

Zahlubování otvorů pro hlavy šroubů

Josef Hověžák

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Josef Hovězák
Osobní číslo: T11236
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: prezenční

Téma práce: Zahlubování otvorů pro hlavy šroubů

Zásady pro vypracování:

- 1. Teorie obrábění**
- 2. Technologie výroby otvorů**
- 3. Struktura povrchu**
- 4. Provedení zkoušek zahlubování**
- 5. Vyhodnocení zkoušek**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Josef Hrdina

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 14.5.2014


.....

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

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

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

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

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

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na proces zahlubování otvorů pro válcové hlavy šroubů. Zkoumá se zde drsnost povrchu a geometrie otvoru, které vznikly při procesu zahlubování. V závěru práce se vyhodnocuje, jak ovlivňuje hloubka zahloubení geometrii díry a drsnost zahloubené díry. Dále jsou zde popsány základní pojmy teorie obrábění, řezné nástroje a technologie výroby pro zhotovení otvorů a jakost povrchu.

Klíčová slova:

Zahlubování otvorů, drsnost povrchu, geometrie otvoru, teorie obrábění, řezné nástroje, technologie výroby.

ABSTRACT

This thesis is focused on the process of sinking holes for cylindrical head screws. It examines here the surface roughness and hole geometry, which arose in the process of countersink. At the conclusion thesis is evaluated, how depth countersink affects the hole geometry and surface roughness of the recessed hole. It further describes the basic concepts of the theory of machining, cutting tools and manufacturing technology for the fabrication of holes and surface quality.

Keywords:

Sinking of holes, surface roughness, hole geometry, theory of machining, cutting tools, technology.

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Josefu Hrdinovi za odbornou pomoc, cenné rady a poznámky, ochotu a vynaložený čas během vedení této bakalářské práce.

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

Ve Zlíně 14.5.2014

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TEORIE OBRÁBĚNÍ	12
1.1 OBROBEK	12
1.2 NÁSTROJ	13
1.3 NÁSTROJOVÉ ROVINY A ÚHLY	14
1.4 FYZIKÁLNÍ PODSTATA OBRÁBĚNÍ – MECHANISMUS VZNIKU TŘÍSKY	17
1.4.1 Rozdělení třísek.....	19
1.4.2 Objemový součinitel	20
1.4.3 Nárůstek a jeho vliv na řezný proces	21
1.4.4 Mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobeneé plochy	22
1.5 OBROBITELNOST MATERIÁLU	23
2 VRTÁNÍ, NÁSTROJE A STROJE PRO OBRÁBĚNÍ OTVORŮ	25
2.1 VRTÁNÍ	25
2.1.1 Řezné podmínky při vrtání.....	25
2.1.2 Silové poměry při vrtání.....	26
2.1.3 Jmenovitý průřez třísky do plného materiálu „A _{D1} ” (Obr. 17)	27
2.1.4 Velikost průřezu třísky do předvrtaného otvoru „A _{D2} ” (Obr. 18).....	27
2.2 VYVRTÁVÁNÍ	28
2.3 NÁSTROJE PRO VÝROBU VÁLCOVÝCH OTVORŮ.....	28
2.3.1 Vrtáky.....	29
2.3.2 Speciální vrtáky.....	29
2.3.3 Výhrubníky	31
2.3.4 Výstružníky	32
2.3.5 Záhlubníky	33
2.3.6 Speciální vrtací nástroje	38
2.4 STROJE PRO VÝROBU VÁLCOVÝCH OTVORŮ	39
3 STRUKTURA POVRCHU	43
3.1 SCHÉMA MĚŘÍCÍ DRÁHY SNÍMAČE	43
3.2 STŘEDNÍ ARITMETICKÁ ÚCHYLKA PROFILU RA	43
3.3 VÝŠKA NEROVNOSTÍ PROFILU Z DESETI BODŮ RZ.....	44
3.4 NEJVĚTŠÍ VÝŠKA NEROVNOSTÍ PROFILU RY	44
3.5 STŘEDNÍ ROZTEČ NEROVNOSTÍ PROFILU SM	45
3.6 STŘEDNÍ ROZTEČ MÍSTNÍCH VÝSTUPKŮ PROFILU S	45
3.7 NOSNÝ PODÍL PROFILU TP	46
II PRAKTICKÁ ČÁST	47
4 PŘÍPRAVA POLOTOVARU A ZHOTOVENÍ ZAHLOUBENÍ	48

4.1	VOLBA MATERIÁLU	48
4.2	ZHOTOVENÍ KONEČNÝCH ROZMĚRŮ DÍLCE	49
4.3	VRTÁNÍ OTVORŮ	50
4.4	ZAHLUBOVÁNÍ OTVORŮ	54
4.5	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU ZAHLOUBENÝCH PLOCH.....	58
4.6	MĚŘENÍ GEOMETRIE ZAHLOUBENÉHO OTVORU	60
5	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK	62
5.1	NAMĚŘENÁ A VYHODNOCENÁ DATA GEOMETRIE ZAHLOUBENÍ.....	62
5.1.1	Záhlubník ČSN 22 1604, 16,5x10,5; s= 0,08 [mm/ot]; n= 345 [ot/min]; hloubka zahloubení $h_1= 8,94$ [mm] a $h_2= 13,77$ [mm]	62
5.1.2	Záhlubník ČSN 22 1604, 18x8,5; s= 0,08 [mm/ot]; n= 260 [ot/min]; hloubka zahloubení $h_3= 10,48$ [mm] a $h_4= 12,92$ [mm].....	65
5.2	NAMĚŘENÁ A VYHODNOCENÁ DATA DRSNOSTI POVRCHU	68
5.2.1	Drsnost čelní plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 16,5x10,5.....	68
5.2.2	Drsnost čelní plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 18x8,5.....	69
5.2.3	Drsnost válcové plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 16,5x10,5; hloubka zahloubení $h_1= 8,94$ [mm].....	71
5.2.4	Drsnost válcové plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 16,5x10,5; hloubka zahloubení $h_2= 13,77$ [mm].....	72
5.2.5	Drsnost válcové plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 18x8,5; hloubka zahloubení $h_3= 10,48$ [mm]	74
5.2.6	Drsnost válcové plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 18x8,5; hloubka zahloubení $h_4= 12,92$ [mm].....	75
	ZÁVĚR	78
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	80
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	81
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK.....	86

ÚVOD

Již z názvu bakalářské práce vyplývá, že se zde budeme zabývat zahlubováním otvorů pro hlavy šroubů. Zahlubování je důležitou operací, při které se rotačním nástrojem vyrábí zahloubení kruhových otvorů. Avšak v dnešní době se zahloubení může vyrábět i jinou metodou, například elektroerozivním obráběním. Zahloubení se používá zejména tam, kde je potřeba skrýt hlavy šroubů pod funkční rovinu (povrch) součásti z důvodu bezpečnostního, estetického nebo funkčního. Rozměry a typ zahloubení se volí podle použitého typu šroubu. Záhlubník má tvar a rozměry, které odpovídají vyráběnému zahloubení. Potřebné rozměry zahlubovaného otvoru lze dohledat ve strojnických tabulkách. Dále se zahlubování používá ke srážení hran válcových otvorů, odstraňování ořepů nebo k zarovnání čelní plochy.

Bakalářská práce je rozdělena na 2 části, teoretickou a praktickou část. Práce je uspořádána tak, aby byla co nejlépe pochopena. Pro názornost je v práci umístěno několik obrázků.

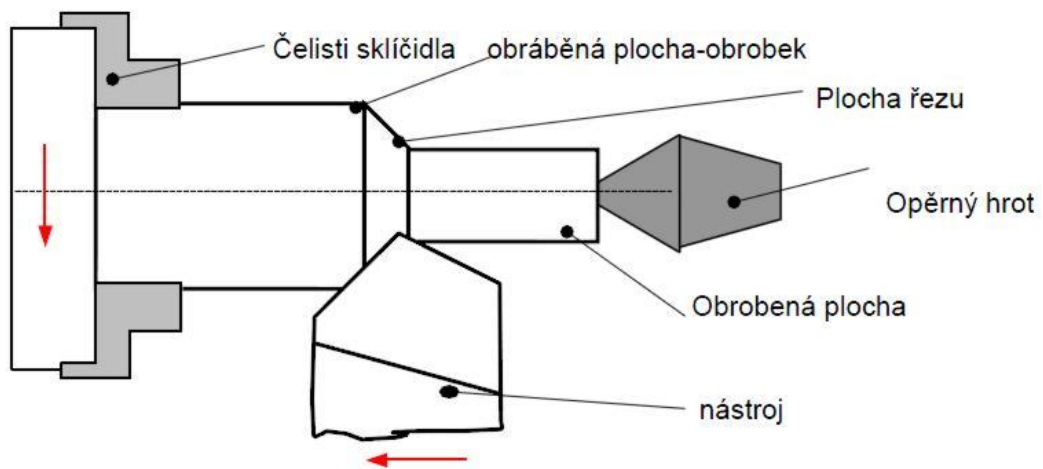
V teoretické části, která se skládá ze tří kapitol, se pojednává o teorii obrábění, vrtání, stroji a nástroji pro výrobu otvorů a drsnosti povrchu. Jednotlivé kapitoly obsahují podkapitoly kvůli lepšímu rozlišení pojmů. V kapitole o teorii obrábění jsou vysvětleny pojmy, jako jsou obrobek, nástroj, nástrojové roviny a úhly, fyzikální podstata obrábění a obrobitelnost materiálu. Ve druhé kapitole jsou popsány metody výroby otvorů jako vrtání a vyvrtávání a tato kapitola zahrnuje i nástroje a stroje pro výrobu válcových otvorů. Ve třetí kapitole je vysvětlena definice jednotlivých druhů drsnosti povrchu.

V praktické části je práce zaměřena na vyhodnocení dosažené geometrie a rozměru zahloubené díry a také je zde vyhodnocena dosažená drsnost povrchu, která vznikla po válcových záhlubnících s vodícím čepem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE OBRÁBĚNÍ

Obrábění patří k významným metodám výroby strojírenských výrobků. Je to technologický proces, při kterém dáváme polotovaru požadovaný tvar, rozměr a jakost povrchu odebráním nebo oddělováním částic materiálu. Nejčastěji používané druhy odebrání materiálu jsou fyzikální (mechanické, tepelné, elektrické), chemické (leptání) popřípadě jejich kombinace. Obrábění rozdělujeme na konvenční a nekonvenční. Konvenční obrábění je vytváření požadovaného tvaru, rozměru a jakosti povrchu oddělováním přebytečných částic materiálu z polotovaru ve formě třísky břitem řezného nástroje. Nekonvenční obrábění je využití pochodů elektrických (elektroerozivní obrábění), chemických (leptání) nebo jejich kombinace. Proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu nazýváme řezání nebo také řezný proces. Řezný proces se rozděluje na kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání), diskontinuální (hoblování, obrážení) a cyklický (frézování, broušení). Obrábění se uskutečňuje v soustavě stroj-nástroj-obrobek (Obr. 1). [1]

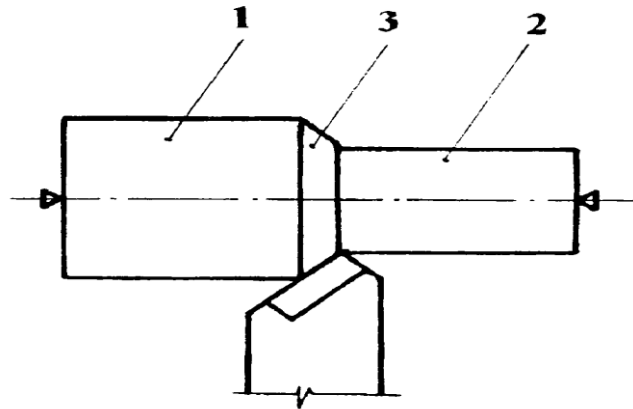


Obr. 1. Soustava stroj – nástroj – obrobek [2]

1.1 Obrobek

Obrobkem lze nazvat díl, který se obrábí, nebo už je obroben. Neobrobený předmět, který se bude obrábět, je polotovar. Na obrobku rozeznáváme 3 druhy ploch. Obráběná plocha je plocha, ze které se při obrábění odebrá přebytečný materiál tzv. přídavek na obrábění. Přechodová plocha (plocha řezu) je plocha vytvářená těsně za břitem nástroje. Tvoří přechod mezi obráběnou plochou a obrobenou plochou. Její tvar je dán trajektorií pohybu řez-

né hrany vůči obrobku. Obrobená plocha vzniká za nástrojem, který odebírá přebytečný materiál z obrobku. Tato plocha je výstupem výrobního procesu a má požadované parametry, jako je tvar, rozměr součásti, drsnost povrchu atd. Plochy jsou znázorněny na obrobku při podélném soustružení (Obr. 2). [3]

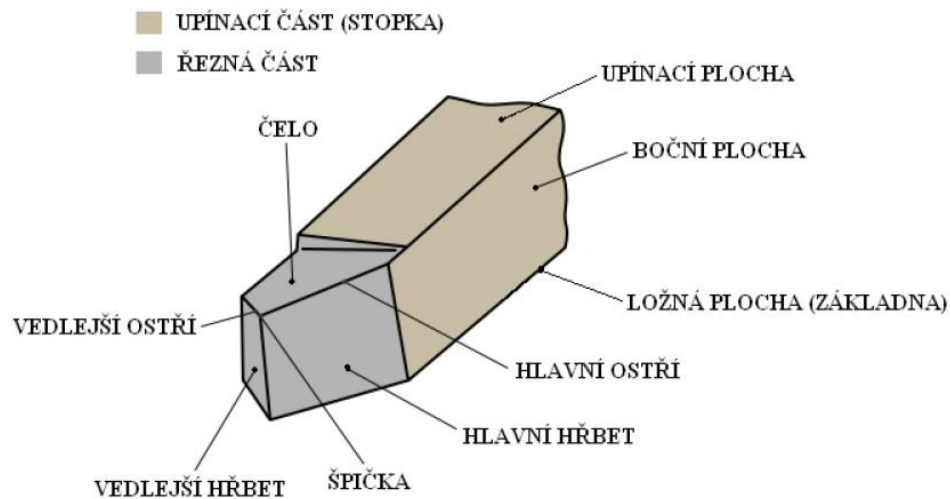


Obr. 2. Obrobek [3]

Kde: 1 – obráběná plocha, 2 – obrobená plocha, 3 – přechodová plocha

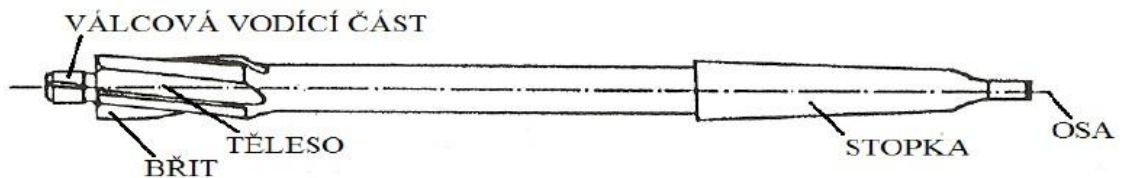
1.2 Nástroj

Řezný nástroj je aktivní prvek při obrábění. Říká se mu iniciátor řezného procesu. Řezná část (břit) nástroje má geometrický tvar klínu, který vniká při obrábění do materiálu a odebírá z něj třísku. Nástroj rozdělujeme na pracovní (řeznou) část a upínací část. V pracovní části najdeme břit, který je ohraničen plochou čela, po které odchází tříska a dále je břit ohraničen plochou hřbetu. V místě, kde se protnou plochy čela a hřbetu, vznikne průsečnice, která se nazývá ostří. Ostří se dělí na hlavní a vedlejší. Řezná část ještě obsahuje hlavní a vedlejší hřbet a špičku nástroje. U některých nástrojů se vyskytuje dokončovací část, která dokončuje obráběnou plochu, a dále tam můžeme najít vodící část, která vede nástroj vzhledem k obrobku. Upínací část nástroje, někdy nazývanou jako nástrojový držák nebo tělo nástroje se skládá z plochy ustavovací a plochy upínací (Obr. 3).



Obr. 3. Soustružnický nůž [4]

Upínací části můžou být buďto čtvercového nebo obdélníkového průřezu (Obr. 3), nebo můžou být válcového průřezu (Obr. 4). U rotačních nástrojů, jako je například šroubovítý vrták, záhlubník, výhrubník, výstružník apod. je ustavovací plocha totožná s plochou upínací a upínací část se nazývá stopka. [1]



Obr. 4. Válcový záhlubník s kuželovou stopkou a válcovou vodící částí [3]

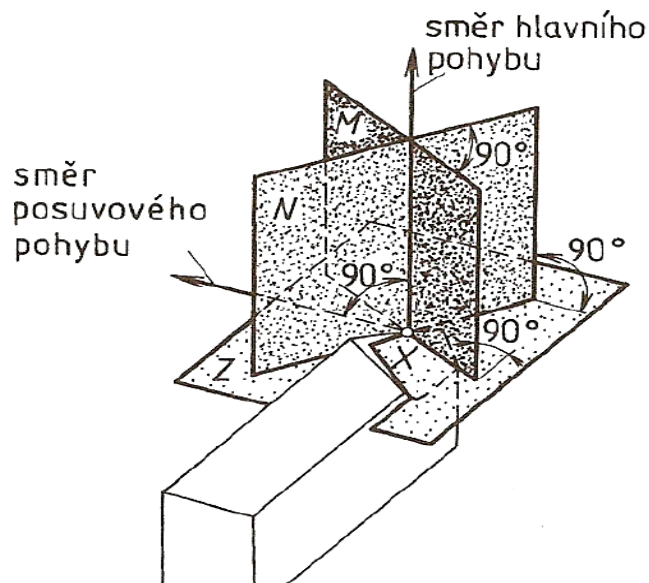
1.3 Nástrojové roviny a úhly

Geometrie řezného nástroje má značný vliv na velikost řezné síly, na utváření a odvod třísky, drsnost, přesnost a kvalitu výsledné obrobené plochy, trvanlivost břitu a hospodárnost obráběcího procesu. Chceme-li minimalizovat ztráty při využívání nástroje, je nezbytná dokonalá znalost vhodné pracovní geometrie břitu a jejího vlivu na proces obrábění. Definiují se dvě souřadnicové soustavy pro jednoznačnou identifikaci úhlů řezné části:

Nástrojová- identifikuje se zde geometrie řezné části ve statickém pojetí. Uplatňuje se především při konstrukci, výrobě, kontrole a ostření nástroje.

Pracovní- identifikuje se zde geometrie v procesu řezání.

Uvedené definice rovin a grafická znázornění jsou dále konkretizovány pro pravý ubírací nůž (Obr. 5).



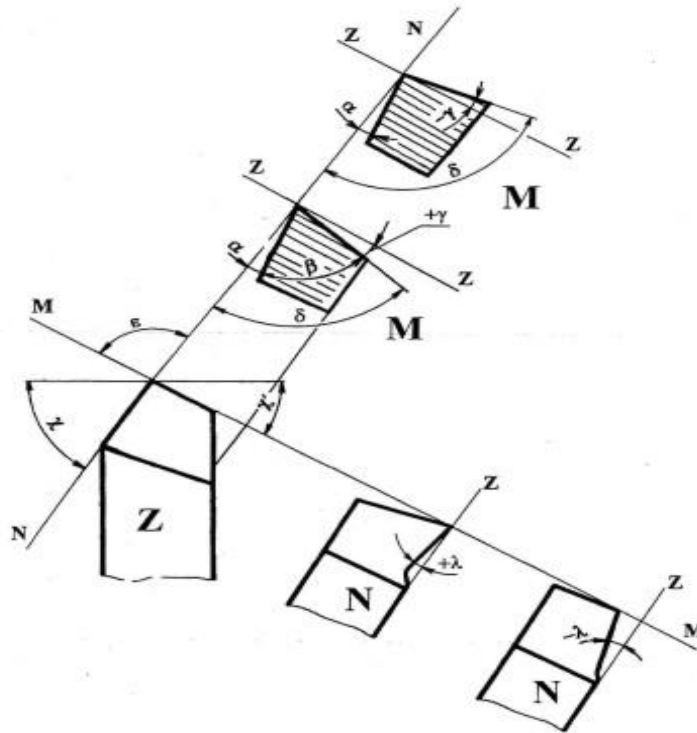
Obr. 5. Roviny nástroje [3]

Kde: M- ortogonální rovina, N- rovina hlavního ostří, Z- základní rovina, X- vybraný bod, ve kterém se určuje daná geometrie břítu.

Ortogonální rovina (M) je rovina kolmá k rovině hlavního ostří i k základní rovině a protíná bod X, ve kterém měříme geometrii břítu.

Rovina hlavního ostří (N) je kolmá k rovině základní a obsahuje tečnu ostří v bodě, ve kterém se geometrie ostří určuje.

Základní rovina (Z) je rovnoběžná s ustavovací plochou nože, prochází bodem X, u rotačních nástrojů (vrták, fréza) je to rovina rovnoběžná nebo totožná s osou nástroje. [3]



Obr. 6. Pracovní úhly řezného nástroje

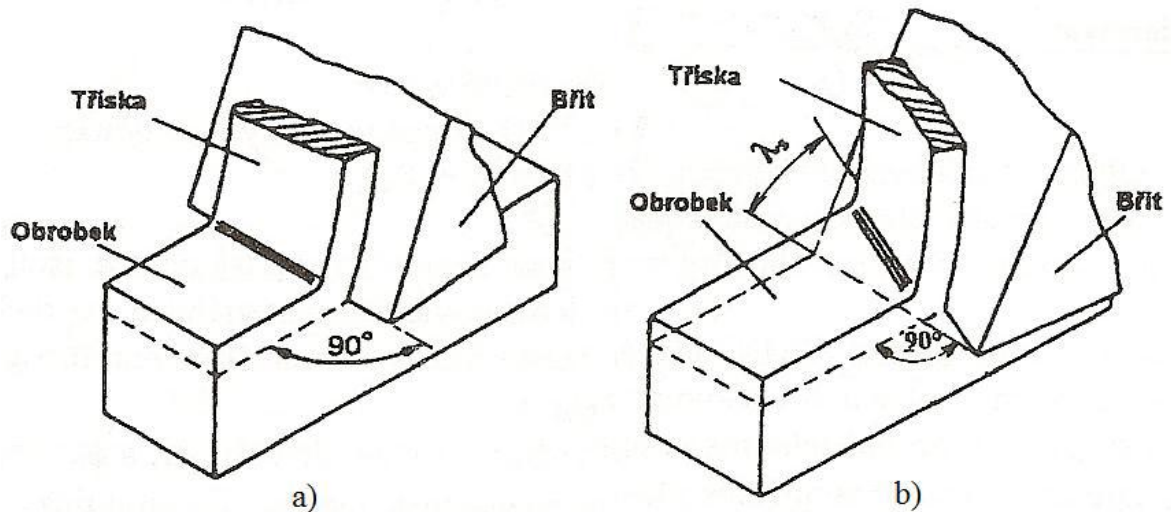
Nástrojové a geometrické parametry jsou charakterizovány pomocí úhlů (Obr. 6), které jsou definovány v příslušných rovinách (Tab. 1).

Tab. 1. Názvosloví pracovních úhlů břitů obráběcího nástroje [3]

Úhly v ortogonální rovině		
Úhel hřbetu	A	Úhel mezi tečnou rovinou plochy hřbetu a rovinou hlavního ostří
Úhel břitu	B	Úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a tečnou rovinou plochy hřbetu
Úhel čela	Γ	Úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a základní rovinou
Úhel řezu	Δ	Úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a roviny hlavního ostří
Úhly v základní rovině		
Úhel nastavení hlavního ostří	K	Úhel mezi rovinou hlavního ostří a směrem posuvu nástroje
Úhel nastavení vedlejšího ostří	κ'	Úhel mezi rovinou vedlejšího ostří a směrem posuvu nástroje
Úhel špičky nástroje	E	Úhel mezi rovinou hlavního ostří a rovinou vedlejšího ostří
Úhly v rovině hlavního ostří		
Úhel sklonu ostří	Λ	Úhel mezi tečnou přímkou ostří a základní rovinou

1.4 Fyzikální podstata obrábění – mechanismus vzniku třísky

V obráběcím systému stroj – nástroj – obrobek se uskutečňuje řezný proces, přičemž jsou pro nás prioritou parametry obrobenej plochy. Z tohoto hlediska rozeznáváme 2 druhy mechanismu tvoření třísky- obecné řezání nebo ortogonální řezání (Obr. 7).

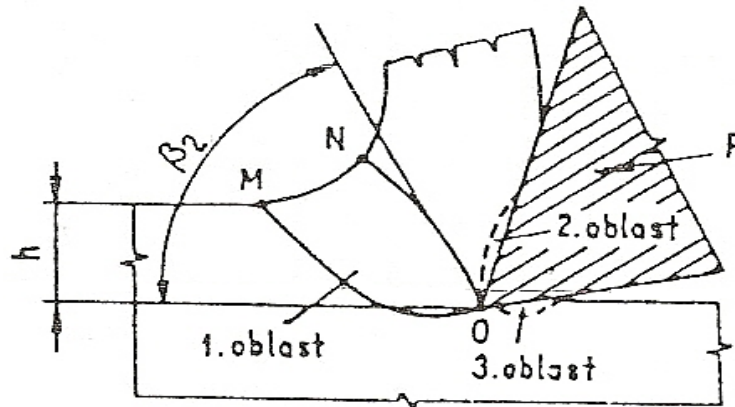


Obr. 7. Realizace řezného procesu, a) ortogonální řezání, b) obecné řezání [5]

V případě ortogonálního řezání je ostří nastaveno kolmo na směr řezného pohybu nástroje a daná problematika se řeší v rovině. Pro ortogonální řezání je typickým příkladem zapichování, protahování, frézování nástrojem s přímými zuby apod.

Při obecném řezání je potřeba problematiku řezného procesu řešit v prostoru, protože je ostří nástroje pootočeno (vrtání, podélné soustružení, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici).

Při vnikání břitu nástroje do obrobku dochází k oddělování třísky. Tento proces se děje při trvalém zatížení odebírané vrstvy řezným nástrojem. Materiál odřezávané vrstvy je dosti namáhán a deformován. Odřezávání třísky probíhá za vysokých teplot a tlaků mezi břitem nástroje a hladkou plochou odcházející třísky. Podle experimentálních vyhodnocení vzniká deformace především v oblasti plastických deformací (Obr. 8).

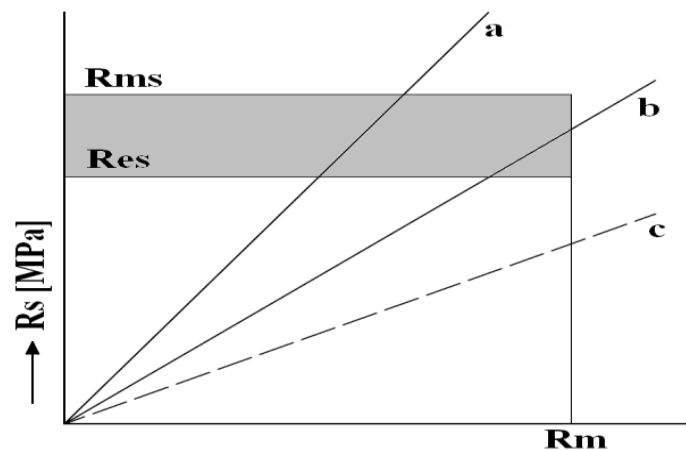


Obr. 8. Deformace a napětí v oblasti tvoření třísky [1]

Kde: β_2 - mezní úhel plastické deformace, h - hloubka řezu, F - směr působení síly, 1. oblast- místo, kde probíhají primární plastické deformace, 2. oblast- místo, kde probíhají sekundární plastické deformace, 3. oblast- místo, kde probíhají terciární plastické deformace.

Proces oddělování třísky u krystalických látek je odlišný od oddělování třísky u nekrystalických látek. U krystalických látek dochází vlivem řezání k plastické deformaci, to má za následek vznik třísky tvářené. U nekrystalických látek dochází k oddělování třísky lomem nebo štěpením a tím nedochází k plastické deformaci a vzniká tříska netvářená. [3]

Oddělování třísky je velmi složitým procesem. Jeho průběh závisí zejména na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu a jejich závislosti na podmínkách plastické deformace (Obr. 9). Typ třísky závisí na poměru meze kluzu ve smyku R_{es} , meze pevnosti v tahu R_m a meze pevnosti ve smyku R_{ms} .



Obr. 9. Druhy namáhání odřezávané vrstvy [1]

Kde: R_s - tečné napětí (ve smyku), R - normálové napětí.

1. Namáhání podle přímky a: (tříska tvářená plastickým kluzem)

Tečné napětí dosáhne meze kluzu R_{es} a meze pevnosti ve smyku R_{ms} dříve, než normálové napětí meze pevnosti v tahu R_m – materiál odřezávané vrstvy se intenzivně plasticky tváří a pak se odděluje. Vzniká soudržná celistvá tříska, která může být plynulá nebo článkovitá. Je typická pro houževnaté kovové materiály, jako jsou oceli, hliník, měď a jejich slitiny. Tříska je na čele hladká.

2. Namáhání podle přímky b: (tříska elementární)

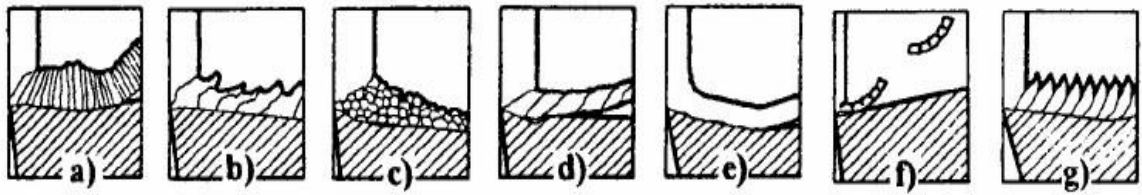
Normálové napětí dosáhne meze pevnosti v tahu R_m dříve, než tečné napětí meze pevnosti ve smyku R_{ms} , ale později, než meze kluzu ve smyku R_{es} – materiál je před odtržením částečně tvářen. Vzniká elementární, částečně tvářená tříska, typická pro litiny, bronzy a křehké kovové materiály.

3. Namáhání podle přímky c: (tříska vzniklá štěpením bez předchozího tváření)

Normálové napětí dosáhne meze pevnosti v tahu R_m dříve, než tečné napětí meze pevnosti kluzu R_{es} – materiál je odtržen, aniž by byl tvářen. Tříska vzniklá štěpením bez tváření, je to tříska elementární vytrhávaná, typická pro dřevo, sklo, plasty. [1]

1.4.1 Rozdělení třísek

- a) Plynulá článkovitá soudržná tříska – vzniká u většiny ocelí (Obr. 10a)
- b) Plynulá soudržná lamelová tříska – vzniká u většiny korozivzdorných ocelí (Obr. 10b)
- c) Tvářená elementární tříska – vzniká u většiny litin (Obr. 10c)
- d) Nepravidelně článkovitá plynulá tříska – vzniká u většiny vysoce legovaných materiálů (Obr. 10d)
- e) Tvářená plynulá soudržná tříska – vzniká při malých řezných silách (Obr. 10e)
- f) Dělená segmentová tříska – vzniká při velkých řezných silách (Obr. 10f)
- g) Plynulá segmentová tříska – vzniká při obrábění titanu (Obr. 10g) [1]



Obr. 10. Druhy třísek [5]

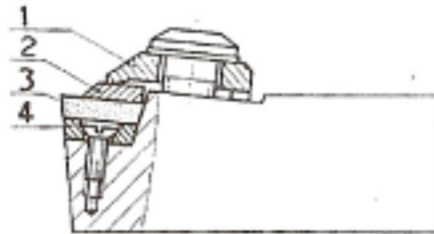
1.4.2 Objemový součinitel

Objemový součinitel třísky W vyjadřuje poměr velikosti objemu, který třísky během obrábění zaujmají. Může nabývat hodnot 300 – 400. Je to poměr objemu napěchovaných třísek (V_t) k počátečnímu objemu neobrobené vrstvy materiálu (V_m).

$$W = \frac{V_t}{V_m} [-] \quad (1)$$

Tříška je vedlejší doprovodný produkt procesu řezání. Má mít určité vlastnosti, jako jsou rozměr a tvar. Z důvodu lepší manipulovatelnosti při odvodu ze stroje a další dopravy by měli zaujímat co nejmenší objem. Tvar třísky je rovněž důležitý i pro efektivní využití nástroje (dlouhá plynulá tříška se namotává na nástroj a zhoršuje vlastnosti obráběného povrchu). Tento negativní faktor způsobují i nevhodně zvolené technologické parametry jako jsou řezné podmínky, nevhodný obráběný materiál, materiál nástroje a geometrie břitu.

Je snahou dosahovat co nejmenších hodnot objemového součinitele. Toho lze dosáhnout použitím utvařečů třísek, upravením řezných podmínek, jinou geometrií břitu nebo zvolením vhodného obráběného materiálu. Nejvhodnější pro obrábění je tříška elementární dělená, které dosáhneme pomocí již zmíněných utvařečů třísek. Ty mohou být vybrušované, předlisované, vyjiskřované nebo mechanické (příložné). Vybrušovaný utvařeč je vyroben vybrušením žlábků na čele nože. Mechanický lamač třísky má tvar destičky a je mechanicky upnut k čelu břitu (Obr. 11). [1]

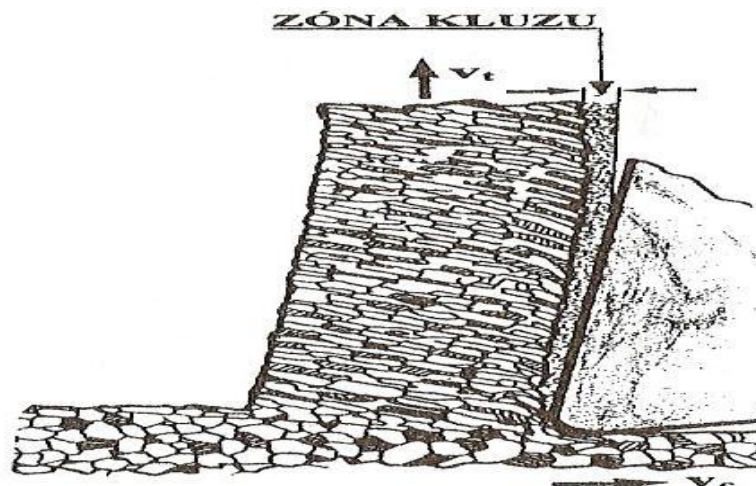


1 - úpinka, 2 - utvařec tří sek, 3 - břitová destička, 4 - podložka

Obr. 11. Lamač třísky [1]

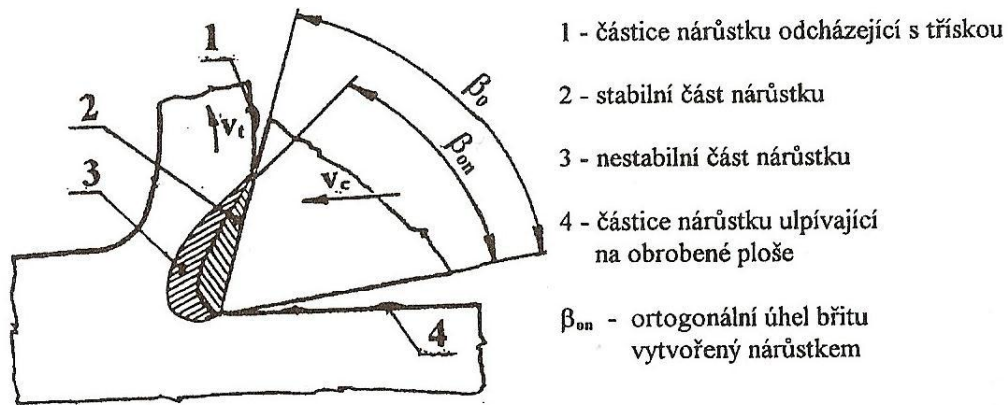
1.4.3 Nárůstek a jeho vliv na řezný proces

Při řezném procesu (v daném intervalu řezné rychlosti) se za určitých řezných podmínek tvoří na čele nástroje spěchovaná tvrdá vrstva kovu. Vzniká při pohybu třísky po čele nástroje. Děj se odehrává za vysokých teplot a tlaků. Mezi čelem nástroje a odcházející třískou vzniká tangenciální síla F_γ . Ta může způsobit za určitých řezných podmínek „zadírání“. Rychlost třísky narůstá od teoretické nuly do vysokých hodnot při pohybu po čele nástroje. Může zde vzniknout zóna kluzu (Obr. 12) mezi třískou a povrchovou plochou čela nástroje. [5]



Obr. 12. Zóna skluzu při pohybu třísky po čele nástroje [5]

V zóně kluzu vzniká vlivem vysokých teplot tavenina kovu. Nárůstek lze nazvat také jako „studený návar“ (Obr. 13).



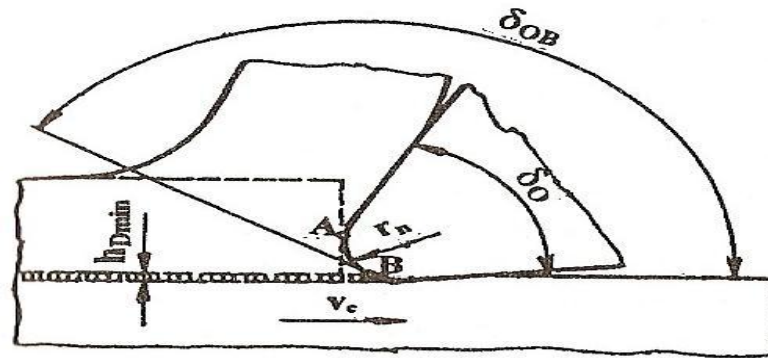
Obr. 13. Tvorba nárůstku [5]

V závislosti na řezných podmínkách nárůstek periodicky vzniká a zaniká s frekvencí $10^2 - 10^3$ Hz. Nárůstek má dvě části, stabilní a nestabilní. Většina nárůstku odchází s třískou, menší část se přichytí na obrobené ploše.

Vzniku nárůstku je možné zabránit vhodnou volbou řezných podmínek (např. zvýšení rychlosti řezání), zvolením vhodného mazání a chlazení obrobku, zlepšení čelní plochy nástroje lapováním apod. Se zvyšující se pevností obráběného materiálu klesá velikost nárůstku. [5]

1.4.4 Mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobené plochy

Důsledkem řezného procesu se mění mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobené plochy. Dochází zde ke strukturním změnám, zpevnění, vadám a zbytkovým napětím. Zpevnění povrchové vrstvy způsobuje oblast primárních plastických deformací zasahující pod úroveň budoucího povrchu. Další vliv, který způsobuje zpevnění povrchové vrstvy je dán tím, že reálné ostří nemá ostrou špičku, ale je zaobleno. Z toho vyplývá, že oddělování materiálu se díky negativnímu úhlu čela nerealizuje řezáním, ale tvářením. Díky tomuto jevu jsou definovány určité minimální hodnoty jmenovité tloušťky řezu závislé na řezných podmínkách (Obr. 14). Zpevnění povrchové vrstvy na obrobené ploše můžeme vyjádřit hodnotou mikrotvrdomosti. [5]



Obr. 14. Reálné ostří nástroje při ortogonálním řezání [6]

Kde: δ_{OB} - nástrojový ortogonální úhel řezu v bodě B reálného ostří, h_{Dmin} - minimální hodnota jmenovité tloušťky řezu, δ_0 - nástrojový ortogonální úhel řezu.

Vznik zbytkových napětí v povrchové vrstvě je zapříčiněn nerovnoměrnou plastickou deformací. Základní mechanismy zapříčiňující vznik zbytkových napětí v povrchové vrstvě jsou:

- Nerovnoměrná plastická deformace
- Strukturální změny materiálu v tuhém stavu
- Chemické procesy (vliv difúze, působení řezného prostředí- vznik chemických sloučenin)
- Vlivem nerovnoměrného ohřevu nebo ochlazování vzniká teplotní roztažnost [5]

1.5 Obrobitelnost materiálu

Obrobitelnost označuje souhrn fyzikálně-mechanických a technologických vlastností materiálu. Je to schopnost materiálu nechat se obrobit. V praxi se používá relativní hodnocení obrobitelnosti pro jednotlivé metody obrábění. Nejčastěji se používá kinetické kritérium (podle řezné rychlosti) pro hodnocení obrobitelnosti. Obrobitelnost ovlivňují tyto činitele:

- Fyzikální vlastnosti – tvrdost, pevnost, houževnatost, měrné teplo, tepelná vodivost
- Chemické vlastnosti – mají vliv na otupení nástroje, řezný odpor a tvar třísky
- Mikrostruktura – podle tepelného zpracování obrobku

Součinitel obrobitelnosti

$$K_V = \frac{v_{CT/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{v_{CT/VB} \text{ etalonového materiálu}} \quad (2)$$

Součinitel obrobiteľnosti je poměr skutečné řezné rychlosti $V_{CT/VB}$ zkoušeného materiálu vzhledem k řezné rychlosti $V_{CT/VB}$ etalonového materiálu.

Pro vyhodnocování obrobiteľnosti rozdělujeme materiály do devíti skupin, které se označují malými písmeny:

- a) Litiny
- b) Oceli
- c) Těžké neželezné kovy (měď a její slitiny)
- d) Lehké neželezné kovy (hliník a jeho slitiny)
- e) Plastické hmoty
- f) Přírodní nerostné hmoty
- g) Vrstvené hmoty
- h) Tvrzené litiny pro výrobu válců

Pro každou skupinu je vybrán jeden materiál sloužící jako etalon obrobiteľnosti. K tomuto etalonu se pak stanovuje relativní obrobiteľnost materiálů celé skupiny. Třídy se označují číslem, které se umísťuje před písmeno a určuje skupinu materiálů (např. 11a, 14b). Materiály, které mají nižší číslo, než má číslo etalonového materiálu, jsou hůře obrobitelné, než etalonový materiál. V rozmezí 1-20 je nejlépe obrobitelný materiál s číslem 20 a nejhůře obrobitelný materiál má číslo 1.

Obrobiteľnost také ovlivňuje způsob obrábění tj. frézování, soustružení, broušení, vrtání, atd. Dále má na obrobiteľnost vliv přerušovaný řez, trvanlivost nástroje, druh materiálu, druh nástroje, hloubka řezu (Tab. 2). [5]

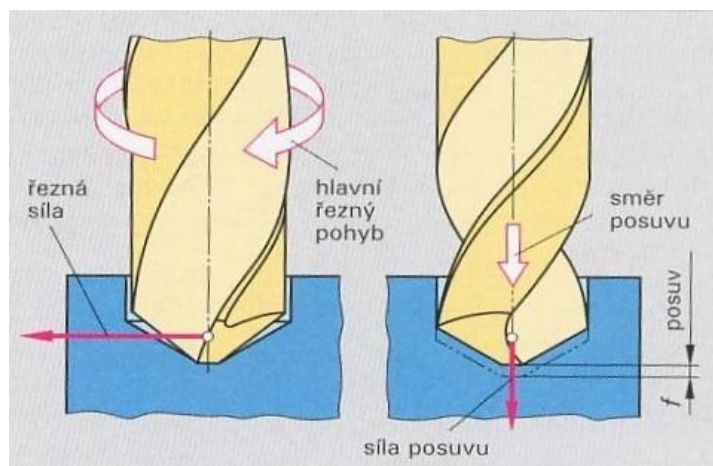
Tab. 2. Součinitele obrobiteľnosti pro jednotlivé třídy skupiny ocelí

Třída	Kv			Třída	Kv		
	vyjádřeno kvocientem	střední hodnota	rozsah		vyjádřeno kvocientem	střední hodnota	rozsah
1b	$1,26^{-13}$	0,050	0,045-0,054	11b	$1,26^{-3}$	0,50	0,45-0,56
2b	$1,26^{-12}$	0,065	0,055-0,069	12b	$1,26^{-2}$	0,63	0,57-0,71
3b	$1,26^{-11}$	0,080	0,070-0,089	13b	$1,26^{-1}$	0,80	0,72-0,89
4b	$1,26^{-10}$	0,10	0,09-0,11	14b	$1,26^0$	1,00	0,90-1,12
5b	$1,26^{-9}$	0,13	0,12-0,14	15b	$1,26^1$	1,26	1,13-1,41
6b	$1,26^{-8}$	0,16	0,15-0,17	16b	$1,26^2$	1,59	1,42-1,78
7b	$1,26^{-7}$	0,20	0,18-0,22	17b	$1,26^3$	2,00	1,79-2,24
8b	$1,26^{-6}$	0,25	0,23-0,28	18b	$1,26^4$	2,50	2,25-2,82
9b	$1,26^{-5}$	0,32	0,29-0,35	19b	$1,26^5$	3,15	2,83-3,55
10b	$1,26^{-4}$	0,40	0,36-0,44	20b	$1,26^6$	4,00	3,56-4,47

2 VRTÁNÍ, NÁSTROJE A STROJE PRO OBRÁBĚNÍ OTVORŮ

2.1 Vrtání

Mezi základní výrobní procesy pro výrobu otvorů patří technologie vrtání. Vrtání slouží k obrábění vnitřních ploch nejčastěji dvoubřitým nástrojem. Zhotovují se tak díry do plného materiálu (Obr. 15) nebo se zvětšují předvrtané díry. Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává ho nejčastěji nástroj, posuv je přímočarý a zpravidla tento pohyb vykonává rovněž nástroj. Výsledný řezný pohyb je tedy realizován ve šroubovici. [2]



Obr. 15. Vrtání do plného materiálu [7]

2.1.1 Řezné podmínky při vrtání

Velikost řezné rychlosti „ v ” a posuvu „ s ” závisí na druhu obráběného materiálu kvůli dosažení optimální ekonomie. Rychlost řezání je vyjádřena vzhledem k nejbližšímu bodu ostří od středu nástroje. Proti soustružení a frézování je u vrtání nižší řezná rychlost. Je to dáno nepříznivými podmínkami, ve kterých vrták pracuje. Kvůli složitému odvodu tepla je břit vrtáku tepelně zatížen. Chladicí emulzí nebo mazací kapalinou se dosáhne odvodu tepla z místa řezu. Pro výpočet řezné rychlosti se používá následující vztah:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \quad (3)$$

π - Ludolfovo číslo, D - průměr vrtáku [mm], n - otáčky vřetene [min^{-1}] [9]

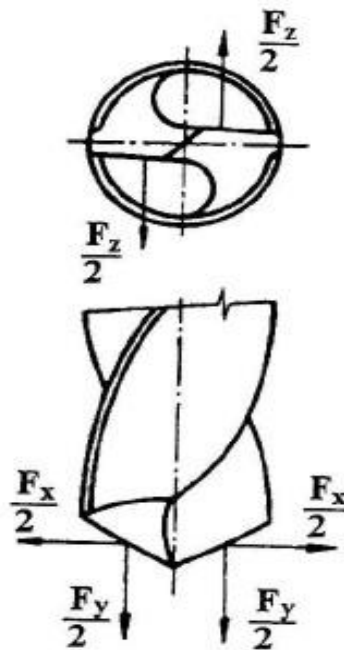
2.1.2 Silové poměry při vrtání

Velikost řezné síly F_z vypočítáme ze vztahu:

$$F_z = A_D * p \text{ [N]} \quad (4)$$

A_D - průřez třísky, p - řezný odpor

Silové poměry na vrtáku (Obr. 16):



Obr. 16. Silové poměry na vrtáku [3]

F_z – řezná síla [N], F_y – posuvová síla [N], F_x – pasivní síla [N]

- **Kroutící moment:** $M_k = F_z * \frac{D}{2} \text{ [Nm]} \quad (5)$

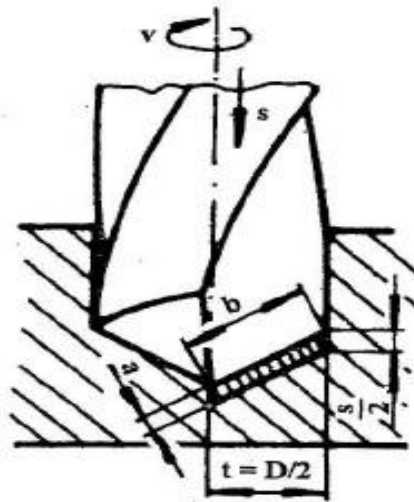
- **Řezný výkon:** $P = F_z * \frac{v}{60} \text{ [W]} \quad (6)$

- **Příkon elektromotoru:** $P_e = \frac{F_z * v}{60 * \eta} \text{ [W]}$, η - účinnost, obvykle kolem hodnoty 0,7

(7)

2.1.3 Jmenovitý průřez třísky do plného materiálu „ A_{D1} ” (Obr. 17)

$$A_{D1} = \frac{s \cdot D}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (8)$$

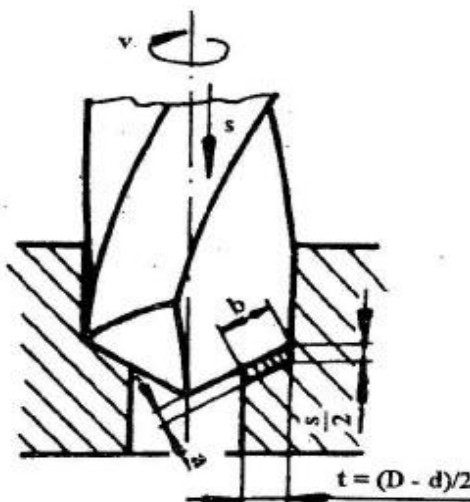


Obr. 17. Vrtání do plného materiálu

Kde: s- posuv na jednu otáčku [mm], D- jmenovitá šířka třísky [mm]

2.1.4 Velikost průřezu třísky do předvrtaného otvoru „ A_{D2} ” (Obr. 18)

$$A_{D2} = \frac{(D-d) \cdot s}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (9)$$



Obr. 18. Vrtání do předvrtaného otvoru

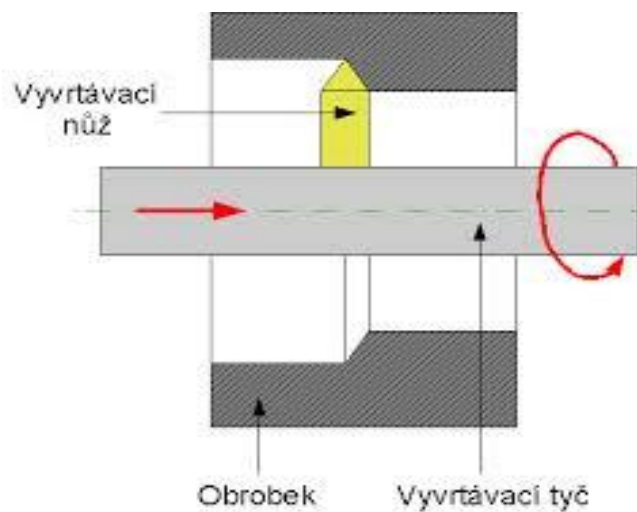
Kde: s - posuv na jednu otáčku [mm], D - jmenovitá šířka třísky [mm], d - průměr předvrtaného otvoru [mm]

2.2 Vyvrtávání

Vyvrtávání (Obr. 19) slouží k rozšiřování předlitých, předkovaných či předvrtaných otvorů. Vyvrtávané plochy se touto metodou dokončují. Tato metoda je svou podstatou shodná s vnitřním soustružením. Nástroj pro vyvrtávání je podobný soustružnickému noži a je připevněn na vyvrtávací tyč. Posuvový pohyb vykonává pracovní vřeteno stroje nebo stůl s obrobkem. [3]

Nástroj dělíme podle počtu břítů nástroje:

- S jedním břitem
- Se dvěma břity (nůž je oboustranně naostřený nebo jsou ve vyvrtávací tyči umístěny dva nože)
- S více břity



Obr. 19. Vyvrtávání[8]

2.3 Nástroje pro výrobu válcových otvorů

Vrtací nástroje jsou opatřeny jedním nebo více břity. Podle požadavku na přesnost otvoru a hloubku otvoru je lze rozdělit na několik skupin. [3]

2.3.1 Vrtáky

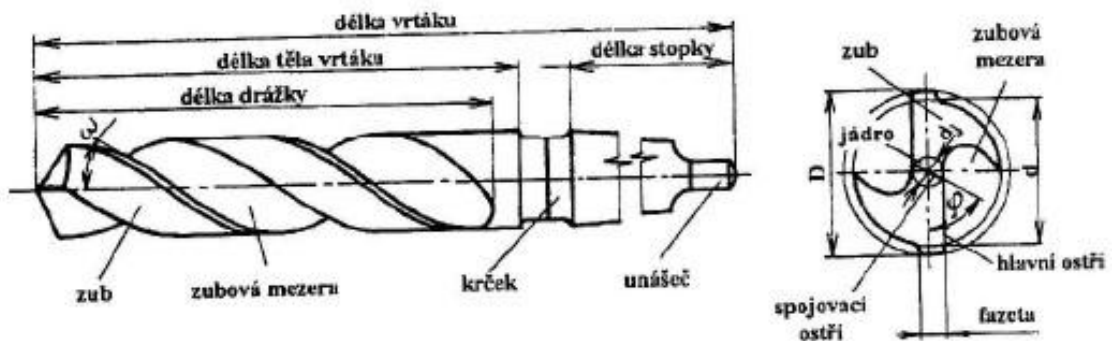
Jsou to nejčastěji používané nástroje pro výrobu válcových otvorů, u kterých se nepožaduje vysoká kvalita a přesnost. [3]

Rozdělení vrtáků:

- Šroubovitě vrtáky
- Kopinaté vrtáky
- Speciální vrtáky

Šroubovitě vrtáky

Jedná se o dvoubřité nástroje se šroubovitými drážkami (Obr. 20), které odvádí třísku a přivádí řeznou kapalinu. Má kuželovitý tvar, který se směrem od špičky nástroje zužuje z důvodu snížení tření těla vrtáku (kuželovitost asi 1:2000), průměr se tedy měří přes fazetky u špičky nástroje. Jádro nástroje se naopak směrem ke stopce zesiluje z důvodu tuhosti (asi 1:70).

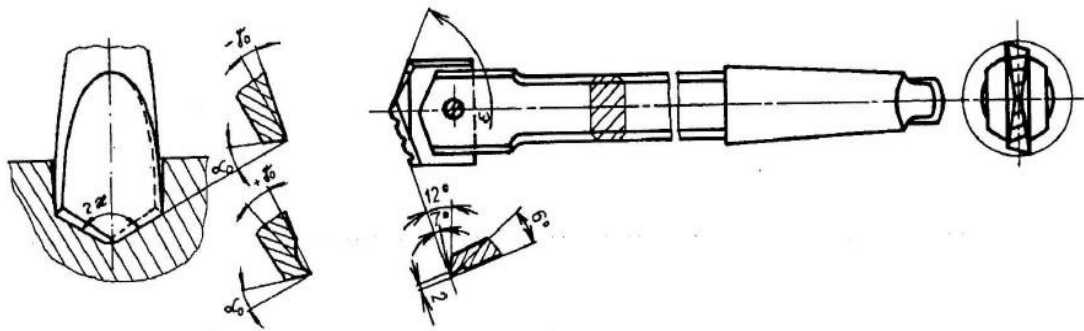


Obr. 20. Šroubovitý vrták

2.3.2 Speciální vrtáky

Kopinaté vrtáky

Tento nástroj je velmi jednoduchý na výrobu (Obr. 21). Nevýhodou je menší přesnost a špatné odvádění třísky. Proto se používají jenom na vrtání mělkých otvorů, navrtávání a srážení hran.



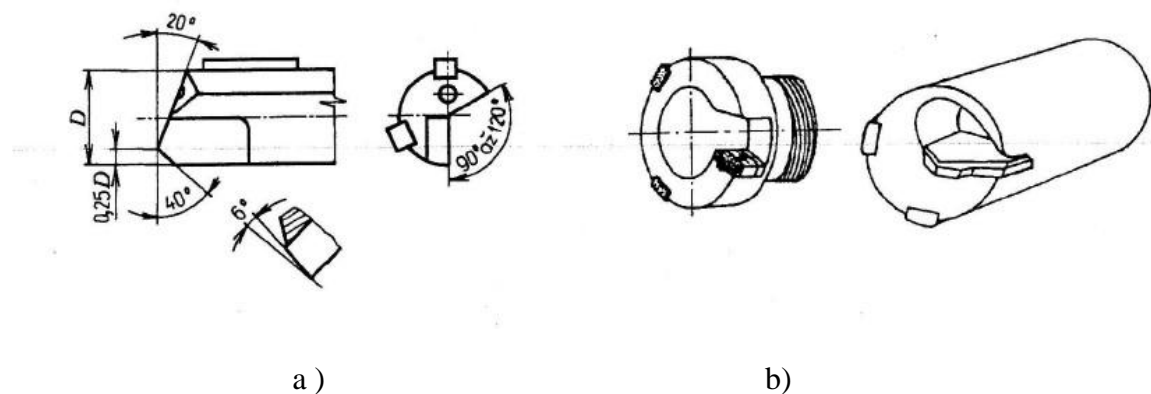
Obr. 21. Kopinatý vrták

Šroubovité vrtáky s přívodem řezné kapaliny

Používají se pro méně přesné díry, jsou opatřeny chladicím systémem a mají zesílené jádro.

Hlavňový vrták

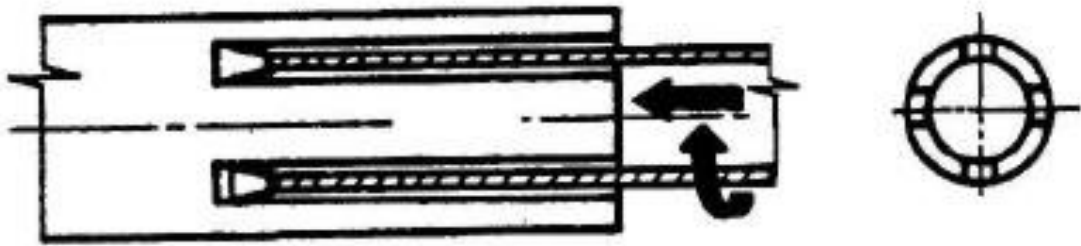
Mají obvykle jednu břitovou destičku a dvě vodítka ze SK. Břit vrtáku je lomený s nejvyšším místem mimo osu (Obr. 22). Tělo vrtáku má pro odvod třísek většinou lomený profil nebo jsou duté (odcházející třísky nepoškozují povrch obrobku).



Obr. 22. Hlavňový vrták: a) lomený, b) s vnitřním odvodem

Vrtací hlavy- korunková hlava

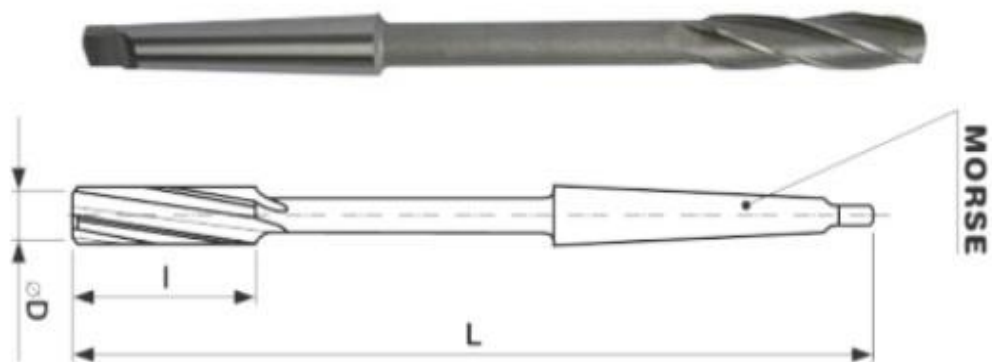
Nástroj, který má po obvodu čela jednu nebo několik destiček odřezává materiál ve tvaru mezikruží (Obr. 23). Řezná kapalina se přivádí vnějškem vrtáku a odvádí se vnitřním prostorem.



Obr. 23. Korunkový vrták

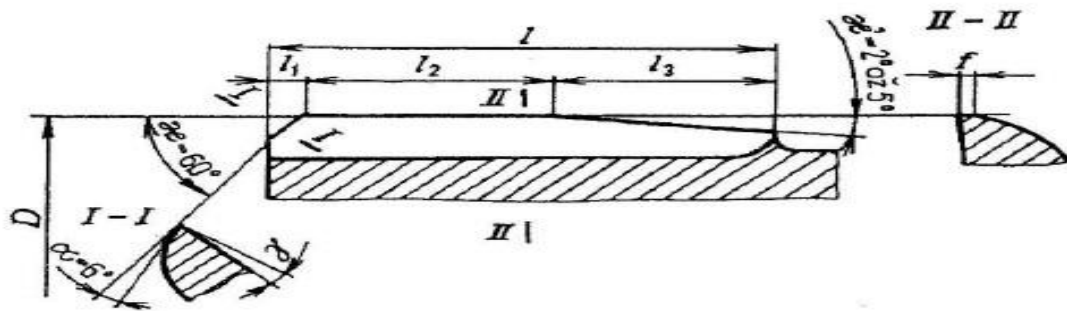
2.3.3 Výhrubníky

Výhrubníky jsou tři až čtyřbřité nástroje, které mají zuby nejčastěji ve šroubovici (Obr. 24).



Obr. 24. Výhrubník s kuželovou stopkou [4]

Pracovní část výhrubníku se skládá z řezného kužele a z válcové vodící části. Tříška je odebírána řeznou částí a vodící část vede nástroj a kalibruje otvor (Obr. 25). Dosahovaná přesnost otvorů po vyhrubování je IT 9 až IT 12.

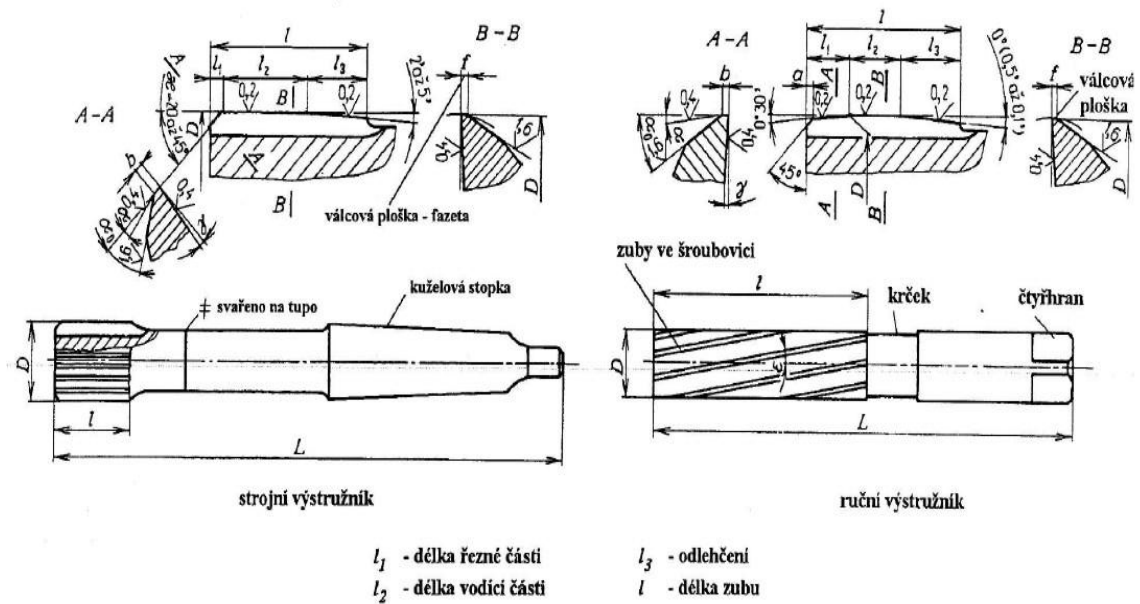


- l_1 - délka řezné části
- l_2 - délka vodící části
- l_3 - odlehčení
- l - délka zubu

Obr. 25. Tvar břitu výchružníku

2.3.4 Výstružníky

Výstružníky jsou mnohabřité nástroje, které se používají k dokončování děr s přesností IT 5 až IT 8 a dosahovaná drsnost je $R_a = 0,8 - 1,6 \mu\text{m}$. Výstružníky rozdělujeme na ruční a strojní (Obr. 26). Strojní výstružníky mají obvykle přímé zuby, ruční výstružníky mají zuby ve šroubovici. Rozteč zubů může být stejnoměrná nebo nestejnoměrná (plynulý záběr, lepší geometrický tvar otvoru). Upínací část strojního výstružníku může být válcová nebo kuželová, ruční výstružníky jsou zakončeny čtyřhranem.

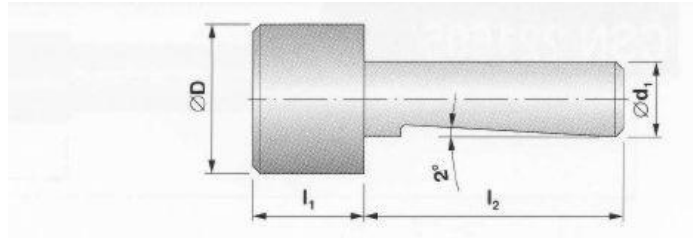


Obr. 26. Ruční a strojní výstružník

2.3.5 Záhlubníky

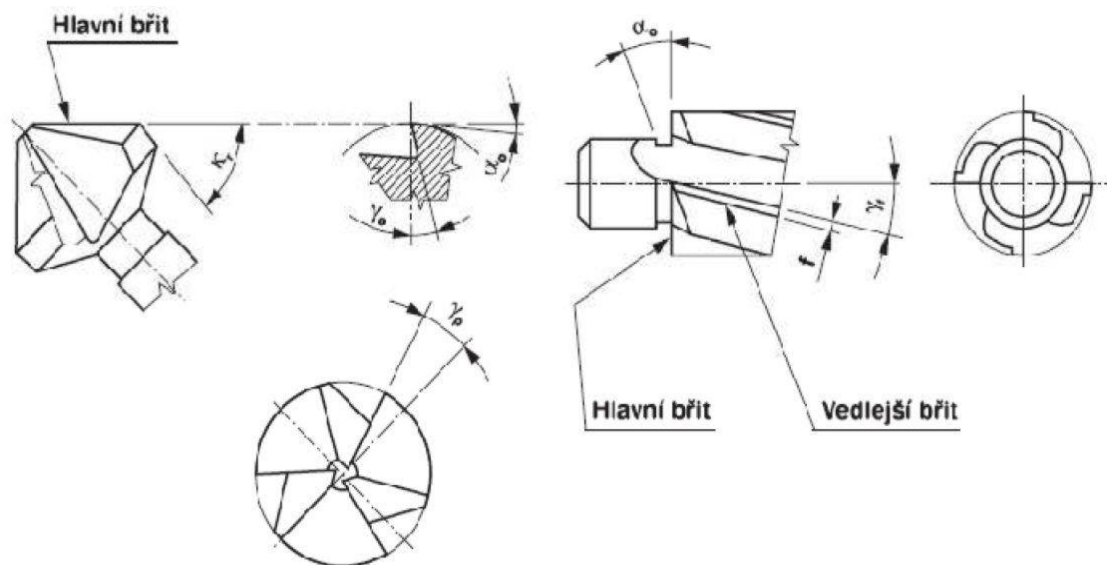
Záhlubníky se používají k výrobě sousého válcového nebo kuželového zahloubení otvorů pro válcové nebo kuželové hlavy zápusných šroubů. Dále se můžou používat pro srážení hran vrtaných otvorů a za zahlubování se považuje i zarovnávání čelních ploch. Hlavní řezný pohyb je rotační pohyb, který koná nástroj. Nástroj zároveň obvykle vykonává posuv ve směru osy. Záhlubníky jsou vícebřité nástroje (obvykle 3 až 4 zuby). Zuby mohou být přímé nebo ve šroubovici. Dosahovaná drsnost R_a je $6,3 \mu\text{m}$, při zlepšených podmínkách (chlazení, ...) je dosahovaná drsnost R_a $3,2 \mu\text{m}$. Záhlubníky jsou vyráběny z rychlořezné oceli HSS (pro zahlubované materiály do pevnosti 800 MPa) nebo vysoce výkonné oceli HSSCo5 nebo HSSCo8 (pro zahlubované materiály s pevností nad 800 MPa). Materiál HSSCo je více legovaný, než materiál HSS. Nástroje se můžou povlakovat nebo nemusí. Povlaková vrstva se používá TiN (nitrid titanu), což je univerzální povlak snižující opotřebení. Dalším používaným povlakem je TiAlN, což je kombinace povlaku titanu a hliníku. Přidáním hliníku do slitiny TiN může povlaková vrstva odolávat teplotám vyšším o 300°C , než jakým odolává povlak TiN. Zvyšuje se tím pádem i odolnost proti oxidaci povrchu při vysokých teplotách (800°C). Zvyšuje se i oteruvzdornost a snižují se nároky na chladicí a mazné látky. Vodící kolík, který může být pevný nebo vyměnitelný, slouží k vedení nástroje a zaručuje sousost předvrtané díry a zahloubení (Obr. 27). Vyměnitelné kolíky jsou vyrobeny z konstrukční oceli a jsou cementovány a kaleny. Z důvodu jejich vyměnitelnosti

mohou být použity pro různé průměry otvoru a díky vyměnitelnosti umožňují snadnější ostření záhlubníků.



Obr. 27. Vodící čep vyměnitelný [4]

Na dalším obrázku (Obr. 28) je znázorněna geometrie břitu záhlubníku.

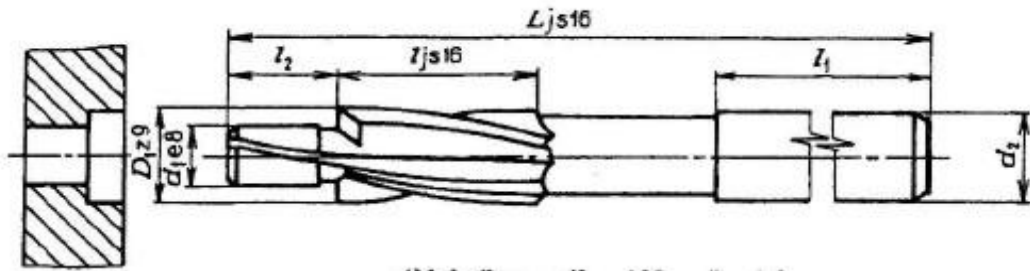


K_r – úhel nastavení řezné hrany
 α_0 – normálový úhel hřbetu hlavního břitu
 γ_f – úhel šroubovice vedlejšího ostří
 γ_p – normálový úhel čela vedlejšího břitu
 f – šířka fazetky

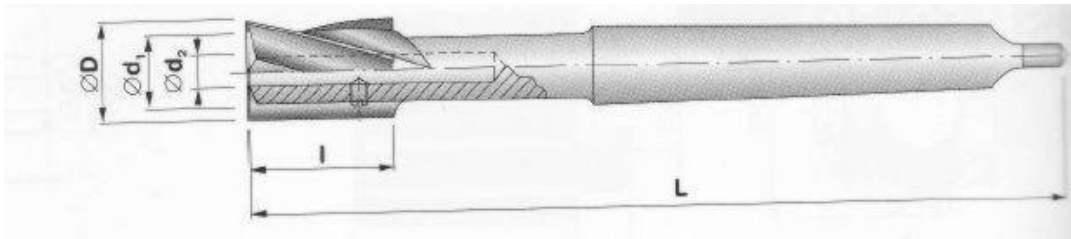
Obr. 28. Geometrie břitu (vlevo kuželový záhlubník), (vpravo válcový záhlubník) [4]

Jestliže záhlubník vodící kolík nemá, je do řezu veden vodícím pouzdrem. Zuby se vyrábí z rychlořezné oceli (celistvý nástroj) nebo mohou být vyrobeny ze slinutých karbidů, které se pak například připájí. Tvar zubu se získává frézováním nebo podsoustružováním. Záhlubníky rozdělujeme podle typu vyráběného zahloubení na:

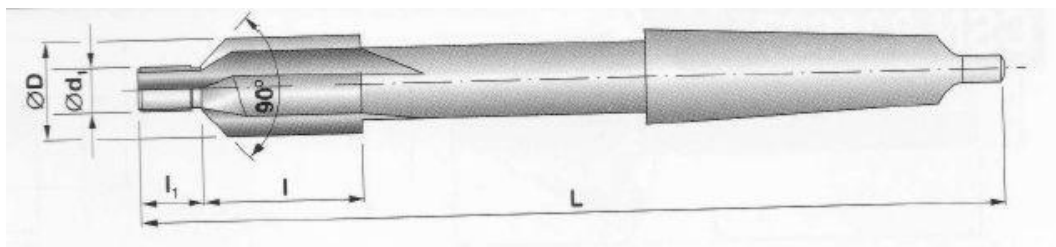
Válcové, mohou být upnuty pomocí kuželové nebo válcové stopky (Obr. 29, 30, 31)



Obr. 29. Záhlubník pro válcové hlavy šroubů s pevným vodícím kolíkem

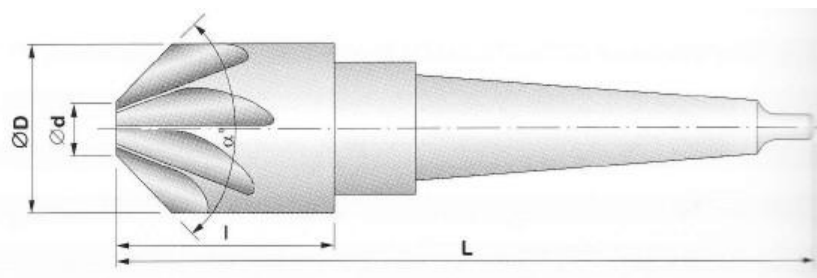


Obr. 30. Záhlubník s kuželovou stopkou a výměnným vodícím čepem [4]

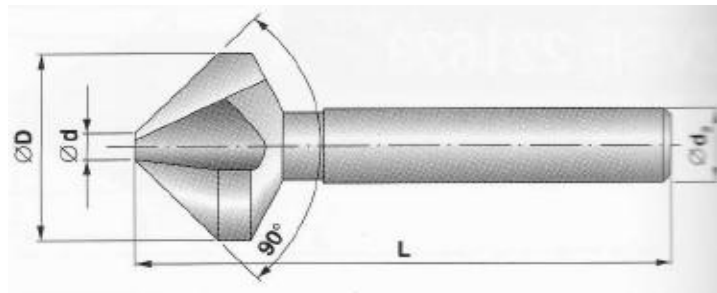


Obr. 31. Záhlubník s kuželovou stopkou a vodícím čepem [10]

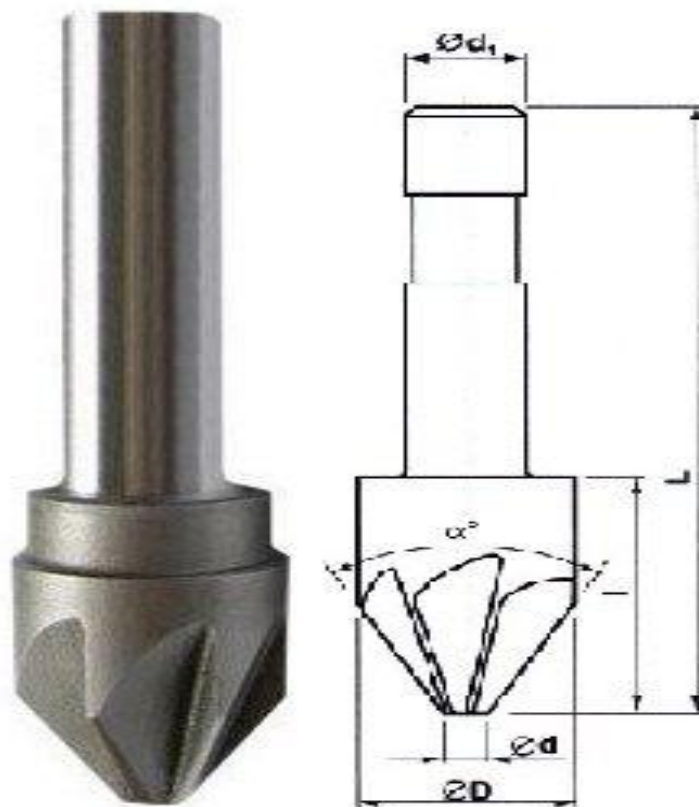
Kuželové, mohou být upnuty pomocí kuželové nebo válcové stopky (Obr. 32, 33, 34). Kuželové záhlubníky nemají vodící čep z důvodu samostředícího efektu.



Obr. 32. Záhlubník kuželový s kuželovou stopkou [4]



Obr. 33. Záhlubník kuželový s válcovou stopkou [4]



Obr. 34. Kuželový záhlubník s válcovou stopkou [4]

Odjehlovací záhlubníky (Obr. 35).



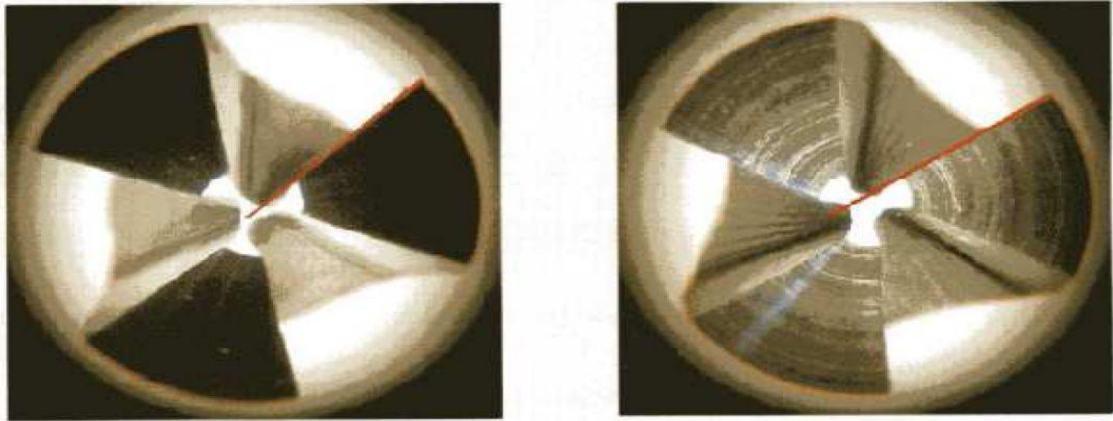
Obr. 35. Odjehlovací záhlubník [9]

Válcové záhlubníky s vyměnitelnými břitovými destičkami (Obr. 36) se používají pro odstranění problému, kdy dojde při ostření povlakovaného záhlubníku k odstranění povlakové vrstvy vlivem ostření.



*Obr. 36. Válcový záhlubník s
vyměnitelnými břitovými
destičkami [10]*

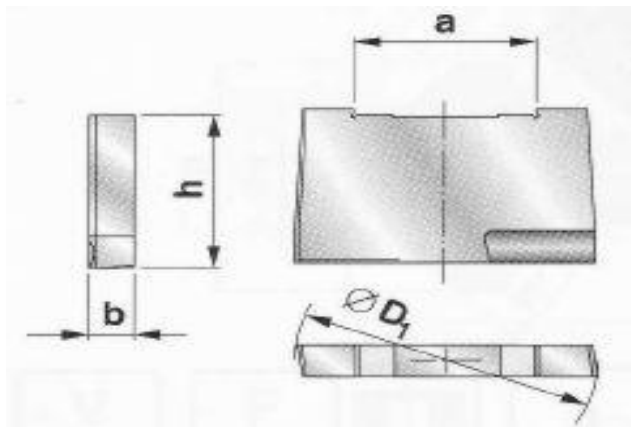
Záhlubníky mohou mít různou geometrii břitu (Obr. 37)



Obr. 37. Rozdílná geometrie kuželového záhlubníku [11]

Kuželový záhlubník vlevo na obrázku je od firmy August BECK a tato firma uvádí, že jejich geometrie je výhodnější, než u záhlubníku s geometrií vpravo na obrázku z důvodu konstantnějšího úhlu čela, většího prostoru pro odvod třísek a tím je zajištěn lepší odvod třísek zejména u materiálů tvořících dlouhou třísku.

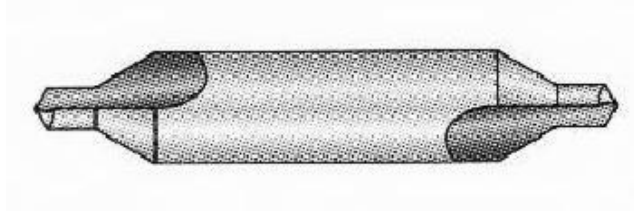
Zahluovací nože (Obr. 38)



Obr. 38. Zahluovací nůž [4]

2.3.6 Speciální vrtací nástroje

Středící vrtáky: slouží k navrtávání otvorů například při vrtání osových otvorů na soustruzích (Obr. 39).



Obr. 39. Středící vrtáky [4]

Kombinovaný nástroj: používá se především v sériové a hromadné výrobě. Díky tomu dochází k úspoře času. Často se vyskytují kombinace jako vrták s výhrubníkem nebo výstružníkem nebo záhlubníkem (Obr. 40).



Obr. 40. Kombinovaný nástroj vrták+záhlubník [12]

2.4 Stroje pro výrobu válcových otvorů

Taktéž nazývané jako vrtačky se používají k vrtání, vyvrtávání, vyhrubování, vystružování a zahlubování. Podle ovládání se vrtačky rozdělují na vrtačky s ručním ovládáním a na vrtačky se strojním ovládáním.

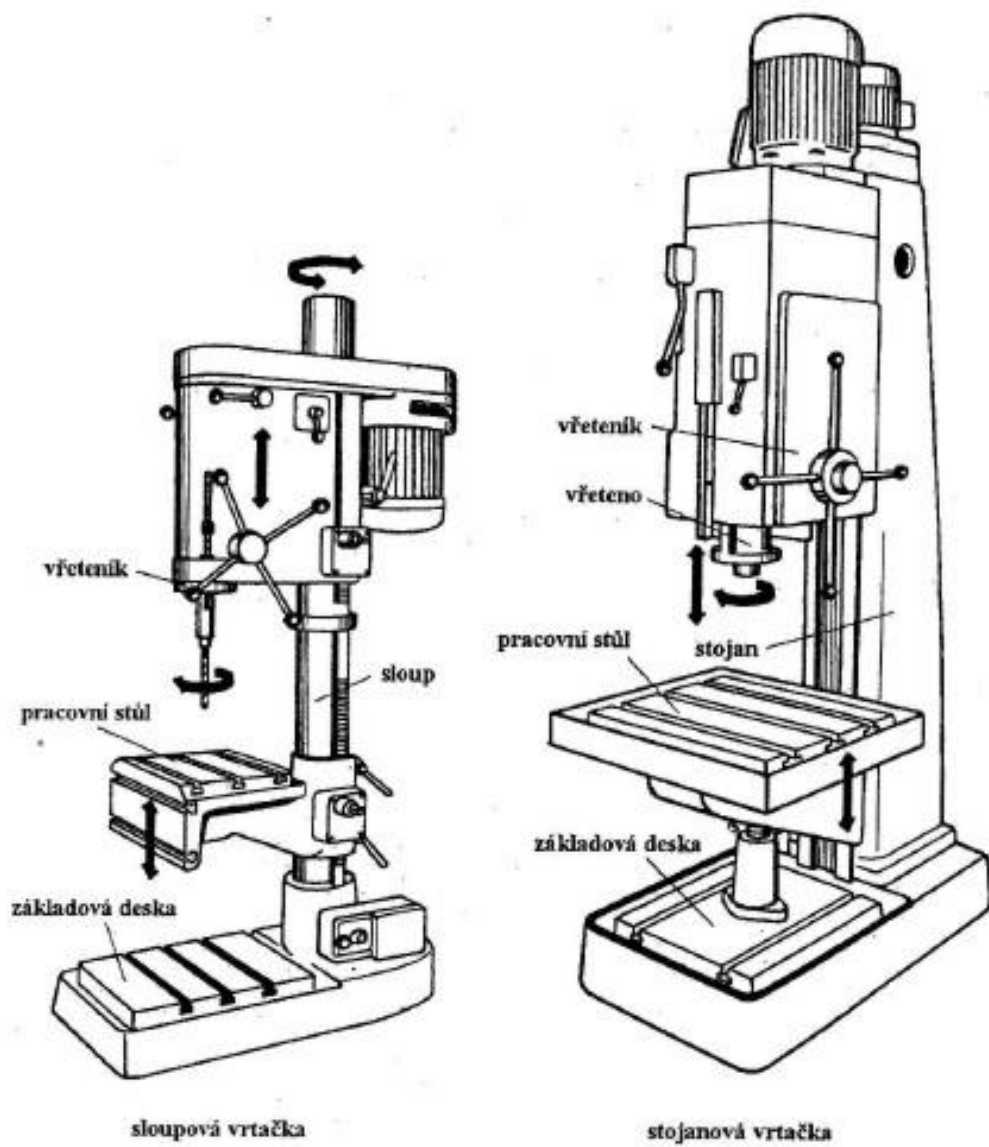
Strojní vrtačky se skládají z těchto částí:

- Základová deska
- Stojan (sloup)
- Stůl (upínací plocha)
- Vřeteník

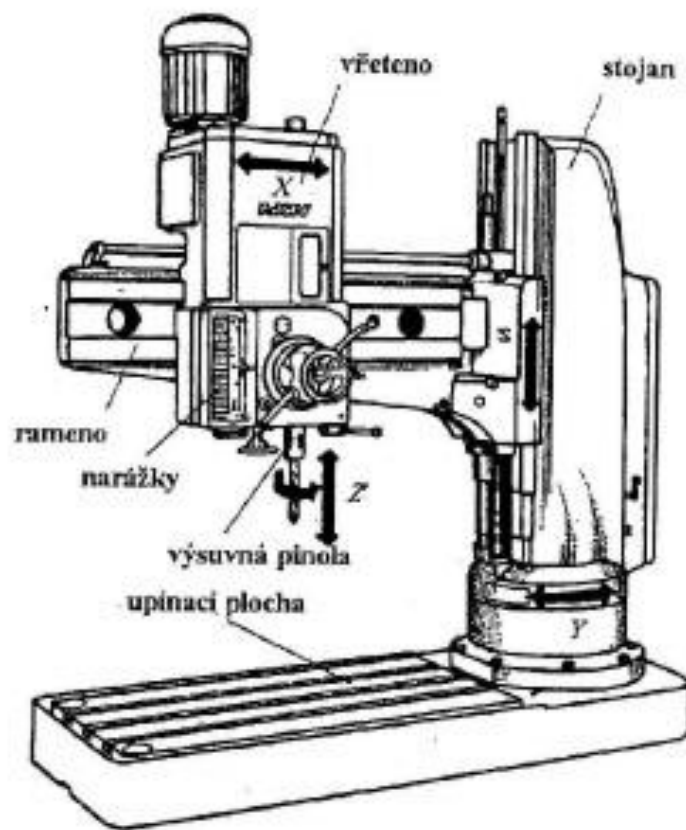
Strojní vrtačky rozdělujeme na několik druhů:

- **Stolní** – mají nejjednodušší konstrukci, změny otáček se docílí stupňovitou řemenicí, posuv vřetena je ruční. Vyrábí se jako jednovřetenové nebo vícevřetenové (několik vřeten upevněných na jednom stole).

- **Sloupové** – větší než stolní, vřeteník i pracovní stůl jsou pohyblivé po sloupu. Pracovní posuv je mechanický (Obr. 41).
- **Stojanové** – stůl i vřeteník se pohybují po vedení stojanu, který má skříňovitý průřez. Umožňují vrtání až do průměru 80 mm (Obr. 41).
- **Otočné (radiální)** – používají se pro vrtání otvorů do rozměrnějších součástí. Charakteristickou částí těchto vrtaček je otočné rameno, po kterém se pohybuje vřeteník. Vrtání až do průměru 100mm (Obr. 42).
- **Speciální** – například vrtačky s revolverovou hlavou, které slouží k vrtání otvorů několika nástroji. Pro každé vřetení lze nezávisle nastavit otáčky, které se řadí při natočení vřetení do pracovní polohy.
- **Vodorovné vyvrtávačky** – podobné použití, jako u všech vrtaček, rozdělujeme je na vodorovné vyvrtávačky stolové (vřeteník je svisle přestavitelný po stojanu, obrobek je upnut na křížovém stole, který může být doplněn otočným stolem umožňujícím obrábění součástí ze čtyř stran najednou) a na vodorovné vyvrtávačky deskové (obrobek je pevně upnut, všechny pracovní pohyby vykonává vřeteník), (Obr. 43).

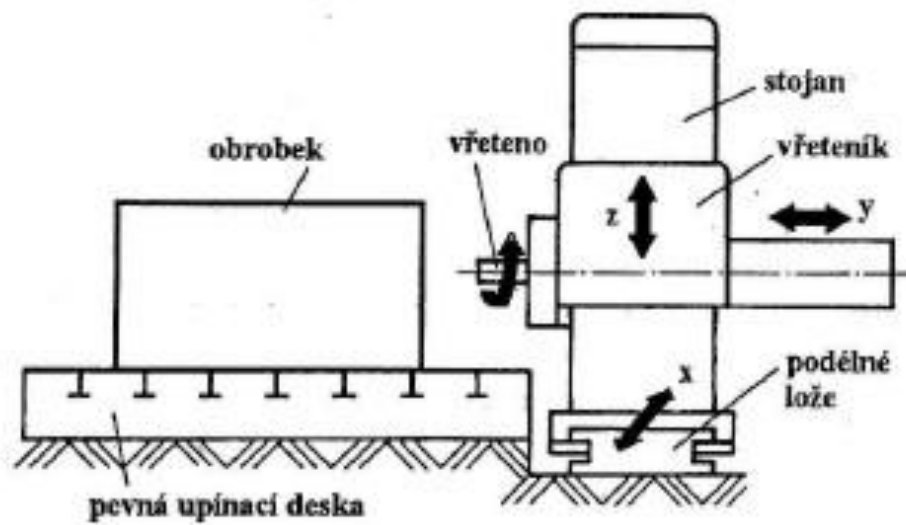


Obr. 41. Sloupová a stojanová vrtačka



otočná vrtačka

Obr. 42. Vrtačka otočná



Obr. 43. Vodorovná vyvrtávačka

3 STRUKTURA POVRCHU

Strukturou povrchu rozumíme nerovnosti povrchu součásti, které vzniknou jako stopy po výrobních nástrojích. Tyto stopy se skládají z výstupků a propadlin, které mají podobný charakter po celé ploše výrobku. Velikost a tvar těchto nerovností závisí na obráběném materiálu a na technologických podmínkách daného druhu obrábění (soustružení, frézování, ...). Drsnost povrchu se zjišťuje pomocí porovnávacích etalonových vzorků nebo se určí pomocí měřících zařízení, které vyhodnocují strukturu povrchu. [14]

3.1 Schéma měřící dráhy snímače

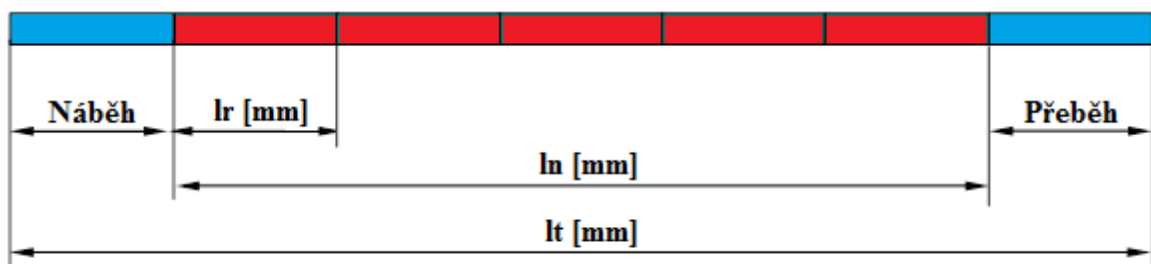
Základní délka „ l_r “ [mm] – délka ve směru osy x, použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil.

Vyhodnocovaná délka „ l_n “ [mm] – délka ve směru osy x, která se používá pro posouzení vyhodnocovaného profilu. Může obsahovat 1, 3, 5ti násobek základní délky.

Náběh – má velikost shodnou se základní délkou. Délka, kterou projede snímací dotyk, než začne měřit.

Přeběh – má velikost s hodnou se základní délkou. Délka, kterou projede snímací dotyk po skončení snímání povrchu.

Celková délka snímání „ l_t “ [mm] – délka dráhy hrotu (Obr. 44) [13]

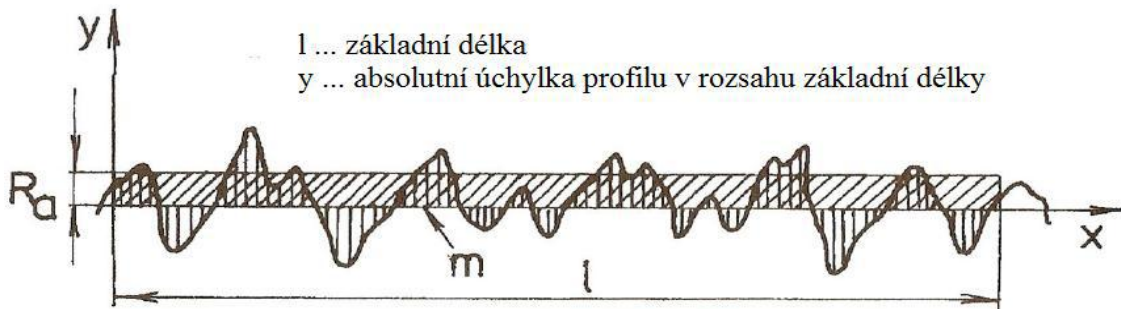


Obr. 44. Schéma měřící dráhy nástroje [13]

3.2 Střední aritmetická úchylka profilu R_a

- Defínuje se jako střední hodnota vzdáleností bodů profilu y_1, y_2, \dots až y_n od střední čáry (Obr. 45).

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (10)$$



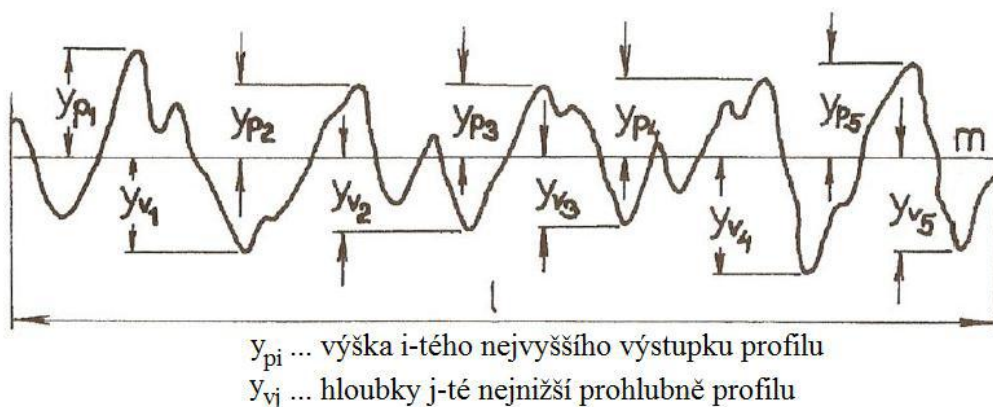
Obr. 45. Grafické znázornění Ra [14]

Kde: m - střední čára, l - délka měřeného úseku, y - absolutní úchylka profilu v rozsahu základní délky

3.3 Výška nerovností profilu z deseti bodů Rz

- Je to střední hodnota vzdáleností mezi pěti nejvyššími body výstupků a pěti nejnižšími body prohlubní, které se měří od čáry rovnoběžné se střední čarou profilu (Obr. 46).

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{j=1}^5 |y_{vj}|}{5} \quad (11)$$



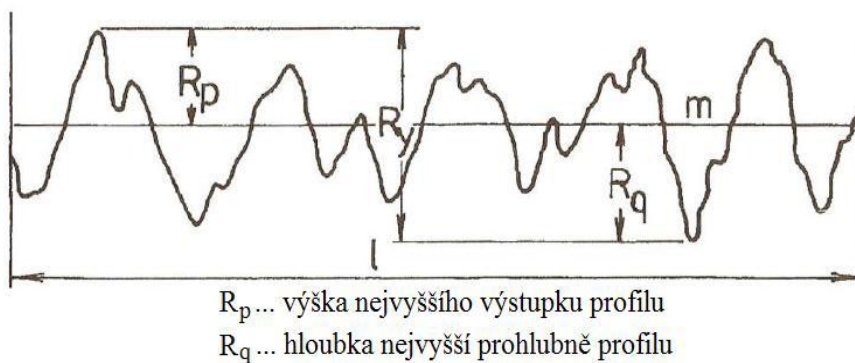
Obr. 46. Grafické znázornění Rz [14]

3.4 Největší výška nerovností profilu Ry

- Je to vzdálenost mezi dvěma čarami rovnoběžnými se střední čarou, z nichž jedna prochází vrcholem nejvyššího výstupku a druhá nejnižším bodem prohlubně zjiště-

ného profilu. Tuto hodnotu nelze převést na číselné hodnoty Ra a Rz, je jen doplňkovým měřítkem (Obr. 47).

$$R_y = R_p + |R_q| \quad (12)$$

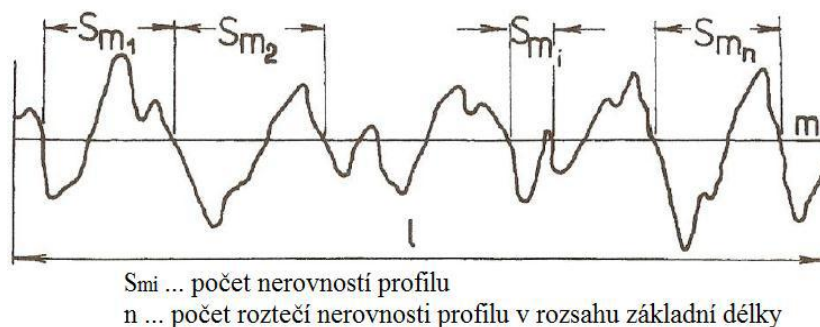


Obr. 47. Grafické znázornění R_y [14]

3.5 Střední rozteč nerovností profilu S_m

- Je to charakteristika nerovnosti povrchu v podélném směru profilu, vyhodnocuje se střední hodnota roztečí nerovností profilu v základní délce l (Obr. 48).
- Tato metoda se používá pro vyhodnocení délkové drsnosti povrchu, zejména pro periodicky se opakující prvky v profilu povrchu, například u soustruženého povrchu je hodnota S_m rovna hodnotě posuvu.

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m_i} \quad (13)$$



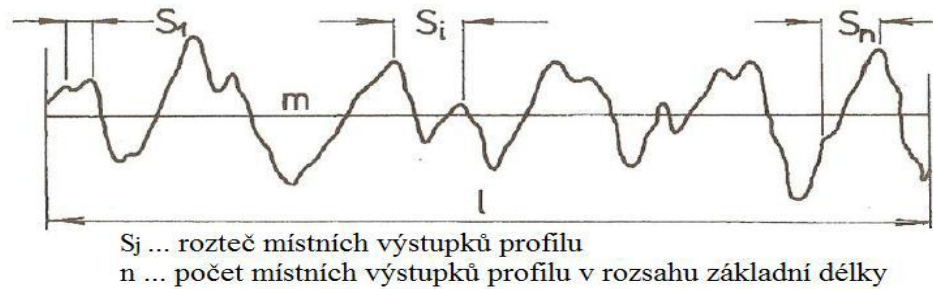
Obr. 48. Grafické znázornění S_m [14]

3.6 Střední rozteč místních výstupků profilu S

- Střední rozteč místních výstupků profilu S se určuje, jako S_m v rozsahu základní délky, ale je to jiná charakteristika nerovnosti v podélném směru profilu (Obr. 49).

- Je to délka úseků střední čáry profilu mezi průmětem dvou nejvyšších sousedních výstupků, využívá se podobně jako S_m , umožňuje nám vyhodnotit náhodné složky v profilu povrchu.

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_j \quad (14)$$



Obr. 49. Grafické znázornění S [8]

3.7 Nosný podíl profilu T_p

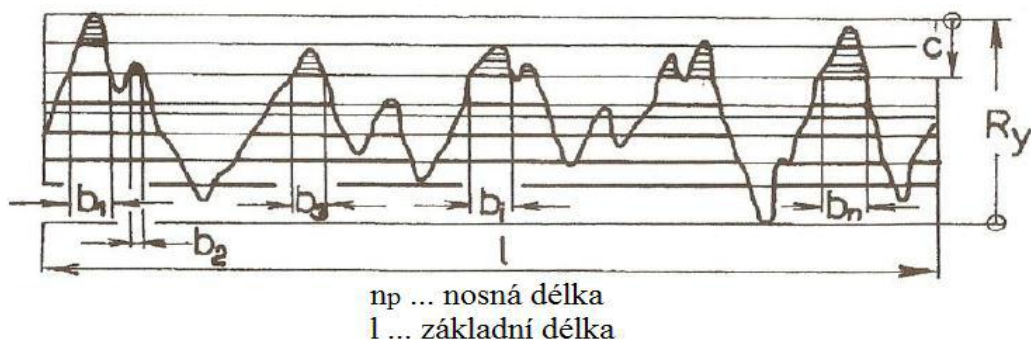
- Je to tvarová charakteristika profilu a definuje se jako poměr nosné délky profilu k základní délce (Obr. 50).
- Z hodnot nosných podílů v různých polohách řezů se sestrojuje nosná křivka jako grafické znázornění hodnot relativní nosné délky na poloze řezu profilu.

$$t_p = \frac{l_p}{l} \quad (15)$$

l - základní délka profilu

l_p - nosná délka profilu, je to součet délek úseků, které jsou vytvořeny na řezu v hloubce p pod čarou výstupků profilu

p - poloha řezu profilu vyjádřená podílem z R_m (%)



Obr. 50. Grafické znázornění t_p [14]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PŘÍPRAVA POLOTOVARU A ZHOTOVENÍ ZAHLOUBENÍ

Tato část práce se zabývá zvoleným materiálem použitým ke zkouškám zahlubování otvorů a určení jeho vlastností pomocí Strojnických tabulek. Dále se zde pojednává o dosažení potřebných rozměrů výrobku použitím výrobních postupů, jako jsou řezání na automatické pásové pile, frézování, vrtání a následné zahloubení děr. V poslední řadě je zaměřena na měření geometrie zahloubeného otvoru a na měření drsnosti kontaktním měřicím přístrojem.

4.1 Volba materiálu

Pro zkoušku byl použit materiál ČSN 14 220.4 (Obr. 51).



Obr. 51. Použitý dílec

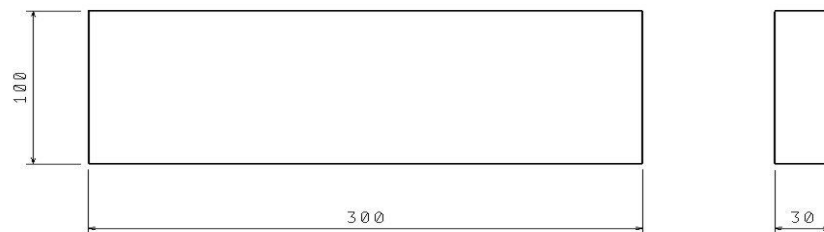
Zde jsou uvedeny jeho vlastnosti a případy použití v praxi, které jsou uvedeny ve Strojnických tabulkách.

- **ČSN 14 220.4:** $R_m = \min 785$ [MPa]; $R_{e \min} = 590$ [MPa]; tvrdost HB = 239; třída odpadu 021
- **Vlastnosti:** Ocel vhodná k cementování, kyanování a objemovému tváření; dobře tvárná za tepla a po žíhání i za studena; dobře obrobitelná; dobrá svařitelnost; strojní součást s velmi tvrdou a velkou pevností v jádře po kalení NŽ-860°C, ŽM-70°C, C-840 až 870°C, K-780 až 880°C/ olej až voda, P-160°C/1 h.

- **Použití v technické praxi:** menší hřídele, ozubená kola, šneky, vačkové hřídele, včetně obráběcích strojů, pístní čepy, pera, zubové spojky, trny, upínací nářadí apod.

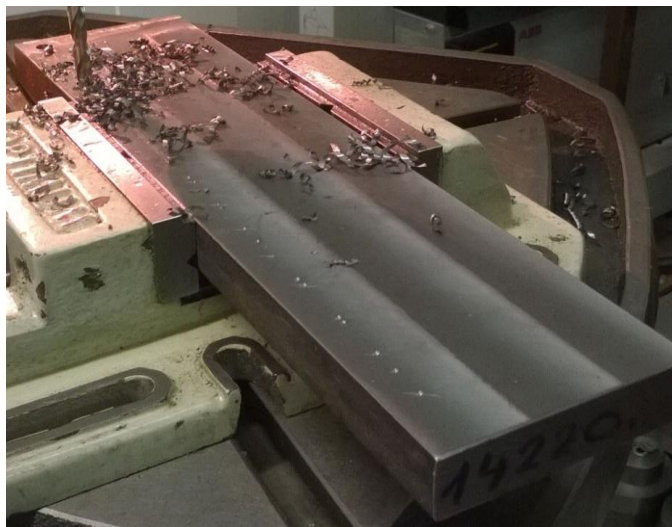
4.2 Zhotovení konečných rozměrů dílce

Nejdříve se polotovár nařezal na automatické pásové pile. Rozměry polotovaru po uřezání byly přibližně 300x100x30 [mm] (Obr. 52). Kvůli bezpečnosti se ručním pilníkem srazily hrany dílce.



Obr. 52. Výkres polotovaru

Poté se na dílci ofrézovala jedna čelní plocha z důvodu eliminace povrchových vad a také kvůli estetické stránce (povrch byl zkorodovaný (Obr. 53)).



Obr. 53. Ofrézovaná plocha

Rozměry dílce byly po frézování 300x100x29 [mm] (Obr. 54). Boční stěny se opracovávat nemusely, protože rovnoběžnost stěn byla dostačující, aby byl dílec pevně upnut ve svěráku vrtačky.



Obr. 54. Výkres konečného rozměru dílce

4.3 Vrtání otvorů

Před samotným vrtáním proběhlo narýsování pomocných čar, na které se poté důlčičkem udělala ryska, díky které se lépe určovala poloha otvoru, a vrták se lépe ustavil v potřebné poloze. Proces vrtání probíhal na stojanové vrtačce OPTIMUM B 40 GSM (Obr. 55).



Obr. 55. Stojanová vrtačka

OPTIMUM B 40 GSM

Vrtákem s válcovou stopkou se vrtali průchozí díry. Vrtáky byly použity:

- střední řada HSS, ČSN 22 1121 Φ 8,50 [mm] (Obr. 56)



Obr. 56. Vrták Φ 8,50 mm

- střední řada HSS, ČSN 22 1121 Φ 10.50 [mm] (Obr. 57)



Obr. 57. Vrták Φ 10,50 mm

Pro vrták $\Phi D = 8,5$ [mm] jsou ideální otáčky cca 1010 [ot/min], pro vrták $\Phi D = 10,5$ [mm] jsou ideální otáčky cca 800 [ot/min] (Tab. 3).

Tab. 3. Řezné podmínky pro vrtání

**ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ
A VYSTRUŽOVÁNÍ**

Výběr z normativů

Vrtání nepředvrtaných děr průchozích a do dna

Nástroj: šroubovitý vrták z RO s válcovou nebo kuželovou stopkou		Obrobitelnost: 14b					
Řezná kapalina: oceli – 5 % emulze, litiny – bez kapaliny		Materiál obrobku: ocel					
Průměr vrtáku D (mm)	Posuv f (mm/ot)	Otáčky n (min^{-1})	Řezná rychlost v (m/min)	Maximální délka L (mm)	Trvan- livost T (min)	Osová síla F_o (N)	Potřebný výkon P (kW)
5	0,07	1 670	26,2	50	12	68	0,40
6	0,08	1 370	25,9	50	14	87	0,50
7	0,10	1 170	25,7	60	16	105	0,60
8	0,11	1 010	25,4	60	18	130	0,75
9	0,12	890	25,2	70	21	155	0,90
10	0,13	800	25,0	70	23	185	1,10
12	0,15	650	24,5	75	28	230	1,30
14	0,17	550	24,1	80	34	285	1,50
16	0,18	460	23,2	90	42	320	1,60
18	0,20	400	22,6	100	47	385	1,80
20	0,22	350	22,0	100	54	480	2,20
22	0,23	315	21,7	110	62	510	2,50
24	0,24	280	21,1	120	70	600	2,80
26	0,26	250	20,4	120	77	650	2,80
28	0,27	225	19,8	130	85	700	3,00
30	0,28	200	19,0	135	96	780	3,50
35	0,30	170	18,6	150	115	990	4,0
40	0,32	145	18,2	170	135	1 140	4,50
45	0,34	125	17,7	175	150	1 320	5,0
50	0,36	110	17,3	180	180	1 610	6,50
55	0,38	98	16,5	185	200	1 770	7,0
60	0,40	85	16,0	190	230	2 100	7,5
70	0,45	70	15,5	190	260	2 560	8,5

Otáčky vřetene byly pro oba průměry vrtáků zvoleny 1015 [ot/min], protože rozsah nastavení otáček na vrtačce neumožňoval volit ideální otáčky pro použité vrtáky (Obr. 58). Posuv byl prováděn ručně.



Obr. 58. Zvolené otáčky

Vrtání otvoru Φ 8,5 [mm] v praxi (Obr. 59).



Obr. 59. Provedení vrtání v praxi

4.4 Zahlubování otvorů

Zahlubování se provádělo na téže stojanové vrtačce OPTIMUM. Zahlubování se zhotovovalo dvěma nástroji. Oba nástroje byly válcové záhlubníky s válcovou stopkou a vodícím čepem:

- HSS, ČSN 22 1604, 18x8,5 [mm] (Obr. 60)



Obr. 60. Použitý válcový záhlubník 18x8,5 mm

- HSS, ČSN 22 1604, 16,5x10,5 [mm] (Obr. 61)



Obr. 61. Použitý válcový záhlubník 16,5x10,5 mm

Řezná rychlost v byla zvolena pro oba záhlubníky stejná, a sice 15 [m/min] a posuv s byl zvolen taktéž pro oba záhlubníky stejný a jeho hodnota byla 0,08 [mm/ot] (Tab. 4).

Tab. 4. Řezné podmínky pro zahlubování [4]

Doporučené řezné podmínky pro zahlubování

Platí pro záhlubníky dle ČSN 221604, 221605, 221606, 221607, 221623, 221624, 221625, 221626, 221627, 221628, 221650

MATERIÁL	Pevnost [MPa]	Chlazení	Řezná rychlost v [m/min]	Posuv s [mm/ot] pro \varnothing D záhlubníku [mm]								
				4	6	10	16	20	25	40	63	
Nelegovaná ocel	<500	E	30÷25	0,07	0,09	0,12	0,14	0,16	0,20	0,25	0,35	
	<700	E	26÷22	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	0,22	0,30	
	<900	E	22÷16	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	0,25	
Legovaná ocel	<800	E	20÷15	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	
	<1000	E	15÷10	ručně	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	
Korozivzdorná ocel	<850	O	9÷4	ručně	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,12	0,14	
Šedá litina	<200 HB	E/L	20÷15	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,32	
	>200 HB	E/L	13÷9	0,06	0,07	0,08	0,12	0,16	0,20	0,25	0,28	
Temperovaná litina	<300 HB	E	13÷9	0,06	0,07	0,08	0,12	0,16	0,20	0,25	0,28	
Titan a jeho slitiny	<850	O	4÷9	ručně	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	
Al a jeho slitiny - tvářené	<450	E	70÷50	0,10	0,12	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,40	
Al pro odlévání	<10%Si	<600	E	40÷25	0,10	0,12	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,40
	>10%Si	<600	E	30÷10	0,10	0,12	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,40
Elektrolyt. měď - Cu>99%	<400	E/O	32÷25	0,06	0,07	0,09	0,12	0,14	0,16	0,18	0,22	
Mosaz	- krátká tříška	<600	E	60÷40	0,10	0,12	0,14	0,18	0,20	0,24	0,30	0,40
	- dlouhá tříška	<600	E	45÷30	0,10	0,12	0,14	0,18	0,20	0,24	0,30	0,40
Bronz	<600	E/O	24÷10	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,24	0,30	
Umělá hmota - termoset	<300	L	25÷12	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	
	- termoplast	<600	L	30÷20	0,04	0,04	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25

Chlazení: E - emulze, vrtací oleje
 O - olej řepkový
 L - vzduch

Následně se dopočítaly otáčky pro každý záhlubník.

Řezná rychlost 15 [m/min]

Posuv 0,08 [mm/ot]

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \text{ [ot/min]} \quad (16)$$

Pro záhlubník $\Phi D=16,5$ [mm] byly vypočteny tyto otáčky:

$$n = \frac{15000}{\pi \cdot 16,5} = 289,37 \text{ [ot/min]} \quad (17)$$

Pro záhlubník $\Phi D=18$ [mm] byly vypočteny tyto otáčky:

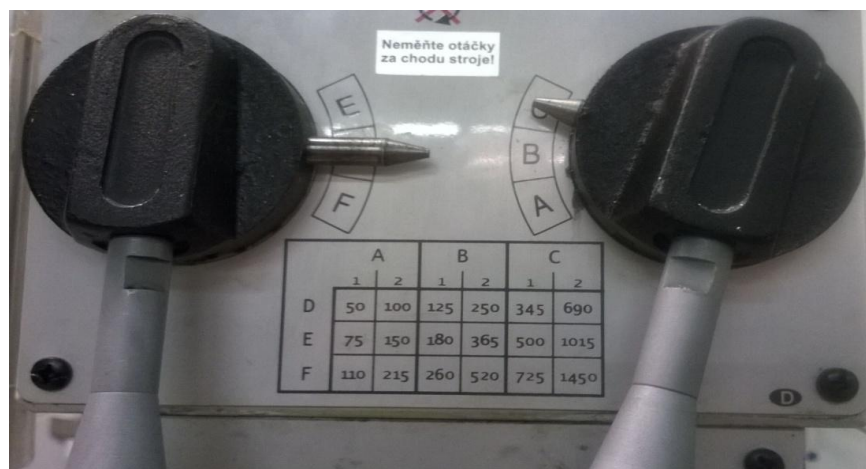
$$n = \frac{15000}{\pi \cdot 18} = 265,26 \text{ [ot/min]} \quad (18)$$

Pro záhlubník 18x8,5 [mm] byly zvoleny otáčky 260 [ot/min] (Obr. 62).



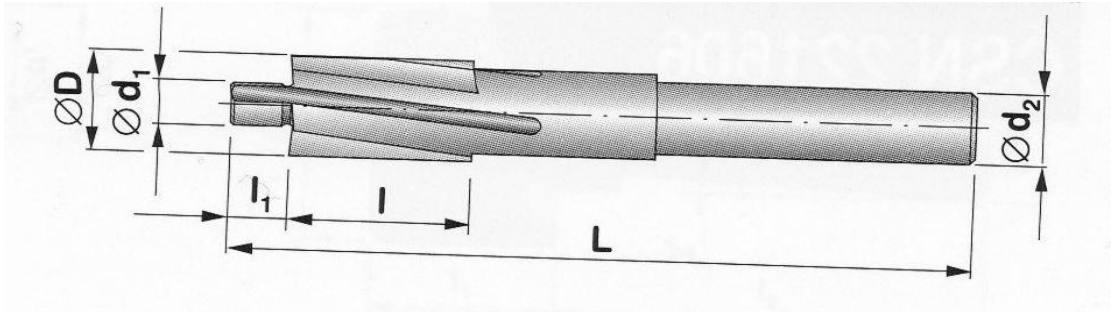
Obr. 62. Otáčky vřeten pro záhlubník 18x8,5 mm

Pro záhlubník 16,5x10,5 [mm] byly zvoleny otáčky 345 [ot/min] (Obr. 63).



Obr. 63. Otáčky vřeten pro záhlubník 16,5x10,5 mm

Posuv byl zvolen 0,08 [mm/ot] pro oba průměry záhlubníků a zajišťován byl strojně. Pro názornost, jak jsou definovány rozměry záhlubníku, je zde přiložena fotka (Obr. 64).



Obr. 64. Definice rozměrů záhlubníku ČSN 22 1604

Dále jsou přiloženy fotografie, na kterých je zachyceno zahlubování otvorů:

- Záhlubníkem ČSN 22 1604, 18x8,5 [mm] (Obr. 65)



Obr. 65. Zahlubování záhlubníkem

ČSN 22 1604, 18x8,5 mm

- Záhlubníkem ČSN 22 1604, 16,5x10,5 [mm] (Obr. 66)



*Obr. 66. Zahlubování záhlubníkem
ČSN 22 1604, 16,5x10,5 mm*

4.5 Měření drsnosti povrchu zahloubených ploch

Na zahloubených plochách se měřila drsnost povrchu Ra a Rz. Měření se provádělo na přístroji pro měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ-301 (Obr. 67).



Obr. 67. Mitutoyo SJ-301

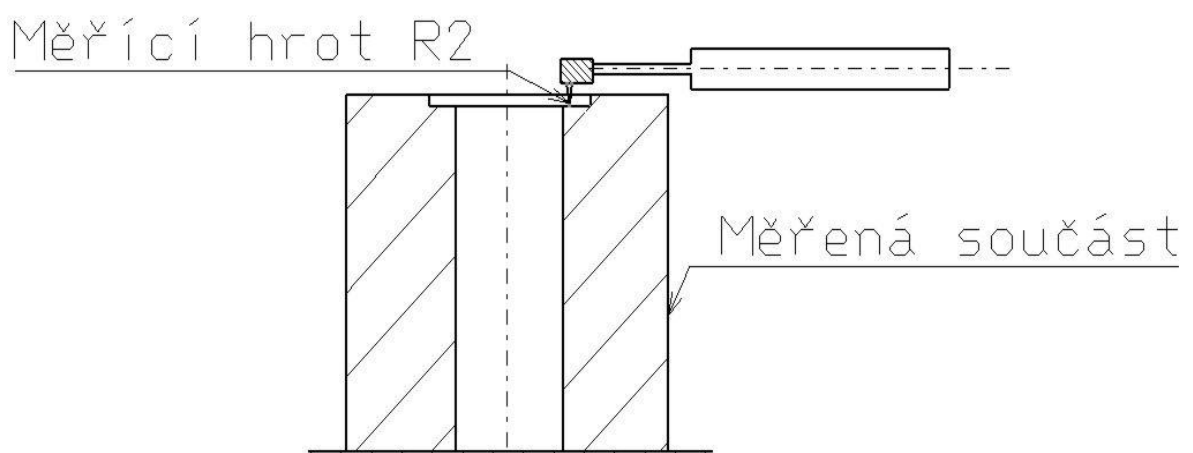
K přístroji Mitutoyo byl připojen měřicí hrot R2 (Obr. 68), který je určen pro měření jakosti povrchů kovů.



Obr. 68. Měřicí hrot R2

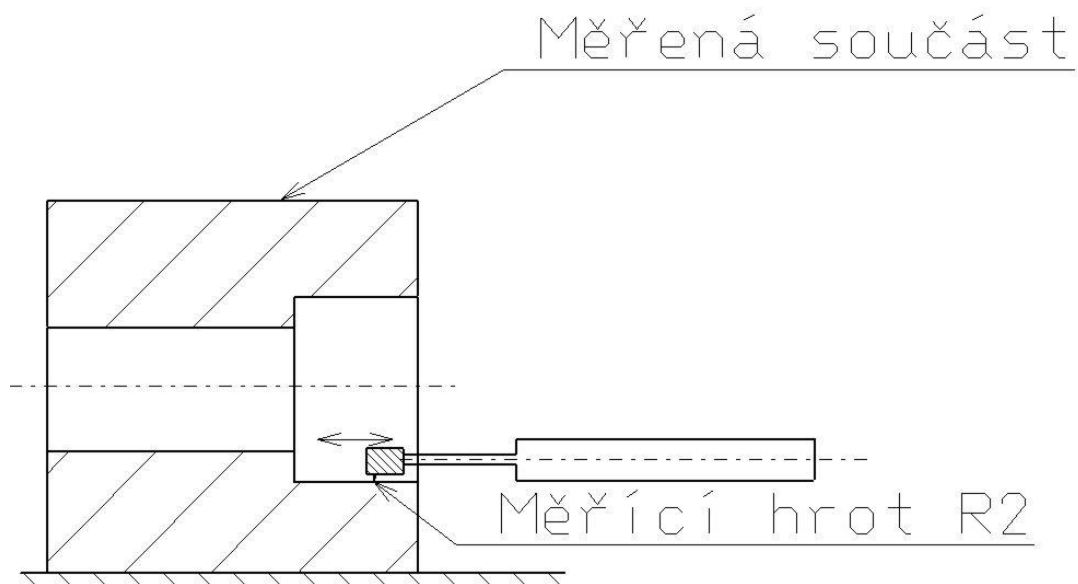
Dráha měření byla definována $\lambda_C = 5 \times 0,25$ [mm]. Norma, podle které probíhalo měření drsnosti je ISO 1997. Profil byl nastaven R. Teplota okolí byla v době měření přibližně 21°C ale jelikož místnost nebyla klimatizována, teplota mohla různě kolísat. Měření drsnosti povrchu se opakovalo pro každou zahloubenou díru 10krát.

Zde je znázorněno schéma měření drsnosti čelní plochy zahloubení (Obr. 69).



Obr. 69. Schéma měření drsnosti čelní plochy zahloubení

Zde je znázorněno schéma měření drsnosti válcové plochy zahloubení (Obr. 70).



Obr. 70. Schéma měření drsnosti válcové plochy zahloubení

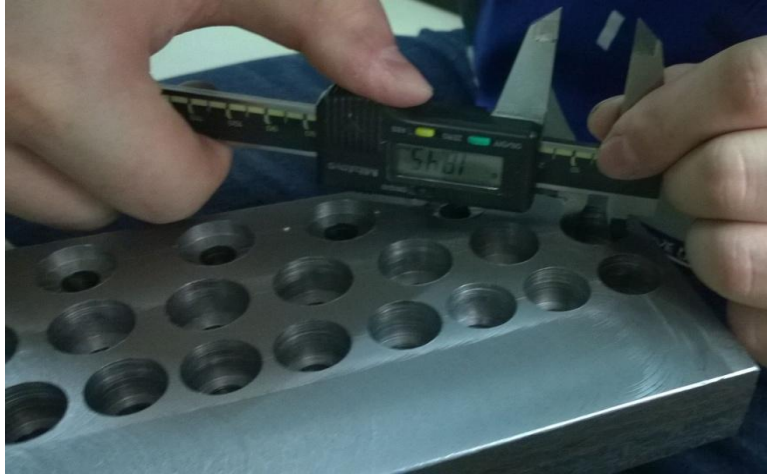
4.6 Měření geometrie zahloubeného otvoru

Měření se provádělo digitálním posuvným měřidlem Mitutoyo CD-15 CXR (Obr. 71), které má pracovní rozsah 0-150 [mm], rozlišitelnost měřidla je 0,01 [mm] a největší dovolená chyba je $\pm 0,02$ [mm].



Obr. 71. Posuvné měřidlo Mitutoyo

Každý otvor byl měřen 5krát a počet otvorů byl 5, pro každý ze dvou průměrů zahloubení byly 2 různé hloubky zahloubení (Obr. 72).



Obr. 72. Měření geometrie zahloubení posuvným měřidlem

5 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

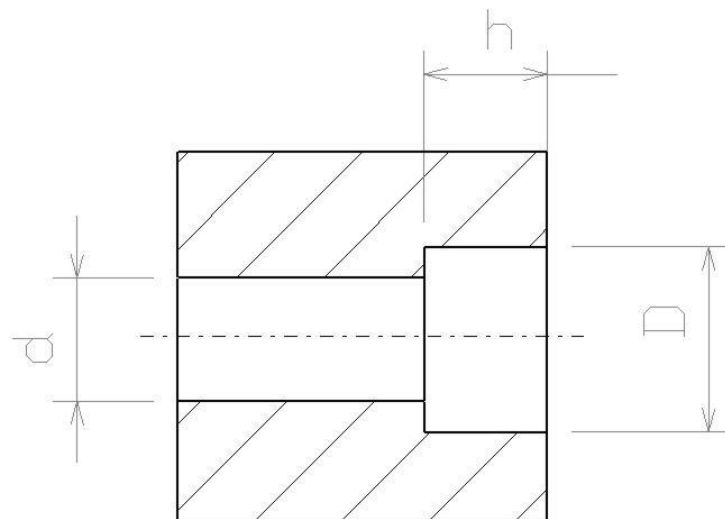
Vyhodnocení zkoušek spočívá ve zkoumání a vyhodnocování naměřených dat geometrie a drsnosti jednotlivých zahloubených otvorů. Zde je nutností využít především aritmetický průměr, směrodatnou odchylku, rozsah, minimální a maximální hodnotu z naměřených veličin. Měření kruhovitosti zahloubení se opakovalo 5x pro každý otvor, měření drsnosti se pro každou díru opakovalo 10x z důvodu dosažení větší přesnosti výsledků.

5.1 Naměřená a vyhodnocená data geometrie zahloubení

Tato část práce pojednává o zpracování a vyhodnocení hodnot, které byly získány při měření dosažené geometrie zahloubení. Vyhodnocení spočívá ve zjištění, jak hloubka zahloubení otvoru ovlivňuje kruhovitost a dosažený průměr díry zahloubení u obou typů použitých záhlubníků.

5.1.1 Záhlubník ČSN 22 1604, 16,5x10,5; $s = 0,08$ [mm/ot]; $n = 345$ [ot/min]; hloubka zahloubení $h_1 = 8,94$ [mm] a $h_2 = 13,77$ [mm]

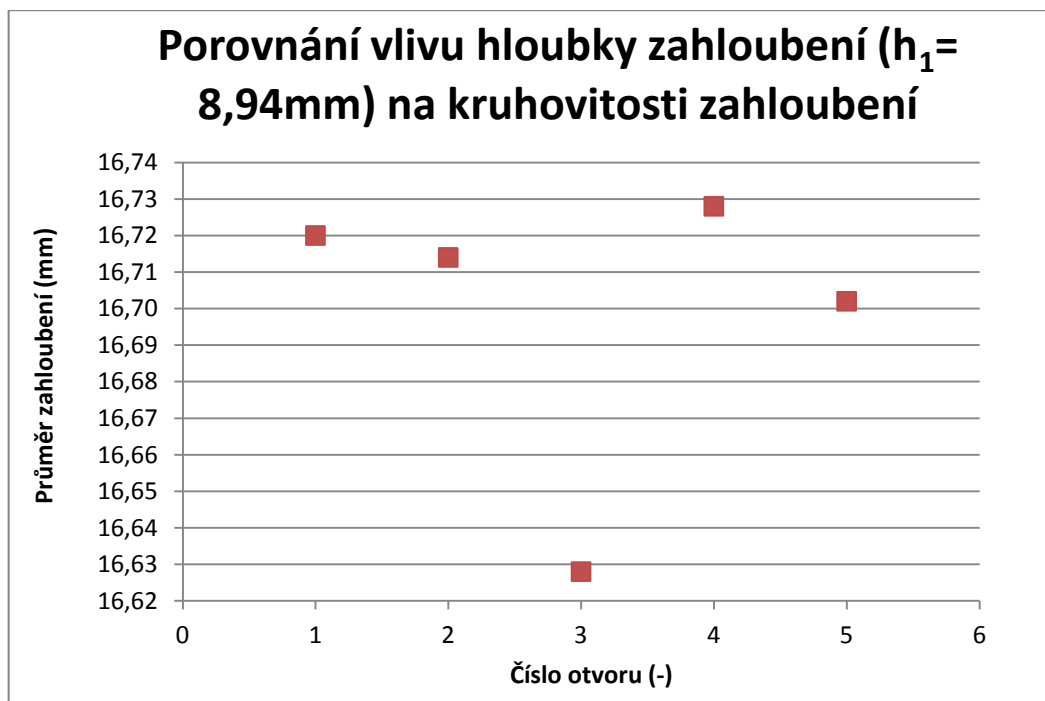
Měření: dosažená a změřená geometrie tvaru při zhotovení zahloubení záhlubníkem ČSN 22 1604 16,5x10,5 [mm] při hloubce zahloubení $h_1 = 8,94$ [mm] a $h_2 = 13,77$ [mm].



Obr. 73. Schéma použitých veličin

Tab. 5. Naměřené hodnoty pro zahloubení $\Phi D = 16,5$ mm do hloubky 8,94 mm

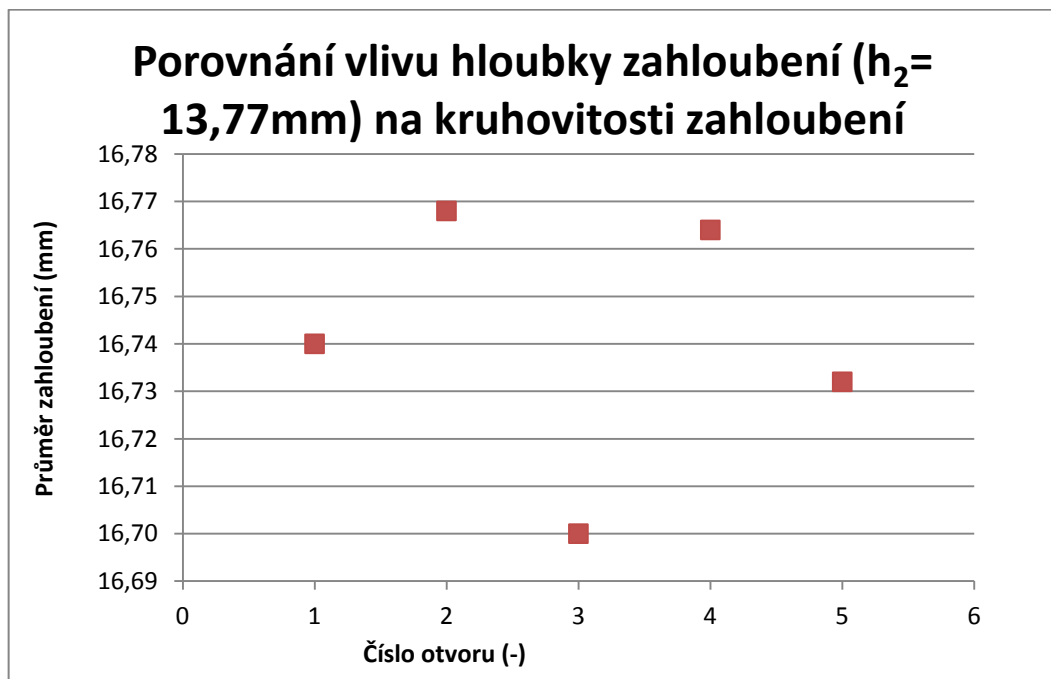
Zahloubený otvor $\Phi D = 16,5$ mm; hloubka $h_1 = 8,94$ mm					
Číslo otvoru	Naměřený průměr ΦD otvoru v mm				
	1	2	3	4	5
1	16,74	16,70	16,65	16,72	16,73
2	16,71	16,71	16,61	16,76	16,67
3	16,73	16,73	16,66	16,69	16,71
4	16,72	16,74	16,58	16,77	16,69
5	16,70	16,69	16,64	16,70	16,71
Průměr	16,72	16,71	16,63	16,73	16,70
Směrodatná odchylka	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
Rozsah	0,04	0,05	0,08	0,08	0,06
Max	16,74	16,74	16,66	16,77	16,73
Min	16,70	16,69	16,58	16,69	16,67



Obr. 74. Porovnání vlivu hloubky zahloubení na dosažení daného průměru válcové plochy zahloubení

Tab. 6. Naměřené hodnoty pro zahloubení $\Phi D = 16,5$ mm do hloubky 13,77 mm

Zahloubený otvor $\Phi D = 16,5$ mm; hloubka $h_2 = 13,77$ mm					
Číslo otvoru	Naměřený průměr ΦD otvoru v mm				
	1	2	3	4	5
1	16,76	16,78	16,72	16,79	16,73
2	16,70	16,79	16,71	16,76	16,75
3	16,75	16,72	16,68	16,78	16,76
4	16,72	16,80	16,69	16,76	16,70
5	16,77	16,75	16,70	16,73	16,72
Průměr	16,74	16,77	16,70	16,76	16,73
Směrodatná odchylka	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Rozsah	0,07	0,08	0,04	0,06	0,06
Max	16,77	16,80	16,72	16,79	16,76
Min	16,70	16,72	16,68	16,73	16,70



Obr. 75. Porovnání vlivu hloubky zahloubení na dosažení daného průměru válcové plochy zahloubení

Vyhodnocení:

V obou případech zahlubování byl použit 4břítý záhlubník ČSN 22 1604, 16,5x10,5, strojní posuv byl nastaven na hodnotu $s = 0,08$ [mm/ot] a otáčky vřetene byly zvoleny $n = 345$ [ot/min]. Rozdílná byla zvolená hloubka zahloubení, a sice v prvním případě byla hloubka $h_1 = 8,94$ [mm] a ve druhém případě byla hloubka $h_2 = 13,77$ [mm]. Při hloubce zahloubení $h_2 = 13,77$ [mm] byla odchylka od průměru daným záhlubníkem větší, než při hloubce zahloubení $h_1 = 8,94$ [mm] (Obr. 74, Obr. 75). Z toho tedy plyne, že pokud to konstrukce výrobku umožňuje, je lepší volit menší hloubku zahloubení z důvodu dosažení lepší dosažené přesnosti zahloubeného otvoru. Dále z vypočtených hodnot vyplývá, že díra není dokonale kruhovitá. To může mít za následek hned několik faktorů, jako je například nedostatečné upnutí dílce a tím způsobené chvění v soustavě stroj-nástroj-obrobek, nevhodně zvolené řezné podmínky z důvodu omezeného rozsahu volitelnosti otáček a posuvu, nebo kombinace těchto faktorů. Z grafu vyplývá, že mezi počtem zahloubených děr a průměrem zahloubení není žádná závislost.

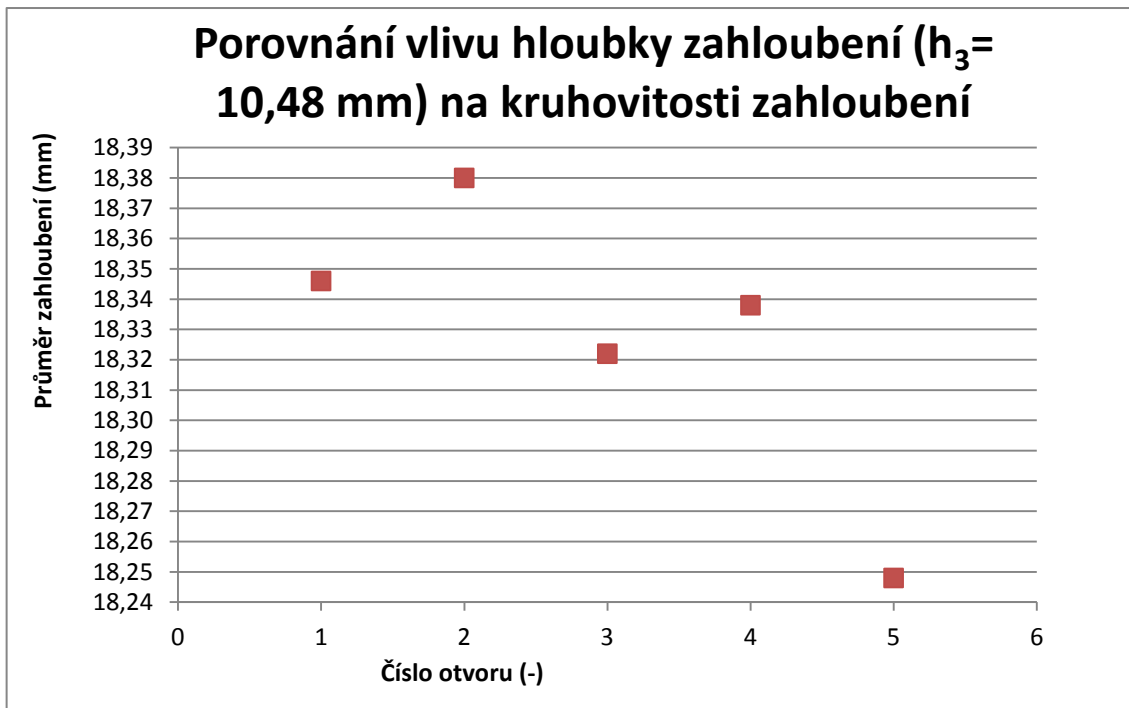
5.1.2 Záhlubník ČSN 22 1604, 18x8,5; $s = 0,08$ [mm/ot]; $n = 260$ [ot/min]; hloubka zahloubení $h_3 = 10,48$ [mm] a $h_4 = 12,92$ [mm]

Měření: dosažená a změřená geometrie tvaru při zhotovení zahloubení záhlubníkem ČSN 22 1604 18x8,5 [mm] při hloubce zahloubení $h_3 = 10,48$ [mm] a $h_4 = 12,92$ [mm].

Tab. 7. Naměřené hodnoty pro zahloubení $\Phi D = 18$ mm do hloubky 10,48 mm

Zahloubený otvor $\Phi D = 18$ mm; hloubka $h_3 = 10,48$ mm					
Číslo otvoru	Naměřený průměr ΦD otvoru v mm				
	1	2	3	4	5
1	18,30	18,35	18,35	18,35	18,28
2	18,39	18,41	18,31	18,36	18,29
3	18,37	18,42	18,36	18,37	18,21
4	18,32	18,37	18,28	18,30	18,22
5	18,35	18,35	18,31	18,31	18,24
Průměr	18,35	18,38	18,32	18,34	18,25

Směrodatná odchylka	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Rozsah	0,09	0,07	0,08	0,07	0,08
Max	18,39	18,42	18,36	18,37	18,29
Min	18,30	18,35	18,28	18,30	18,21

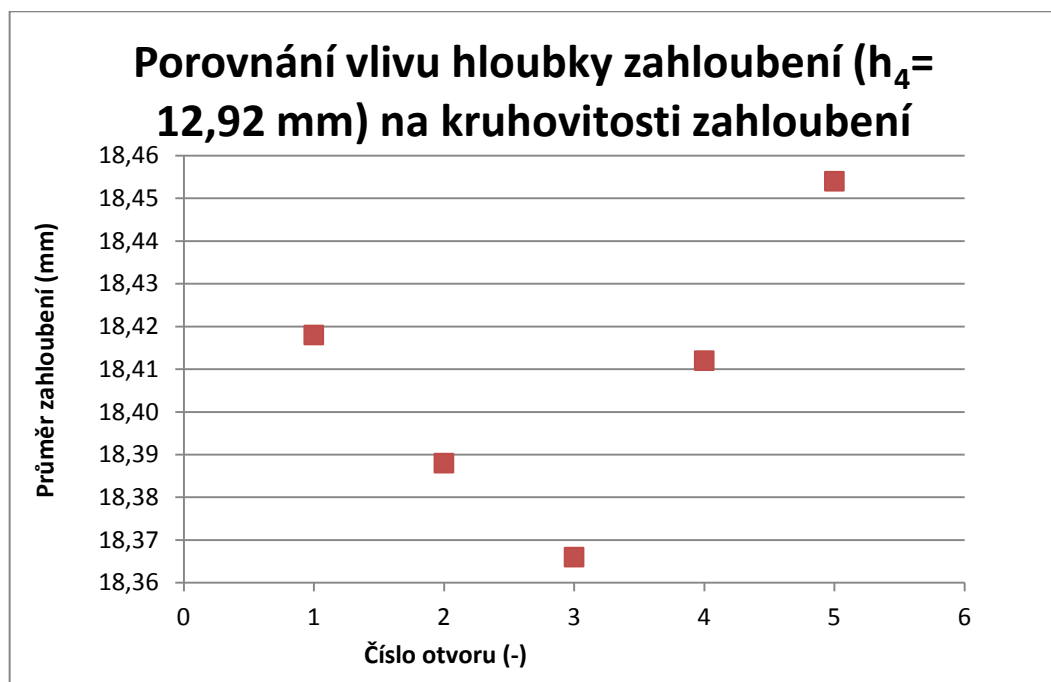


Obr. 76. Porovnání vlivu hloubky zahloubení na dosažení daného průměru válcové plochy zahloubení

Tab. 8. Naměřené hodnoty pro zahloubení $\Phi D= 18$ mm do hloubky 12,92mm

Zahloubený otvor $\Phi D= 18$ mm; hloubka $h_4= 12,92$ mm					
Číslo otvoru	Naměřený průměr ΦD otvoru v mm				
	1	2	3	4	5
1	18,38	18,40	18,29	18,39	18,40
2	18,45	18,36	18,44	18,45	18,48
3	18,42	18,39	18,33	18,44	18,41
4	18,40	18,38	18,37	18,38	18,51
5	18,44	18,41	18,40	18,40	18,47

Průměr	18,42	18,39	18,37	18,41	18,45
Směrodatná odchylka	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02
Rozsah	0,07	0,05	0,15	0,07	0,11
Max	18,45	18,41	18,44	18,45	18,51
Min	18,38	18,36	18,29	18,38	18,40



Obr. 77. Porovnání vlivu hloubky zahloubení na dosažení daného průměru válcové plochy zahloubení

Vyhodnocení:

V obou případech zahlubování byl použit 4břítý záhlubník ČSN 22 1604, 18x8,5, strojní posuv byl nastaven na hodnotu $s = 0,08$ [mm/ot] a otáčky vřetene byly zvoleny $n = 260$ [ot/min]. Rozdílná byla zvolená hloubka zahloubení, a sice v prvním případě byla hloubka $h_4 = 12,92$ [mm] a ve druhém případě byla hloubka $h_3 = 10,48$ [mm]. Při hloubce zahloubení $h_4 = 12,92$ [mm] byla odchylka od průměru daným záhlubníkem větší, než při hloubce zahloubení $h_3 = 10,48$ [mm] (Obr. 76, Obr. 77). Z toho důvodu, pokud to konstrukce výrobku umožňuje, je lepší volit menší hloubku zahloubení z důvodu dosažení lepší přesnosti zahloubeného otvoru. Dále z vypočtených hodnot vyplývá, že díra není dokonale

kruhovitá. To může mít za následek hned několik faktorů, jako je například nedostatečné upnutí dílce a tím způsobené chvění v soustavě stroj-nástroj-obrobek, nevhodně zvolené řezné podmínky z důvodu omezeného rozsahu volitelnosti otáček a posuvu, nebo kombinace těchto faktorů. Z grafu pro hloubku h_4 vyplývá, že mezi počtem zahloubených děr a průměrem zahloubení není žádná závislost, ale u grafu pro hloubku zahloubení h_3 je vidět závislost, kterou může mít za následek postupné otupení nového nástroje, které zlepšilo kvalitu zahloubených děr, tím, že se zarovnaly břity nástroje.

5.2 Naměřená a vyhodnocená data drsnosti povrchu

V této části práce se zpracovávají data získaná měřením drsnosti povrchu. Vyhodnocení bude dvojího druhu. To první se zaměřuje na vyhodnocení dat z naměřené drsnosti povrchu čelní plochy zahloubeného otvoru, druhá část se zabývá vyhodnocením drsnosti válcové plochy zahloubení. Výsledkem bude porovnání hodnot vlivu hloubky zahloubení a průměru záhlubníku na drsnost povrchu.

5.2.1 Drsnost čelní plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 16,5x10,5

Měření: drsnost povrchu R_a a R_z změřená při zhotovení zahloubení záhlubníkem ČSN 22 1604, 16,5x10,5 při posuvu $s = 0,08$ [mm/ot] a otáčkách $n = 345$ [ot/min].

Tab. 9. Naměřená drsnost čelní plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 16,5x10,5

Záhlubník ČSN 22 1604, 16,5x10,5		
Číslo otvoru	R_a [μm]	R_z [μm]
1	5,52	18,10
2	5,55	18,08
3	5,49	18,07
4	5,51	18,09
5	5,53	18,08
6	5,52	18,05
7	5,50	18,01
8	5,49	18,02
9	5,51	18,05
10	5,53	18,04

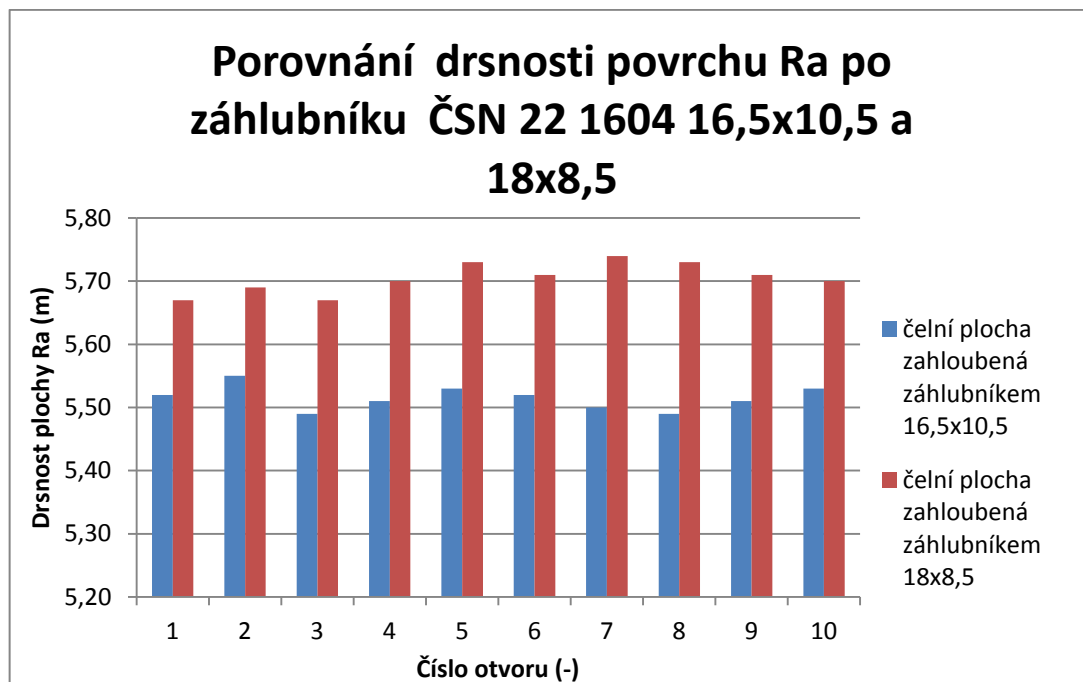
Průměr	5,52	18,06
Směrodatná odchyłka	0,019	0,030
Rozsah	0,06	0,09
Max	5,55	18,10
Min	5,49	18,01

5.2.2 Drsnost čelní plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 18x8,5

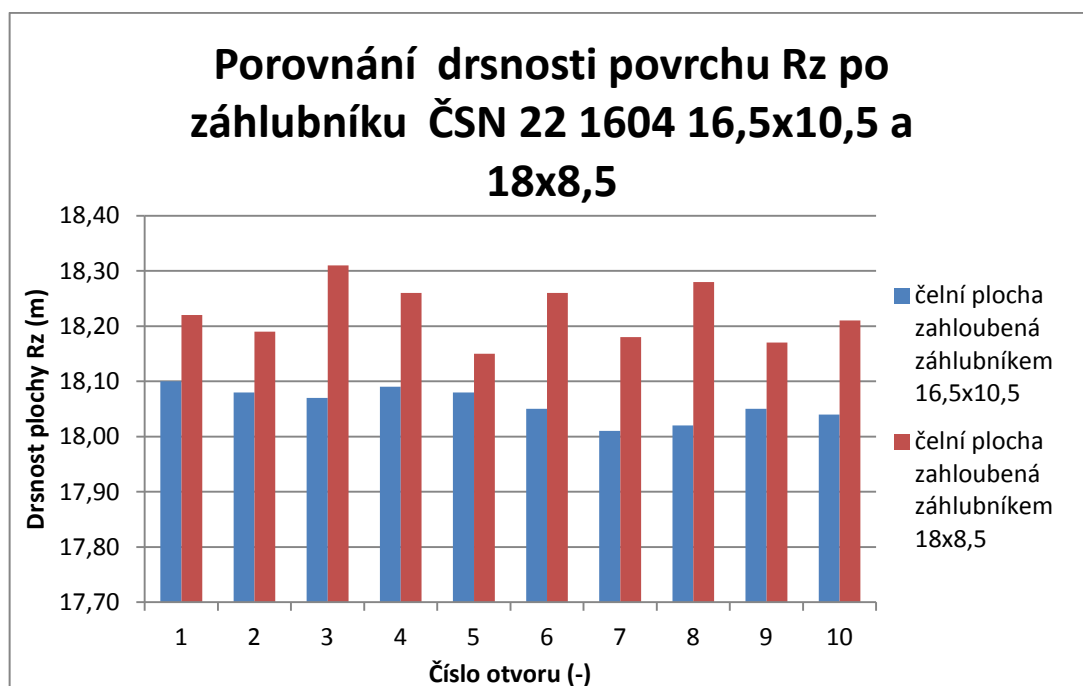
Měření: drsnost povrchu Ra aRz změřená při zhotovení zahloubení záhlubníkem ČSN 22 1604, 18x8,5 při posuvu $s = 0,08$ [mm/ot] a otáčkách $n = 260$ [ot/min].

Tab. 10. Naměřená drsnost čelní plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 18x8,5

Záhlubník ČSN 22 1604, 18x8,5		
Číslo otvoru	Ra [μm]	Rz [μm]
1	5,67	18,22
2	5,69	18,19
3	5,67	18,31
4	5,70	18,26
5	5,73	18,15
6	5,71	18,26
7	5,74	18,18
8	5,73	18,28
9	5,71	18,17
10	5,70	18,21
Průměr	5,71	18,22
Směrodatná odchyłka	0,023	0,050
Rozsah	0,07	0,16
Max	5,74	18,31
Min	5,67	18,15



Obr. 78. Porovnání drsnosti Ra při použití rozdílných průměrů záhlubníků



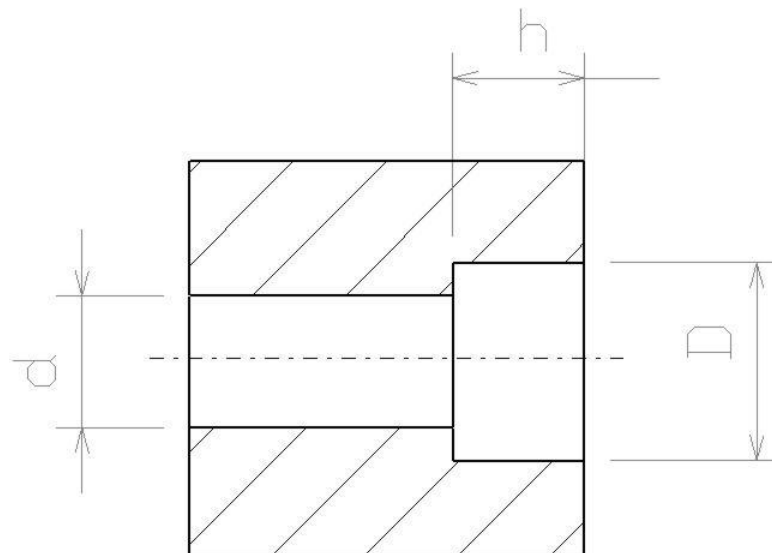
Obr. 79. Porovnání drsnosti Rz při použití rozdílných průměrů záhlubníků

Vyhodnocení:

Při zahlubování otvorů byly použity čtyřbřité záhlubníky ČSN 22 1604. Posuv byl zvolen strojní o velikosti $s=0,08$ [mm/ot]. Pro záhlubník 16,5x10,5 byly zvoleny otáčky $n=345$ [ot/min] a pro záhlubník 18x8,5 byly otáčky zvoleny $n=260$ [ot/min]. Z výsledků lze vidět, že lepší drsnosti povrchu dosahuje záhlubník ČSN 22 1604 16,5x10,5 (Obr. 75, Obr. 76). Ovšem, výsledky mohly ovlivnit nepříznivé vlivy během obrábění. Např. stojanová vrtačka neumožňovala nastavit optimální otáčky vřetena.

5.2.3 Drsnost válcové plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 16,5x10,5; hloubka zahloubení $h_1=8,94$ [mm]

Měření: drsnost povrchu R_a a R_z změřená při zhotovení zahloubení záhlubníkem ČSN 22 1604, 16,5x10,5 při posuvu $s=0,08$ [mm/ot], otáčkách $n=345$ [ot/min] a hloubce zahloubení $h_1=8,94$ [mm].



Obr. 80. Schéma použitých veličin

*Tab. 11. Naměřená drsnost
povrchu při hloubce zahloubení
 $h_1 = 8,94$ [mm]*

Záhlubník ČSN 22 1604, 16,5x10,5; hloubka zahloubení $h_1 = 8,94$ [mm]		
Číslo otvoru	Ra [μm]	Rz [μm]
1	5,41	17,85
2	5,39	17,83
3	5,38	17,84
4	5,42	17,90
5	5,40	17,91
6	5,37	17,88
7	5,38	17,85
8	5,42	17,92
9	5,40	17,89
10	5,39	17,86
Průměr	5,40	17,87
Směrodatná odchylka	0,016	0,030
Rozsah	0,05	0,09
Max	5,42	17,92
Min	5,37	17,83

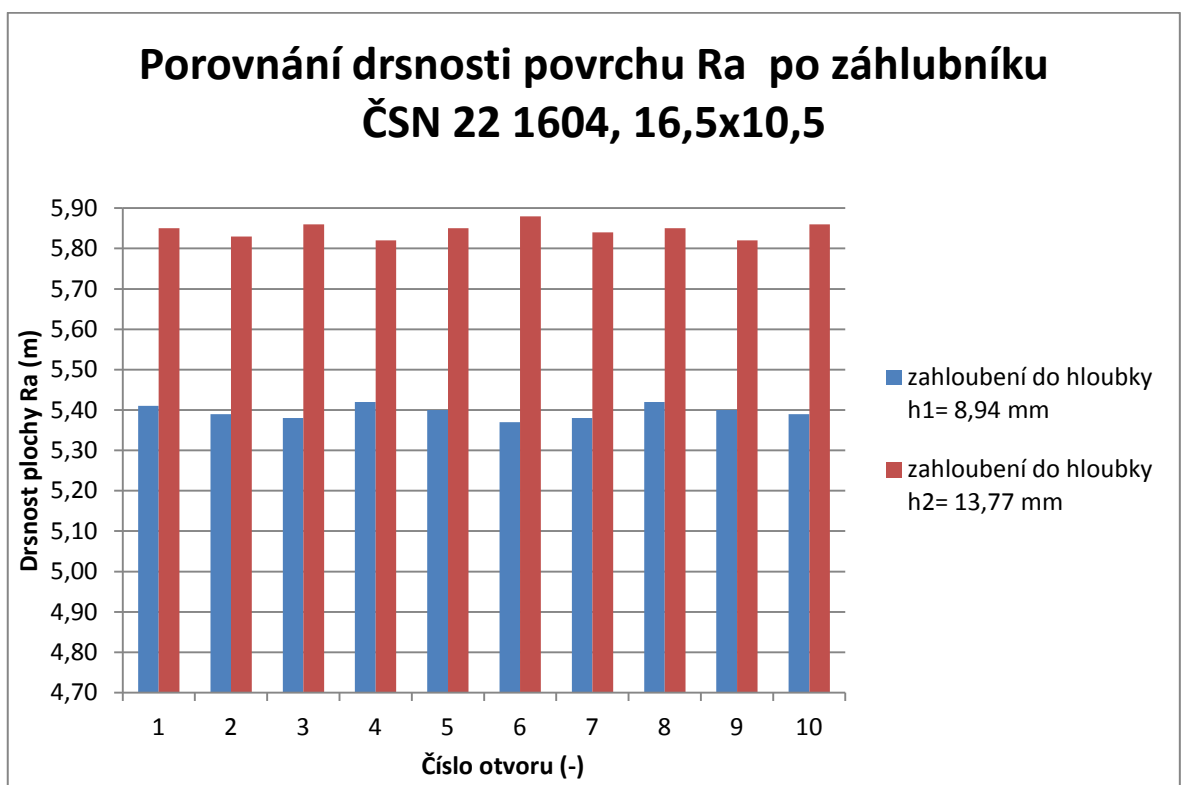
5.2.4 Drsnost válcové plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 16,5x10,5; hloubka zahloubení $h_2 = 13,77$ [mm]

Měření: drsnost povrchu Ra aRz změřená při zhotovení zahloubení záhlubníkem ČSN 22 1604, 16,5x10,5 při posuvu $s = 0,08$ [mm/ot], otáčkách $n = 345$ [ot/min] a hloubce zahloubení $h_2 = 13,77$ [mm].

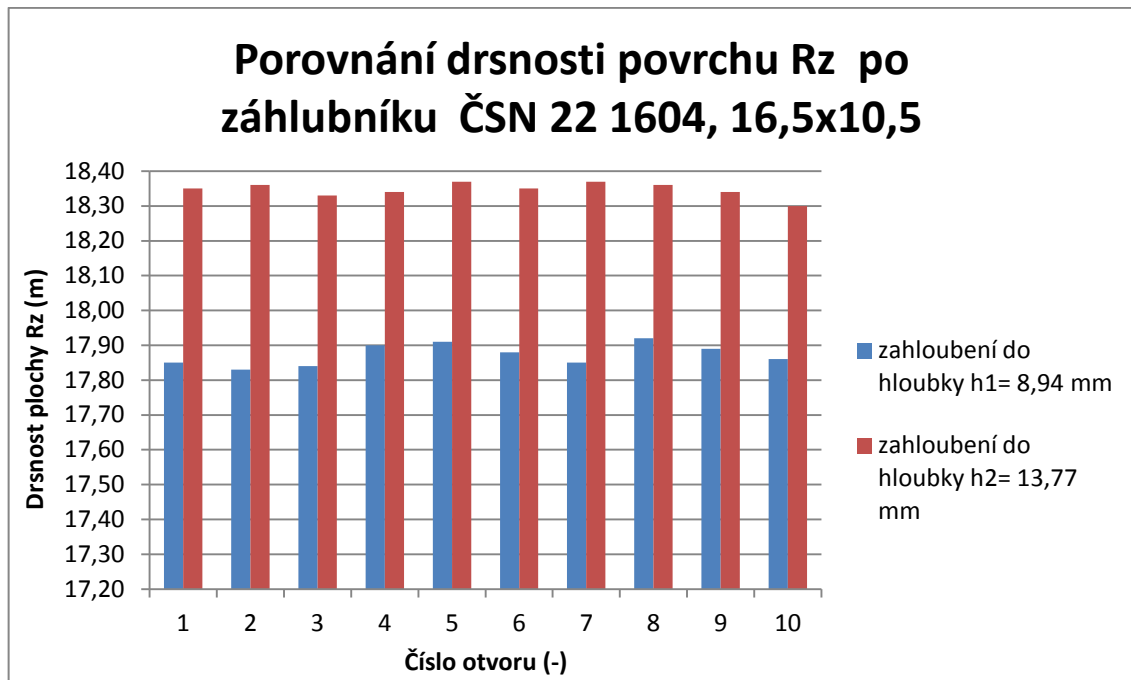
*Tab. 12. Naměřená drsnost
povrchu při hloubce zahloubení
 $h_2 = 13,77$ [mm]*

Záhlubník ČSN 22 1604, 16,5x10,5; hloubka zahloubení $h_2 = 13,77$ [mm]		
Číslo otvoru	Ra [μm]	Rz [μm]
1	5,85	18,35
2	5,83	18,36

3	5,86	18,33
4	5,82	18,34
5	5,85	18,37
6	5,88	18,35
7	5,84	18,37
8	5,85	18,36
9	5,82	18,34
10	5,86	18,30
Průměr	5,846	18,347
Směrodatná odchylka	0,018	0,020
Rozsah	0,06	0,07
Max	5,88	18,37
Min	5,82	18,3



Obr. 81. Porovnání drsnosti Ra v rozdílné hloubce



Obr. 82. Porovnání drsnosti Rz v rozdílné hloubce

5.2.5 Drsnost válcové plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 18x8,5; hloubka zahloubení $h_3= 10,48$ [mm]

Měření: drsnost povrchu Ra aRz změřená při zhotovení zahloubení záhlubníkem ČSN 22 1604, 18x8,5 při posuvu $s= 0,08$ [mm/ot], otáčkách $n= 260$ [ot/min] a hloubce zahloubení $h_3= 10,48$ [mm].

Tab. 13. Naměřená drsnost

povrchu při hloubce zahloubení

$h_3= 10,48$ [mm]

Záhlubník ČSN 22 1604, 18x8,5; hloubka zahloubení $h_3= 10,48$ [mm]		
Číslo otvoru	Ra [μm]	Rz [μm]
1	5,60	18,10
2	5,55	18,05
3	5,58	18,08
4	5,61	18,09
5	5,57	18,11
6	5,62	18,13
7	5,56	18,03
8	5,60	18,08

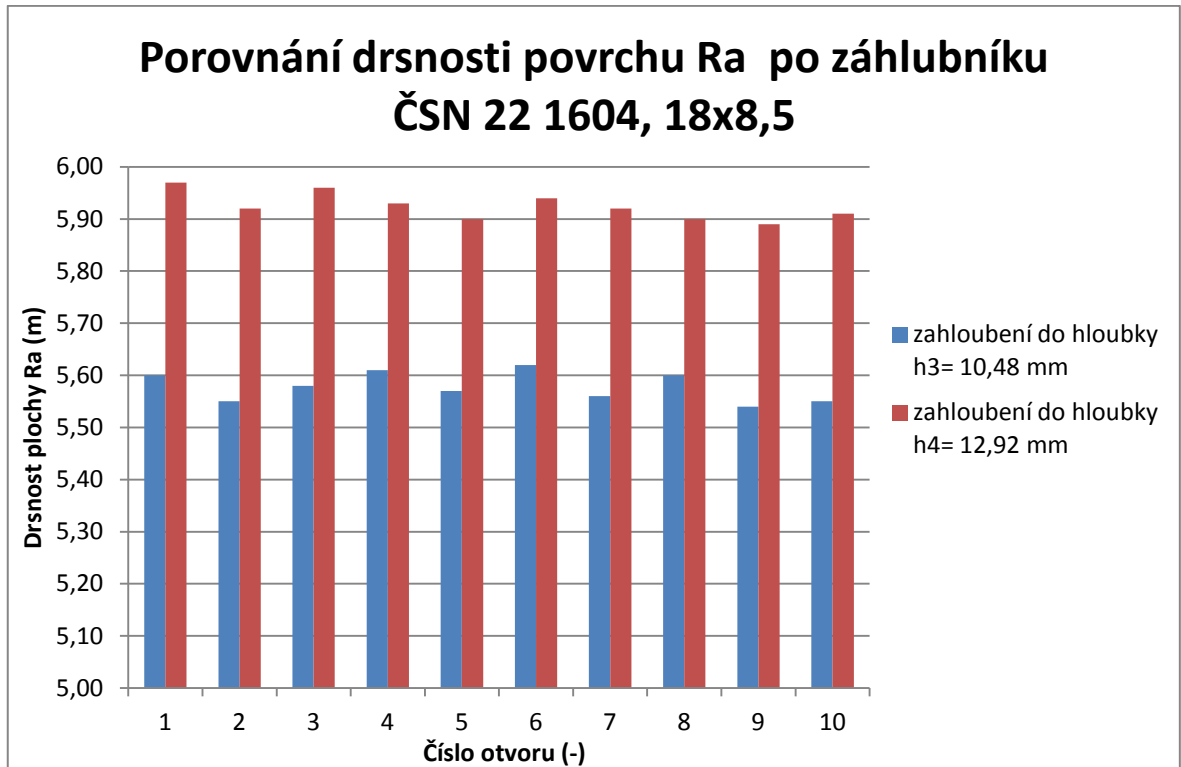
9	5,54	18,05
10	5,55	18,04
Průměr	5,58	18,08
Směrodatná odchylna	0,027	0,031
Rozsah	0,08	0,10
Max	5,62	18,13
Min	5,54	18,03

5.2.6 Drsnost válcové plochy při použití záhlubníku ČSN 22 1604, 18x8,5; hloubka zahloubení $h_4= 12,92$ [mm]

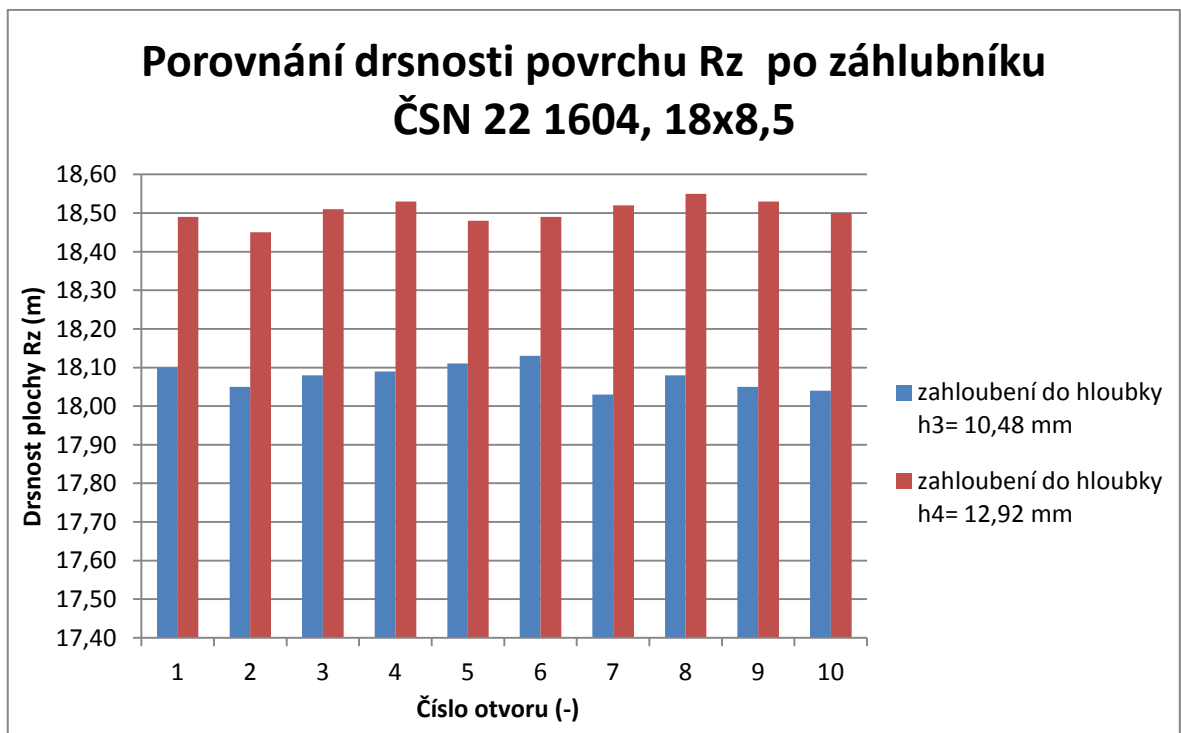
Měření: drsnost povrchu Ra aRz změřená při zhotovení zahloubení záhlubníkem ČSN 22 1604, 18x8,5 při posuvu $s= 0,08$ [mm/ot], otáčkách $n= 260$ [ot/min] a hloubce zahloubení $h_4= 12,92$ [mm].

*Tab. 14. Naměřená drsnost
povrchu při hloubce zahloubení
 $h_4= 12,92$ [mm]*

Záhlubník ČSN 22 1604, 18x8,5; hloubka zahloubení $h_4= 12,92$ [mm]		
Číslo otvoru	Ra [μm]	Rz [μm]
1	5,97	18,49
2	5,92	18,45
3	5,96	18,51
4	5,93	18,53
5	5,90	18,48
6	5,94	18,49
7	5,92	18,52
8	5,90	18,55
9	5,89	18,53
10	5,91	18,50
Průměr	5,92	18,51
Směrodatná odchylna	0,025	0,028
Rozsah	0,08	0,10
Max	5,97	18,55
Min	5,89	18,45



Obr. 83. Porovnání drsnosti Ra v rozdílné hloubce



Obr. 84. Porovnání drsnosti Rz v rozdílné hloubce

Vyhodnocení:

Při zahlubování otvorů byly použity čtyřbřité záhlubníky ČSN 22 1604. Posuv byl zvolen strojní o velikosti $s=0,08$ [mm/ot]. Pro záhlubník 16,5x10,5 byly zvoleny otáčky $n= 345$ [ot/min] a pro záhlubník 18x8,5 byly otáčky zvoleny $n= 260$ [ot/min]. Z výsledků pro oba typy záhlubníků lze vyčíst, že lepší drsnosti povrchu Ra i Rz se dosahuje při zahlubování otvorů do menší hloubky. Z toho vyplývá, že pokud to konstrukce umožňuje, je lepší zahlubovat na nejmenší normou přípustnou hloubku. Nejenže se s menší hloubkou zlepšuje drsnost povrchu, ale i z hlediska ekonomického je to přínosnější, protože se méně zatěžuje nástroj a zkracuje se strojní čas.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo porovnat, jaké drsnosti povrchu se dosáhne použitím záhlubníků ČSN 22 1604 s rozdílnými rozměry a porovnat vliv hloubky zahloubení na geometrii a drsnost povrchu zahloubeného otvoru.

Pro oba záhlubníky byla snaha volit co neoptimálnější řezné podmínky. Byly zvoleny následující řezné parametry: záhlubník ČSN 22 1604, 16,5x10,5, strojní posuv byl nastaven na hodnotu $s = 0,08$ mm/ot a otáčky vřetene byly zvoleny $n = 345$ ot/min, záhlubník ČSN 22 1604, 18x8,5, strojní posuv byl nastaven na hodnotu $s = 0,08$ mm/ot a otáčky vřetene byly zvoleny $n = 260$ ot/min.

Při zjišťování geometrie otvoru bylo zjištěno, že čím je hloubka zahloubení větší, tím je horší geometrie. Při použití záhlubníku 22 1604 16,5x10,5 mm byla dosažená geometrie při hloubce zahloubení 8,94 mm lepší, než u hloubky zahloubení 13,77 mm. Při použití záhlubníku 22 1604 18x8,5 mm dopadly výsledky nápodobně. Při hloubce zahloubení 10,48 mm bylo dosaženo lepší geometrie, než u hloubky zahloubení 12,92 mm. Dále je u hloubky zahloubení 10,48 mm vidět závislost mezi počtem zahloubených děr a průměrem zahloubení. Závislost může poukazovat na to, že čím je zahloubeno více děr, tím lepší je dosahovaná geometrie díry. Může to být důsledek otupování nového nástroje, na kterém dochází k zarovnávání břitů nástroje.

Měření drsnosti proběhlo na stejných otvorech, na kterých proběhlo měření geometrie, tudíž hloubky zahloubení jsou totožné. I tady se došlo ke stejným závěrům, a sice že větší hloubka zhoršuje drsnost zahloubené plochy.

Z výsledků vyplývá, že větší hloubka zahloubení zhoršuje kvalitu vyrobeného otvoru. Proto, pokud to konstrukce výrobku umožňuje, je lepší volit hloubku pokud možno co nejmenší, která je stanovena ve Strojnických tabulkách. Větší hloubka je nepříznivá i z ekonomického hlediska, protože se prodlužuje strojní čas a nástroj se opotřebovává.

Výsledky uvedené v této práci mohou být ovlivněny několika faktory. Například volba řezných podmínek. Stojanová vrtačka neumožňovala volit optimální řezné podmínky, protože otáčky bylo možné volit jenom v určitých stupních. Jako další kvalitu ovlivňoval přívod řezné kapaliny. Ta se dávala ručně a nemusela se dostat až do místa řezu. V dalším případě se jednalo o zhoršený odvod třísek, které se musely v některých případech odstraňovat i manuálně při přerušení řezu. Jako nepříznivý vliv na kvalitu mohlo být i zhoršené

vedení ve větší hloubce. Mohla být zhoršená kvalita předvrtané díry, která sloužila pro vedení vodícího čepu, a tím pádem mohl záhlubník mírně vibrovat. Jako poslední mohlo kvalitu zahloubení ovlivnit chvění nástroje a obrobku vlivem nedostatečného utažení svěráku, ve kterém byl upnut obrobek. Zlepšení jakosti otvoru lze dosáhnout např. použitím nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami, povlakovaným nástrojem, dostatečně pevným opnutím obrobku a lepší dopravou řezné kapaliny. Dále by se mohlo dosáhnout lepší jakosti zahloubené díry použitím tříbřitého záhlubníku, protože má lepší průběh záběru, než námi použitý čtyřbřitý záhlubník.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 2: základy teorie soustružení, základní práce na konvenčních hrotových soustruzích, nástrojové materiály* : [učebnice. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 176 s. Učebnice pro odborné školy. ISBN 80-718-3245-6.
- [2] <http://www.elitalycea.wz.cz>
- [3] KOČMAN, Karel a Pavel VÁVRA. *Technologie obrábění: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. Učebnice pro odborné školy. ISBN 80-214-3068-0.
- [4] <http://stimzetzsetin.cz/index.html>
- [5] KOČMAN, Karel a Václav HANĚK. *Technologické procesy obrábění: základy teorie soustružení, základní práce na konvenčních hrotových soustruzích, nástrojové materiály* : [učebnice. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. Učebnice pro odborné školy. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [6] KARAFIÁTOVÁ, Stanislava a Ivo LANGER. *Technologie soustružení: základy teorie soustružení, základní práce na konvenčních hrotových soustruzích, nástrojové materiály* : [učebnice. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 124 s. Učebnice pro odborné školy. ISBN 80-720-0239-2.
- [7] <http://www.tch.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum/vrtani-a-rucni-obr/str-75-vrtani--zahlubovani-vystruzovani.jpg.-.html>
- [8] www.strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/03/3156-vyvrtavani.html
- [9] www.profikraft.cz
- [10] www.hollfelder-cuttingtools.de
- [11] BECK PRÄZISIONSWERKZEUGE, Hauptkatalog Standardprogramm, Deutschland, 2001
- [12] <http://www.verko.cz/>
- [13] PATA, V.: *Učební texty: Metrologie struktury povrchů*. VUT Brno
- [14] SLANAŘ, Václav a Vladimír GABRIEL. *Technické kreslení: Pravidla pro tvorbu strojnických výkresů podle mezinárodních norem*. 2. doplň. vyd. Písek: J, 1999, 156 s. Učebnice pro odborné školy. ISBN 80-861-5416-5.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

α	Úhel hřbetu [°]
β	Úhel břitu [°]
γ	Úhel čela [°]
δ	Úhel řezu [°]
κ	Úhel nastavení hlavního ostří [°]
κ'	Úhel nastavení vedlejšího ostří [°]
ε	Úhel špičky nástroje [°]
λ	Úhel sklonu ostří [°]
β_2	Mezní úhel plastické deformace [°]
h	Hloubka řezu [mm]
F	Síla [N]
R_{es}	Mez kluzu ve smyku [MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu [MPa]
R_{ms}	Mez pevnosti ve smyku [MPa]
W	Objemový součinitel třísky [-]
V_t	Objem napěchovaných třísek [dm ³]
V_m	Objem neobrobené vrstvy materiálu [dm ³]
F_γ	Tangenciální síla [N]
δ_{OB}	Nástrojový ortogonální úhel řezu v bodě B reálného ostří [°]
h_{Dmin}	Minimální hodnota jmenovité tloušťky řezu [mm]
δ_O	Nástrojový ortogonální úhel řezu [°]
K_V	Součinitel obrobitelnosti [-]
$V_{CT/VB}$	Řezná rychlost při trvanlivosti 15 minut pro zkoušený materiál [m/min]
$V_{CT/VB}$	Řezná rychlost při trvanlivosti 15 minut pro etalonový materiál [m/min]

v	Řezná rychlost [m/min]
s	Posuv [mm/ot]
π	Ludolfovo číslo [-]
n	Otáčky [ot/min]
A_D	Průřez třísky [mm ²]
p	Řezný odpor [MPa]
F_Z	Měrná síla [N]
F_y	Posuvová síla [N]
F_p	Pasivní síla [N]
M_k	Kroutící moment [Nm]
D	Průměr (nástroje, obrobku) [mm]
P	Řezný výkon [W]
P_e	Příkon elektromotoru [W]
η	Účinnost [-]
d	Průměr předvrtaného otvoru [mm]
Ra	Střední aritmetická úchylka profilu [μ m]
Rz	Výška nerovností profilu z deseti bodů [μ m]
Ry	Největší výška nerovností profilu [μ m]
Sm	Střední rozteč nerovností profilu [μ m]
S	Střední rozteč místních výstupků profilu [μ m]
T_p	Nosný podíl profilu [μ m]
lr	Základní délka [mm]
ln	Vyhodnocovaná délka [mm]
lt	Celková délka snímání [mm]
l	Délka měřeného úseku [mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Soustava stroj – nástroj – obrobek [2]</i>	12
<i>Obr. 2. Obrobek [3]</i>	13
<i>Obr. 3. Soustružnický nůž [4]</i>	14
<i>Obr. 4. Válcový záhlubník s kuželovou stopkou a válcovou vodící částí [3]</i>	14
<i>Obr. 5. Roviny nástroje [3]</i>	15
<i>Obr. 6. Pracovní úhly řezného nástroje</i>	16
<i>Obr. 7. Realizace řezného procesu, a) ortogonální řezání, b) obecné řezání [5]</i>	17
<i>Obr. 8. Deformace a napětí v oblasti tvoření třísky [1]</i>	18
<i>Obr. 9. Druhy namáhání odřezávané vrstvy [1]</i>	18
<i>Obr. 10. Druhy třísek [5]</i>	20
<i>Obr. 11. Lamač třísky [1]</i>	21
<i>Obr. 12. Zóna skluzu při pohybu třísky po čele nástroje [5]</i>	21
<i>Obr. 13. Tvorba nárůstku [5]</i>	22
<i>Obr. 14. Reálné ostří nástroje při ortogonálním řezání [6]</i>	23
<i>Obr. 15. Vrtání do plného materiálu [7]</i>	25
<i>Obr. 16. Silové poměry na vrtáku [3]</i>	26
<i>Obr. 17. Vrtání do plného materiálu</i>	27
<i>Obr. 18. Vrtání do předvrtaného otvoru</i>	27
<i>Obr. 19. Vyvrtávání[8]</i>	28
<i>Obr. 20. Šroubovitý vrták</i>	29
<i>Obr. 21. Kopinatý vrták</i>	30
<i>Obr. 22. Hlavnový vrták: a) lomený, b) s vnitřním odvodem</i>	30
<i>Obr. 23. Korunkový vrták</i>	31
<i>Obr. 24. Výhrubník s kuželovou stopkou [4]</i>	31
<i>Obr. 25. Tvar břitu výhrubníku</i>	32
<i>Obr. 26. Ruční a strojní výstružník</i>	33
<i>Obr. 27. Vodící čep vyměnitelný [4]</i>	34
<i>Obr. 28. Geometrie břitu (vlevo kuželový záhlubník), (vpravo válcový záhlubník) [4]</i>	34
<i>Obr. 29. Záhlubník pro válcové hlavy šroubů s pevným vodícím kolíkem</i>	35
<i>Obr. 30. Záhlubník s kuželovou stopkou a výměnným vodícím čepem [4]</i>	35
<i>Obr. 31. Záhlubník s kuželovou stopkou a vodícím čepem [10]</i>	35
<i>Obr. 32. Záhlubník kuželový s kuželovou stopkou [4]</i>	35

<i>Obr. 33. Záhlubník kuželový s válcovou stopkou [4]</i>	36
<i>Obr. 34. Kuželový záhlubník s válcovou stopkou [4]</i>	36
<i>Obr. 35. Odjehlovací záhlubník [9]</i>	37
<i>Obr. 36. Válcový záhlubník s</i>	37
<i>Obr. 37. Rozdílná geometrie kuželového záhlubníku [11]</i>	38
<i>Obr. 38. Zahlubovací nůž [4]</i>	38
<i>Obr. 39. Středící vrtáky [4]</i>	39
<i>Obr. 40. Kombinovaný nástroj vrták+záhlubník [12]</i>	39
<i>Obr. 41. Sloupová a stojanová vrtačka</i>	41
<i>Obr. 42. Vrtačka otočná</i>	42
<i>Obr. 43. Vodorovná vyvrtávačka</i>	42
<i>Obr. 44. Schéma měřicí dráhy nástroje [13]</i>	43
<i>Obr. 45. Grafické znázornění Ra [14]</i>	44
<i>Obr. 46. Grafické znázornění Rz [14]</i>	44
<i>Obr. 47. Grafické znázornění Ry [14]</i>	45
<i>Obr. 48. Grafické znázornění Sm [14]</i>	45
<i>Obr. 49. Grafické znázornění S [8]</i>	46
<i>Obr. 50. Grafické znázornění tp [14]</i>	46
<i>Obr. 51. Použitý dílec</i>	48
<i>Obr. 52. Výkres polotovaru</i>	49
<i>Obr. 53. Ofrézovaná plocha</i>	49
<i>Obr. 54. Výkres konečného rozměru dílce</i>	50
<i>Obr. 55. Stojanová vrtačka</i>	50
<i>Obr. 56. Vrták Φ 8,50 mm</i>	51
<i>Obr. 57. Vrták Φ 10,50 mm</i>	51
<i>Obr. 58. Zvolené otáčky</i>	53
<i>Obr. 59. Provedení vrtání v praxi</i>	54
<i>Obr. 60. Použitý válcový záhlubník 18x8,5 mm</i>	54
<i>Obr. 61. Použitý válcový záhlubník 16,5x10,5 mm</i>	55
<i>Obr. 62. Otáčky vřeten pro záhlubník 18x8,5 mm</i>	56
<i>Obr. 63. Otáčky vřeten pro záhlubník 16,5x10,5 mm</i>	56
<i>Obr. 64. Definice rozměrů záhlubníku ČSN 22 1604</i>	57
<i>Obr. 65. Zahlubování záhlubníkem</i>	57

<i>Obr. 66. Zahlubování záhlubníkem.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 67. Mitutoyo SJ-301</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 68. Měřící hrot R2</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 69. Schéma měření drsnosti čelní plochy zahloubení.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 70. Schéma měření drsnosti válcové plochy zahloubení</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 71. Posuvné měřidlo Mitutoyo.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 72. Měření geometrie zahloubení posuvným měřidlem.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 73. Schéma použitých veličin.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 74. Porovnání vlivu hloubky zahloubení na dosažení daného průměru.....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 75. Porovnání vlivu hloubky zahloubení na dosažení daného průměru.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 76. Porovnání vlivu hloubky zahloubení na dosažení daného průměru.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 77. Porovnání vlivu hloubky zahloubení na dosažení daného průměru.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 78. Porovnání drsnosti Ra při použití rozdílných průměrů záhlubníků</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 79. Porovnání drsnosti Rz při použití rozdílných průměrů záhlubníků</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 80. Schéma použitých veličin.....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 81. Porovnání drsnosti Ra v rozdílné hloubce</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 82. Porovnání drsnosti Rz v rozdílné hloubce.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 83. Porovnání drsnosti Ra v rozdílné hloubce</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 84. Porovnání drsnosti Rz v rozdílné hloubce.....</i>	<i>76</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Názvosloví pracovních úhlů břitu obráběcího nástroje [3]</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 2. Součinitele obrobitelnosti pro jednotlivé třídy skupiny ocelí</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 3. Řezné podmínky pro vrtání</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 4. Řezné podmínky pro zahlubování [4]</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 5. Naměřené hodnoty pro zahloubení $\Phi D= 16,5$ mm do hloubky 8,94 mm</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 6. Naměřené hodnoty pro zahloubení $\Phi D= 16,5$ mm do hloubky 13,77 mm</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 7. Naměřené hodnoty pro zahloubení $\Phi D= 18$ mm do hloubky 10,48 mm</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 8. Naměřené hodnoty pro zahloubení $\Phi D= 18$ mm do hloubky 12,92mm</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 9. Naměřená drsnost čelní</i>	<i>68</i>
<i>Tab. 10. Naměřená drsnost čelní</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 11. Naměřená drsnost</i>	<i>72</i>
<i>Tab. 12. Naměřená drsnost</i>	<i>72</i>
<i>Tab. 13. Naměřená drsnost</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 14. Naměřená drsnost</i>	<i>75</i>