.4 Vliv řezné rychlosti na Rmr



Obrázek 43 - Vliv řezné rychlosti na Rmr při rychl. posuvu 0,15 mm/ot

10.5 Výpočet řezné rychlosti z otáček

Rovnice V– Řezná rychlost

$$v_c = \frac{\pi * d * n}{1000} \text{ (m/min)}$$

Tabulka 7 – Výpočet řezné rychlosti z ot.

	n (ot./min)	d (mm)	v_c (m/min)
1	240	11	8,3
2	460	11	15,9
3	690	11	23,8
4	1090	11	37,6
5	1350	11	46,6

11 VLIV TECHNOLOGIE A MATERIÁLU NA JAKOST VNITŘNÍCH OTVORŮ

11.1 Materiál 12 060 technologie vrtání

Tabulka 8 – Mat.12 060, technologie. vrtání

Materiál 12 060	Vrtání			
Parametry jakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt(μm)	Rmr (50%)
1	4,39	21,16	27,86	65
2	3,72	18,75	28,06	73
3	4,17	21,77	28,85	71
4	4,16	20,48	26,02	71
5	3,77	19,11	24,16	70
6	4,18	21,01	26,65	71
7	3,59	19,89	26,03	75
8	3,93	18,47	25,38	75
9	3,79	19,23	28,03	73
10	4,07	19,75	26,59	73
Aritmetický průměr	3,98	19,96	26,76	71,70

11.2 Materiál 12 060 technologie vyvrtávání

Tabulka 9– Mat.12 060, technologie. vyvrtávání

Materiál 12 060	Vyvrtávání			
Parametry jakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt(μm)	Rmr (50%)
1	2,55	13,42	18,7	77
2	2,63	15,35	24,98	81
3	3,39	16,56	23,85	74
4	2,85	14,59	22,06	73
5	3,85	18,64	24,23	62
6	3,74	19,19	27,78	74
7	3,11	17,92	27,78	65
8	3,37	18,04	24,93	79
9	3,31	15,75	21,15	61
10	3,79	17,79	23,17	73
Aritmetický průměr	3,26	16,73	23,86	71,90

11.3 Materiál 12 060 technologie vystružování

Tabulka 10– Mat.12 060, technologie. vystružování

Materiál 12 060	Vystružování			
Parametry jakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt(μm)	Rmr (50%)
1	3,57	18,47	23,91	83
2	3,84	19,31	33,44	78
3	2,48	12,64	17,3	88
4	3,36	16,87	25,41	80
5	4,28	19,74	25,53	78
6	2,84	12,85	15,7	69
7	2,42	13,01	18,78	83
8	2,09	11,33	16	83
9	1,61	11,52	15,12	85
10	1,88	11,96	20,25	92
Aritmetický průměr	2,84	14,77	21,14	81,90

11.4 Materiál 11 523 technologie vrtání

Tabulka 11 – Mat.11 523, technologie. vrtání

Materiál 11 523	Vrtání			
Parametry jakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt(μm)	Rmr (50%)
1	7,95	45,28	61,27	58
2	6,34	35,15	51,51	49
3	8,45	45,54	60,35	46
4	7,74	36,23	50,83	65
5	5,92	26,24	44,72	61
6	5,1	24,93	40,02	47
7	7,09	37,11	53,07	58
8	6,26	32,04	53,79	62
9	8,49	40,97	46,85	59
10	7,86	37,35	49,62	56
Aritmetický průměr	7,12	36,19	51,20	56,10

11.5 Materiál 11 523 technologie vyvrtávání

Tabulka 12– Mat.11 523, technologie. vyvrtávání

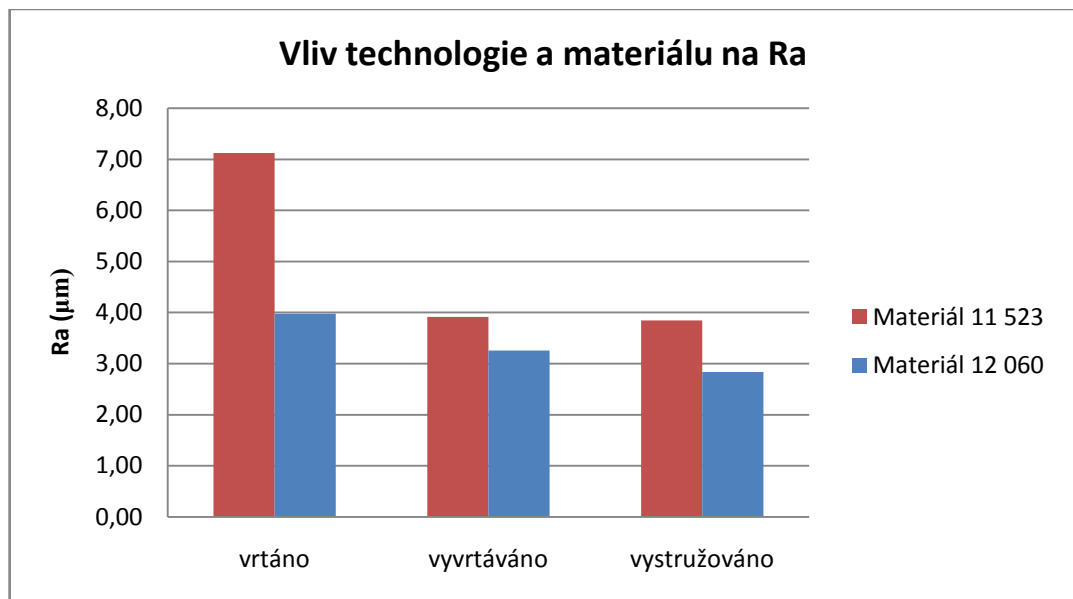
Materiál 11 523	Vyvrtávání			
Parametryjakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt(μm)	Rmr (50%)
1	3,59	17,74	27,5	57
2	4,03	23,17	35,28	54
3	3,39	18,25	32,68	65
4	3,94	22,68	33,53	56
5	3,38	20,18	27,86	62
6	4,00	21,08	31,94	45
7	4,41	23,54	29,92	49
8	4,56	27,5	35,42	79
9	3,88	21,17	32,31	61
10	3,95	20,51	26,49	62
Aritmetický průměr	3,91	21,58	31,29	59,00

11.6 Materiál 11 523 technologie vystružování

Tabulka 13– Mat.11 523, technologie. vystružování

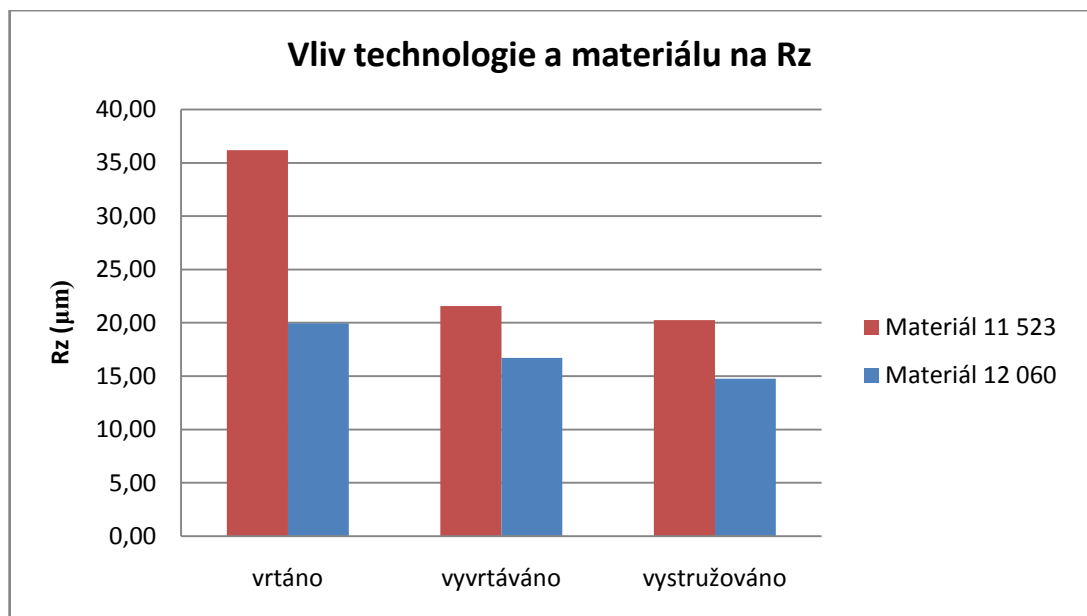
Materiál 11 523	Vystružování			
Parametryjakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt(μm)	Rmr (50%)
1	4,36	21,65	28,34	69
2	4,27	19,71	23,34	60
3	4,09	22,47	29,43	57
4	3,39	22,56	25,84	67
5	4,20	22,43	29,28	64
6	3,15	14,13	21,23	78
7	3,60	21,8	25,27	63
8	3,88	20,65	25,35	71
9	3,60	18,09	19,86	62
10	3,90	19,06	26,59	60
Aritmetický průměr	3,84	20,26	25,45	65,10

11.7 Vliv technologie a materiálu obrobku na Ra



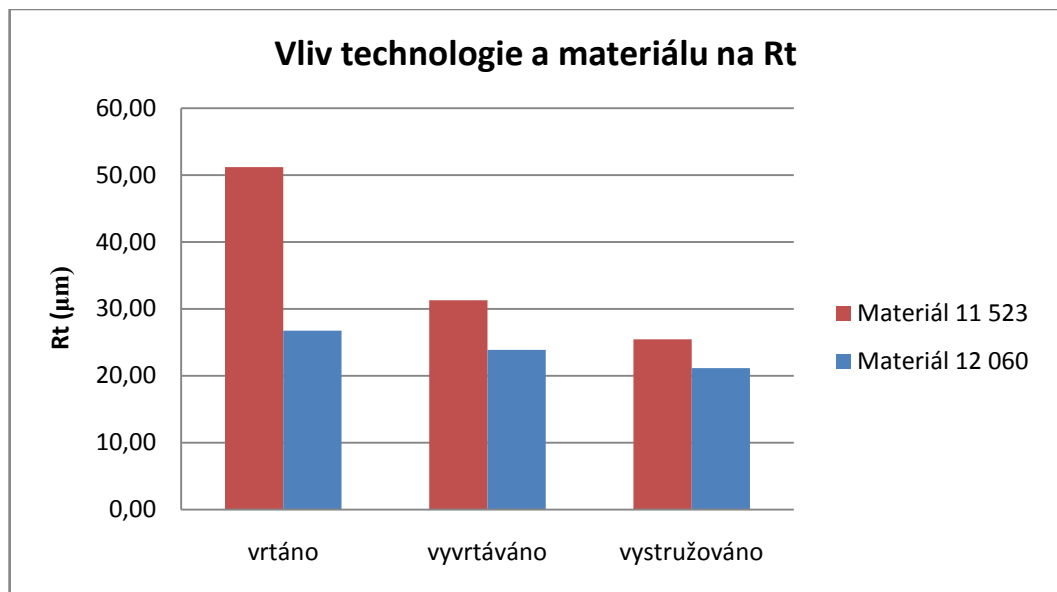
Obrázek 44 - Vliv technologie a materiálu na Ra

11.8 Vliv technologie a materiálu obrobku na Rz



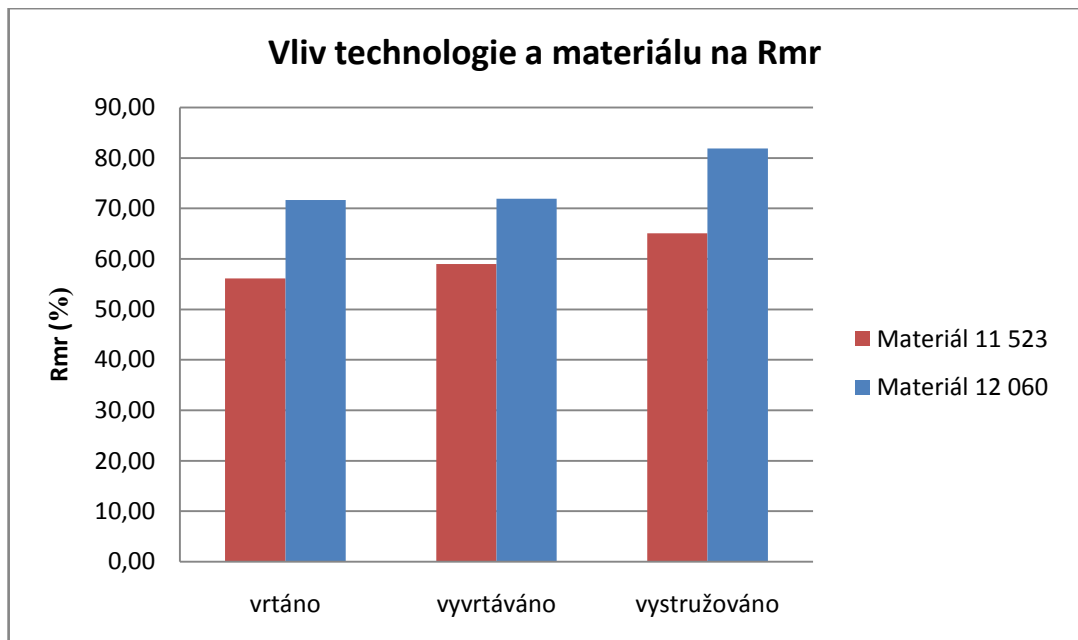
Obrázek 45 - Vliv technologie a materiálu na Rz

11.9 Vliv technologie a materiálu obrobku na Rt



Obrázek 46 - Vliv technologie a materiálu na Rt

11.10 Vliv technologie a materiálu obrobku na Rmr



Obrázek 47 – Vliv technologie a materiálu na Rmr

11.11 Celkové vyhodnocení vlivu materiálu na jakost povrchu

Tabulka 14 – Vliv materiálu na jakost povrchu

Všechny technologie	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt(μm)	Rmr (50%)
Arit. průměr 12.060	3,36	17,15	23,92	75,17
Arit. průměr 11 523	4,96	26,01	35,98	60,07
Poměr 12.060	1	1	1	1,25
Poměr 11 523	1,48	1,52	1,50	1,00

11.12 Celkové vyhodnocení vlivu technologie na jakost povrchu

Tabulka 15 – Vliv technologie na jakost povrchu

Materiál 11 523 + 12.060	Vrtání			
Parametryjakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt(μm)	Rmr (50%)
Aritmetický průměr	5,55	28,07	38,98	63,90
Poměr	1,66	1,60	1,67	1,00

Materiál 11 523 + 12.060	Vyvrtávání			
Parametryjakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt(μm)	Rmr (50%)
Aritmetický průměr	3,59	19,15	27,58	65,45
Poměr	1,07	1,09	1,18	1,02

Materiál 11 523 + 12.060	Vystružování			
Parametryjakosti	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt(μm)	Rmr (50%)
Aritmetický průměr	3,34	17,51	23,30	73,50
Poměr	1,00	1,00	1,00	1,15

12 EKONOMICKÁ VÝHODNOST JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ VZHLEDEM K DOSAŽENÝM PARAMETRŮM

V této části je provedeno ekonomické vyhodnocení spotřeby strojního času A_s při vrtání, vyvrtávání a vystružování vzhledem k dosaženým parametrům jakosti povrchu R_a , R_z , R_t , R_{mr} . Vše je vyhodnoceno jen relativně vzhledem k naměřeným a vypočteným hodnotám.

12.1 Vrtání:

Průměr 20mm, délka díry L 25mm, vrtáno šroubovým vrtákem z průměru 18mm na průměr 20mm, otáčky 450 ot. / min, posuvová rychlost 65 mm/min

12.2 Vystružování

Průměr 20H7, délka díry L 25mm vrtáno šroubovým vrtákem na průměr 19,75mm, vystružování výstružníkem na průměr 20H7, otáčky 100ot./min, posuvová rychlost v_f 20mm/min.

12.3 Vyvrtávání

Průměr 20mm, délka díry L 25mm vrtáno šroubovým vrtákem na průměr 19,75mm, vyvrtávání vyvrtávací hlavou na průměr 20mm, otáčky 100ot./min, posuvová rychlost v_f 20mm/min

Rovnice VI – Strojní čas

$$A_s = \frac{L}{v_f} * 60 \text{ (s)}$$

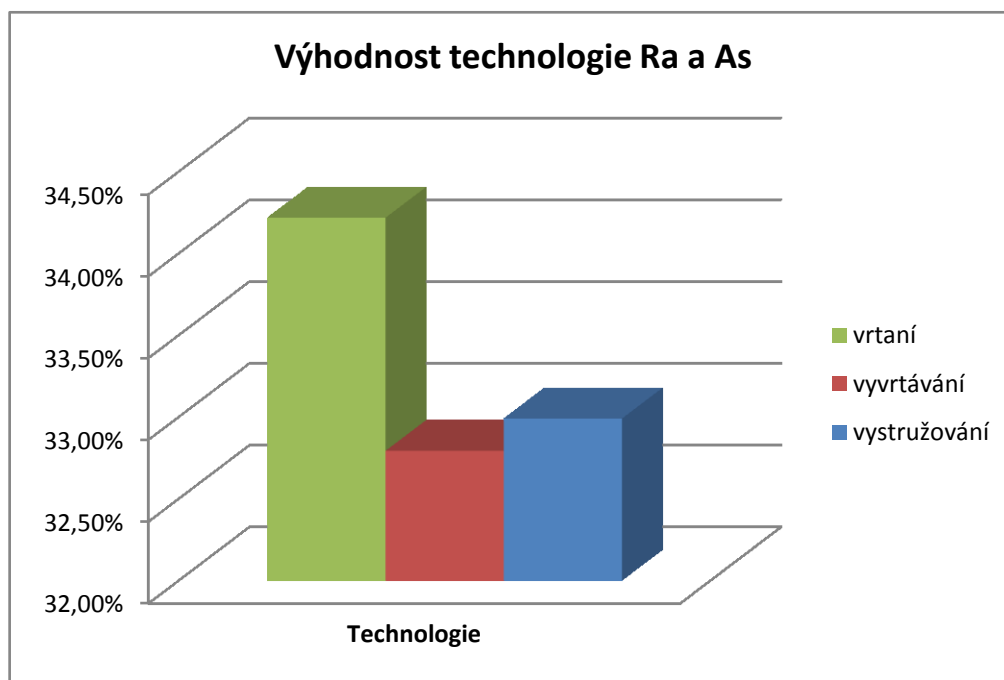
Tabulka 16 – Strojní čas A_s

	L (mm)	v_f (mm/min)	A_s (s)
vrtání	25	65	23,08
vyvrtávání	25	20	75,00
vystružování	25	20	75,00

12.4 Průměrná aritmetická úchylka Ra vůči strojnímu času As

Tabulka 17 – Relativní výhodnost technologie vzhledem k Ra a As

Parametry	As (s)	As (%)	Ra (μm)	Ra (%)	As+Ra	Ekonomická výhodnost
vrtáno 12 060	23,1	93,33%	3,98	84,06%		
vrtáno 11 523	23,1	93,33%	7,12	71,46%		
vrtání	46,2	186,66%	11,097	155,52%	342,18%	34,22%
vyvrtáváno 12 060	75	78,34%	3,26	86,94%		
vyvrtáváno 11 523	75	78,34%	3,91	84,32%		
vyvrtávání	150	156,67%	7,172	171,25%	327,93%	32,79%
vystružováno 11 523	75	78,34%	2,84	88,63%		
vystružováno 12 060	75	78,34%	3,84	84,59%		
vystružování	150	156,67%	6,681	173,22%	329,89%	32,99%
celkem	542,4	500,00%	43,219	500,00%	1000,00%	100,00%

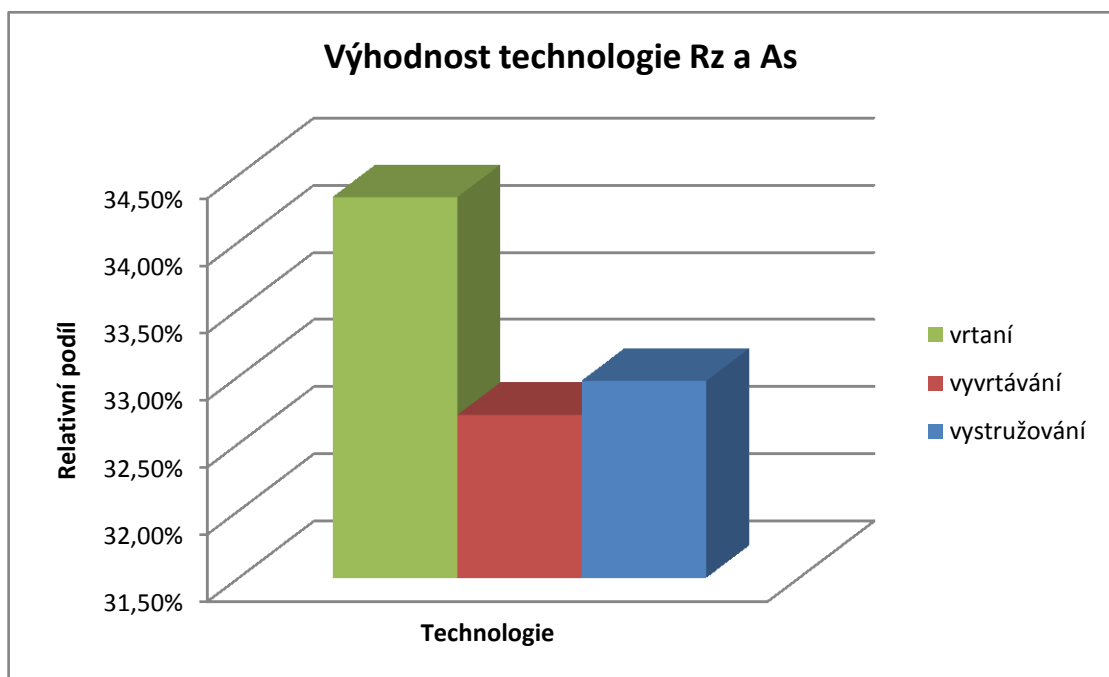


Obrázek 48 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Ra a As

12.5 Nejvyšší výška profilu Rz vůči strojnímu času As

Tabulka 18 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rz a As

Parametry	As (s)	As (%)	Rz (μm)	Rz (%)	As+Rz	Ekonomická výhodnost
vrtáno 12 060	23,1	93,33%	19,96	84,58%		
vrtáno 11 523	23,1	93,33%	36,19	72,05%		
vrtání	46,2	186,66%	56,15	156,63%	343,29%	34,33%
vyvrtáváno 12 060	75	78,34%	16,73	87,08%		
vyvrtáváno 11 523	75	78,34%	21,58	83,33%		
vyvrtávání	150	156,67%	38,307	170,42%	327,09%	32,71%
vystružováno 11 523	75	78,34%	14,77	88,59%		
vystružováno 12 060	75	78,34%	20,26	84,36%		
vystružování	150	156,67%	35,025	172,95%	329,62%	32,96%
celkem	542,4	500,00%	223,9385556	500,00%	1000,00%	100,00%

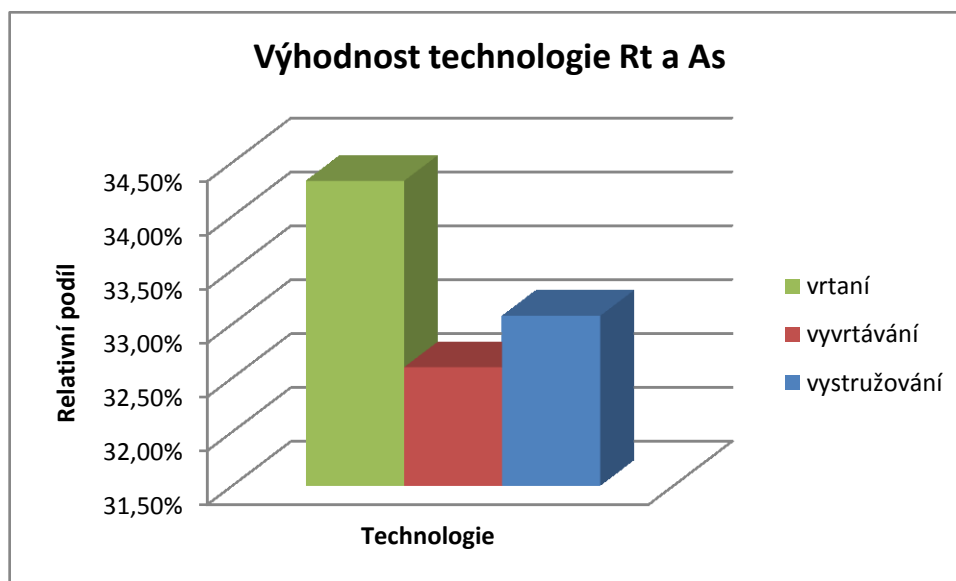


Obrázek 49 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rz a As

12.6 Celková výška profilu Rt vůči strojnímu času As

Tabulka 19 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rt a As

Parametry	As (s)	As (%)	Rt(μm)	Rt (%)	As+Rt	Ekonomická výhodnost
vrtáno 12 060	23,1	93,33%	26,76	85,11%		
vrtáno 11 523	23,1	93,33%	51,20	71,51%		
vrtání	46,2	186,66%	77,966	156,62%	343,27%	34,33%
vyvrtáváno 12 060	75	78,34%	23,86	86,72%		
vyvrtáváno 11 523	75	78,34%	31,29	82,59%		
vyvrtávání	150	156,67%	55,156	169,31%	325,98%	32,60%
vystružováno 11 523	75	78,34%	21,14	88,23%		
vystružováno 12 060	75	78,34%	25,45	85,84%		
vystružování	150	156,67%	46,597	174,07%	330,74%	33,07%
celkem	542,4	500,00%	312,841	500,00%	1000,00%	100,00%

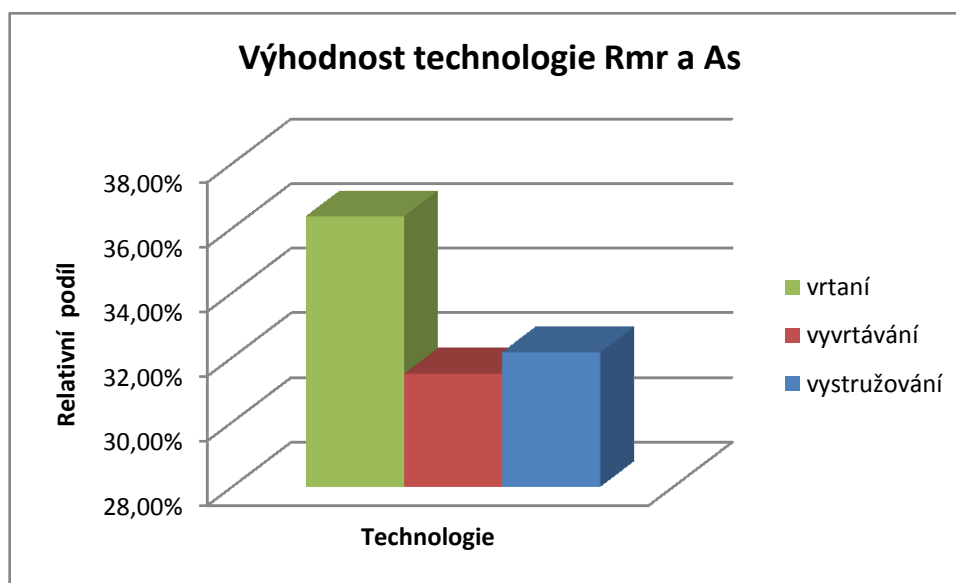


Obrázek 50 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rt a As

12.7 Materiálový poměr Rmr vůči strojnímu času As

Tabulka 20 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rmr a As

Parametry	As (s)	As (%)	Rmr (50%)	Rmr (%)	As+Rmr	Ekonomická výhodnost
vrtáno 12 060	23,1	93,33%	71,70	17,67%		
vrtáno 11 523	23,1	93,33%	56,10	13,83%		
vrtání	46,2	186,66%	127,8	31,50%	218,16%	36,36%
vyvrtáváno 12 060	75	78,34%	71,90	17,72%		
vyvrtáváno 11 523	75	78,34%	59,00	14,54%		
vyvrtávání	150	156,67%	130,9	32,27%	188,94%	31,49%
vystružováno 11 523	75	78,34%	81,90	20,19%		
vystružováno 12 060	75	78,34%	65,10	16,05%		
vystružování	150	156,67%	147	36,23%	192,91%	32,15%
celkem	542,4	500,00%	664,4	100,00%	600,00%	100,00%



Obrázek 51 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rmr a As

12.8 Celkové ekonomické vyhodnocení

Tabulka 21 – Celkové ekonomické vyhodnocení

Parametry	Ekonomická výhodnost (%) Ra+Rz+Rt+Rm	Ekonomická výhodnost (poměr) Ra+Rz+Rt+Rm
vrtání	34,81%	1,07
vyvrtávání	32,40%	1,00
vystružování	32,79%	1,01

13 DISKUZE

13.1 Vliv posuvové a řezné rychlosti na jakost obráběných děr

Z teoretických poznatků vyplývá, že technologické parametry výrazně ovlivňují jakost a kvalitu povrchu vyráběných vnitřních ploch. Obzvláště řezné podmínky přímo působí na jakost vnitřních ploch. Např. řezná rychlost nejenom, že rozhodujícím způsobem ovlivňuje životnost nástroje, ale působí na jakostní parametry povrchu. Nadměrná řezná rychlost způsobí špatnou kvalitu díry a nedodržení tolerancí a malé řezná rychlost nepříznivě působí na odvod třísky i jakost povrchu. Velká posuvová rychlost způsobuje sice dobré odvádění třísky, ale vede k riziku zlomení vrtáku a možnému zhoršení kvality díry. Naopak nízká posuvová rychlost zvyšuje jakostní parametry díry.

Na základě naměřených hodnot při vrtání díry ϕ 11mm, do materiálu 12.060, při různých posuvových rychlostech (0,05mm/ot, 0,1 mm/ot., 0,15 mm/ot., 0,2 mm/ot. a 0,25 mm/ot.) a při různých řezných rychlostech (8,3 m/min., 15,9 m /min., 23,8 m/min, 37,7m/min. a 46,6 m/min.) se některé předpoklady potvrdily.

Se zvyšující se posuvovou rychlostí, se lineárně zhoršovaly parametry jakosti povrchu. Průměrná aritmetická úchylka R_a se s rostoucí posuvovou rychlostí zvyšovala dle rovnice ($y = 0,406x + 4,037$), nejvyšší výška profilu na základní délce R_z se zvyšovala dle rovnice ($y = 1,877x + 20,82$), celková výška profilu na celkové vyhodnocované délce R_t se zvyšovala dle rovnice ($y = 1,974x + 30,83$) a materiálový poměr R_{mr} lineárně klesal dle rovnice ($y = -8,32x + 85,56$)

Naopak při vyhodnocování vlivu řezné rychlosti na jakost povrchu vrtaných děr, jsme získali přesně opačné údaje. Se zvyšující se řeznou rychlostí došlo ke zlepšení jakostních parametrů. U průměrné aritmetické úchylky R_a došlo k lineárnímu poklesu dle rovnice ($y = -0,968x + 8,064$), u nejvyšší výšky profilu na základní délce R_z došlo k poklesu dle rovnice ($y = -4,043x + 38,07$), u celkové výšky profilu na celkové vyhodnocované délce R_t došlo k poklesu dle rovnice ($y = -6,786x + 55,59$) a u materiálového poměru R_{mr} došlo k růstu dle lineární rovnice ($y = 0,699x + 40,25$).

Potvrdil se i předpoklad, že s velkou posuvovou a řeznou rychlostí hrozí nebezpečí zlomení nebo zadření vrtáku. Při posuvu 0,25 mm/ot. a řezné rychlosti 46,6 m/min došlo k zadření vrtáku.

13.2 Vliv technologie výroby a obráběného materiálu na jakost povrchu

V další části byl posuzován vliv technologie obrábění a materiálu obrobku na jakost vnitřních ploch děr. Dle teoretických předpokladů se dalo předpokládat, že u lépe obrobitelných materiálů bude vyroben kvalitnější povrch, při stejných řezných podmínkách, než u hůře obrobitelných materiálů. Z teorie dále vyplývá, že kvalitu povrchu, vyráběnou jednotlivými technologiemi, lze seřadit od nejhorší k nejlepší takto: vrtání, vyvrtávání a vystružování.

Na základě naměřených hodnot lze dále konstatovat, že u lépe obrobitelného materiálu 12.060 byla dosažena lepší jakost u všech vyhodnocovaných parametrů. Kterými jsou: průměrná aritmetická úchylka Ra, nejvyšší výška profilu na základní délce Rz, celková výška profilu na celkové vyhodnocované délce Rt a materiálový poměr Rmr.

Druhy technologie výroby děr, se seřadí dle naměřených hodnot jakosti povrchu od nejhoršího k nejlepšímu takto: vrtání, vyvrtávání a vystružování. Nejmenší rozdíl je u parametru materiálový poměr Rmr mezi technologiemi vrtání a vyvrtávání. Zde dvojbřitý vrták dosahuje srovnatelných výsledků s jednobřitým nástrojem vyvrtávací hlavou, která pracuje s nižší posuvovou rychlostí.

13.3 Ekonomické vyhodnocení jednotlivých technologií

Ekonomické vyhodnocení jednotlivých technologií bylo možno založit na základě naměřených a vypočítaných hodnot. Jedná se jen o relevantní vyhodnocení závislosti strojního času A_s a dosažených jakostních parametrů Ra, Rz, Rt, Rmr. Ze zjištěných a vypočítaných údajů vyplývá jako nejekonomičtější technologie vrtání. Dále následuje vystružování a jako nejméně ekonomicky výhodné je vyvrtávání. U technologie vrtání hraje z hlediska ekonomiky pozitivní roli krátký strojní čas a u vystružování zlepšuje ekonomičnost dosažené nejlepší jakostní parametry.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem technologických parametrů procesu, použité technologie výroby a použitého materiálu na jakost povrchu vnitřních ploch. V závěru je provedeno ekonomické porovnání výhodnosti metod výroby děr.

Pro hodnocení povrchů byly měřeny vybrané parametry drsnosti, tak také parametry založené na křivce materiálového podílu. Pro grafické hodnocení byly využívány tyto parametry jakosti povrchu. Střední aritmetická odchylka profilu R_a , nejvyšší výška profilu na základní délce R_z , celková výška profilu na celkové vyhodnocované délce R_t a materiálový poměr R_{mr} na 50% hloubce profilu drsnosti. (dále jen zkratky)

Na základě naměřených hodnot při vrtání díry ϕ 11mm, do materiálu 12.060, při různých posuvových rychlostech se při zvyšující se posuvové rychlosti v_f lineárně zhoršovaly parametry jakosti povrchu. R_a se s rostoucí posuvovou rychlostí zvyšovala dle rovnice $y = 0,406x + 4,0$, R_z se zvyšovala dle rovnice $y = 1,877x + 20,82$, R_t se zvyšovala dle rovnice $y = 1,974x + 30,83$ a R_{mr} lineárně klesal dle rovnice $y = -8,32x + 85,56$.

Při vyhodnocování vlivu řezné rychlosti v_c na jakost povrchu vrtaných děr, jsme získali přesně opačné údaje. Se zvyšující se řeznou rychlostí došlo ke zlepšení jakostních parametrů. U R_a došlo k lineárnímu poklesu dle rovnice $y = -0,968x + 8,064$, u R_z došlo k lineárnímu poklesu dle rovnice $y = -4,043x + 38,07$ u R_t došlo k lineárnímu poklesu dle rovnice $y = -6,786x + 55,59$ a u R_{mr} došlo k lineárnímu růstu dle lineární rovnice $y = 0,699x + 40,25$.

U vlivu materiálu obrobku na jakost vnitřních ploch děr, lze z naměřených hodnot konstatovat, že u lépe obrobitelného materiálu 12.060 byla dosažena lepší jakost u všech vyhodnocovaných parametrů než u hůře obrobitelného materiálu 11.523. Průměrná hodnota jednotlivých technologií parametrů jakosti pro oba materiály je v poměrech (12.060 : 11.523) R_a 1 : 1,48, R_z 1 : 1,52, R_t 1 : 1,50 a materiálový poměr R_{mr} 1,25 : 1. Tyto poměry nám ukazují, že u materiálového poměru R_{mr} je menší rozdíl parametru jakosti než u ostatních parametrů.

Dle naměřených parametrů jakosti povrchu se technologie výroby děr řadí takto: Vrtání nejhorší jakost povrchu, pak vyvrtávání a vystružování s nejlepšími jakostí povrchu. Toto seřazení platí pro všechny parametry drsnosti R_a , R_z , R_t a R_{mr} . Průměrná hodnota parametrů jakosti obou materiálů pro jednotlivé technologie je v poměrech (vrtání : vyvrtávání

: vystružování) Ra 1,66 : 1,07 : 1, Rz 1,60 : 1,09 : 1, Rt 1,67 : 1,18 : 1, Rmr 1 : 1,02 : 1,15. U parametrů Ra, Rz, Rt je nejmenší rozdíl poměrů u vyvrtávání a vystružování, z čehož vyplývá, že tyto technologie dosahují v těchto parametrech podobných výsledků. Nejmenší rozdíl je u parametru materiálový poměr Rmr mezi technologiemi vrtání a vyvrtávání. Zde dvojbřítý vrták dosahuje srovnatelných výsledků s jednobřítým nástrojem vyvrtávací hlavou, která pracuje s nižší posuvovou rychlostí.

Ekonomické vyhodnocení jednotlivých technologií bylo možno založit na základě naměřených a vypočítaných hodnot. Jedná se jen o relevantní vyhodnocení závislosti strojního času A_s na dosažených jakostních parametrech Ra, Rz, Rt, Rmr. Ze zjištěných a vypočítaných údajů vyplývá jako nejekonomičtější technologie vrtání. Dále následuje vystružování a jako nejméně ekonomicky výhodné je vyvrtávání. Poměr ekonomické výhodnosti jednotlivých technologií je: vrtání : vystružování : vyvrtávání, 1,07 : 1,01 : 1. U technologie vrtání hraje z hlediska ekonomiky pozitivní roli krátký strojní čas a u vystružování zlepšuje ekonomičnost dosažené nejlepší jakostní parametry.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOCMAN, K.: *Technologické procesy*. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-724.
- [2] *ZÁKLADY TECHNOLOGIE II* [online]. Praha: České vysoké učení technické, 2005, září 2005 [cit. 2012-12-23]. Dostupné z:
http://www.strojar.com/upload/skripta/1rocnik/zaklady_technologie_2.pdf
- [3] *VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ A ZAHLUBOVÁNÍ* [online]. Brno [cit. 2012-12-23]. Dostupné z: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep22.pdf>
- [4] *VYVRTÁVACÍ HLAVY UNIVERZÁLNÍ* [online]. Brno [cit. 2012-12-23]. Dostupné z:
http://www.narexmte.cz/prospekty/In_Vhu.pdf
- [5] *DOKONČOVACÍ METODY* [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z:
<http://techstroj.g6.cz/T/T21.pdf>
- [6] *DOKONČOVACÍ METODY* [online]. [cit. 2012-12-23]. Dostupné z:
<http://techstroj.g6.cz/T/T21.pdf>
- [7] DOC. ING. ANTON HUMÁR, CSc. *TECHNOLOGIE I: Technologie obrábění 3. část* [online]. 2005 [cit. 2012-12-23]. Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvenncni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
- [8] *ÚLOHA: 3.1.4 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU* [online]. [cit. 2013-01-19]. Dostupné z:
http://sps.watzke.cz/dl/KOM/ULOHA_3.1.4_MERENI_DRSNOSTI_POVRCHU.pdf
- [9] *Feromat: Jakostní oceli* [online]. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z:
http://www.feromat.cz/jakosti_oceli
- [10] LUKOVICS, I. *Progresivní metody dokončování funkčních ploch nástrojů*. Ostrava: VŠB-TU, 2007. ISBN 978-80-248-2033-0.
- [11] BUMBÁLEK, L. aj. *Kontrola a měření*. Praha: Informatorium, 2009. ISBN 978-80-7333-072-9.
- [12] NESLUŠAN, M. aj. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábani*. Žilina: EDIS, 2007. ISBN 978-8070-711-8.
- [13] HOLEŠOVSKÝ, F. *Broušení a jeho vliv na vlastnosti povrchu*. Ostrava: VŠB-TU, 2007. ISBN 978-80-248-1644-9.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_s (s)	Strojní čas
d (mm)	Průměr.
l (mm)	délka.
L_n (mm)	Celková vyhodnocovaná délka posuzovaného profilu
l_r (mm)	Základní délka posuzovaného profilu drsnosti
n (ot./min)	Otáčky.
R_a (μm)	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu.
$R_{mr}(\%)$	Materiálový poměr posuzovaného profilu na celkové délce
R_p (μm)	Výška nejvyššího výstupku posuzovaného profilu na základní délce
R_p (μm)	Nejnižší prohlubeň posuzovaného profilu na základní délce
R_t (μm)	Celková výška posuzovaného profilu na vyhodnocované délce
R_z (μm)	Nejvyšší výška posuzovaného profilu na základní délce
V_c (m/minutu)	Řezná rychlost.
V_e (mm/otáčku)	Rychlost řezného pohybu
V_f (mm/otáčku)	Posuvová rychlost
$Z_{p\text{ MAX}}$ (μm)	Výška nejvyššího výstupku posuzovaného profilu na vyhodnocované délce
$Z_{V\text{ MAX}}$ (μm)	Nejnižší prohlubeň posuzovaného profilu na vyhodnocované délce
Z_x (μm)	Hodnota pořadnice posuzovaného profilu
η ($^\circ$)	V_f (mm/otáčku)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovitým vrtákem [1].....	13
Obrázek 2 - Vrtání, vyhrubování a vystružování [2]	14
Obrázek 3 – Zahlubování [3].....	15
Obrázek 4 – Vyvrtávací hlava [7].....	15
Obrázek 5 - Úběr třísky jednotlivými zrny [7]	16
Obrázek 6 - Třísky při broušení [7]	17
Obrázek 7 - Geometrie brusného zrna [7]	18
Obrázek 8 - Jednokamenový orovnávač [7]	19
Obrázek 9 – Vícekamenové orovnávače [7].....	19
Obrázek 10 – Samoostření [7]	19
Obrázek 11 – Axiální broušení [7]	20
Obrázek 12 – Bezhruté broušení [7]	21
Obrázek 13 – Planetové broušení -[7]	22
Obrázek 14 - Honovací hlava [5].....	22
Obrázek 15 – Honovací hlava [5].....	23
Obrázek 16- Honování nylonová vlákna [7].....	24
Obrázek 17 - Superfinišovací nástroje[7]	26
Obrázek 18 – Dynamické	27
Obrázek 19 – Protlačování [5].....	27
Obrázek 20 - Elektrojiskrové hloubení [7]	30
Obrázek 21 – Elektrojiskrové řezání [7].....	31
Obrázek 22 - Obrábění laserem [7].....	32
Obrázek 23 – Elektrochemické obrábění [7]	33
Obrázek 24 – Vzorkovnice drsnosti [8].....	36
Obrázek 25 – Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [9].....	37
Obrázek 26 – Největší výška profilu Rz	38
Obrázek 27 – Celková výška profilu Rt (μm).....	38
Obrázek 28 – Materiálový poměr Rmr (%)	39
Obrázek 29 - Technické parametry frézky HV 50 DP.....	43
Obrázek 30 – Frézka HV 50 DP	43
Obrázek 31 - Drsnoměr SJ - 301	44
Obrázek 32– Materiál 12 060	45

Obrázek 33 – Vrták průměr 11mm	45
Obrázek 34 – Materiál 12 060 a 11523	45
Obrázek 35 – Vrták , vyvrtávací hlava, výstružník	46
Obrázek 36 Vliv posuvové rychlosti na Ra, $v_c=23,8$ m/min	47
Obrázek 37– Vliv rychlosti posuvu na Rz, $v_c=23,8$ m/min	48
Obrázek 38- Vliv rychlosti posuvu na Rt, $v_c=23,8$ m/min	49
Obrázek 39 - Vliv rychlosti posuvu na Rmr, $v_c=23,8$ m/min	50
Obrázek 40 - Vliv řezné rychlosti na Ra při rychl. posuvu 0,15 mm/ot.....	52
Obrázek 41 - Vliv řezné rychlosti na Rt při rychl. posuvu 0,15 mm/ot.....	53
Obrázek 42 - Vliv řezné rychlosti na Rt při rychl. posuvu 0,15 mm/ot.....	53
Obrázek 43 - Vliv řezné rychlosti na Rmr při rychl. posuvu 0,15 mm/ot	54
Obrázek 44 - Vliv technologie a materiálu na Ra.....	58
Obrázek 45 - Vliv technologie a materiálu na Rz.....	58
Obrázek 46 - Vliv technologie a materiálu na Rt	59
Obrázek 47 – Vliv technologie a materiálu na Rmr	59
Obrázek 48 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Ra a As	62
Obrázek 49 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rz a As	63
Obrázek 50 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rt a As	64
Obrázek 51 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rmr a As.....	65

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Dosahovaná jakost povrchu jednotlivými technologiemi	40
Tabulka 2 - Vliv rychlosti na Ra, $v_c=23,8$ m/min.....	47
Tabulka 3 - Vliv rychlosti posuvu na Rz, $v_c=23,8$ m/min	48
Tabulka 4- Vliv rychlosti posuvu na Rt, $v_c=23,8$ m/min.....	49
Tabulka 5 - Vliv rychlosti posuvu na Rmr, $v_c=23,8$ m/min.....	50
Tabulka 6 – Vliv řezné rychlosti na jakost vrtaných otvorů.....	51
Tabulka 7 – Výpočet řezné rychlosti z ot.	54
Tabulka 8 – Mat.12 060, technologie. vrtání.....	55
Tabulka 9– Mat.12 060, technologie. vyvrtávání	55
Tabulka 10– Mat.12 060, technologie. vystružování.....	56
Tabulka 11 – Mat.11 523, technologie. vrtání.....	56
Tabulka 12– Mat.11 523, technologie. vyvrtávání	57
Tabulka 13– Mat.11 523, technologie. vystružování.....	57
Tabulka 14 – Vliv materiálu na jakost povrchu.....	60
Tabulka 15 – Vliv technologie na jakost povrchu	60
Tabulka 16 – Strojní čas As	61
Tabulka 17 – Relativní výhodnost technologie vzhledem k Ra a As	62
Tabulka 18 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rz a As.....	63
Tabulka 19 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rt a As	64
Tabulka 20 - Relativní výhodnost technologie vzhledem k Rmr a As	65
Tabulka 21 – Celkové ekonomické vyhodnocení.....	65

SEZNAM ROVNIC

Rovnice I – Průměrná aritmetická úchylka.....	37
Rovnice II – Nejvyšší výška profilu Rz.....	37
Rovnice III – Celková výška profilu.....	38
Rovnice IV – Materiálový poměr	39
Rovnice V– Řezná rychlost	54
Rovnice VI – Strojní čas.....	61

PŘÍLOHA P I: TABULKA JAKOSTÍ POVRCHU U MAT. 12.060

Naměřené hodnoty jakosti povrchu při vlně ovně 0,4 μm měřeno 11 bodovými vrškem

Seznam vyhodnotěných typů a posuvů (mm/μm) Povrchový abakus	7,5		15,5		31,6		63,0		125		250		500	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0
A) Iznáškový podměř	0,05	0,05	0,15	0,15	0,45	0,45	1,35	1,35	3,15	3,15	7,95	7,95	20,0	20,0
	0,10	0,10	0,30	0,30	0,90	0,90	2,25	2,25	5,60	5,60	14,0	14,0	35,0	35,0
	0,20	0,20	0,60	0,60	1,80	1,80	4,50	4,50	11,0	11,0	28,0	28,0	70,0	70,0