

Výrobní přesnost stroje FHV při vrtání a vyvrtávání

Buchta Pavel



Vložit oficiální zadání bakalářské práce

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Doc. ing. Imrichovi Lukovicsovi, CSc. za ochotu, snahu a pomoc při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Šálkovi za cenné rady při seznamování se z univerzální frézky FHV-50 PD a ochotnou pomocí při potížích.

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

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

Ve Zlíně, 07. 06. 2005

.....

podpis

RESUMÉ

Anotace česky

Tato práce se zabývá vlivy posuvu, tloušťky materiálu a velikostí třísky při vyvrtávání na jakost povrchu obrobeného otvoru v oceli. Má popsat faktory ovlivňující drsnost povrchu při procesu vyvrtávání.

Anotace v anglickém jazyce

This document deals with effects of drilling speed, thickness of drilled material, and thickness of cut material slice. The document describes factors effecting whole surface quality resulting by drilling process.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 Univerzální frézka s digitálním odměřováním FHV – 50PD	7
1.1.1 Účel použití	7
1.1.2 Technická data	7
1.1.3 Konstrukce stroje.....	8
1.1.4 Popis stroje.....	8
1.1.5 Rychlostní skříň.....	10
1.1.6 Vřeteník	10
1.1.7 Konzole.....	11
1.1.8 Podélný posuv	11
1.1.9 Příčný posuv.....	11
1.2 Vrtání.....	12
1.3 Vyvrtávání	13
1.3.1 Technologická charakteristika	13
1.3.2 Základní charakteristiky metod vyvrtávání	13
1.3.3 Kinematika vyvrtávání.....	14
1.3.4 Princip tvoření třísky	15
1.3.5 Vyvrtávací nástroje.....	15
1.4 Přesnost obráběcích strojů	16
1.4.1 Geometrická přesnost obráběcích strojů	16
1.4.2 Pracovní přesnost obráběcích strojů	17
1.5 Volba řezných podmínek pro číslicově řízené obráběcí stroje	18
1.5.1 Stanovení optimální trvanlivosti nástroje	18
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	21
2.1 Měření drsnosti povrchu vyvrtávaného otvoru.....	21
2.1.1 Přístroj na měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ – 301.....	21
2.2 Konstrukční návrh dynamometru	22
2.2.1 Popis konstrukce.....	23
2.3 Naměřené hodnoty při vyvrtávání otvorů šroubovitým vrtákem.....	24
2.3.1 Závislost drsnosti Ra[μm], Rz[μm] povrchu otvoru na posuvu	24
2.3.2 Závislost drsnosti Ra[μm], Rz[μm] povrchu otvoru na hloubce třísky	25
2.3.3 Závislost drsnosti Ra[μm], Rz[μm] povrchu otvoru na hloubce otvoru.....	26
2.4 Naměřené hodnoty při vyvrtávání otvorů vyvrtávacím nožem.....	28
2.4.1 Závislost drsnosti Ra[μm], Rz[μm] povrchu otvoru na posuvu	28
2.4.2 Závislost drsnosti Ra[μm], Rz[μm] povrchu otvoru na hloubce třísky	29
2.4.3 Závislost drsnosti Ra[μm], Rz[μm] povrchu otvoru na hloubce otvoru.....	30
ZÁVĚR.....	32
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	33
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	34
SEZNAM OBRÁZKŮ	36
SEZNAM GRÁFŮ	37
SEZNAM PŘÍLOH.....	38

ÚVOD

Obráběcí stroj představuje základní prvek obráběcího systému (stroj – obrobek – nástroj), ve kterém se realizuje vlastní obráběcí proces. Technologické vlastnosti obráběcího stroje významně ovlivňují výsledný efekt obráběcího procesu jak z hlediska jeho hospodárnosti, tak i z hlediska parametrů obrobené plochy.

1 STUDIJNÍ A TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Univerzální frézka s digitálním odměřováním FHV – 50PD

1.1.1 Účel použití

Univerzální frézka se používá pro obrábění kovových i nekovových dílců. Stroj je určen pro všechny důležité funkce vrtání a frézování: vertikální, horizontální, ale i úhlové. Posuv je řízený ručně nebo strojně. Frézku lze využít v nástrojářských dílnách, údržbách, malých a středních výrobních provozech.

1.1.2 Technická data

Příkon dvourychlostního horizont. motoru	0,85/1,5k W/400 V
Příkon vertikálního motoru	1,5k W/400 V
Příkon motoru podélného posuvu	350 W
Příkon motoru příčného posuvu	170 W
Příkon motoru čerpadla	40 W
Max. průměr vrtání	50 mm
Max. průměr horizont. frézování	100 mm
Max. průměr vertikál. frézování	25 mm
Max. hmotnost obrobku	100 kg
Kužel vřetene	Mk IV
Otáčky horizont. vřetene	60-1350 ot./min.(9st.)
Otáčky vertikál. vřetene	115-1750 ot./min.(8st.)
Vzdálenost vertikál. vřetene od sloupu	200-700 mm
Vzdálenost vertikál. vřetene od stolu	100-480 mm
Vzdálenost vertikál. vřetene od podlahy	1240 mm
Vzdálenost horizont. vřetene od sloupu	30-210 mm
Průměr vřetene	100 mm
Posuv strojní podélný (rozsah rychlosti posuvu)	18-300 mm/min.(6st.)
Podélný posuv stolu	400 mm
Příčný posuv stolu	250 mm
Rozměr stolu	800x240 mm

Hmotnost stroje

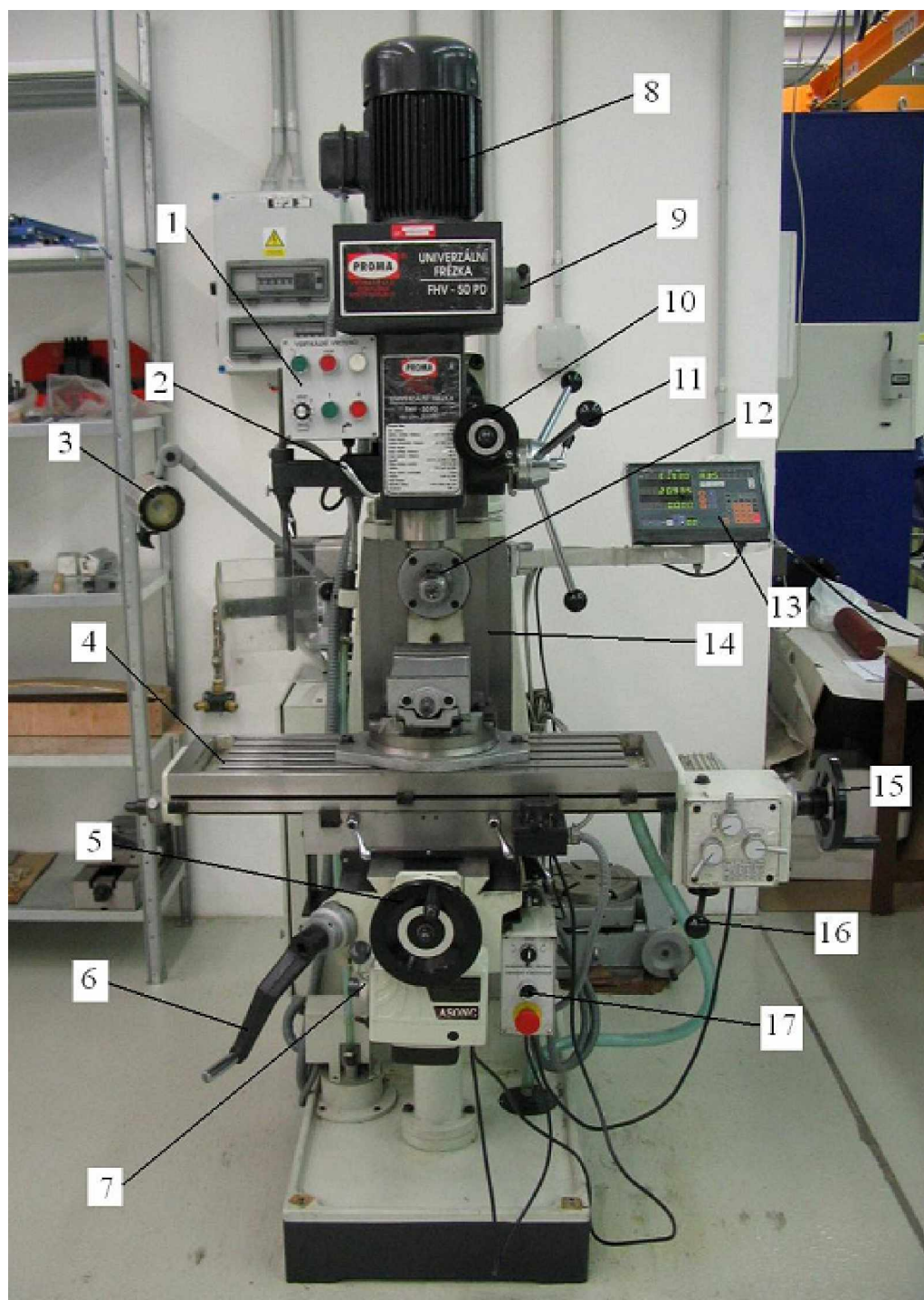
700 kg

1.1.3 Konstrukce stroje

Univerzální frézku tvoří převážně skupina litinových odlitků. Pohon frézky zajišťuje asynchronní motor, který je přes přírubu připojen k převodové skříni. Tato převodová skříň je namontována otočně na prizmatickém sloupu frézky a zajišťuje obrábění pod úhlem. Sloup frézky je přimontován k základně obsahující posuvně uložený křížový stůl. Podélný i příčný posuv pracovního stolu je ovládán manuálně nebo strojně.

1.1.4 Popis stroje

1. Ovládání vertikálního vřetene
2. Páka aretace vřetene
3. Osvětlení
4. Stůl univerzální frézky
5. Ruční kolo příčného posuvu
6. Ruční páka nastavení výšky stolu
7. Strojní příčný posuv
8. Motor
9. Řadící páky otáček vřetene
10. Ruční kolo mikroposuvu vřetene
11. Ruční páka posuvu vřetene
12. Horizontální vřeteník
13. Systém digitálního odměřování
14. Sloup frézky s prizmatickým vedením
15. Ruční kolo podélné posuvu
16. Strojní podélný posuv
17. Ovládání horizontálního vřetene



Obr. 1. Univerzální frézka s digitálním odměřováním FHV – 50PD

Univerzální frézky FHV-50 PD jsou střední typovou řadou nástrojařských frézek. Stojan s podstavcem slouží jako vedení konzoly. Na zadní straně stojanu je hnací mechanismus horizontálního vřetene. Příčný a podélný stůl je umístěn na svisle se pohybující konzole. Úhlově nastavitelný vřeteník s valivě uloženým vřetenem je připevněn k ramenu, které je v prizmatickém vedení na sloupu stroje.

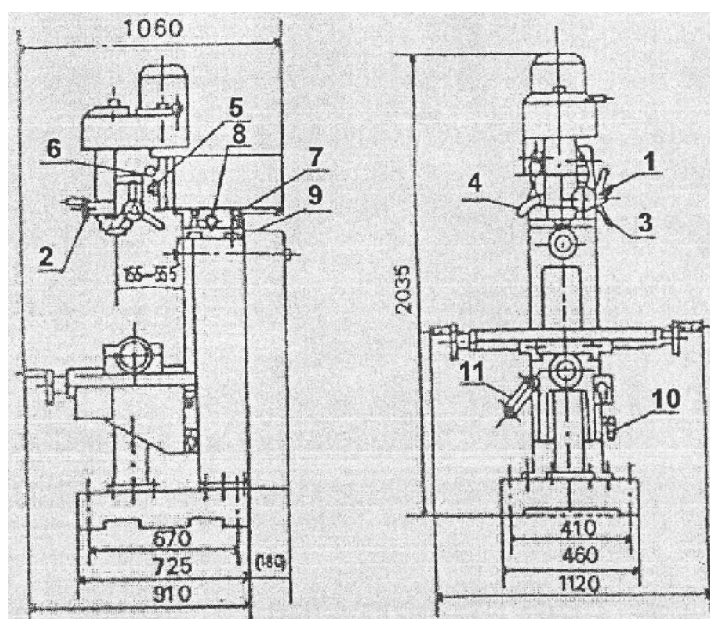
1.1.5 Rychlostní skříň

Rychlostní skříň vertikálního vřetene je umístěna v horní části vřeteníku. Pohon zajišťuje samostatný dvourychlostní elektromotor přes soustavu ozubených kol, která tvoří osm výstupních rychlostí. Rychlostní stupně se volí kombinací dvou pák, které jsou umístěny na pravé straně převodové skříně.

Rychlostní skříň na horizontální vřeteno je umístěna na zadní straně sloupu. Také tuto skříň pohání samostatný elektromotor přes dvojité klínový převod. Kombinací tří řemenic a klínových řemenů lze řadit až devět rychlostních stupňů.

1.1.6 Vřeteník

Vertikální vřeteník s rychlostní skříní, motorem a valivě uloženým vřetenem je chápán jako celek. Tento vřeteník lze čelně naklápět na obě strany. Naklápí se po uvolnění třech zajišťovacích šroubů, přes šnekový převod se plynule zajistí požadovaný úhel od 0-90° dle přiložené stupnice. Na tomto vřeteníku je možné zajistit vysunutí vřeten Mk IV ručně přes tři páky, nebo po utažení bočního šroubu na jejich středu lze zajistit mikroposuv přes ruční kolečko, které je vybaveno noniusem. Tento nonius je pouze informativní a pracuje s přesností $\pm 0,2$ mm. Po dosažení dostatečného vysunutí vřetene zajistíme vřeteno utažením aretační pákou. Vřeteník i s vrchním ramenem lze po povolení 4 šroubů otáčet o 360°.



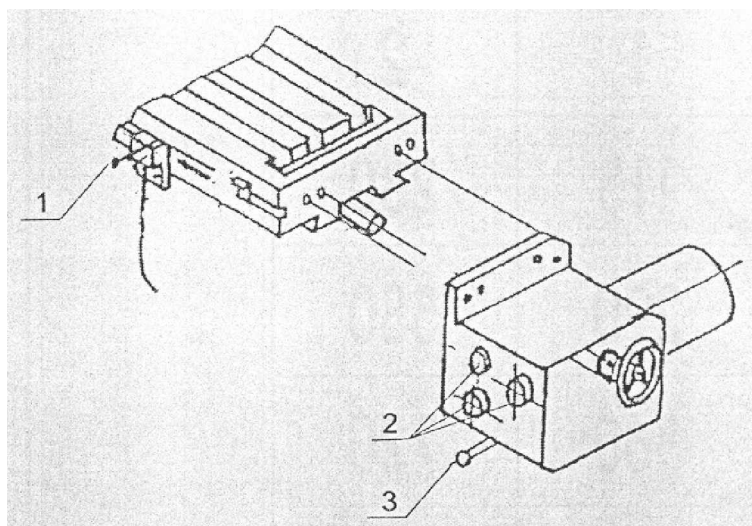
Obr. 2. Vřeteník

1.1.7 Konzole

V prizmatickém vedení na přední straně stojanu je posuvně uložena konzole. Na konzoly je vodorovně posuvný křížový stůl, kterým lze pohybovat pomocí ručního nebo strojního posuvu. Pokud chcete upravit vzdálenost stolu od vřetene, povolte dva zjišťovací šrouby na pravé straně konzoly a otáčením klikou nastavte požadovanou výšku pracovního stolu a opět dostatečně dotáhněte. Tato klika se také používá pro přesné zvolení záběru do frézovaného materiálu.

1.1.8 Podélný posuv

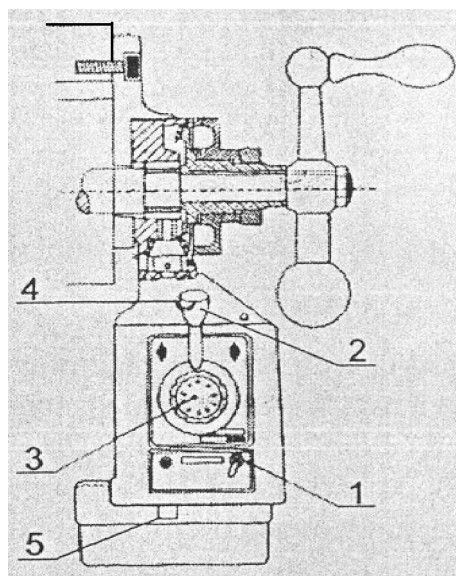
Podélný posuv je rychlostní skříň v oleji, kterou pohání jednofázový motor. Rychlost posuvu se udává kombinací třech pák č.2. Směr, kterým se bude stůl pohybovat určuje páčka na koncovém spínači č.1. Páka č.3 slouží k sepnutí posuvu nebo rychloposuvu. Manuální posuv lze použít pouze tehdy, kdy je páka posuvu č.3 na pozici 0.



Obr. 3. Podélný posuv

1.1.9 Příčný posuv

Příčný elektrický posuv je poháněn komutátorovým motorem. Rychlost posuvu lze plynule regulovat, nebo je možné také použít tlačítko, které slouží pro rychlejší přesunutí z místa na místo. Směr posuvu příčného stolu určuje páka. Pro tento posuv se používá hlavní vypínač. Elektrický posuv je jištěn proti přetížení pojistkou 2,5 A. Manuálně lze stolem pohybovat, pokud je páka číslo 2 v poloze 0.



Obr. 4. Příčný posuv

1.2 Vrtání

Tato metoda se používá při obrábění válcových děr. Charakteristickým znakem je rozměrový nástroj, který svým tvarem a dalšími technologickými vlastnostmi výrazně ovlivňuje parametry obrobene díry. V převážné většině případů se využívají vícebřité nástroje.

Řezná rychlost v_c [m/min] je dána obecnou závislostí:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \quad (1)$$

D [mm] ... průměr nástroje

n [min^{-1}] ... otáčky nástroje

Posuvová rychlost v_f [m/min] se vyjádří ze vztahu:

$$v_f = 10^{-3} \cdot f \cdot n \quad (2)$$

, přičemž se pracuje s hodnotou posuvu na otáčku nástroje f [mm], nebo s posuvem na břit nástroje f_z [mm].

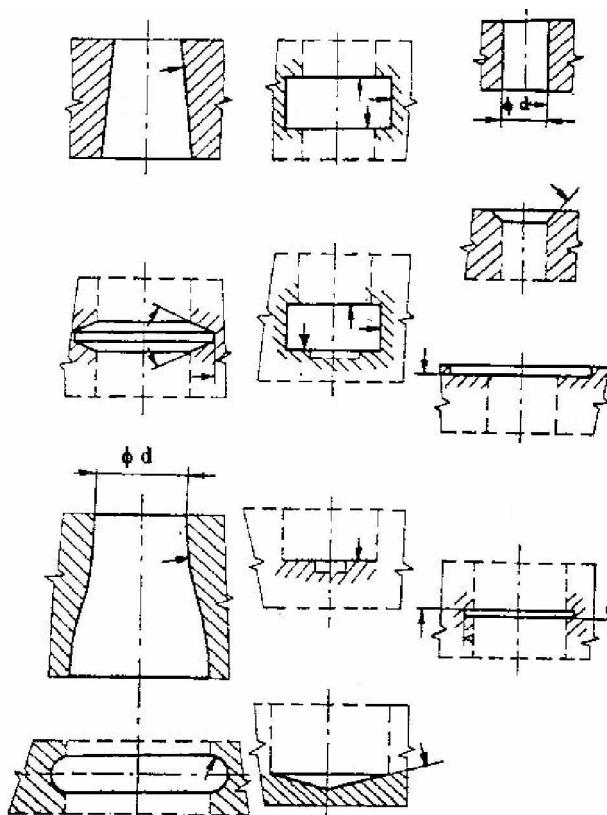
Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují nebo zvětšují již předvrtané díry. Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho obvykle nástroj.

1.3 Vytváření

1.3.1 Technologická charakteristika

Vytváření je metoda obrábění, při níž se rozšiřují předlité, předkované, předlisované, předvrtané nebo jinými způsoby předhotovené díry na požadovaný rozměr nebo tvar. Tato metoda se používá jak pro hrubování, tak pro práci na čisto.

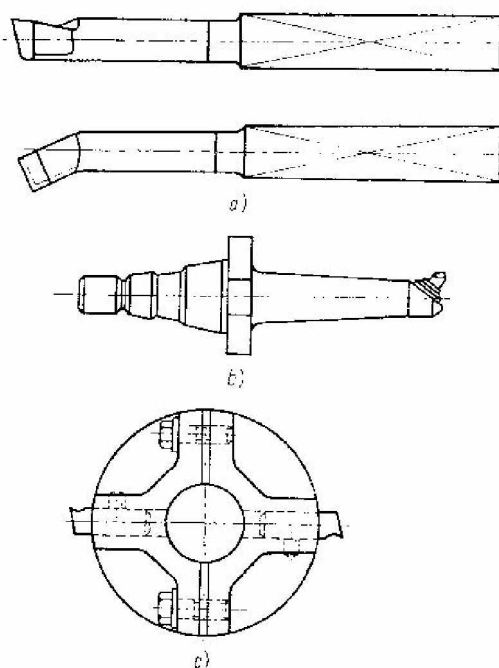
Některé z příkladů rotačních ploch obráběných vytvářením jsou na obr. 5.



Obr. 5. Příklady rotačních ploch obráběných vytvářením

1.3.2 Základní charakteristiky metod vytváření

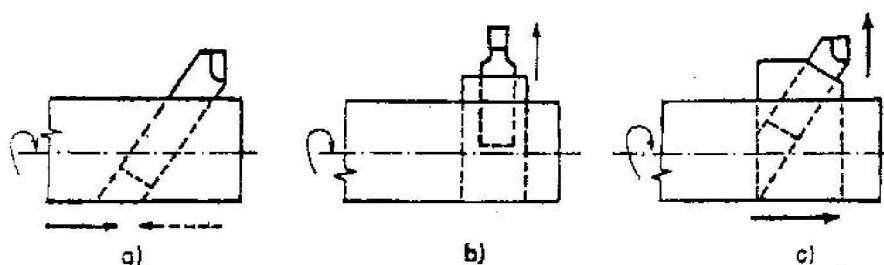
Při vytváření se obrábí přímo vytvářacími noži obr.6a, nebo noži upevněnými ve vytvářacích tyčích obr.6b nebo hlavách obr.6c. Obráběné rotační plochy mají geometrický tvar válce, kužele, čelního mezikruží nebo rotační tvarové plochy. U složitějších obrobků mohou být tyto tvarové prvky kombinovány v různém uspořádání na jedné nebo více osách rozložených v rovině nebo prostoru.



Obr. 6. Způsoby vyvrtávání

a) jednostranný vyvrtávací nůž kruhového průřezu, b) nůž upnutý ve vyvrtávací tyči, c) nůž upnutý ve vyvrtávací hlavě

1.3.3 Kinematika vyvrtávání



Obr. 7. Kinematika vyvrtávání

a) podélný posuv nástroje, b) příčný posuv nástroje, c) podélný a příčný posuv nástroje

Kinematika vyvrtávání může být identifikována několika základními způsoby – obr. 7.

- a) Nástroj koná hlavní pohyb, vyvrtávací nůž je pevně uložen ve vyvrtávací tyči nebo hlavě a obrobek (nebo vyvrtávací tyč) koná podélný posuv do řezu. Radiální posuv je roven nule, nůž je vůči obrobku nastaven na obráběný průměr

- b) Nástroj koná hlavní pohyb, nůž se vysouvá s vyvrtávací tyče nebo hlavy plynule nebo po přítržích (obvykle vždy za jednu otáčku) radiálním posuvem v příčném směru. V tomto případě je podélný posuv roven nule.
- c) Nástroj nebo obrobek koná hlavní pohyb i podélný posuv, přičemž se nůž z tyče nebo hlavy plynule nebo po přítržích vysouvá v příčném směru radiálním posuvem.

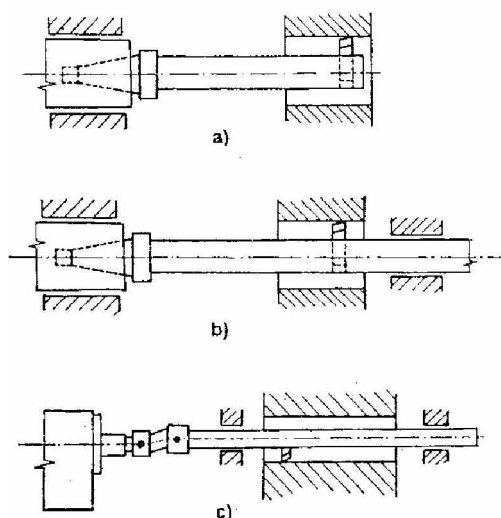
1.3.4 Princip tvoření třísky

Princip tvoření třísky při vyvrtávání je obdobný jako tvoření třísky při soustružení vzhledem k tomu, že je obdobná kinematika pohybu, charakter a řádově i velikost hlavních řezných podmínek (řezná rychlost, posuv, hloubka řezu) i druh geometrie nástroje včetně nástrojových materiálů. Avšak vzhledem k tomu, že na rozdíl od soustružení se vyvrtávání týká ploch vnitřních a čelních popř. i tvarových, je poněkud větší (horší) přechování, utváření a tvoření třísky, zpevnění obrobené plochy a tedy jsou i větší řezné odpory.

1.3.5 Vyvrtávací nástroje

K základním vyvrtávacím nástrojům patří vyvrtávací tyče a vyvrtávací hlavy, do kterých se upínají vyvrtávací nože

Vyvrtávací tyče se používají ve třech základních variantách upnutí a uložení při vyvrtávání obr. 8.



Obr. 8. Vyvrtávací tyče

- a) letmo upnutá ve vřetenu, b) podepřená v jednom vodícím pouzdře, c) podepřená ve dvou vodících pouzdrech, spojená s vřetenem dvojitým kloubem

1.4 Přesnost obráběcích strojů

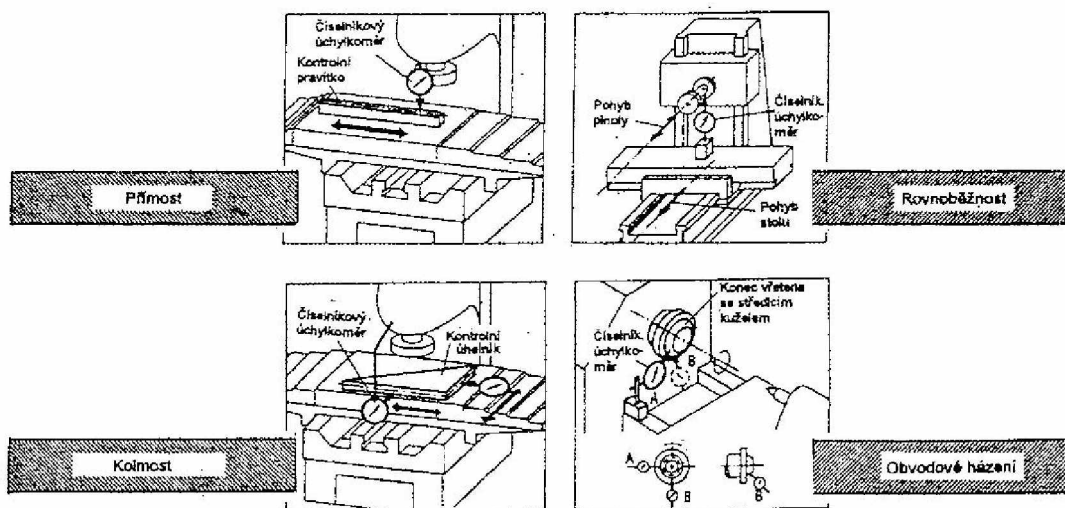
Z hlediska přesnosti obrobené plochy má v obráběcím procesu významné postavení obráběcí stroj. Přesnost obráběcího stroje se kvantifikuje ve formě ukazatelů vztažených k jeho geometrické a pracovní přesnosti. U číslicově řízených strojů k tomu ještě přistupuje přesnost polohování jeho pracovních orgánů.

1.4.1 Geometrická přesnost obráběcích strojů

Geometrická přesnost obráběcího stroje je charakterizována úchytkami tvaru a polohy jednotlivých funkčních prvků – lože, stojany, stoly, suporty, sáně, pinoly.

Patří sem úchytky rovnoběžnosti, úchytky kolmosti, úchytky rovnosti, úchytky přímosti a úchytky kruhovitosti vodících, přestavitelných a odměřovacích prvků obráběcích strojů. Kvantifikace geometrické přesnosti se provede pro pracovní prostor obráběcího stroje, s uvážením všech lineárních a rotačních, případně jiných pohybů na základě geometrické identifikace funkčních částí obráběcího stroje.

Na obr. 9 jsou naznačeny některé charakteristické postupy měření úchylek pohybů pracovních orgánů stroje.



Obr.9. Typické příklady měření geometrických úchylek přímosti, rovnoběžnosti, kolmosti a obvodového házení pohybů pracovních orgánů obráběcího stroje.

Parametry geometrické přesnosti obráběcího stroje tvoří významnou část přijímacích podmínek. Specifikace příslušné zkoušky, doporučené měřicí přístroje a mezní úchytky kontrolovaných veličin jsou řešeny v různých normách – např.:

ISO	- International Organization for Standardization
ČSN ISO	- České státní normy
DIN	- Deutsches Institut für Normung e. V.
VDS	- Verein Deutscher Ingenieure
NAS	- National Aerospace Standardization (USA)

1.4.2 Pracovní přesnost obráběcích strojů

Parametry pracovní přesnosti obráběcího stroje se kvantifikují na základě přesnosti obrobků, které byly na tomto stroji obrobene. Avšak přesnost obrobene plochy na určité součásti obecně závisí na systému technologických podmínek, vztažených k obráběcímu stroji, vlastnímu obrobku, nástroji, upínači, kvantifikaci obsluhy, pracovním prostředím atd. Při kvantifikaci parametrů pracovní přesnosti obráběcího stroje je třeba výrazně omezit vliv těchto technologických faktorů, které přímo na stroji nezávisí, případně takové faktory normativně vymezit.

Parametry pracovní přesnosti obráběcího stroje se kvantifikují na základě obrobene vhodných zkušebních obrobků. Na obrobenech plochách zkušebních obrobků se v závislosti na záměrech zkoušky měří a vyhodnocují úchytky rozměrů, úchytky tvarů, úchytky polohy a drsnost povrchu.

Uvedené parametry obrobenech ploch zkušebního obrobku se vyšetří obvykle na základě obrobene jednoho kusu a porovnají se s příslušnými mezními hodnotami stanovenými pro řešený případ přijímacími nebo provozními podmínkami.

Zkušební obrobky jsou specifikovány v příslušných normách nebo přijímacích podmínkách stroje.

1.5 Volba řezných podmínek pro číslicově řízené obráběcí stroje

Charakteristické pro číslicově řízené stroje je z hlediska volby řezných podmínek zejména:

- možnost volby různých řezných podmínek pro obrábění soustavy uvedených prvků na obráběném polotovaru s tím, že výsledná trvanlivost nástroje by měla být podle zvoleného kritéria optimality dosažena a dodržena
- číslicové řízení zvyšuje nároky na mechanické zatížení břitu nástroje, zejména při změně řezných podmínek v jednom obráběcím cyklu

Pro stanovení řezných podmínek je zejména důležité dosažení požadované trvanlivosti nástroje s ohledem na zvolené kritérium optimálnosti.

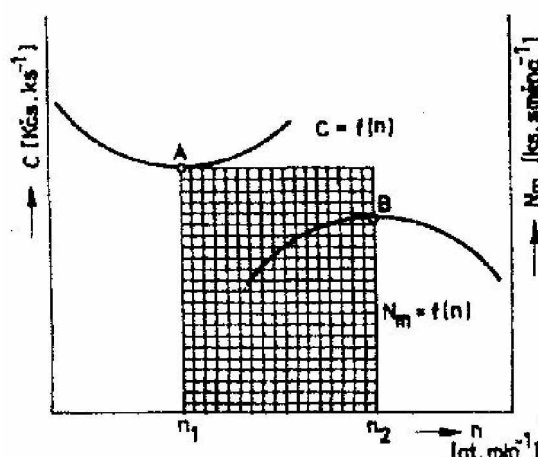
1.5.1 Stanovení optimální trvanlivosti nástroje

Trvanlivost břitu definujeme časem, během kterého nástroj pracuje od svého naostření až po dosažení kritéria otupení břitu. Stav otupení lze hodnotit z hlediska technologického nebo ekonomického.

Z technologického hlediska se břit považuje za otupený, není-li nástroj schopen obrábět dále danou plochu v požadované jakosti.

Z ekonomického hlediska se hodnotí optimální otupení břitu buď z hlediska maximální životnosti nebo je vztaženo na podíl nákladů na nástroj připadající na obrobení jednoho kusu.

Z průběhu nákladů a výrobnosti v závislosti na otáčkách plyne, že správně volené otáčky mají být v rozmezí od n_1 do n_2 . Klademe-li důraz na hospodárnost, volíme otáčky blíže k n_1 . Požadujeme-li vyšší výrobnost, volíme otáčky, které se budou blížit otáčkám n_2 .



Graf č.1. Průběh nákladů a výrobnosti v závislosti na otáčkách vřetene

n_1 ...otáčky vřetene stroje, které odpovídají min. nákladům na výrobu jedné součástky

n_2 ...otáčky vřetene stroje, při kterých je výrobnost stroje maximální

Při odvozování vztahu pro optimální trvanlivosti řezné hrany nástroje pro minimální náklady, tj. dosažení hospodárneho úběru, vycházíme z přímých nákladů na obrobění jednoho dílce A:

$$A = t_{AS} \cdot \frac{E}{60} + \frac{B}{Q} \quad (3)$$

kde A...jsou přímé náklady na obrobění 1 kusu [Kč/ks]

t_{AS} ...čas automatický strojní [min]

E...náklady na 1 hodinu práce stroje [Kč/hod]

B...náklady na použití jednoho břitu [Kč/břit]

Q...počet dílců obroběných mezi výměnami nástroje [ks]

Vztah (3) upravíme tak, aby náklady A byly funkcí trvanlivosti, tj. za t_{AS} a Q dosadíme:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot p}{n \cdot s \cdot h} = \frac{L \cdot \pi \cdot D \cdot p}{10^3 \cdot v \cdot h \cdot s} = \frac{L \cdot \pi \cdot D \cdot p}{10^3 \cdot c_v \cdot h \cdot s} \cdot T^{\frac{1}{m}} = c_0 \cdot T^{\frac{1}{m}} \quad (4)$$

$$Q = \frac{T}{\lambda \cdot t_{AS}} = \frac{1}{c_0 \cdot \lambda \cdot T^{\frac{1}{m-1}}} \quad (5)$$

kde $\lambda = \frac{l}{L}$

l...délka obráběné plochy [mm]

L...celková délka, kdy je zapnut strojní posuv [mm]

Po dosazení:

$$A = c_o \cdot \frac{E}{60} \cdot T^{\frac{1}{m}} + B \cdot \lambda \cdot c_o \cdot T^{\left(\frac{1}{m-1}\right)} \quad (6)$$

minimum funkce stanovíme z podmínky:

$$\frac{dA}{dT} = 0; \quad (7)$$

a po úpravě je vztah pro optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů:

$$T_{opt_1} = (m-1) \cdot \frac{60 \cdot B}{E} \cdot \lambda \quad (8)$$

Hodnotu optimální trvanlivosti můžeme určit dále z hlediska maximálního úběru materiálu bez ohledu na hospodárnost, tj. při dosažení maximální výrobnosti stroje za časovou jednotku.

Při tomto kritériu vycházíme z celkového času na obrobění jednoho kusu t_c :

$$t_c = t_{AS} + t_{AlI} + \frac{t_{AX}}{Q} \quad (9)$$

kde t_{AlI} ...je součet vedlejších časů [min]

t_{AX} ...čas na výměnu a seřízení nástroje [min]

Po obdobné úpravě a postupu je optimální trvanlivost pro maximální výrobnost:

$$T_{opt_2} = (m-1) \cdot t_{AX} \cdot \lambda \quad (10)$$

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části se budu zabývat závislostí řezných podmínek, vlivu posuvu a velikostí tloušťky materiálu na jakosti povrchu vyvrtaného otvoru. Mělo by se ukázat jak tyto faktory mohou zásadně ovlivňovat jakost povrchu obráběného otvoru. Experiment byl proveden v oceli o tloušťce materiálu $t = 10\text{mm}$ a $t = 5,5\text{mm}$ a jakosti 11600. Postup úkonu byl proveden tak, že otvory byly předvrtány vrtákem o $\varnothing 6\text{mm}$ a $\varnothing 5\text{mm}$, jak v tloušťce materiálu 10mm tak v materiálu o tloušťce 5,5mm. V materiálu o tloušťce 10mm bylo vyvrtáno 5 otvorů o $\varnothing 6\text{mm}$ a rovněž 5 otvorů o $\varnothing 5\text{mm}$. V materiálu o tloušťce 5,5mm byl vyvrtán 1 otvor o $\varnothing 6\text{mm}$ a 1 otvor o $\varnothing 5\text{mm}$. Zhotovení těchto otvorů bylo provedeno šroubovým vrtákem. Tyto předvrtané otvory byly převrtány na $\varnothing 8\text{mm}$ opět šroubovým vrtákem o různých posuvech. Na těchto otvorech bylo následně provedeno měření drsnosti povrchu. Po proměření drsnosti povrchu bylo provedeno vyvrtání otvoru na $\varnothing 9\text{mm}$ v 8 případech u tloušťky 10mm a ve 2 případech na $\varnothing 10\text{mm}$. U materiálu o tloušťce 5,5mm bylo provedeno zvětšení otvoru na $\varnothing 10$ a to ve 2 případech. Tato vyvrtání byla provedena vyvrtávacím nožem upnutým ve vyvrtávací tyči. Po vyvrtání bylo opět provedeno měření drsnosti povrchu otvoru. Celý experiment byl uskutečněn na univerzální frézce s digitálním odměřováním FHV – 50 PD, která je již popsána ve studijní části.

Dále se v téhle části budu zabývat konstrukčním řešením jednoduchého dynamometru na měření zatěžující síly a kroutícího momentu jenž vznikají při vrtání.

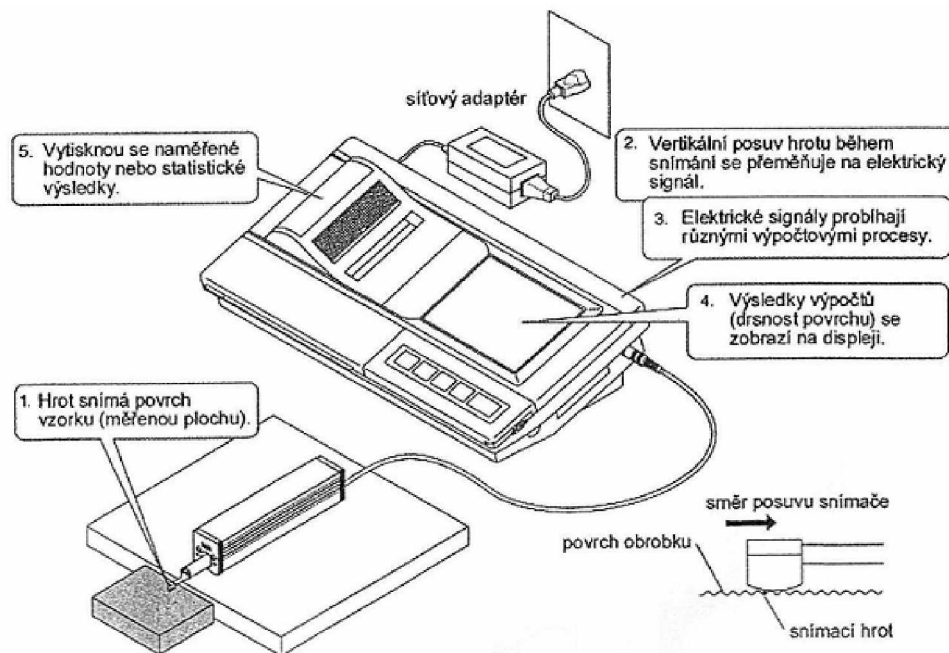
2.1 Měření drsnosti povrchu vyvrtávaného otvoru

Vlastní měření drsnosti povrchu otvoru bylo provedeno na dvou na vzájem kolmých polohách. Tyto dvě hodnoty byly zprůměrovány a vyneseny do grafů. Každá poloha byla měřena po začátku otvoru, uprostřed a před koncem otvoru.

2.1.1 Přístroj na měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ – 301

Surftest SJ-301 je přístroj určený na měření drsnosti povrchu pro použití v dílenském prostředí. SJ-301 dokáže svým snímacím hrotem měřit strukturu povrchu a charakterizovat ji za pomoci řady parametrů podle různých národních a mezinárodních norem (měření bylo

charakterizováno za pomoci normy ČSN EN ISO 4287). Výsledky měření se zobrazí digitálně a graficky na speciální na dotek citlivé ovládací obrazovce(Touchscreen) a pomocí vestavěné tiskárny se mohou vytisknout.



Obr. 10. Přístroj na měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ – 301.

2.1.1.1 Princip měření drsnosti povrchu pomocí přístroje SJ-301

Snímací hrot přístroje zaznamenává i nejjemnější nepravidelnosti povrchu vzorku. Drsnost povrchu se vypočítá z vertikálního posuvu snímacího hrotu, ke kterému dochází, když snímací hrot přejíždí přes nepravidelnosti povrchu. Poloha snímacího hrotu vůči obrobku musí být zajištěna tak, aby posuv při měření byl rovnoběžný s povrchem obrobku. Naměřené hodnoty se digitálně/graficky znázorňují na obrazovce.

2.2 Konstrukční návrh dynamometru

Dynamometr jako přístroj bude sloužit pro změření síly působící do řezu při vrtání a dále pro změření kroutícího momentu při vrtání.

Jeho konstrukce je provedena tak, že měření síly probíhá snímáním tlaku na dno válce opatřeného tenzometrem a měření kroutícího momentu je provedeno rovněž tenzometrem. Ten je umístěn na obvodu válce fixovaného proti pootočení ve své dolní části.

2.2.1 Popis konstrukce

K základové desce 1 je přišroubováno šrouby 7 tělo přístroje 2, které zároveň tvoří venkovní kroužek jehlového ložiska. V jeho spodní části jsou čtyři drážky. V jeho těle 2 je uložena příruba 4, tvořící zároveň vnitřní kroužek jehlového ložiska. Na její spodní části je připevněno kolíky 9 dno 3, které neumožňuje otáčení příruby 4 kolem osy, ale dovoluje vertikální posuv v těle 2. Vertikální posuv a dostatečné vedení příruby 4 v těle 2 umožňují jehly 10, vytvářející s tělem 2 a přírubou 4 jehlové ložisko. Uzavírací kroužek 5 omezuje vertikální pohyb jehel 10. Je připevněn k tělu 2 šrouby 8. Mezi základovou deskou 1 a dnem 3, je v důlku uložena kulička 6 umožňující snímání tlaku tenzometrem přilepeného na horní straně dna 3.

Horní část příruby 4 umožňuje přichycení desky pro připevnění upínacího zařízení pro upnutí obrobku.

Dílece jsou zhotoveny z materiálu ocel 11500, mimo tělo 2 a přírubu 4, které jsou provedeny z materiálu oceli 14209 a kaleny na hodnotu HV 750 ± 30 .

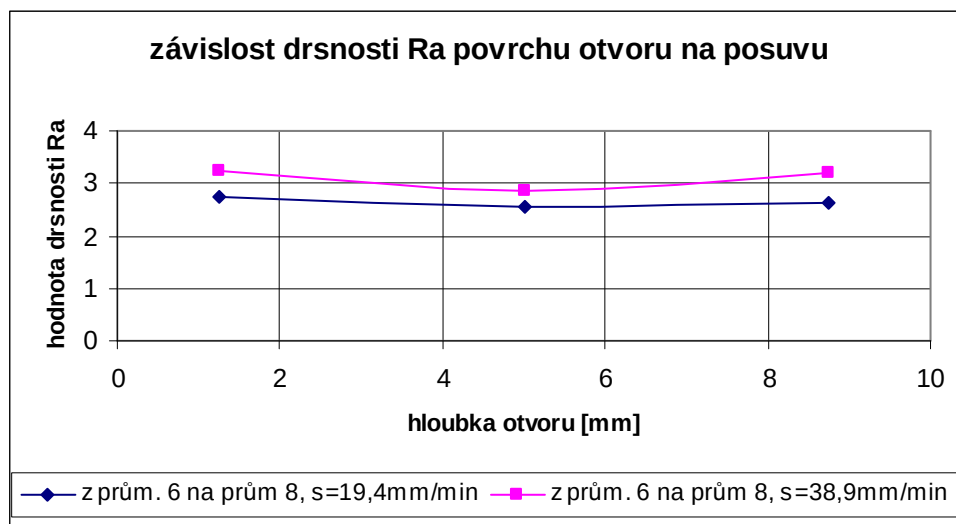
Povrch příruby 4 a $\varnothing 72,8\text{mm}$ u těla 2 je broušen.

Uchycení dna 3 k přírubě 4 je možné místo kolíků 9 provést šrouby se zapuštěnou hlavou.

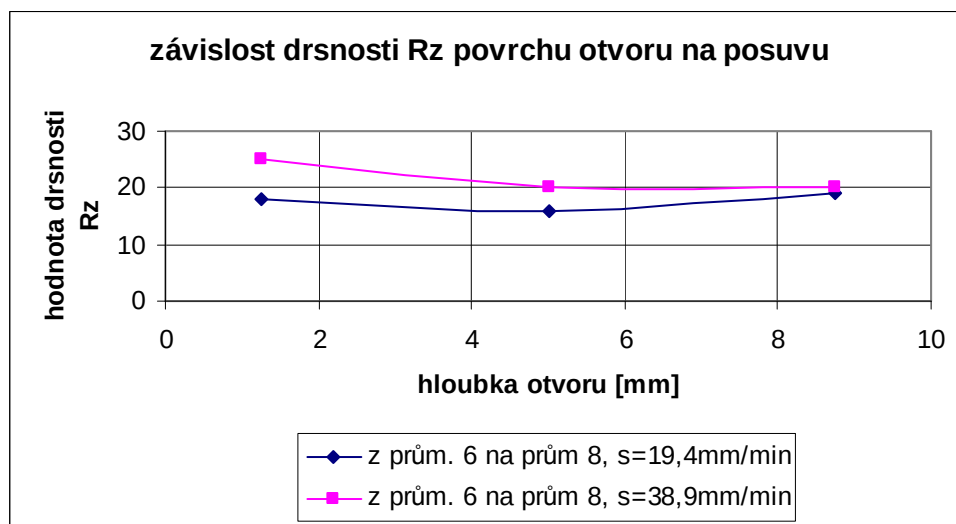
Výrobní výkres sestavení i jednotlivé díly jsou doloženy v příloze.

2.3 Naměřené hodnoty při vyvrtávání otvorů šroubovitým vrtákem

2.3.1 Závislost drsnosti $Ra[\mu m]$, $Rz[\mu m]$ povrchu otvoru na posuvu



Graf č.2. Závislost drsnosti Ra povrchu otvoru na posuvu

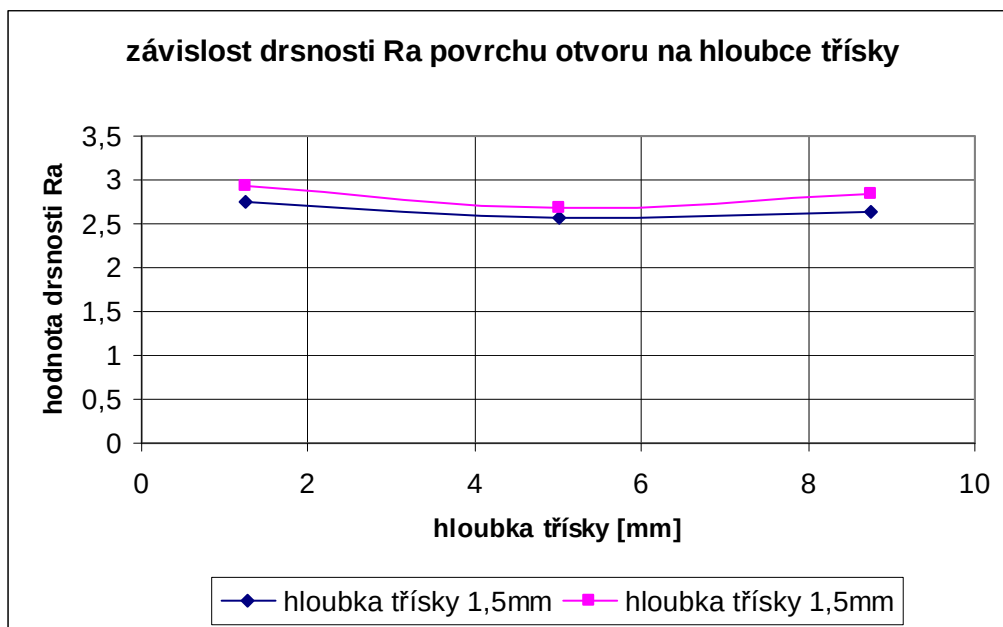


Graf č.3. Závislost drsnosti Rz povrchu otvoru na posuvu

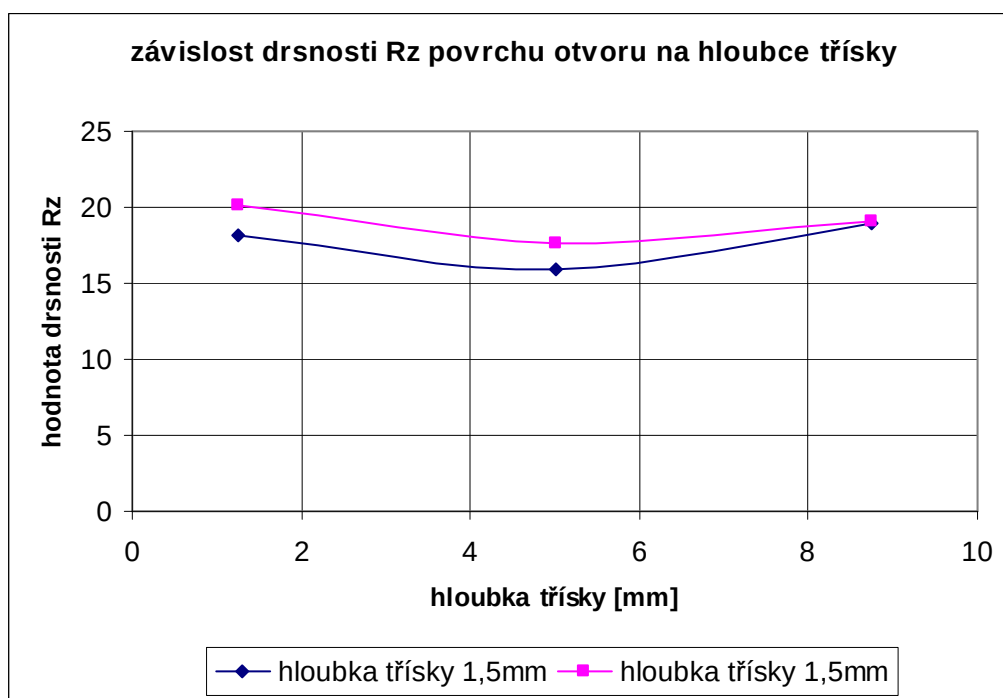
Na základě vyhodnocení měření závislosti drsnosti povrchu otvoru na posuvu, se ukazuje, že nejnižší hodnoty drsnosti se nachází asi uprostřed hloubky vyvrtávaného otvoru a to u obou hodnot posuvů. Dále můžeme z grafů usoudit, že nejvyšší hodnota drsnosti se ukazuje na počátku a na konci otvoru je hodnota drsnosti mezi drsnostmi na začátku otvoru a středem otvoru. Dále graf ukazuje, že s rostoucí hodnotou posuvu nám roste i hodnota drsnosti povrchu otvoru, ale její průběh je podobný jako u posuvů hodnot nižších. I když byly měřeny pouze dvě hodnoty posuvů, dá se předpokládat, že podobný průběh hodnot

drsnosti povrchu otvoru bude obdobný i při jiných hodnotách posuvu. Z toho je tedy patrné, že s rostoucím posuvem roste i hodnota drsnosti povrchu vyvrtávaného otvoru. Vyskytující se menší odchylky od předpokládaného průměru, mohou být způsobeny nepřesností měření a vlivem nerovnoměrnému opotřebení břitu nástroje.

2.3.2 Závislost drsnosti $Ra[\mu m]$, $Rz[\mu m]$ povrchu otvoru na hloubce třísky



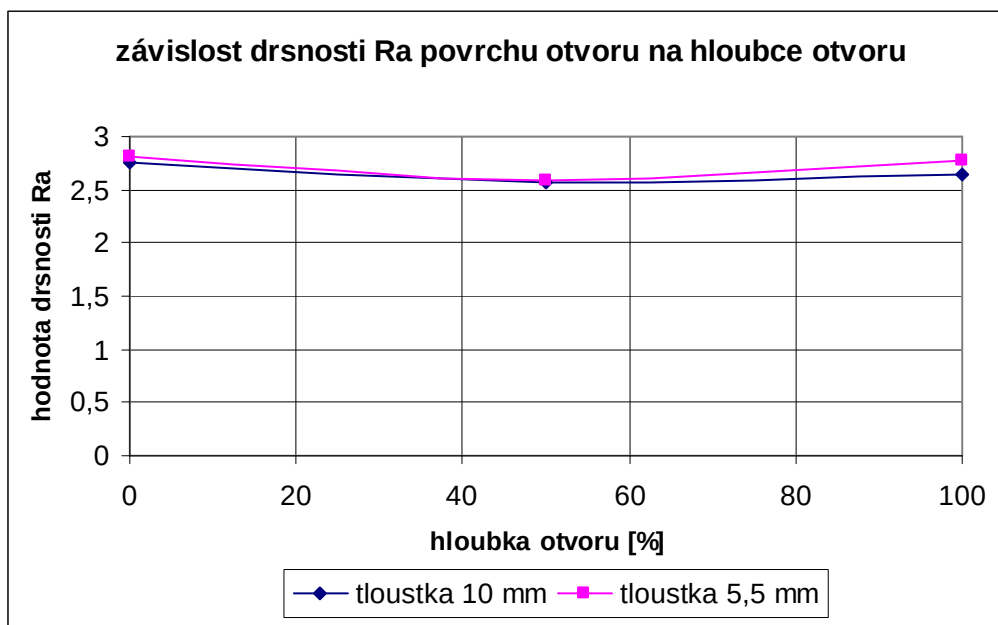
Graf č.4. Závislost drsnosti Ra povrchu otvoru na hloubce třísky



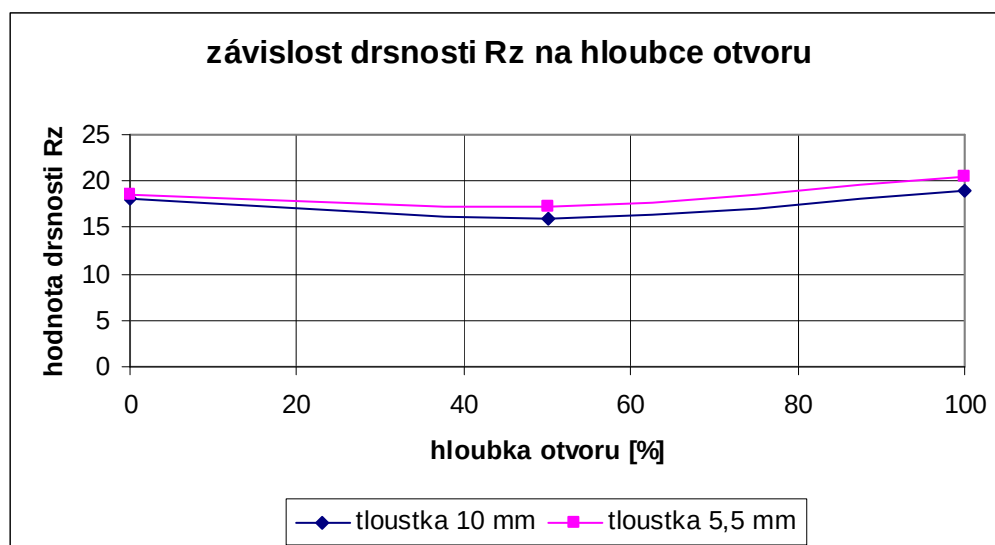
Graf č.5. Závislost drsnosti Rz povrchu otvoru na hloubce třísky

Podle grafů závislosti drsnosti povrchu otvoru v na hloubce třísky se ukazuje, že při větší tloušťce odebírané třísky, roste hodnota drsnosti povrchu otvoru a to jak se ukazuje poměrně stejně v průběhu celé délky otvoru. Průběh drsnosti povrchu vyvrtávaného otvoru probíhá obdobně jak při průběhu závislosti drsnosti povrchu otvoru na posuvu. Hodnota je vyšší na počátku otvoru než uprostřed a na konci otvoru, přičemž nejnižší hodnota drsnosti je patrná uprostřed otvoru. Dá se tedy předpokládat, že s rostoucí velikostí odebírané třísky, roste i velikost řezného otvoru, který se přenáší do tuhosti soustavy STROJ – NÁSTROJ – OBROBEK.

2.3.3 Závislost drsnosti $Ra[\mu m]$, $Rz[\mu m]$ povrchu otvoru na hloubce otvoru



Graf č.6. Závislost drsnosti Ra povrchu otvoru na hloubce otvoru

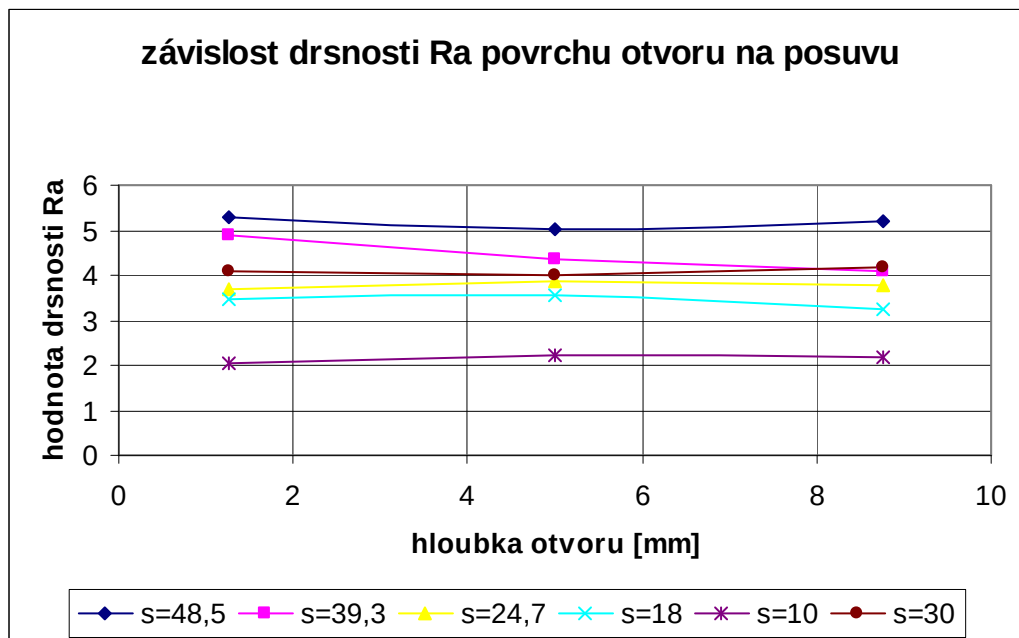


Graf č.7. Závislost drsnosti Rz povrchu otvoru na hloubce otvoru

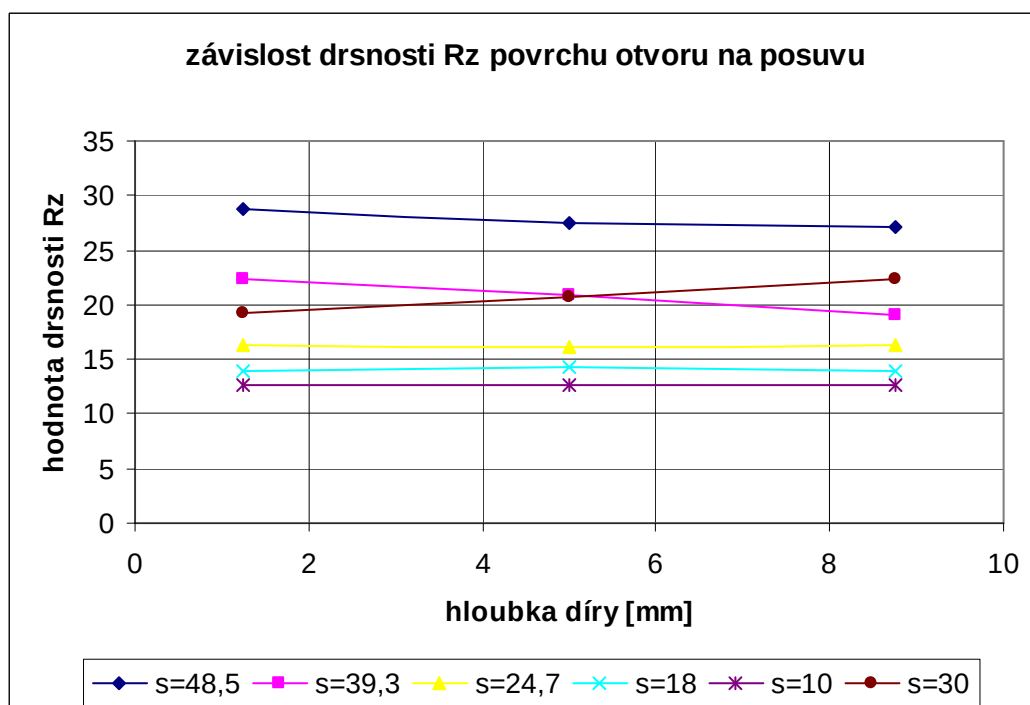
Hodnota drsnosti povrchu otvoru ve vazbě na hloubku vyvrtávaného otvoru se s klesající hloubkou zvyšuje a to převážně v ústí a na konci díry. Tuto skutečnost lze opět snad vysvětlit menší tuhostí celé soustavy v případě vyvrtávání materiálu menších tloušťek. Protože rozdíly hodnot drsností jsou velmi nízké, pro stanovení objektivnější závislosti by musela být provedena větší četnost měření. Opět se zde projevuje nižší hodnota drsnosti povrchu uprostřed hloubky otvoru. Projevuje se rovněž, že hloubka otvoru téměř neovlivňuje hodnoty drsnosti povrchu otvoru.

2.4 Naměřené hodnoty při vyvrtávání otvorů vyvrtávacím nožem

2.4.1 Závislost drsnosti $R_a[\mu\text{m}]$, $R_z[\mu\text{m}]$ povrchu otvoru na posuvu



Graf č.8. Závislost drsnosti R_a povrchu otvoru na posuvu

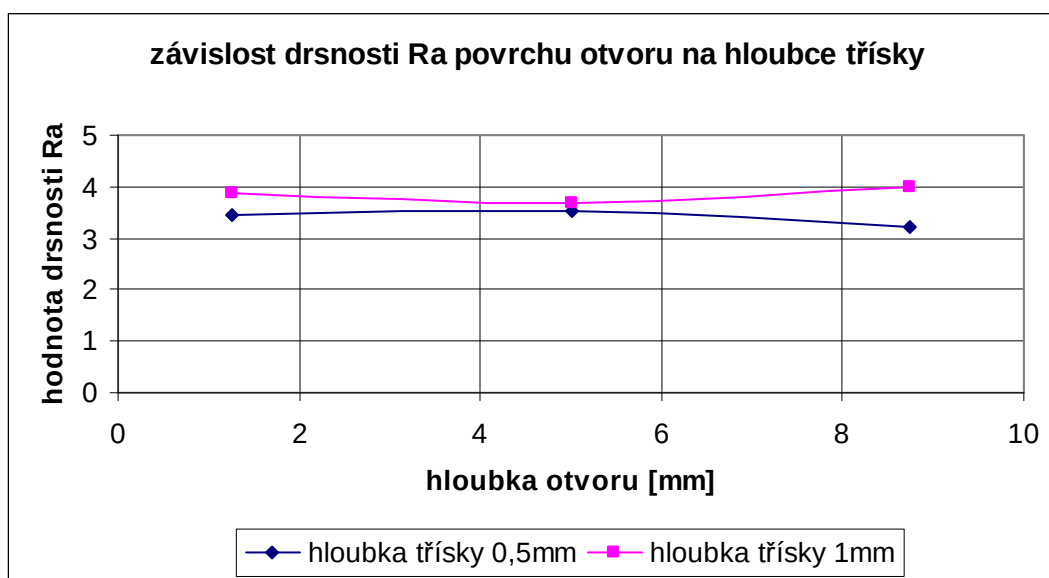


Graf č.9. Závislost drsnosti R_z povrchu otvoru na posuvu

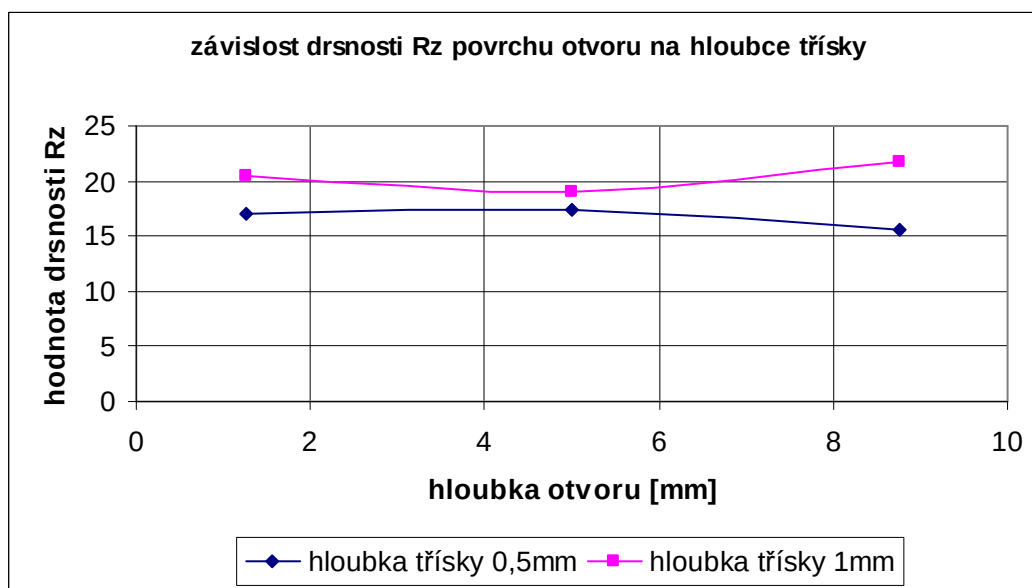
Měřená drsnost povrchu otvoru byla prováděna při šesti měřeních hodnot posuvu. Grafy nám ukazují, že nastává obdobná situace při vyvrtávání otvoru vyvrtávacím nožem,

jako při použití šroubovitého vrtáku. Nejnižší hodnota drsnosti povrchu otvoru se opět ukazuje při použití nejmenší hodnoty posuvu a odstupňovaně roste podle jeho velikosti. Mírné odchylky při jednotlivých měření jsou projevem možných nedostatků při měření. Je tedy z grafu zřejmé, že drsnost povrchu otvoru závisí na velikosti posuvu a to tak, že čím větší posuv, tím vyšší hodnota drsnosti povrchu vyvrtávaného otvoru. Měření prokázalo, že hodnota drsnosti povrchu po celé hloubce otvoru probíhá téměř ve stejné hodnotě.

2.4.2 Závislost drsnosti $Ra[\mu m]$, $Rz[\mu m]$ povrchu otvoru na hloubce třísky



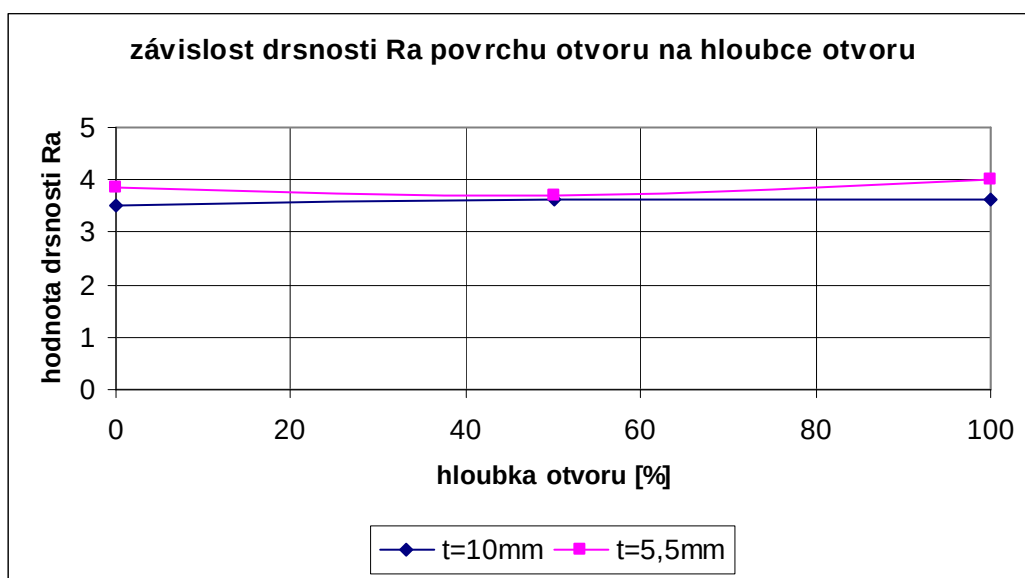
Graf č.10. Závislost drsnosti Ra povrchu otvoru na hloubce třísky



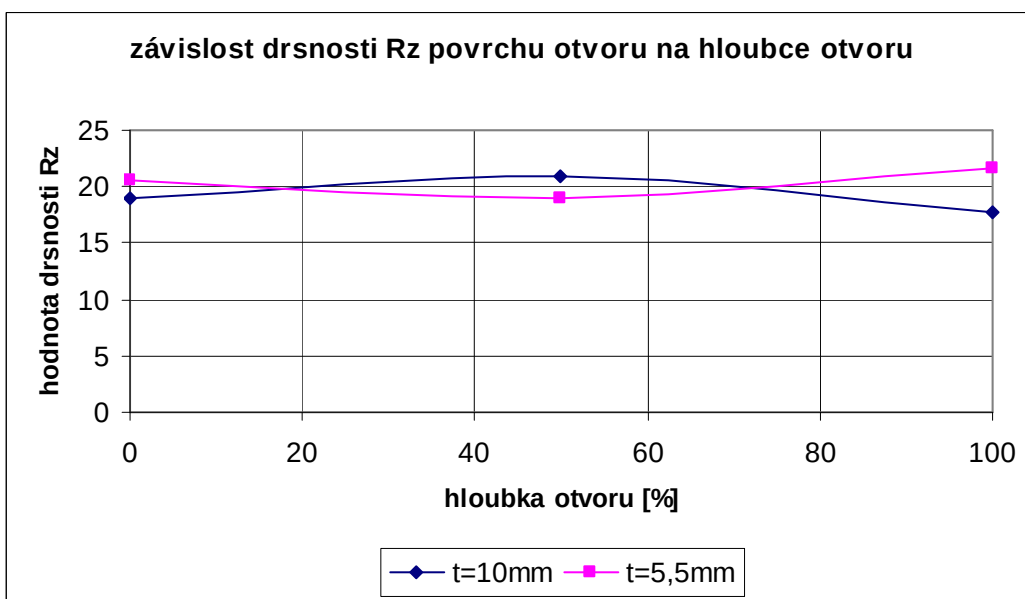
Graf č.11. Závislost drsnosti Rz povrchu otvoru na hloubce třísky

Průběh drsnosti povrchu otvoru v závislosti na hloubce třísky je rovněž obdobný jako při vyvrtávání šroubovým vrtákem. Ten se však liší velikostí hodnot drsností povrchu otvoru. Tento rozdíl velikostí v hodnotě drsností je nutno připsat tomu, že měření bylo provedeno při různých hodnotách posuvu. Rovněž zde platí, že průběh hodnot drsnosti po celé hloubce otvoru, vykazuje jen malé rozdíly.

2.4.3 Závislost drsnosti $R_a[\mu\text{m}]$, $R_z[\mu\text{m}]$ povrchu otvoru na hloubce otvoru



Graf č.12. Závislost drsnosti R_a povrchu otvoru na hloubce otvoru



Graf č.13. Závislost drsnosti R_z povrchu otvoru na hloubce otvoru

Porovnáním drsnosti povrchu otvoru při odlišné hloubce vyvrtávaného otvoru šroubovým vrtákem a otvorem zhotovovaným vyvrtávacím nožem, můžeme říci, že průběh hodnot je rovněž hodně podobný. Z grafů je vidět, že hodnota drsnosti u menší hloubky otvoru je nepatrně vyšší než u otvoru hlubšího. Grafy ukazují, že hloubka vyvrtávaného otvoru zásadně neovlivňuje hodnoty drsnosti povrchu otvoru. Vyšší hodnoty drsností u materiálů menší tloušťky, jsou patrně ovlivněny tuhostí cele soustavy.

ZÁVĚR

Hodnocení celkového průběhu měření drsností povrchu otvorů při vyvrtávání ukazuje, že velikost posuvu zásadně ovlivňuje hodnotu drsnosti povrchu otvoru. Projevilo se to stejně při vyvrtávání otvorů šroubovitým vrtákem, tak i při zhotovování otvorů vyvrtávacím nožem.

Při vyvrtávání otvoru nožem, se rozdíly hodnot drsnosti povrchu otvoru projevily méně rozdílné během zhotovování hloubky otvoru, než při použití šroubovitého vrtáku. Poněkud vyšší hodnoty drsnosti při použití šroubovitého vrtáku jsou patrně způsobeny vedením vrtáku v otvoru fazetkou. Při hodnocení závislosti drsnosti povrchu otvoru na tloušťce vyvrtávaného materiálu, lze říci, že průběh hodnot drsnosti povrchu otvoru v zásadě nejsou ovlivněny a menší naměřené rozdíly byly způsobeny porovnáním rozdílných posuvů. Porovnáním hodnot drsností povrchu otvoru zhotovovaného šroubovitým vrtákem a vyvrtávacím nožem, lze říci, že průběh hodnot drsnosti vykazuje nejnižší hodnoty uprostřed délky otvoru, nejvyšší hodnoty na počátku operace. Konec operace vykazuje hodnoty drsnosti povrchu otvoru mezi maximem na minimem hodnot drsnosti.

Větší hloubky odebírané třísky se projevuje rovněž vyšší hodnota drsnosti povrchu otvoru. U vyvrtávání otvoru šroubovitým vrtákem je průběh drsnosti mezi počátkem operace a koncem operace o větším rozdílu hodnot, než u operace vyvrtávání vyvrtávacím nožem. Mírné odchylky, které se při měření drsnosti povrchu otvoru mohly projevit, jsou způsobovány několika faktory. Patrně největší ovlivnění můžou způsobit chyby při měření drsnosti povrchu otvoru, jenž mají za následek zkreslení hodnot drsnosti povrchu. Další faktor ovlivňující hodnoty drsnosti povrchu otvoru je tuhost soustavy STROJ – NÁSTROJ – OBROBEK. Rovněž ovlivňujícím činitelem při vyvrtávání otvorů může být opotřebení vyvrtávacího nástroje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) Roček, V.: Příručka obrábění. SNTL Praha 1973
- (2) Buda, J.; Békés, J.: Teoretické základy obrábění kovov. Alfa Bratislava 1977
- (3) Beňo, J.: Teoria obrábění, Viennele Košice 2002
- (4) Kocman, K.-Prokop, J.: Technologie obrábění. CERM 1996. ISBN 80-214-1996-2
- (5) Mitutoyo SJ – 301, Přístroj na měření drsnosti povrchu. Návod k použití.
- (6) Vigner, M.; Přikryl, Z.: Obrábění. SNTL Praha 1984
- (7) Kocman, K.: Speciální technologie. Obrábění. CERM Brno 2004. ISBN 80-214-2562-8

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

v_c	řezná rychlost	[m/min]
R_z	výška nerovnosti profilu z deseti bodů	[μm]
R_a	střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
π	Ludolfovo číslo	[-]
D	průměr nástroje	[mm]
n	otáčky nástroje	[min^{-1}]
v_f	Posuvová rychlost	[m/min]
f	posuv na otáčku nástroje	[mm]
f_z	posuvem na břit nástroje	[mm]
n_1	otáčky vřetene stroje, které odpovídají min. nákladům na výrobu jedné součástky	[min^{-1}]
n_2	otáčky vřetene stroje, při kterých je výrobnost stroje maximální	[min^{-1}]
A	přímé náklady na obrobení 1 kusu	[Kč/ks]
t_{AS}	čas automatický strojní	[min]
E	náklady na 1 hodinu práce stroje	[Kč/hod]
B	náklady na použití jednoho břitu	[Kč/břit]
Q	počet dílců obroběných mezi výměnami nástroje	[ks]
l	délka obráběné plochy	[mm]
L	celková délka, kdy je zapnut strojní posuv	[mm]
T_{opt_i}	optimální trvanlivost	[min]
t_C	celkový čas na obrobení jednoho kusu	[min]
t_{A11}	součet vedlejších časů	[min]
t_{AX}	čas na výměnu a seřízení nástroje	[min]
λ	poměr l/L	[-]

T_{opt_2}	optimální trvanlivost pro maximální výrobnost	[min]
t_{AX}	celkový čas a čas na opravu korekcí nástroje	[min]
t	tloušťka materiálu	[mm]
ISO	- International Organization for Standardization	
ČSN ISO	- České státní normy	
DIN	- Deutsches Institut für Normung e. V.	
VDS	- Verein Deutscher Ingenieure	
NAS	- National Aerospace Standardization	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Univerzální frézka s digitálním odměřováním FHV – 50PD	9
Obr. 2. Vřeteník.....	10
Obr. 3. Podélný posuv	11
Obr. 4. Příčný posuv	12
Obr. 5. Příklady rotačních ploch obráběných vyvrtáváním	13
Obr. 6. Způsoby vyvrtávání.....	14
Obr. 7. Kinematika vyvrtávání.....	14
Obr. 8. Vyvrtávací tyče.....	15
Obr. 9. Typické příklady měření geometrických úchylek přímosti, rovnoběžnosti, kolmosti a obvodového házení pohybů pracovních orgánů obráběcího stroje.	16
Obr. 10. Přístroj na měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ – 301.....	22

SEZNAM GRÁFŮ

Graf č.1. Průběh nákladů a výrobnosti v závislosti na otáčkách vřetene	19
Graf č.2. Závislost drsnosti Ra povrchu otvoru na posuvu.....	24
Graf č.3. Závislost drsnosti Rz povrchu otvoru na posuvu.....	24
Graf č.4. Závislost drsnosti Ra povrchu otvoru na hloubce třísky	25
Graf č.5. Závislost drsnosti Rz povrchu otvoru na hloubce třísky	25
Graf č.6. Závislost drsnosti Ra povrchu otvoru na hloubce otvoru.....	26
Graf č.7. Závislost drsnosti Rz povrchu otvoru na hloubce otvoru.....	27
Graf č.8. Závislost drsnosti Ra povrchu otvoru na posuvu.....	28
Graf č.9. Závislost drsnosti Rz povrchu otvoru na posuvu.....	28
Graf č.10. Závislost drsnosti Ra povrchu otvoru na hloubce třísky	29
Graf č.11. Závislost drsnosti Rz povrchu otvoru na hloubce třísky	29
Graf č.12. Závislost drsnosti Ra povrchu otvoru na hloubce otvoru.....	30
Graf č.13. Závislost drsnosti Rz povrchu otvoru na hloubce otvoru.....	30

SEZNAM PŘÍLOH

- P 1 : Výrobní výkres sestavy dynamometru
- P 2 : Výrobní výkres desky dynamometru
- P 3 : Výrobní výkres těla dynamometru
- P 4 : Výrobní výkres dna dynamometru
- P 5 : Výrobní výkres příruby dynamometru
- P 6 : Výrobní výkres uzavíracího kroužku dynamometru