

Vliv geometrie ostří výstružníků na obrábění otvorů

Lukáš Obr

Bakalářská práce
2010

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš OBR**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vliv geometrie ostří výstružníků na obrábění otvorů**

Zásady pro vypracování:

1. Teorie obrábění
2. Nástroje a stroje pro obrábění otvorů
3. Zkoušky trvanlivosti výstružníků
4. Rozbor a zhodnocení zkoušek

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Kocman,K., Prokop,J.: Technologie obrábění. Akademické nakladatelství CERM, 200

2. Liemert,G.: Obrábění. SNTL Praha, 1974

3. Hluchý,M.: Strojírenská technologie 2,3. Scientia Praha, 1999

4. Černoch,S.: Strojně technická příručka. SNTL Praha, 1959

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Josef Hrdina

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 18. ledna 2010

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.

děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.

vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním 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 bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji 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 užit své dílo – 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 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 bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem 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 26.5.2010


.....

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 vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá procesem vystružování a vlivem geometrie ostří na parametry vystruženého otvoru. Zkoumá vliv obvodového házení výstružníků na přesnost obrobeného otvoru a jakost jeho povrchu. Dále pak opotřebení řezných hran v závislosti na počtu obrobených otvorů. V práci je zahrnutá obecná teorie obrábění, jednotlivé operace pro výrobu otvorů, nástrojové materiály a teorie drsnosti povrchu.

Klíčová slova:

Vystružování, vrtání, obrábění otvorů, drsnost povrchu

ABSTRACT

This paper examines the process of reaming and the effect of cutting edge geometry parameters reaming hole. Examines the effects of peripheral throwing reamers for precision machined hole and the quality of its surface. Then wear edges depending on the number of machined holes. The work included a general theory of machining operations for production of individual holes, tool materials and surface roughness theories.

Keywords:

Reaming, drilling, cutting holes, surface roughness

Rád bych poděkoval panu Ing. Josefovi Hrdinovi za odbornou pomoc, cenné rady, připomínky, ochotu a vynaložený čas v průběhu vedení této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Šálkovi za pomoc při manipulaci s vrtacím strojem.

„Každý chce napravit lidstvo, ale nikoho nenapadne, že by měl začít u sebe“

Lev Nikolajevič Tolstoj

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

Ve Zlíně 26.5.2010



.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TEORIE OBRÁBĚNÍ	12
1.1 TECHNOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY OBRÁBĚNÍ.....	12
1.2 OBROBEK	13
1.3 NÁSTROJ	13
1.4 ROVINY A ÚHLY	15
1.5 KINEMATIKA OBRÁBĚNÍ	17
1.6 ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ	19
1.7 MECHANISMUS TVORBY TŘÍSKY	20
1.7.1 Objemový součinitel třísky	23
2 DRSNOST POVRCHU	25
2.1 STŘEDNÍ ARITMETICKÁ ÚCHYLKA PROFILU R_A	25
2.2 VÝŠKA NEROVNOSTÍ PROFILU Z DESETI BODŮ R_Z	25
2.3 NEJVĚTŠÍ VÝŠKA NEROVNOSTÍ PROFILU R_Y	26
2.4 STŘEDNÍ ROZTEČ NEROVNOSTÍ PROFILU S_M	26
2.5 STŘEDNÍ ROZTEČ MÍSTNÍCH VÝSTUPKŮ PROFILU S	27
2.6 NOSNÝ PODÍL PROFILU T_P	27
3 MATERIÁLY OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ	28
3.1 NÁSTROJOVÉ OCELI.....	28
3.2 SLINUTÉ KARBIDY	30
3.3 CERMETY	32
3.4 KERAMICKÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY	33
3.5 SUPERTVRDÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY	33
3.6 BROUSICÍ MATERIÁLY	34
3.7 VOLBA MATERIÁLU TĚLESA NÁSTROJE	35
4 NÁSTROJE A STROJE PRO VÝROBU OTVORŮ	37
4.1 VRTÁNÍ	37
4.1.1 Kopinaté vrtáky	40
4.1.2 Šroubovité vrtáky	41
4.1.3 Frézovací vrtáky	43
4.1.4 Středicí vrtáky	43
4.1.5 Dělové vrtáky	43
4.1.6 Korunové trepanační hlavy	44
4.1.7 Nástroje BTA	44

4.2	VYHRUBOVÁNÍ A VYSTRUŽOVÁNÍ	46
4.2.1	Výhrubníky.....	46
4.2.2	Výstružníky	47
4.3	VRTAČKY	51
II	PRAKTICKÁ ČÁST	54
5	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	55
5.1	KONTROLA PARAMETRŮ VÝSTRUŽNÍKU.....	55
5.1.1	Kontrola jmenovitého průměru a jeho mezních úchylek	55
5.1.2	Kontrola obvodového házení	58
5.1.3	Zkoušky opotřebení výstružníků	60
5.2	KONTROLA PARAMETRŮ VYSTRUŽENÉ DÍRY	64
5.2.1	Kontrola průměru	64
5.2.2	Kontrola drsnosti povrchu.....	65
	ZÁVĚR	67
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	73
	SEZNAM TABULEK.....	75

ÚVOD

Ve strojírenství je jednou z velice důležitých operací výroba přesných kruhových otvorů. Ty se obvykle vyrábějí rotačním nástrojem, jehož přesnost musí korespondovat s požadovanou přesností díry.

Po obrobení vrtáním mají díry obvykle vysokou drsnost obrobeného povrchu a zpravidla nepoužitelné geometrické parametry: např. nepřesná kruhovitost a válcovitost, nedodržení jmenovitého průměru. Proto se po vrtání otvorů zdokonaluje dokončovacími operacemi, jakými jsou vyhrubování a vystružování. Těmito operacemi se zpřesňují geometrické parametry díry a snižuje se drsnost povrchu.

V této bakalářské práci se zabýváme tématem s názvem – Vliv geometrie ostří výstružníku na obrábění otvoru. Cílem této práce je obohatit čtenáře o informace v oblasti technologie obrábění, především vystružování.

Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a část praktickou. Seřazení jednotlivých bodů obsahu je z důvodu návaznosti a tedy lepšího pochopení dané problematiky. Práce je pro lepší představivost doplněna obrázky.

V teoretické části se zabýváme teorií obrábění, teorií drsnosti povrchu, materiály na výrobu nástrojů a jednotlivými nástroji a stroji pro výrobu otvorů. Každá kapitola má své podkapitoly, ve kterých se podrobněji zaměřujeme na objasnění daných skutečností. V teorii obrábění se seznamujeme se základními pojmy, rovinami, úhly, řezným prostředím a také mechanismem tvorby třísky. V kapitole o drsnosti povrchu se seznamujeme se způsoby a parametry, jakými lze vyhodnocovat jakost povrchu. V kapitole nástrojových materiálů se zabýváme materiály, ze kterých se vyrábí nástroje. Seznamujeme se se základními materiály od nástrojových ocelí až po supertvrde řezné materiály. V poslední podkapitole je zahrnuta teorie výroby otvorů. Zaměřujeme se jak na vrtání, tak i na vyhrubování a vystružování. V každé podkapitole se seznamujeme s jednotlivými charakteristikami dané operace a jednotlivými nástroji.

V praktické části se zabýváme vyhodnocením jak parametrů obrobených otvorů, tak i samotných nástrojů, které byly pro dokončovací operaci použity. Byly použity celkem tři výstružníky od firmy StimZet. Kontrolovali jsme jejich průměr, obvodové házení a také opotřebení. U vystružených otvorů jsme kontrolovali průměr a drsnost jeho povrchu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE OBRÁBĚNÍ

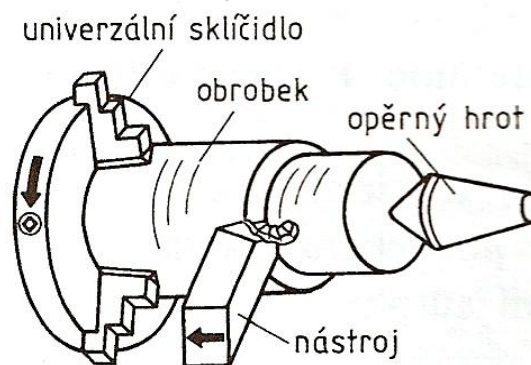
Obrábění zaujímá při výrobě strojírenských výrobků velmi důležité místo. Umožňuje nám v mnoha technologických procesech vytvořit z polotovaru výrobek požadovaného tvaru, rozměrové přesnosti a jakosti obrobených ploch. Obrábění tvoří přibližně jednu třetinu celkové pracnosti výroby strojírenských výrobků. Proto se snažíme dosáhnout co nejhospodárnějšího procesu obrábění.

V minulé době se využívalo převážně klasických obráběcích strojů a volba řezných podmínek byla částečně ponechána dělníkovi, který obsluhoval obráběcí stroj. V současnosti, kdy využíváme automatické obráběcí stroje, výrobní linky, číslicově řízené obráběcí stroje, výrobní centra či integrované výrobní úseky řízené počítači, přechází volba řezných podmínek plně na technologa. Technolog tedy nese zodpovědnost za hospodárnost obrábění.

Většina poznatků pro teorii obrábění je získána na základě experimentů a statistiky. Každá zákonitost je platná pouze pro jistý rozsah řezných podmínek a vymezenou oblast použití. Přesto výsledky výzkumů v obrábění výrazně přispívají ke zvýšení kvality a hospodárnosti obrábění. [1]

1.1 Technologické charakteristiky obrábění

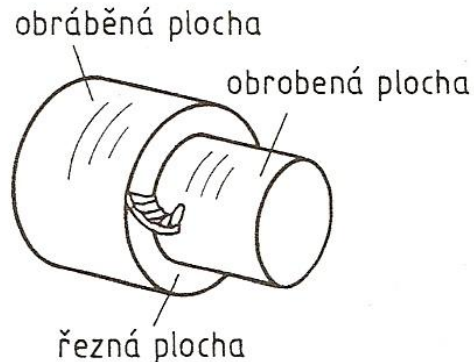
Obrábění je technologický proces, při kterém dochází k oddělování přebytečného materiálu ve formě třísky z obrobku břitem nástroje. Proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu se nazývá řezání neboli řezný proces. V závislosti na způsobu odebrání materiálu se rozlišuje řezný proces kontinuální (vrtání, vyhrubování, vystružování), diskontinuální (hoblování, obrážení) a cyklický (frézování, broušení). Obrábění se uskutečňuje v soustavě stroj – nástroj – obrobek (Obr. 1).



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

1.2 Obrobek

Obrobek je z geometrického hlediska charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou (řeznou) plochou (Obr. 2). Obráběná plocha je plocha, ze které je odebírán materiál řezáním. Obrobená plocha je výsledek řezného procesu. Přechodová plocha je část povrchu obrobku, která vzniká působením ostří nástroje během zdvihu nebo otáčky nástroje či obrobku.



Obr. 2. Obrobek [1]

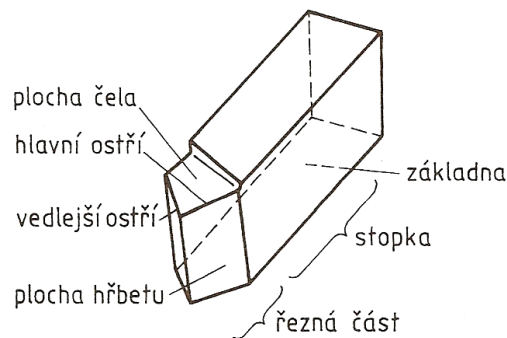
Obrobená plocha je z technologického procesu určená svým tvarem, rozměry, polohou, strukturou povrchu a vlastnostmi povrchové vrstvy. Identifikuje se souborem parametrů vztažených k jmenovité ploše, mezi něž patří zejména úchylka rozměru, tvaru, úchylka polohy, struktura povrchu a vlastnosti povrchové vrstvy. Tyto parametry jsou obecně funkcí souboru technologických faktorů, které souvisí s vlastnostmi obráběcího stroje, nástroje, obrobku, upínače a s hodnotami řezných podmínek.

Technologické vlivy na parametry obrobené plochy v závislosti na jejich charakteru lze členit na systematicky konstantní (chyba v seřízení stroje, úchylka tvaru a rozměru nástroje), systematicky proměnné (opotřebení nástroje, tepelné deformace prvků obráběcího systému), náhodné (rozptýlení přídavků na obrábění, rozptýlení vlastností obráběného materiálu). [2]

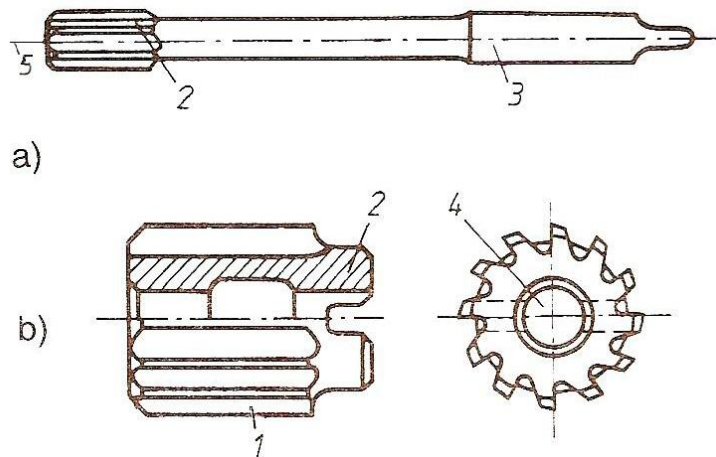
1.3 Nástroj

Je to aktivní prvek procesu obrábění. Řezná část nástroje obsahuje pracovní část - břít. Ten má tvar klínu, který je ohraničen plochou čela (po ní odchází tříška) a plochou hřbetu. Průsečnici ploch čela a hřbetu nazýváme ostří. Hlavní část nástroje má zpravidla hlavní ostří a vedlejší ostří (Obr. 3).

Nástroj je upínán za část nástroje, která se nazývá stopka nástroje. U vrtacího nástroje má stopka válcový nebo kuželový tvar (Obr. 4). U nožů je to těleso čtvercového nebo obdélníkového průřezu. [1]



Obr. 3. Soustružnický nůž [1]



1-břit, 2-těleso, 3-stopka, 4-upínací díra, 5-osa

Obr. 4. Strojní výstružník a) s kuželovou stopkou, b) nástrčný [1]

Břit je prvek řezné části nástroje ohraničený hřbetem a čelem nástroje.

Těleso je část nástroje, na které jsou vytvořené nebo upevněné části ostří

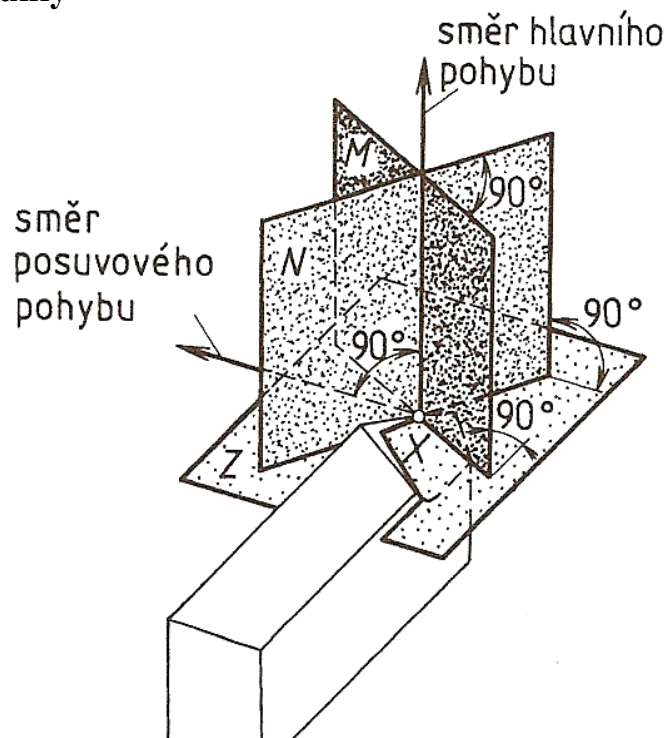
Upínací díra je souhrn vnitřních ploch tělesa nástroje, které jsou určené pro nastavení a upnutí nástroje

Osa nástroje je teoretická přímka s definovaným geometrickým vztahem ke stanovenému povrchu. Používá se při výrobě, upnutí a ostření nástroje. Je to středová přímka stopky nebo upínací díry nástroje. Obvykle je kolmá nebo rovnoběžná k danému povrchu nástroje.

Řezná část je funkční část nástroje, která obsahuje prvky tvořící třísku. Patří sem hlavně ostří, čelo a hřbet.

Základna je plochý prvek stopky nástroje, sloužící pro umístění a orientaci nástroje při jeho výrobě, kontrole či ostření. [2]

1.4 Roviny a úhly



M – ortogonální rovina, N – rovina hlavního ostří, Z – základní rovina, X – zvolený bod, ve kterém se určuje geometrie břitu

Obr. 5. Roviny nástroje [2]

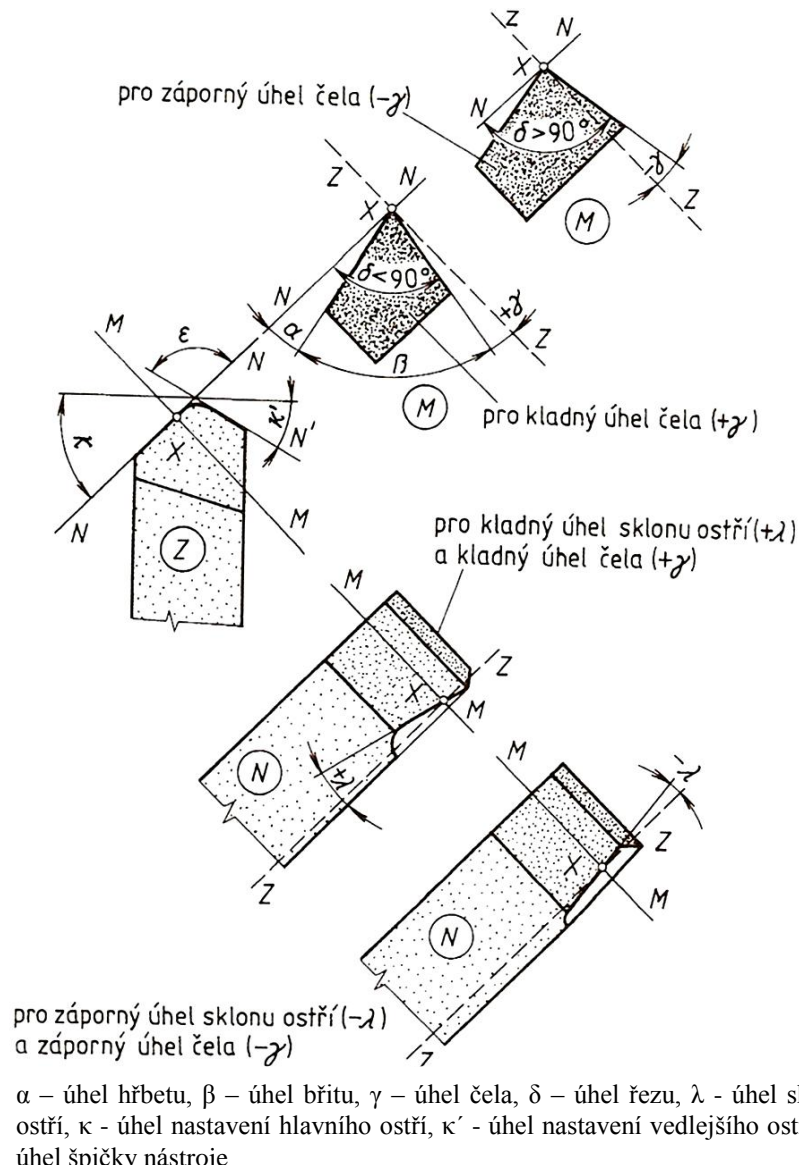
Základní rovina Z je rovina procházející zvoleným bodem hlavního ostří, ve kterém se geometrie břitu určuje. U nožů je to rovina rovnoběžná se základnou nebo s osou stopky (Obr. 5). U rotačních nástrojů je to rovina procházející osou nástroje.

Rovina hlavního ostří N je rovina tečná k hlavnímu ostří v bodě X, tedy v bodě, ve kterém se geometrie břitu určuje. Rovina hlavního ostří je kolmá k základní rovině.

Ortogonální rovina M je rovina kolmá k základní rovině i rovině hlavního ostří a prochází zvoleným bodem X, ve kterém se geometrie břitu určuje. Geometrický tvar břitu nástroje se určuje úhly (Obr. 6), které se vztahují k jednotlivým rovinám. Používá se následující terminologie a označení (Tab. 1):

Tab. 1. Terminologie a označení geometrie břitu [2]

Základní rovina		
Úhel nastavení hlavního ostří	K_r	Úhel mezi rovinou N a směrem posuvu nástroje
Úhel nastavení vedlejšího ostří	κ'	Úhel mezi rovinou N' a směrem posuvu nástroje
Úhel špičky nástroje	β	Úhel mezi rovinami N a N'
Ortogonální rovina		
Úhel hřbetu	α	Úhel mezi tečnou rovinou plochy hřbetu a rovinou N'
Úhel břitu	β	Úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a tečnou rovinou plochy hřbetu
Úhel čela	γ	Úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a roviny Z
Úhel řezu	δ	Úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a roviny N
Rovina hlavního ostří		
Úhel sklonu ostří	λ	Úhel mezi tečnou přímkou ostří a rovinou Z



Obr. 6. Úhly nástroje [1]

1.5 Kinematika obrábění

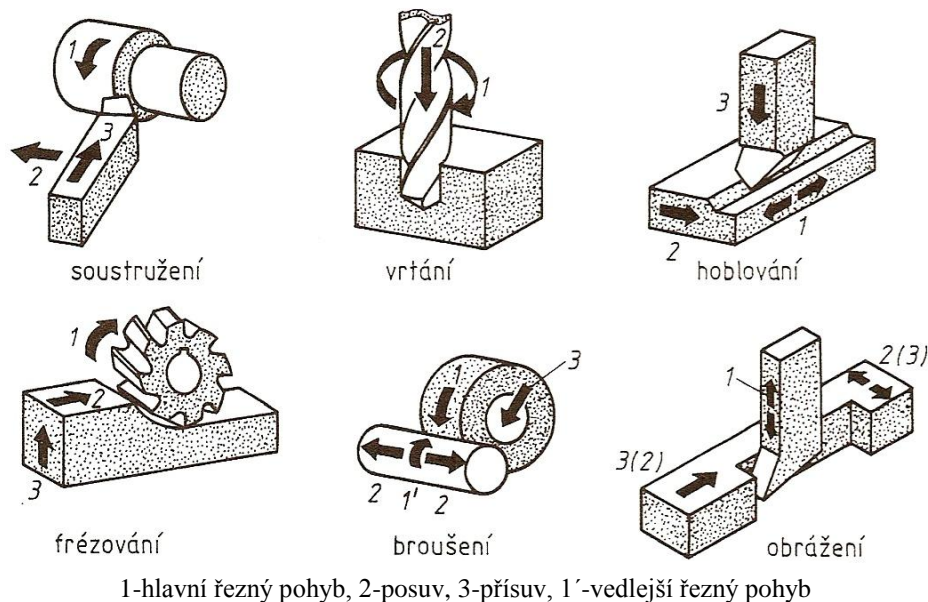
Řezný pohyb je vzájemný pohyb mezi obrobkem a nástrojem (Obr. 7). Uskutečňuje se určitou relativní rychlostí a po určité dráze. Ve většině případů obrábění je řezný pohyb složen ze dvou složek:

1. Z hlavního řezného pohybu, který se shoduje se základním pohybem obráběcího stroje. Například otáčivý pohyb vřetena u soustruhů, vrtaček, frézek apod.
2. Z vedlejšího řezného pohybu, který je zpravidla kolmý na hlavní řezný pohyb. Vedlejší řezný pohyb se nazývá posuv. Podle způsobů obrábění je posuv podélný, příčný nebo kruhový, plynulý nebo přerušovaný. [1 str. 59]

Velikost posuvu se vyjadřuje:

- délkou dráhy s (f) v mm na jednu otáčku vřetene, je-li posuv odvozen od hlavního pohybu
- délkou dráhy s_z (f_z) v mm na jeden zub nástroje, např. frézy či výstružníku, je-li posuv odvozen od hlavního pohybu
- rychlost posuvu v_f v $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$, pokud není posuv závislý na hlavním pohybu, např. pracovní stůl frézky, rychlost posuvu $v_f = s \cdot n$ ($v_f = f \cdot n$), pokud je posuv odvozen od hlavního pohybu, např. suport soustruhu

Přísuv je vzájemný pohyb mezi obrobkem a nástrojem. Je zpravidla kolmý na obráběnou plochu a umožňuje nastavení hloubky řezu h . [1]



Obr. 7. Řezné pohyby [1]

Výsledný řezný pohyb je geometrickým součtem hlavního pohybu a posuvu. Rychlost posuvu v_f je v porovnání s rychlostí hlavního pohybu v zanedbatelná (asi tisíckrát menší) a nemá na rychlost výsledného pohybu podstatný vliv. Proto se rychlost hlavního pohybu nazývá řezná rychlost v . Pro otáčivý pohyb se určí podle vztahu: [1 str. 60]

$$v = \pi \cdot D \cdot n \quad (1)$$

Kde:

D - průměr obrobku nebo nástroje [m]

n – otáčky vřetene [min^{-1}]

U přímočarého pohybu je řezná rychlost dána rychlostí pracovního stolu

1.6 Řezné prostředí

Prostředí v řezné oblasti má významný vliv na kvalitativní a ekonomické parametry řezného procesu. Nejčastěji se používají jako řezná média kapaliny, plyny a mlhy.

Z technologického a provozního hlediska se na řezné prostředí specifikují určité požadavky, mezi které patří zejména:

- chladičí účinek,
- mazací účinek,
- čistící účinek,
- provozní stálost,
- ochranný účinek,
- přiměřené náklady,
- zdravotní nezávadnost.

Chladičí účinek je schopnost řezného prostředí odvádět teplo z oblasti řezu. Prostředí, které smáčí povrch kovů má schopnost chladičího účinku. Tohoto účinku se dosahuje také v případě, že existuje mezi povrchem obrobku a prostředím tepelný spád. Odvod tepla se uskutečňuje tím, že řezné prostředí obklopuje třísku, obrobek i nástroj a přejímá část vzniklého tepla. Důležité je množství chladičího média. Výparné teplo zvyšuje chladičí účinek prostředí, ale přílišné odpařování chladičího média je nežádoucí. Z hlediska čistoty a zdraví je v některých případech nutné vznikající páry odsávat.

Mazací účinek je schopnost prostředí vytvořit mezi nástrojem a obrobkem vrstvu maziva, které snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem a brání přímému styku kovových materiálů. Mazací účinek zajišťuje zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a zlepšení jakosti povrchu obráběného povrchu. Mazacího účinku se využívá především u dokončovacích obráběcích operací a při provádění náročných operací (protahování, výroba závitu, ozubených kol...)

Čistící účinek zajišťuje odvod třísek z oblasti řezání a zlepšuje tak např. vlastnosti broušícího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry. Řezné prostředí má také zamezit slevování částic, vznikajících při řezání. Největší význam má čistící účinek u operací, kdy řezné prostředí musí odnášet třísky z oblasti řezu (výroba závitu, hlubokých děr, broušení).

Provozní stálostí rozumíme dobu výměny řezného prostředí. Žádoucí je dlouhodobost řezného prostředí, která zaručuje, že se jeho vlastnosti nebudou po tuto dobu měnit. Stárnutí řezného prostředí se může projevit i jako porucha stroje.

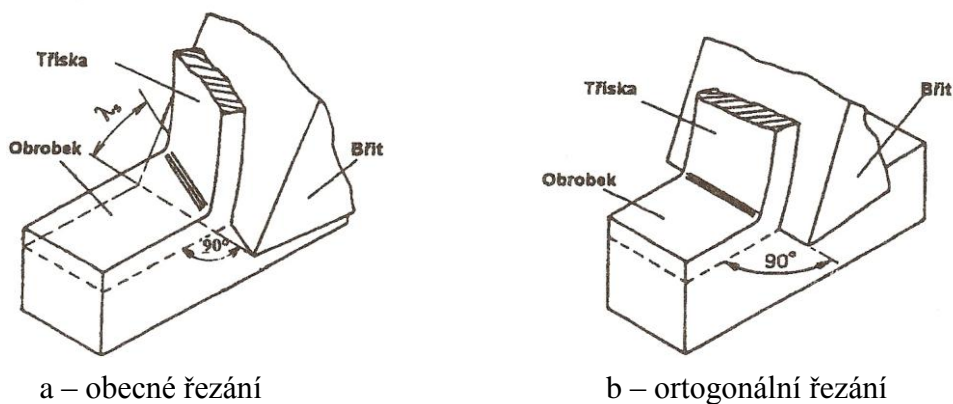
Ochranný účinek řezného prostředí se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje tak korozi. Cílem tohoto požadavku je to, aby se nemusely výrobky mezi operacemi konzervovat a aby se také stroje ubránily korozi. Do řezného prostředí jsou proto přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům.

Přiměřené náklady se týkají především spotřeby řezného média. Nejprve je nutné posoudit vliv řezného média na proces obrábění (trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku, spotřeba energie). Následuje hodnocení řezného prostředí s ohledem na jeho provozní stálost, spotřebu a výměnu. Je třeba brát v úvahu také náklady na likvidaci řezného prostředí. Jedině díky podrobnému technicko-ekonomickému rozboru se může rozhodnout o vhodnosti daného druhu řezného prostředí.

Zdravotní nezávadnost je požadavek vycházející z toho, že při obsluhování obráběcího stroje dochází ke styku pracovníka s nosným médiem. Z toho důvodu nesmí být prostředí zdraví škodlivé. Řezné prostředí také nesmí zamořovat okolí nepříjemným zápachem. V provozu je nutné dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření (větrání, umývání...) [2]

1.7 Mechanismus tvorby třísky

Řezný proces se může realizovat jako obecné řezání nebo ortogonální (Obr. 8).

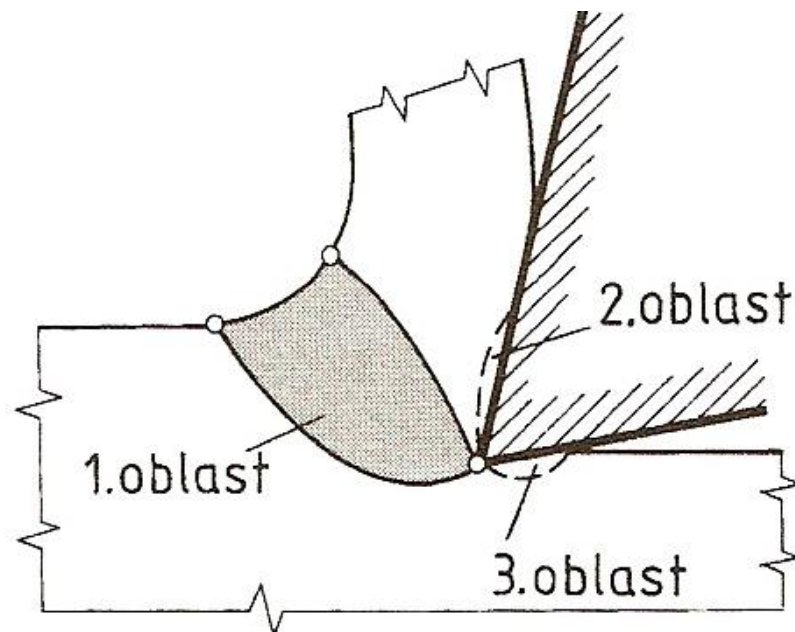


Obr. 8. Realizace řezného procesu [2]

Při obecném řezání je potřeba řešit danou problematiku v prostoru (vrtání, podélné soustružení, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici).

Při ortogonálním řezání je ostří kolmé na směr rezného pohybu a daná problematika se řeší v rovině (protahování, zapichování frézování nástrojem s přímými zuby)

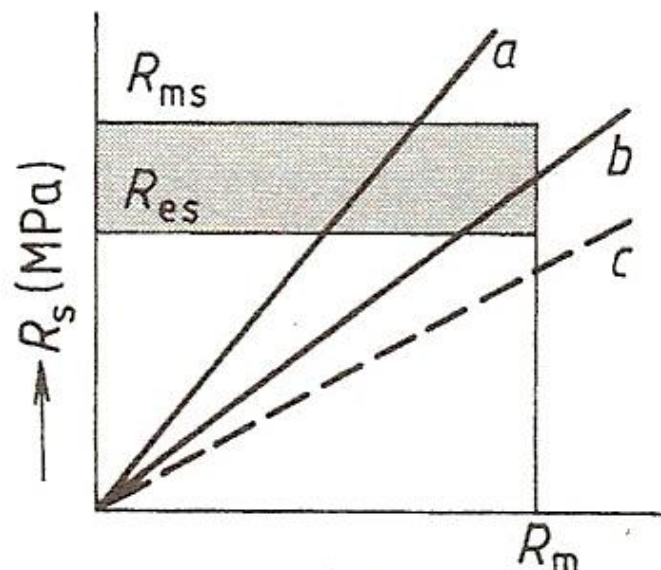
Při obrábění materiálu probíhá proces oddělování třísky vlivem trvalého zatěžování odřezávané vrstvy rezným nástrojem. Při pronikání břitu nástroje do obrobku je materiál odřezávané vrstvy značně deformován a namáhán. Podle experimentálních výsledků probíhá deformace převážně v oblasti primárních plastických deformací (Obr. 9). Velikost deformací odřezávané vrstvy a charakter namáhání jsou závislé především na druhu a vlastnostech obráběného materiálu. Mechanismus tvorby a oddělování třísky se liší u krystalických a nekystalických látek. Při obrábění krystalických látek dochází při vnikání břitu nástroje do obrobku k plastické deformaci obráběného materiálu a vzniká tříška tvářená. Netvářená tříška vzniká u nekystalických látek. U těchto látek nedochází k plastické deformaci a tříška vzniká křehkým lomem nebo štěpením.



1. oblast – oblast primárních plastických deformací 2. oblast – oblast sekundárních plastických deformací 3. oblast – oblast plastických deformací obrobkové plochy

Obr. 9. Oblast plastických deformací [1]

Podle poměru pevnosti ve smyku a v tahu obráběného materiálu mohou nastat tyto možnosti (Obr. 10):



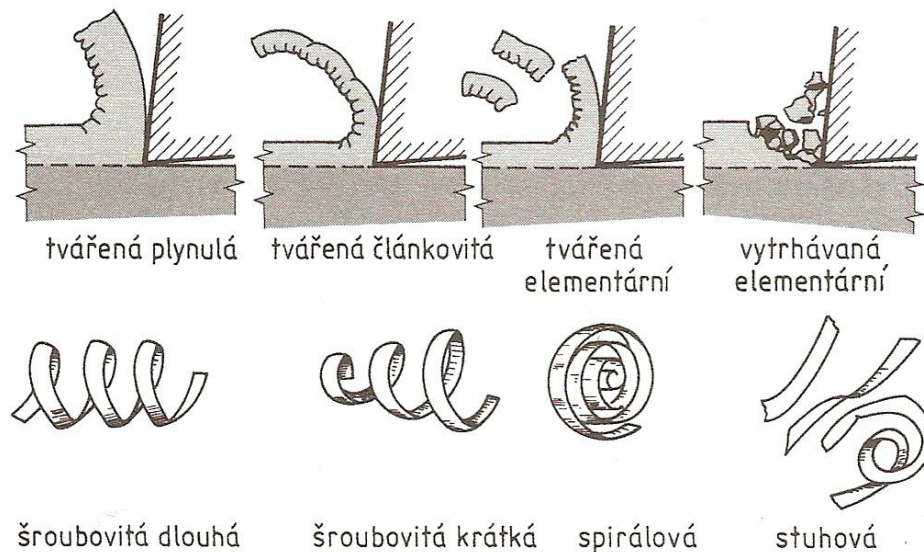
R – normálové napětí, R_m – pevnost v tahu, R_{ms} – pevnost ve stříhu, R_s – tečné napětí (ve stříhu), R_{es} – mez kluzu ve stříhu

Obr. 10. Způsoby namáhání odřezávané vrstvy [1]

1. Při **namáhání podle přímky a** dosáhne tečné napětí meze kluzu ve stříhu R_{es} a meze pevnosti ve stříhu R_{ms} dříve než normálové napětí meze pevnosti v tahu R_m . Materiál odřezávané vrstvy se intenzivně plasticky tváří a následně odděluje. Vzniká tak tříška tvářená plastickým kluzem. Je celistvá, soudržná a může být plynulá nebo článkovitá (Obr. 11). Je typická při obrábění ocelí, mědi, slitin hliníku a podobných houževnatých kovových materiálů.

2. **Namáhání podle přímky c.** Při tomto namáhání dosáhne normálové napětí meze pevnosti v tahu R_m dříve než tečné napětí meze kluzu ve stříhu R_{es} . Materiál odřezávané vrstvy je odtržen, aniž by došlo ke tváření. Vzniká tříška štěpením. Tato tříška je typická pro obrábění dřeva, skla, plastů. Jde o elementární třísku vytrhávanou (Obr. 11).

3. Při **namáhání podle přímky b** dosáhne sice normálové napětí meze pevnosti v tahu R_m dříve než tečné napětí meze pevnosti ve stříhu R_{ms} , ale později než meze ve stříhu R_{es} a materiál je před odtržením částečně tvářen. Vzniká elementární, částečně tvářená tříška (Obr. 11), která je typická pro obrábění litiny, bronzů a podobných křehkých kovových materiálů. [1]



Obr. 11. Druhy a tvary třísek [1]

Plynulá tříška je na straně čela nástroje hladká a na své vnější straně drsná. Tvoří přímé pásy nebo se stáčí do různých křivek od šroubovic až po spirály. *Člankovitá tříška*, která je na straně čela nástroje rovněž hladká, je na své vnější straně členitá až pilovitá. Soudržnost jednotlivých elementů je menší a snadno se láme na menší části. *Elementární tříška*, která není tvářená nebo jen částečně, je na straně čela nástroje drsná. Na své vnější straně zachovává drsnost obráběné plochy. [1 str. 86]

1.7.1 Objemový součinitel třísky

Objemový součinitel třísky K_{Vo} zavádí k vyjádření velikosti objemu, který třísky zaujmají. Vyjadřuje poměr objemu třísek při jejich hromadění (V_t) k objemu, který zaujímal materiál před obrobením (V_m).

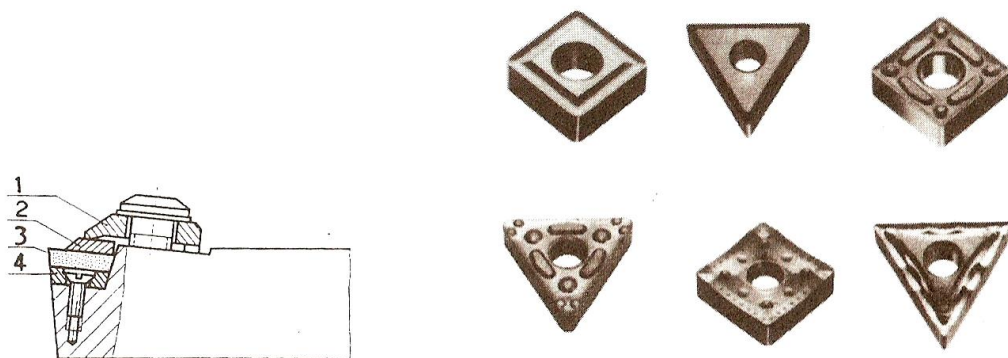
$$K_{Vo} = \frac{V_t}{V_m} > 1 \quad (2)$$

Třísky zaujmají značný prostor, pokud je nevhodně zvolena geometrie břitu. Rovněž nevhodně zvolené rezné podmínky negativně navyšují objem třísek. Objemový součinitel třísek může nabývat až hodnot kolem 400. Je ohrožena plynulost práce a třísky se z pracovního prostoru obráběcího stroje obtížně odstraňují. Snahou je vytvořit takové podmínky, aby byl objemový součinitel třísky co nejmenší.

Objemový součinitel třísky K_{Vo} lze zmenšit:

- Zvolením vhodného materiálu s tendencí tvořit drobnou třísku (například automatovou ocel s obsahem síry až 0.3%)
- Změnou geometrie břitu
- Změnou řezných podmínek
- Použitím tzv. utvařečů třísek

Příložné utvařeče třísek se používají u nástrojů s vyměnitelnými destičkami (Obr. 12). Utváření třísek se může rovněž řešit vytvořením žlábků a výstupků přímo v samotných břitových destičkách. U nástrojů se zápornými úhly čela se utvařeče téměř neuplatňují, protože tříska je zde intenzivně tvářena. [1]



a) Příložný utvařeč, 1 - upínka, 2 – utvařeč třísek, 3 – břitová destička, 4 – podložka, b) předlisované utvařeče

Obr. 12. Utvařeče třísek [1]

2 DRSNOST POVRCHU

Předpokladem správné funkce strojních součástí je kromě rozměrové a tvarové přesnosti také vhodná jakost povrchu jejich funkčních ploch.

Na skutečném povrchu součásti jsou zřejmé minimální nerovnosti, které jsou tvořeny výstupky a prohlubněmi přibližně stejného průběhu v celé ploše. Tvar a velikost těchto nerovností jsou závislé na druhu obrábění, technologických podmínkách a druhu obráběného materiálu.

Stupeň drsnosti povrchu se určuje buď porovnáním se vzorovými etalony nebo změřením hodnot udávajících charakteristiku drsnosti povrchu. [3]

Mezinárodní norma uvádí tyto parametry drsnosti povrchu:

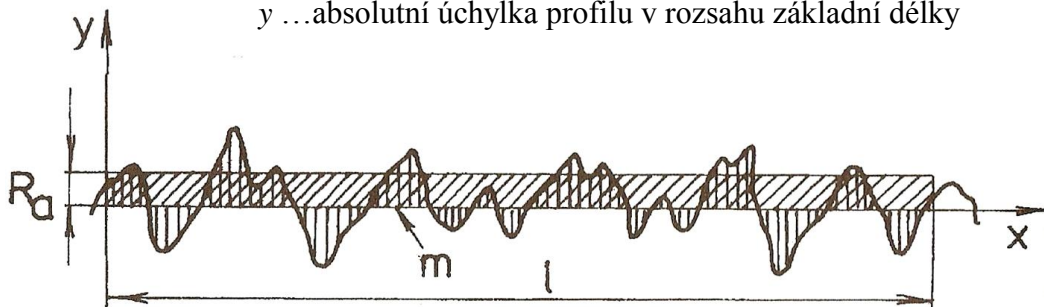
2.1 Střední aritmetická úchylka profilu R_a

Střední aritmetická úchylka (Obr. 13) je určena vztahem:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (3)$$

kde l ... základní délka

y ... absolutní úchylka profilu v rozsahu základní délky



Obr. 13. Grafické vyjádření R_a [3]

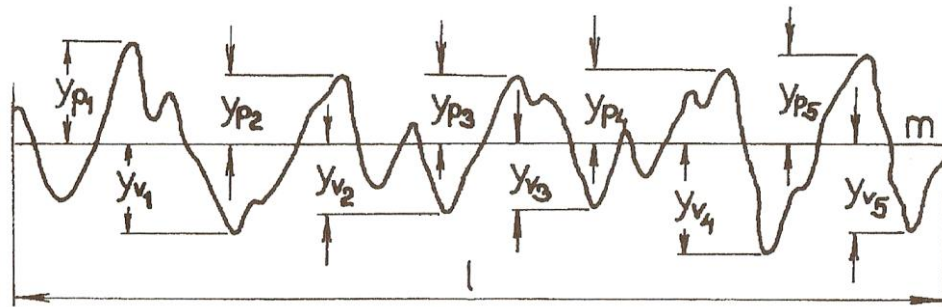
2.2 Výška nerovností profilu z deseti bodů R_z

Výška nerovností profilu z deseti bodů (Obr. 14) je určena vztahem:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{j=1}^5 |y_{vj}|}{5} \quad (4)$$

kde y_{pi} ... výška i -tého nejvyššího výstupku profilu

y_{vj} ... hloubka j -té nejnižší prohlubně profilu



Obr. 14. Grafické vyjádření R_z [3]

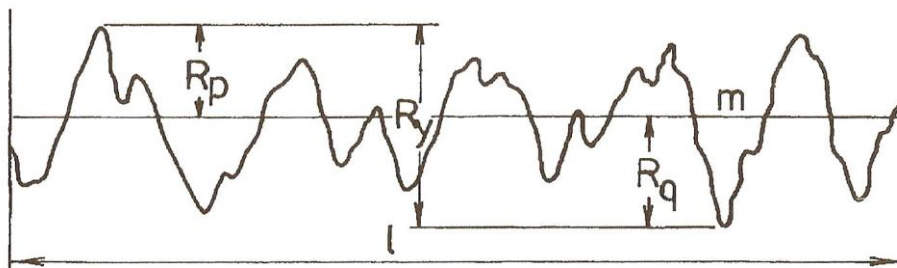
2.3 Největší výška nerovností profilu R_y

Největší výška nerovnosti (Obr. 15) plyne ze vztahu:

$$R_y = R_p + |R_q| \tag{5}$$

kde R_p ... výška nejvyššího výstupku profilu

R_q ... hloubka nejvyšší prohlubně profilu



Obr. 15. Grafické vyjádření R_y [3]

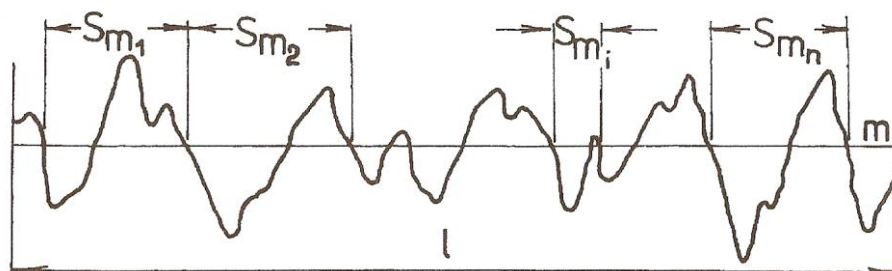
2.4 Střední rozteč nerovností profilu S_m

Střední rozteč nerovností profilu (Obr. 16) je dána vztahem:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi} \tag{6}$$

kde S_{mi} ... počet nerovností profilu

n ... počet roztečí nerovnosti profilu v rozsahu základní délky



Obr. 16. Grafické vyjádření S_m [3]

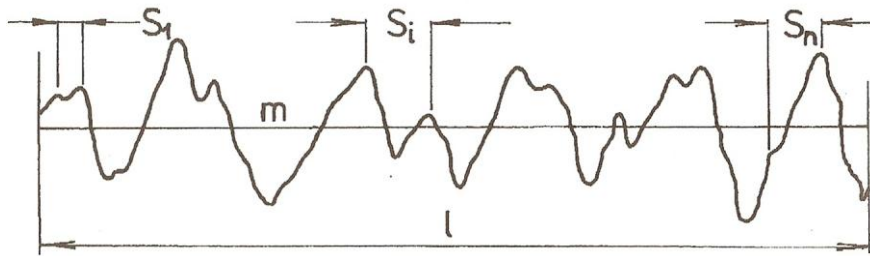
2.5 Střední rozteč místních výstupků profilu S

Střední rozteč místních výstupků profilu (Obr. 17) je dána vztahem:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_j \quad (7)$$

kde S_j ...rozteč místních výstupků profilu

n ...počet místních výstupků profilu v rozsahu základní délky



Obr. 17. Grafické vyjádření S [3]

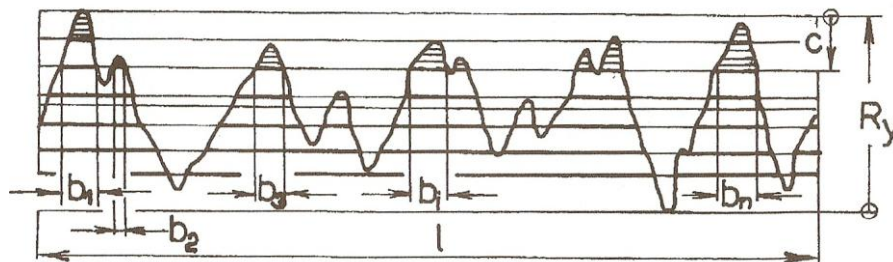
2.6 Nosný podíl profilu t_p

Nosný podíl profilu (Obr. 18) je dán vztahem:

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \quad (8)$$

kde η_p ...nosná délka

l ...základní délka



Obr. 18. Grafické vyjádření t_p [3]

3 MATERIÁLY OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ

Správná volba nástrojového materiálu a jeho zpracování je základním požadavkem dobré a spolehlivé práce konstruovaného nářadí. Volbu řídíme druhem jeho namáhání. Řezná hrana je namáhána na ohyb či tlak většinou za vysoké teploty. Působením difuze, adheze a abraze vzniká otěr řezných ploch. Materiál nástroje musí těmto vlivům odolávat. Je nutné, aby materiál odolával vysokým teplotám, měl velkou tvrdost a stálost, odolnost proti opotřebení a spolehlivost při tepelném zpracování. [4]

V dnešní době se pro řezné nástroje využívá především těchto materiálů:

- 1) Nástrojové oceli (Tab. 2)
- 2) Slinuté karbidy
- 3) Cermety
- 4) Keramické řezné materiály
- 5) Supertvrdé řezné materiály

3.1 Nástrojové oceli

Tab. 2. Rozdělení a označování nástrojových ocelí

Označení oceli	Význam třetí číslice v základní značce oceli	
19 0xx 19 1xx 19 2xx	Dvojčíslí ze 3. a 4. Číslice vyjadřuje střední obsah uhlíku	Nelegované nástrojové oceli
19 3xx	Manganové, vanadové, křemíkové oceli	Legované nástrojové oceli
19 4xx	Chrómové oceli	
19 5xx	Chrómmolybdenové oceli	
19 6xx	Niklové oceli	
19 7xx	Wolframové oceli	
19 8xx	Rychlořezné oceli	
19 9xx	Volné	

Nástrojové nelegované oceli jsou vhodné především pro ruční nástroje (výstružníky, závitníky, dláta, pily, pilníky apod.) Pro strojní nástroje se používají jen výjimečně. Neobsahují legury a jejich vlastnosti jsou dány pouze obsahem uhlíku.

Nástrojové legované oceli

- **Manganové oceli 19 3xx**

Karbidy manganu se tvoří, pokud ocel obsahuje alespoň 20% manganu. Menší obsah manganu sice neovlivňuje tvrdost oceli, ale zpomaluje překrystalizaci po kalení. Oceli obsahující asi 2% Mn jsou rozměrově velmi stálé (při kalení se deformují minimálně). Výsledná tvrdost je u manganových ocelí téměř stejná jako u nelegovaných ocelí. Používají se zejména tam, kde je nutné dodržet tvarovou a rozměrovou přesnost (ruční výstružníky, závitníky apod.)

- **Chrómové oceli 19 4xx**

Chrómové oceli jsou důležitou přísadou u legovaných ocelí. Způsobuje tvorbu samostatných karbidů vysoké tvrdosti a stabilizuje karbidy ostatních prvků. Zvyšuje tak tvrdost a otěruvzdornost oceli. Zvyšuje také prokalitelnost. Při obsahu 4% Cr jsou oceli kalitelné na vzduchu. Jsou vhodné pro nástroje, u kterých se vyžaduje vysoká tvrdost, houževnatost a snadné tepelné zpracování (vrtáky, výstružníky, tvarové nože, závitořezné oceli, protahovací trny apod.) Lze s nimi obrábět také tvrdé materiály, jako jsou sklo nebo mramor a materiály se špatným odvodem tepla (polymery).

- **Wolframové oceli 19 7xx**

Wolfram se často kombinuje s chromem a dalšími prvky. Tvoří více druhů karbidů, které jsou velmi stabilní a tvrdé. Wolframové oceli vykazují vysokou tvrdost a odolnost proti otěru. Tyto oceli zachovávají vysokou tvrdost i za zvýšené teploty. Díky wolframu se měrná tepelná kapacita oceli zvyšuje a snižuje se jejich tepelná vodivost. Z toho důvodu jsou wolframové oceli velmi náročné na tepelné zpracování. Používají se na nejpřesnější šroubovitě vrtáky, výstružníky, chirurgické nástroje apod.

- **Rychlořezné oceli 19 8xx**

Tyto oceli by měly svým vysokým obsahem wolframu patřit mezi wolframové oceli. Pro své značně odlišné vlastnosti byly však zařazeny do samostatné skupiny. Obsahují karbidotvorné prvky wolfram, chrom, molybden a vanad a nekarbidotvorný kobalt. Rychlořezné oceli obsahují méně než 1% uhlíku. Podle obsahu legujících prvků jsou vhodné pro řezné nástroje na obrábění ocelí, ocelí na odlitky o vysoké pevnosti a těžkoobrobitelných materiálů. Jsou charakteristické vysokou lomovou pevností. Rychlořezné oceli mají široké pole uplatnění (tvarové nástroje, výstružníky, závitníky, frézy menších rozměrů nebo u nástrojů, které jsou vystaveny během obrábění rázům při přerušovaném řezu). Rychlořezná ocel je

houževnatá a v žíhaném stavu se dá relativně snadno obrábět. Nástroje z rychlořezné oceli snáší teplotu bříty až do 700°C. [5]

Rychlořezné oceli vyráběné práškovou metalurgií (PMRO)

Vyrábí se lisováním ingotů nebo tvarováním řezných elementů i celých nástrojů z práškové oceli s následným slinováním. Ingoty se dále tváří klasickým způsobem. PMRO vykazují vysokou homogenitu struktury oceli a umožňují výrobu nekonvekčního chemického složení ocelí, tj. obsahu losovacích prvků a uhlíku, kterého nelze klasickou metalurgií dosáhnout. PMRO ve srovnání s rychlořeznou ocelí, vykazují lepší obrobiteľnost broušením a vyšší houževnatost. Jsou vhodné pro všechny typy nástrojů a způsoby obrábění. Jejich cena je pochopitelně vyšší. [1 str. 73]

Velmi rozšířený způsob výroby rychlořezných ocelí práškovou metalurgií je metoda ASP (Anti-Segregation-Process) (Tab. 3).

Tab. 3. Slož. vybraných druhů rychlořez. ocelí ASP vyrobených práš. Metalurgií [2]

ASP	Složení						Tvrдость HV
	C	Cr	Mo	W	V	Co	
23	1,28	4,2	5,0	6,4	3,1	-	840-900
30	1,28	4,2	5,0	6,4	3,1	8,5	
60	2,3	4,0	7,0	6,5	6,5	10,5	

3.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou produktem práškové metalurgie. Vyrábějí se z karbidů těžkých kovů: karbidu wolframu (WC), karbidu tantalu (TaC), karbidu titanu (TiC) (Tab. 4) a nízkotavitelného slinova k Cobaltu.

Slinuté karbidy nejsou slitinou, nýbrž směsí dvou a více fází. Následné tepelné zpracování už není možné. Jelikož jsou velice tvrdé, dají se tvarově a rozměrově upravovat jen v omezené míře a to pouze broušením, elektroerozivním obráběním či lapováním.

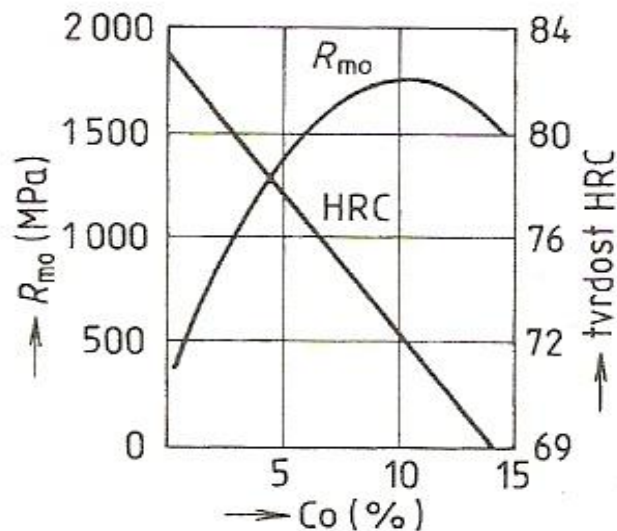
Slinuté karbidy se vyrábějí ve tvaru destiček normalizovaných tvarů a velikostí, které se buď pájí, nebo častěji mechanicky upevňují na řeznou část nástroje. Tyto destičky mají několik ostří, které lze otáčením postupně využít. Po otupení všech ostří se destička nedá používat (nedá se ostřit) a vyřadí se.

Množstvím jednotlivých složek při výrobě slinutých karbidů se dá ovlivňovat řada vlastností (tvrдость, houževnatost a odolnost proti otěru).

Tab. 4. Vlastnosti způsobující jednotlivé karbidy

WC (Karbíd Wolframu)	Zaručuje: tvrdost za vysoké teploty, odolnost proti opotřebení a chemickou stálost
TiC (Karbíd titanu)	Zvyšuje tvrdost a chemickou stálost za vyšších teplot, snižuje pevnost v ohybu a zvyšuje křehkost
TaC (Karbíd tantalu)	Podobné jako TiC a navíc zjemňuje strukturu slinutých karbidů

Kobalt jako nekarbidotvorný prvek vytváří pojivo mezi zrný karbidů. Karbidy wolframu jsou při slinování rozpustné v kobaltu, a proto kobalt vytváří pojivo značně houževnaté a je nositelem pevnosti slinutých karbidů v ohybu. Zvyšování obsahu kobaltu roste tažnost a pevnost. Dochází však také ke snižování tvrdosti (Obr. 19).



Tvrdost podle rockwella (HRC), pevnost v ohybu (R_{mo})

Obr. 19. Závislost HRC a pevnosti v ohybu slinutých karbidů na obsahu kobaltu [1]

Pro větší rozsah použití se vysocehouževnaté slinuté karbidy povlakuji několika vrstvami karbidů speciálních vlastností, které zajišťují tvrdost a ořezuvzdornost, a tím tak zvyšují životnost nástroje a jakosti povrchu obrobku. Zvyšují také odolnost proti zvýšeným teplotám a zaručují přilnavost dalších vrstev povlaků. [1]

Třídění a značení slinutých karbidů:

Z důvodu velkého množství druhů slinutých karbidů se zavedlo jejich třídění a značení, které umožňuje snadnou a správnou volbu slinutých karbidů. Soustava ISO rozděluje slinu-

té karbidy podle chemického složení do tří skupin: P, M, K. Každá ze skupin je značena jinou barvou (Tab. 5).

Tab. 5. Třídění a značení slinutých karbidů

Skupina slinutých karbidů	Oblast použití, barva
P	Pro obrábění houževnatých materiálů s tvářenou třískou (oceli, oceli na odlitky, temperované litiny) Barva: modrá
M	Pro univerzální použití k obrábění všech druhů litin, ocelí a těžko obrobitelných slitin Barva: žlutá
K	Pro obrábění materiálu s drobivou třískou (šedé litiny, kalené oceli, plasty) Barva: červená
Dále se slinuté karbidy dělí v každé skupině podle mechanických vlastností číselným označením (01, 10, 20, 30, 40...)	

3.3 Cermety

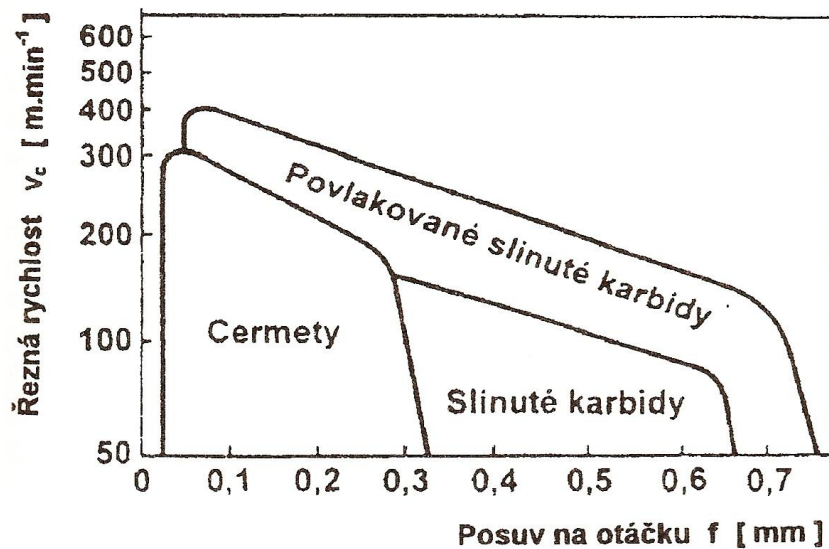
Jsou to řezné materiály obsahující tvrdé částice (TiC, TiN, TiCN, TaN) v kovovém pojivu (Co, Ni, Mo), které jsou vyráběny práškovou metalurgií.

Kovová složka zajišťuje vysokou tvrdost a s tím také větší odolnost proti deformaci. Cermety však nejsou tak houževnaté jako slinuté karbidy. Nekovové složky vhodně ovlivňují součinitele tření. Používají se proto především na dokončovací operace. V praxi se mezi cermety počítají materiály na bázi karbidu titanu, nitridu titanu a karbonitridu.

Tvrdost cermetů je srovnatelná s tvrdostí slinutých karbidů. Houževnatost je však nižší. Pevnost cermetů je zhruba o 15 – 25 % nižší než u slinutých karbidů. Odolnost proti změně teploty je u cermetů nižší, proto se omezuje jejich použití při přívodu řezné kapaliny.

Někdy se kovokeramická heterogenní soustava doplňuje oloven, které se při prudkém vzrůstu vlivem tření nataví a výrazně tak snižuje tření.

Použití cermetů je vhodné k obrábění ocelí, litiny, lité oceli, neželezných kovů a snadno obrobitelných slitin. Používají se ve formě vyměnitelných destiček pro frézování, řezání závitů a soustružení. [5]



Obr. 20. Oblasti řezných podmínek při soustružení běžných ocelí [2]

3.4 Keramické řezné materiály

Keramické řezné materiály jsou materiály používané pro specifické účely. Pro jejich výrobu je základní surovinou levný a dostupný oxid hlinitý nebo nitrid křemíku. Keramické řezné materiály se vyrábí nejčastěji práškovou metalurgií a rovnou slinováním lisovaných prášků do tvaru řezných destiček. Jejich pevnost v ohybu je velmi malá, a proto nejsou vhodné k obrábění přerušovaným řezem a k obrábění větších průřezů třísek. V porovnání se slinutými karbidy jsou keramické řezné materiály při stejné tvrdosti mnohem odolnější proti otěru. Snášejí velkou teplotu na břitu (až 1 200 °C) a mohou být použity při řezných rychlostech 300-1600 m.min⁻¹. Destičky z keramických řezných materiálů se po otupení všech řezných hran (6 až 8) neostří, dále se nepoužívají a vyhazují se. Oblasti řezných podmínek při obrábění běžných ocelí jsou na obrázku 20. [1]

3.5 Supertvrde řezné materiály

- polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB)
- polykrystalický diamant (PD)

V současnosti představují polykrystalický kubický nitrid boru a polykrystalický diamant nejtvrděší řezné materiály. Proto se materiály, které obsahují PKNB a PD, označují jako supertvrde řezné materiály.

Polykrystalický kubický nitrid boru je zvláště tvrdý řezný materiál. Jeho tvrdost se blíží tvrdosti diamantu. Vyrábí se při vysokých teplotách a tlacích, při nichž se dosahuje spojení kubických krystalů bóru s kovovým nebo keramickým pojivem. Vykazuje vysokou tvrdost i

při teplotách kolem 2000°C. Nasazení řezných destiček z PKNB se předpokládá u obrábění kalené oceli, nežíhané tvrdé litiny apod.

Polykrystalický diamant dosahuje tvrdosti téměř jako monokrystalický přírodní diamant. Jemné krystalky diamantu jsou spojovány slinováním za vysokých teplot a tlaků. Malé břity PD jsou umístěny na vyměnitelné břitové destičce ze slinutého karbidu, která zaručuje odolnost proti rázům a tepelným šokům. Trvanlivost břitu je mnohonásobně vyšší než u břitů ze slinutých karbidů. PD je doporučen pro obrábění všech neželezných kovů a nekovových materiálů. Dále slitiny hliníku, titanu a mědi. Je vhodný pro soustružení, vrtání a frézování. [2]

3.6 Broušící materiály

K výrobě broušících materiálu (Tab. 6) se používá brusivo a pojivo. Brusivo jako řezný materiál a pojivo jako tmelící materiál.

Brusiva (ostřiva) jsou ostrohranná zrna různé velikosti (velmi jemná, jemná, střední a hrubá), jejichž ostré hrany vystupují z broušícího nástroje a tím vznikají břity s různou geometrií. Brusiva se dělí na přírodní a umělá podle svého původu.

Přírodní brusiva nemají v současné době valný význam (kromě diamantu). Používají se převážně k výrobě broušících pláten.

Umělá brusiva se používají výhradně pro výrobu broušících nástrojů.

Tab. 6. Vybrané broušící materiály [1]

Broušící materiály	Označení	Broušený materiál
Umělý korund (Al_2O_3)	A 96 (hnědý)	Ocel, ocel na odlitky, temperovaná litina, tvrdé bronzy
	A 98 (růžový)	
	A 99 (bílý)	
Karbid křemíku (SiC)	C 48 (světle šedý)	Šedá litina, mosaz, měď, nitridované oceli, měkké bronzy, sklo, kámen
	C 49 (zelený)	
Karbid boru (B_4C)	B	Slinuté karbidy, leštění diamantů
Kubický nitrid boru	BN	Rychlostní broušení a tvrdé materiály

Ke stmelení brusiva slouží pojiva (Tab. 7). Pojivo s brusivem spolu vytvářejí různé tvaary broušících nástrojů (kotouče, kameny, pasty a jiné)

Tab. 7. Pojiva brousících materiálů [6]

Pojivo	Označení
Keramické	V
Pryžové	R
Pryžové s výztuží	RF
Umělá pryskyřice	B
Umělá pryskyřice s výztuží	BF
Magnezitové	Mg
Polyuretanové	U
Plastické	PL
Šelakové	E

U brousících nástrojů určujeme:

- Zrnitost – označujeme číslem, které závisí na měrném rozměru
- Tvrdost – určuje odolnost zrn brusiva proti vydrolování
- Strukturu – určuje poměr obsahu brusiva, pojiva a pórů v brousícím nástroji
- Druh brusiva – určuje brousící materiál, který byl použit pro výrobu nástroje
- Pojivo – určuje, z jakého materiálu je pojivo pro brousící nástroj vyrobeno [1]

3.7 Volba materiálu tělesa nástroje

Těleso nástroje je konstrukční prvek, u kterého je nezbytné vhodně kombinovat pevnost a houževnatost, odolnost proti opotřebení, případně vnitřní tlumení. Jako materiál tělesa nástroje se používá konstrukční ocel, nástrojová ocel, slinutý karbid, nebo titanová slitina. Důležitá hlediska pro volbu tohoto materiálu jsou:

- Vhodnost ke zvolenému tepelnému zpracování
- Schopnost materiálu k pájení (u nástrojů s pájenými břity)
- Pevnost materiálu (1000 - 1500 MPa)

Odolnost proti opotřebení se u tělesa nástroje zajišťuje:

1. Prokalením celého průřezu tělesa. Vhodné oceli: 14 240, 14 260, 15 230, 15 241, 15 260
2. Nitridace nebo cementace a následné kalení. Vhodné oceli: 12 010, 12 020, 14 220, 14 340, 15 340

Speciální případy konstrukce:

- Pro nástroje s pájenými břity se používají oceli 14 260 a 15 230. Tyto oceli je nutné tepelně zpracovat.
- Díly, které nesmí podlehnout korozi, se zhotovují z oceli 17 029.
- Tělesa dlouhých vyvrtávacích tyčí se vyrábějí ze slinutých karbidů nebo ze slitin titanu. [7]

4 NÁSTROJE A STROJE PRO VÝROBU OTVORŮ

Do skupiny nástrojů pro výrobu děr patří:

Pro válcové otvory:

1. Vrtáky
2. Výhrubníky
3. Výstružníky

Pro tvarové otvory:

1. Záhlubníky
2. Vyvrtávací tyče

Jmenovitý průměr nástroje je charakteristickým konstrukčním prvkem těchto nástrojů. Návrh a výpočet nástrojů pro výrobu otvorů se v praxi provádí pouze v případě, pokud nelze použít nástroj dodávaný specializovaným výrobcem. Nástroje pro výrobu otvorů běžných rozměrů jsou dodávány jako normalizované. [4]

4.1 Vrtání

Vrtání je druhou nejčastěji používanou operací ve strojírenské výrobě. Z historického hlediska je vrtání jednou z nejstarších výrobních metod. Používá se pro zhotovení nebo zvětšení děr kruhového průřezu.

Hlavní řezný pohyb i posuv ve směru osy vykonává nejčastěji nástroj (obvykle dvoubřítý nástroj). Jsou však možné i jiné varianty.

Specifickou vlastností rotačních nástrojů pro otvory je, že se jejich řezná rychlost snižuje od obvodu směrem k ose nástroje. To znamená, že v každém bodě ostří je jiná řezná rychlost. Za řeznou rychlost se zpravidla považuje obvodová rychlost na charakteristickém rozměru nástroje (maximálním průměru). Její velikost plyne ze vztahu: [8]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot \min^{-1}] \quad (9)$$

Kde: D..... průměr vrtáku [mm]

n..... otáčky nástroje [\min^{-1}]

Materiál je z obrobku odebírán současně dvěma břity. Průřez třísky odebíraný jedním břitkem plyne ze vztahu:

$$S = h \cdot \frac{s_o}{z} = \frac{D}{2} \cdot \frac{s_o}{z} = a \cdot b \quad [mm^2] \quad (10)$$

Výhodnější řezné podmínky jsou při zhotovování předvrtaných, předlitých nebo předkovan-
ných děr. Průřez třísky (Obr. 21) pak plyne ze vztahu:

$$S = h \cdot \frac{s_o}{z} = \frac{D-d}{2} \cdot \frac{s_o}{z} \quad [\text{mm}^2] \quad (11)$$

Pro oba vztahy platí:

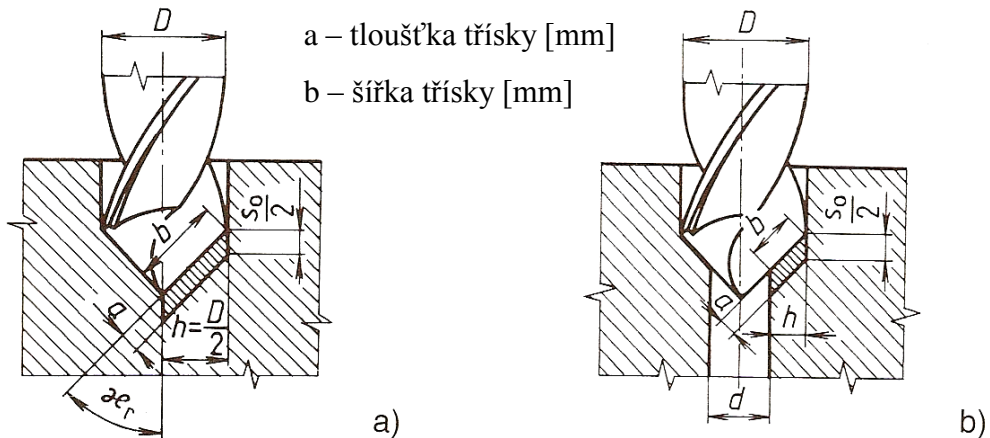
h - hloubka řezu [mm]

s_o – posuv na otáčku [mm]

z – počet břitů nástroje

a – tloušťka třísky [mm]

b – šířka třísky [mm]



a) vrtání doplna, b) vrtání předvrtané díry

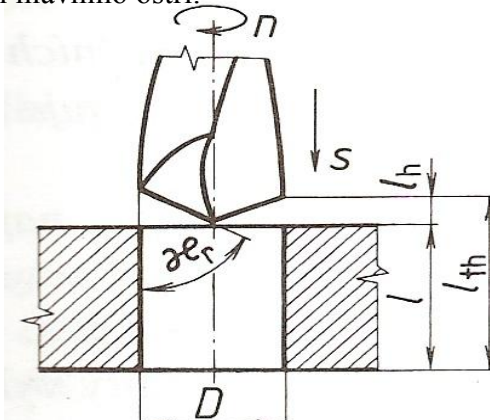
D – průměr vrtáku, d – průměr předvrtané díry, h – hloubka řezu, s_o – posuv na otáčku, a – tloušťka třísky, b – šířka třísky

Obr. 21. Průřez třísky při vrtání [8]

Strojní čas t_s při vrtání díry délky l plyne z teoretické délky vrtání l_{th} , která je součtem délky vrtané díry a výšky hrotu vrtáku l_h (Obr. 22).

$$l_{th} = l + \frac{D}{2} \cot g \kappa_r \quad [\text{mm}] \quad (12)$$

Kde: κ_r je úhel nastavení hlavního ostří.

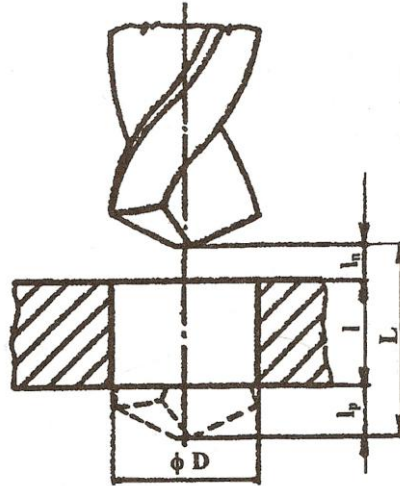


n – otáčky, s – směr posuvu, D – průměr vrtáku, κ_r – úhel nastavení hlavního ostří, l – délka díry, l_h – výška hrotu

Obr. 22. Dráha nástroje při vrtání [8]

Při výpočet strojního času t_s je třeba počítat s náběhem a předběhem (Obr. 23). Pak platí:

$$t_s = \frac{l_{th} + l_n + l_p}{n \cdot s} \quad \text{min} \quad (13)$$



Obr. 23. Dráha nástroje při vrtání včetně náběhu a předběhu [2]

Tab. 8. Řezné podmínky pro šroubovitě vrtáky z rychlořezné oceli [2]

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]						
		Průměr vrtáku D [mm]						
		2	5	8	12	16	25	40
Ocel $R_m=700-900$ MPa	25-30	0,04	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Ocel korozivzdorná	8-12	-	0,05	0,10	0,12	0,15	0,20	0,20
Šedá litina	18-25	0,06	0,15	0,22	0,30	0,36	0,40	0,60
Mosaz	60-70	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,32	0,40
Měď	40-55	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,32	0,40
Hliníkové slitiny	70-85	0,06	0,12	0,20	0,28	0,32	0,40	0,50
Plasty	20-35	0,08	0,16	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70

Vrtací nástroje

Vrtáky z rychlořezné oceli nebo velmi výkonné rychlořezné oceli mohou pracovat většími řeznými (obvodovými) rychlostmi než vrtáky z nástrojové oceli. Jejich cena je však asi dvojnásobně větší (u průměru vrtáku $D = 20\text{mm}$).

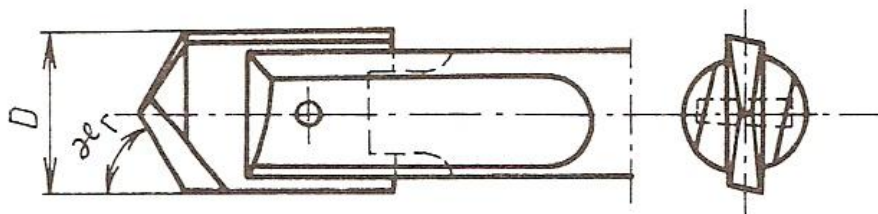
Nástroje na vrtání (vrtáky) se podle tvaru dělí na:

- kopinaté (ploché) vrtáky,
- šroubovitě vrtáky,
- frézovací vrtáky
- středící vrtáky,
- dělové (hlavňové) vrtáky,
- korunové trepanační hlavy,
- nástroje BTA.

4.1.1 Kopinaté vrtáky

Kopinaté vrtáky jsou nejstarším a nejjednodušším vrtacím nástrojem (Obr. 24). Řeznou část vrtáku tvoří dva hlavní břity a jeden příčný břit. Dvě hlavní ostří svírají úhel $2\kappa_r$. Čím je měkkší materiál, tím se volí úhel κ_r menší. Nové kopinaté vrtáky mají řeznou část tvořenou vyměnitelnými břitovými destičkami z rychlořezné oceli nebo slinutého karbidu (Obr. 25). Nevýhodou je špatný odvod třísek. Ten se dá částečně eliminovat přívodem dostatečného množství chladicí kapaliny, která třísku odplaví.

Kopinaté vrtáky se používají v poslední době zejména u číslicově řízených strojů pro vrtání krátkých děr větších průměrů. [8]



D – průměr vrtáku, κ_r – úhel nastavení hlavního ostří

Obr. 24. Kopinatý vrták pro NC stroje s vyměnitelnou břitovou destičkou z RO. [8]



Obr. 25. Břítová destička kopinatého vrtáku

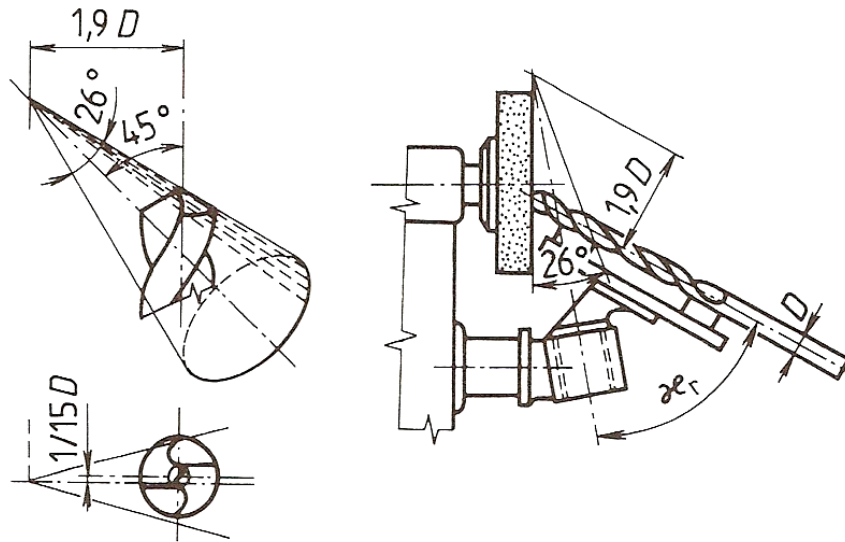
4.1.2 Šroubovité vrtáky

Šroubovité vrtáky jsou nejpoužívanější nástroje pro výrobu krátkých děr (Obr. 28). Jsou to většinou dvoubřité nástroje se šroubovitými drážkami usnadňujícími odvod třísky. Vedení v díře zajišťuje fazetka na vedlejším ostří vrtáku. Vrták je mírně kuželovitý a díky tomu se snižuje jeho tření v díře. Průměr jádra se však směrem ke stopce zvětšuje, čímž se dosahuje větší tuhosti vrtáku. Vrták má dvě hlavní ostří, která se na hrotu vrtáku spojují příčným ostřím. Vysoce výkonné vrtáky se vyrábí z oceli 19 857 a 19 861. Pro efektivnější obrábění se používají šroubovité vrtáky s připájenou břítovou destičkou ze SK (Obr. 29).

Šroubovité vrtáky lze rozdělit:

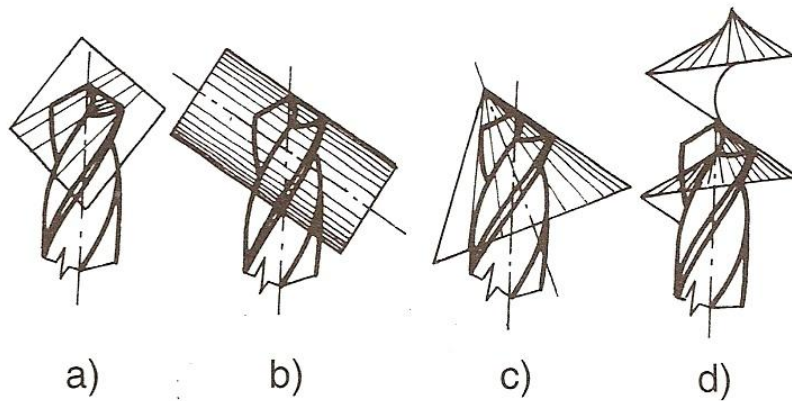
1. Podle tvaru stopky
 - S válcovou stopkou
 - S kuželovou stopkou
2. Podle směru otáčení (z pohledu stopky)
 - Pravořezné
 - Levořezné
3. Podle délky
 - Krátké
 - Dlouhé
4. Podle úhlu stoupání šroubovice
 - S velkým úhlem stoupání šroubovice
 - S malým úhlem stoupání šroubovice
 - Se středním úhlem stoupání šroubovice

Základní podmínkou pro proces vrtání je správné ostření nástroje (Obr. 26,27), které se provádí podbroušením hřbetu. Podle způsobu ostření vrtáku se také mění geometrie břitu nástroje, která je poměrně složitá. [2]



D – průměr vrtáku, κ_r – úhel nastavení hlavního ostří

Obr. 26. Nejčastější způsob ostření vrtáku [8]



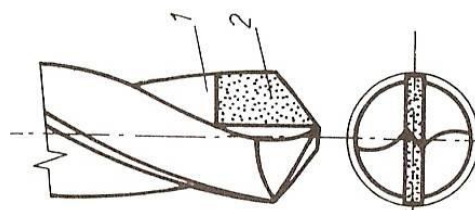
Obr. 27. Další způsoby ostření vrtáků [8]



Obr. 28. Šroubovitý vrták s válcovou stopkou

Při ostření je třeba dbát na to, aby obě ostří byla symetricky podle osy nástroje.

U větších průměrů vrtáků se z nástrojové oceli vyrábí pouze tělo vrtáku, na které je natupo přivařena stopka nástroje z konstrukční oceli.

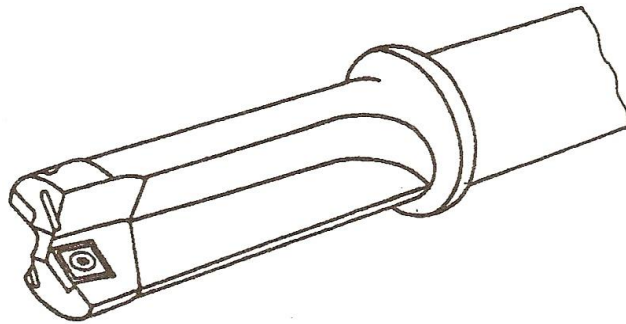


1 - Tělo vrtáku, 2 – břitová destička

Obr. 29. Šroubovitý vrták připájenou břitovou destičkou ze SK [8]

4.1.3 Frézovací vrtáky

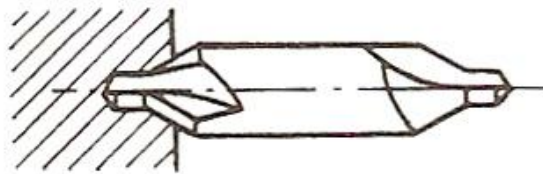
Frézovací vrtáky mají 2-3 vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu upnuté šrouby se zapuštěnou hlavou (Obr. 30). Tyto vrtáky mají pozitivní geometrii. Frézovací vrták umožňuje až 10krát vyšší úběr než šroubovitý vrták z rychlořezné oceli. Používá se pro vrtání krátkých děr, kdy poměr délky díry a průměru vrtáku je 2:1 [2]



Obr. 30. Frézovací vrták [2]

4.1.4 Středicí vrtáky

Středicí vrtáky (Obr. 31) slouží k navrtání tvarových důlků, které slouží k upnutí obrobku do hrotu nebo pro přesné určení osy díry při vrtání šroubovitým vrtákem. [8]

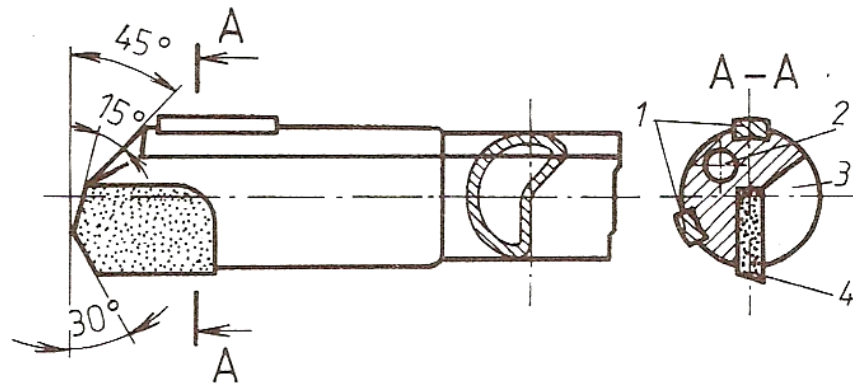


Obr. 31. Středicí vrták [8]

4.1.5 Dělové vrtáky

Dělové vrtáky slouží ke zhotovení hlubokých děr (Obr. 32). Dělový vrták je konstruovaný tak, aby bylo jeho vedení v díře co nejlepší. Tímto vrtákem lze vyvrtat hloubku až do stovek násobků průměru dělového vrtáku, aniž by došlo k vybočení. Při vrtání je nezbytné zajistit odvod třísek proudem chladicí kapaliny. Tento vrták koná obvykle pouze posuvný pohyb. Rotační pohyb koná obrobek.

Dělové vrtáky jsou opatřeny vodícími lištami, které jsou umístěny na obvodu vrtáku tak, aby výsledná řezná síla procházela mezi nimi. Řezná část dělového vrtáku je z rychlořezné oceli nebo ze slinutého karbidu. Trubka tvoří držák. Vnitřkem trubky je přiváděná chladicí kapalina pod tlakem 2-4 MPa, která vyplavuje třísky. [8]

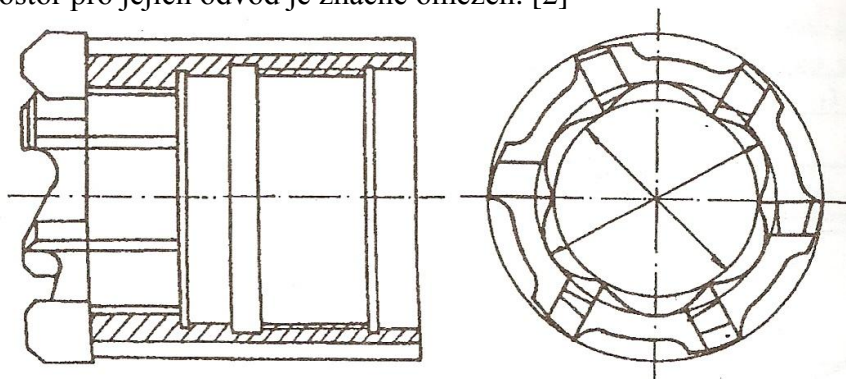


1 - vodící lišty, 2 - přívod chladicí kapaliny, 3 - drážka pro odvod třísek, 4 - břitová destička

Obr. 32. Dělový vrták s připájenou břitovou destičkou a vodícími lištami ze SK [8]

4.1.6 Korunové trepanační hlavy

Korunové trepanační hlavy slouží pro vrtání hlubokých děr (Obr. 33). Jsou to několikabřité nástroje, u nichž je řezná kapalina přiváděna vnitřkem nástroje. Vnějšíkem nástroje, mezi břity pak spolu s třískami odchází. Je nutné dbát na pečlivé rozdělení a tvarování třísek, protože prostor pro jejich odvod je značně omezen. [2]



Obr. 33. Korunová trepanační hlava [2]

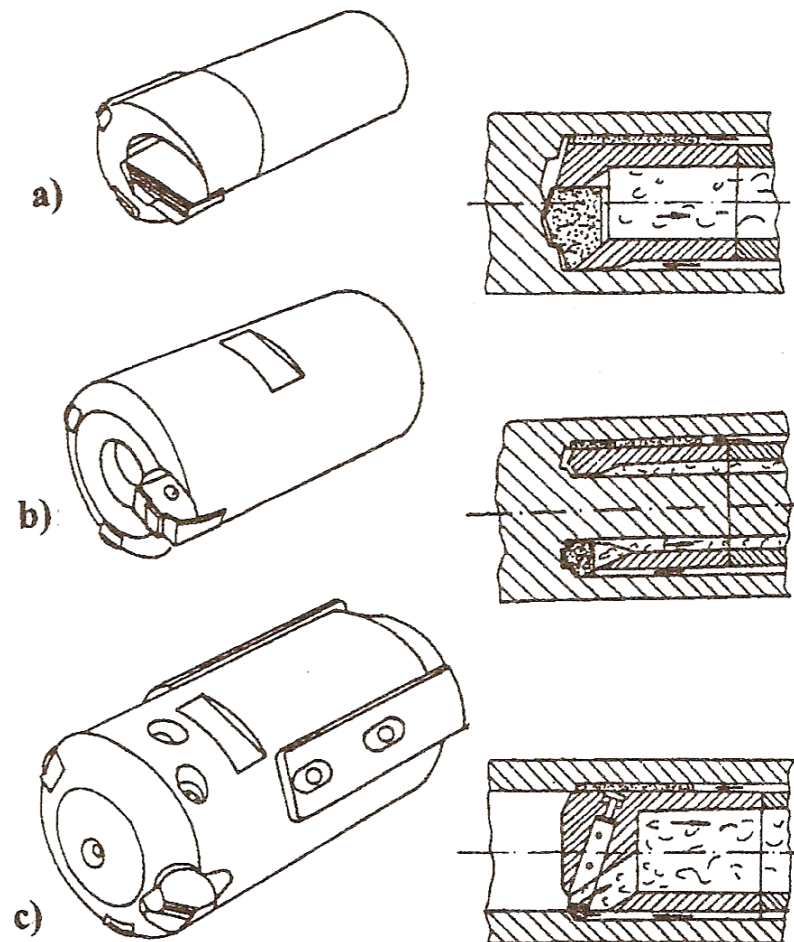
4.1.7 Nástroje BTA

Nástroje BTA (Bohring and Trepanning Association) umožňují nejproduktivnější zhotovení díry. Vrtat lze do plného materiálu, na jádro nebo se může zvětšovat dříve již předvrtaná díra. Podle oblasti použití a konstrukce se rozlišují tyto vrtací hlavy (Obr. 34):

Vrtací hlava do plna – používá se pro průměry 20-60 mm. Aby došlo k rozdělení třísky na menší celky, je hlavní ostří provedeno odstupňovaně.

Vrtací hlava na jádro – používá se pro průměry 60-200 mm. Řezný plátek odebírá pouze mezikruží, tak zůstává uprostřed „jádro“. Vyžaduje dobré dělení třísek.

Vrtací hlava pro zvětšení předvrtaného otvoru – je opatřena v přední části dvěma vodícími plátkami ze slinutého karbidu. Vzadu pak třemi vodícími lištami z plastu [2]



- a) vrtací hlava pro vrtání do plna
 b) vrtací hlava pro vrtání na jádro
 c) vrtací hlava pro zvětšení předvrtané díry

Obr. 34. Nástroje BTA [2]

Tab. 9. Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu při vrtání [8]

Nástroj	Přesnost rozměrů IT	Drsnost obrobeneho povrchu Ra
Šroubovítý vrták	11 - 13	6,3 - 25
Šroubovítý vrták s vodícím pouzdem	10	6,3 - 25
Kopinatý vrták	10	6,3 - 25
Dělový vrták	8	1,6 - 6,3
Vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami	8 - 10	3,2 - 12,5

4.2 Vyhrubování a vystružování

Otvory získané vrtáním šroubovitými vrtáky jsou nepřesné a mají špatnou kvalitu povrchu. Pro zlepšení geometrického tvaru a zaručení rovnoměrného přídavku na opracování v další operaci, se provádí po vrtání vyhrubování výhrubníkem. Pro zaručení přesných rozměrů, vysoké kvality povrchu a geometrické přesnosti se dále zařazuje operace vystružování výstružníkem (Tab 10). Do průměru 10 mm se zpravidla hned po vrtání vystružuje, protože chyby i přídavek na obrobení jsou v dovolených mezích. [2]

Tab. 10. Jmenovité průměry vrtáků, výhrubníků a výstružníků pro jmenovité průměry vystružovaných děr [2]

Průměr díry [mm]	Průměr vrtáku [mm]	Průměr výhrubníku [mm]	Průměr výstružníku [mm]
4	3,8	-	4
6	5,8	-	6
8	7,8	-	8
10	9,8	-	10
12	11,25	11,8	12
14	13,25	13,8	14
16	15,25	15,8	16
18	17,0	17,8	18
20	19,0	19,75	20
22	20,5	21,75	22
24	22,25	23,75	24
26	24,25	25,75	26
28	26,25	27,75	28
30	28,25	29,75	30

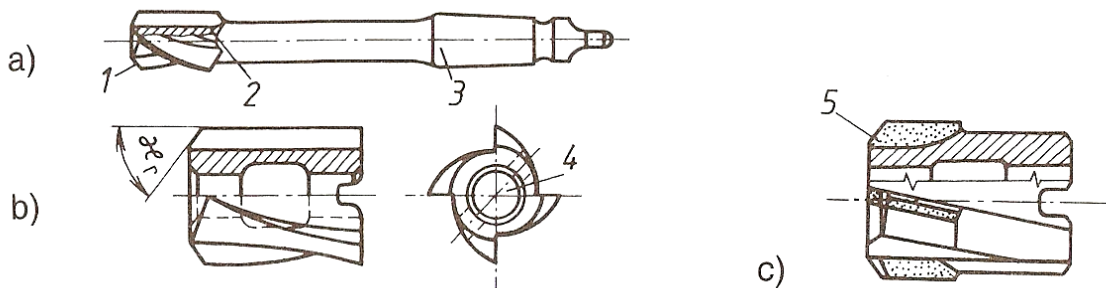
4.2.1 Výhrubníky

Výhrubník je vícebřitý nástroj, který se při práci zpravidla otáčí kolem své osy a v jejím směru posouvá k obrobku. Dodává předvrtaným, nebo předlitým otvorům vhodný rozměr. Podle upínání je dělíme na:

1. Výhrubníky se stopkou (Obr. 35a)
2. Výhrubníky nástrčné (Obr. 35b)

Tvar výhrubníku, zejména jeho řezné části je obdobný jako u výstružníku. Zuby jsou zpravidla frézované, přímé nebo se šroubovicí. Počet zubů se volí 3 nebo 4. U větších průměrů i více (6). Výhrubníky velkých průměrů se dělají se vsazenými noži z rychlořezné oceli, nebo s destičkami ze slinutých karbidů. Vhodné jsou takové konstrukce výhrubníků, kdy se

dají nože po otupení přestavit axiálně, takže se může vyrovnávat otupení hlavního břitu i zmenšení průměru. [8]



a) s kuželovou stopkou, b) nástrčný, c) s břity ze SK
1 - řezný kužel, 2 - tělo, 3 - upínací stopka, 4 - upínací otvor, 5 - pájené břitové destičky ze SK. κ - úhel nastavení hlavního ostří

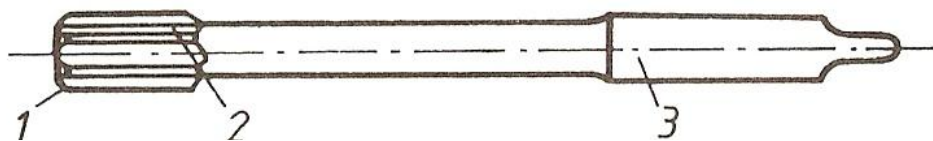
Obr. 35. Výhrubník [8]



Obr. 36. Výhrubník s kuželovou stopkou

4.2.2 Výstružníky

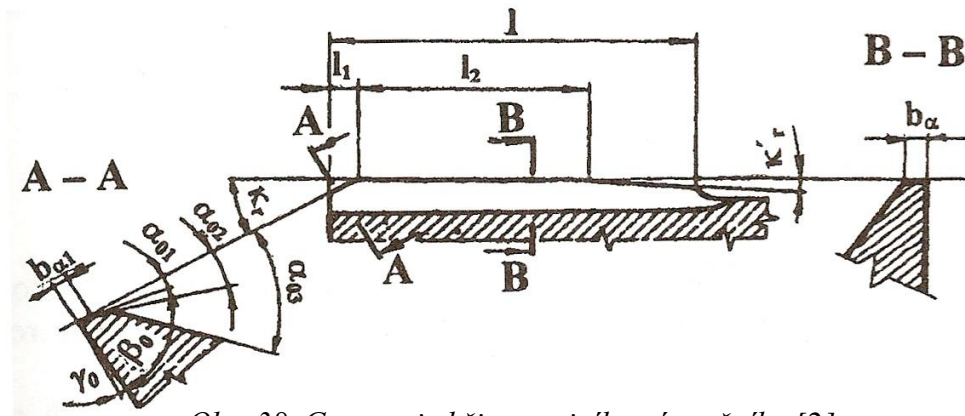
Kvalitní práce výstružníků nezáleží jenom na jejich konstrukci a výrobě, ale i na správně zvolených řezných podmínkách, tvaru a velikosti přídatku na obrobení, druhu obráběného materiálu, způsobu mazání, ostření apod. V praxi se používá řada různých typů výstružníků. Podle způsobu použití je dělíme na ruční a strojní (Obr. 37). Mohou být provedené jako pevné, rozpínací či stavitelné, upínané za stopku válcovou nebo kuželovou nebo za otvor.



1 - řezný kužel, 2 - tělo nástroje, 3 - upínací stopka

Obr. 37. Strojní výstružník [8]

Jemná tříška, která je odebírána řezným kuželem výstružníku, často nedosahuje průřezu minimálního záběru. Řezný kužel musí mít vhodnou geometrii břitu (Obr. 38), kterou určují požadavky na práci tohoto nástroje. [4]



Obr. 38. Geometrie břitu strojního výstružníku [2]

Úhel hřbetu α volíme v rozmezí 6-10°. Výjimečně méně i více. Volí se podle průměru nástroje. Raději používáme větší hodnoty, neboť klesá opotřebení na hřbetě a zmenšuje se poloměr břitu. Přílišné zvětšení úhlu hřbetu však vede ke zhoršení jakosti povrchu obrobeneé plochy. Čím menší poloměr břitu se vyostří, tím lepší bude kvalita obrobeneého povrchu. S tím souvisí důležitost lapování břitových hran.

Úhel čela γ_0 se rovná obvykle nule. Při obrábění některých materiálů (austenitická ocel, tvářené slitiny hliníku) se však volí úhel čela 5-10°, což vede ke snížení řezných odporů, tvoření nárůstku a snížení opotřebení.

Úhel nastavení κ_r ovlivňuje tvar třísky při zvolené hloubce řezu a posuvu. Se zvětšujícím se úhlem nastavení se sice zlepšuje jakost obrobeneé plochy, avšak vzniká značný radiální řezný odpor, který může způsobit nepřesnosti tvaru. Používá se $\kappa_r=45-20^\circ$.

Úhel sklonu ostří λ . Výstružníky se nejčastěji provádí s přímými zuby. Při obrábění některých materiálů (litina, ocel, hliník) je však nutné, aby byly zuby ve šroubovici, což se uplatní při přerušovaném řezu nebo u krátkých děr pro zamezení zasekávání. Šroubovice musí být v opačném směru, než je směr otáčení, protože by docházelo k vytahování výstružníků z upnutí.

Vedlejší úhel nastavení κ_r' je úhel na konci zubu. Tento úhel se zavádí z toho důvodu, aby zuby nepoškodily obrobeneou plochu, při vysouvání výstružníku z díry.

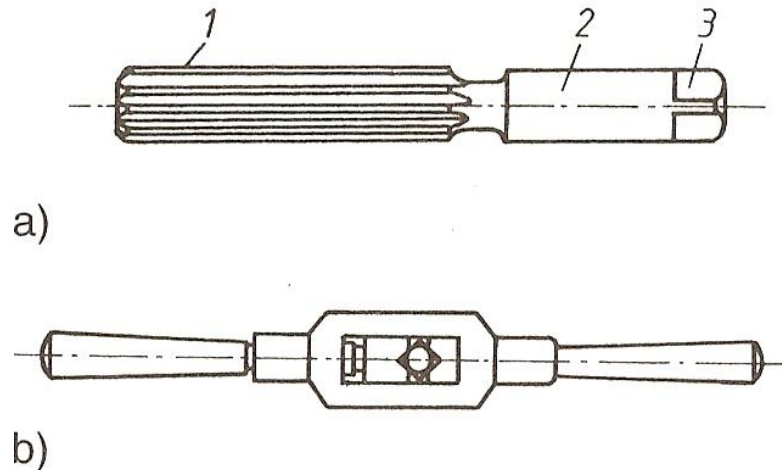
Válcová část výstružníku l_2 vede nástroj v otvoru, zaručuje správný rozměr i geometrický tvar a zlepšuje jakost povrchu od řezného kužele.

Celková délka zubové části l je dána normou. Existují dlouhé, střední i krátké. Dlouhé výstružníky mají výhodu bezpečného vedení, především u několika otvorů

jdoucích za sebou. Nevýhodou je velká spotřeba nástrojové oceli a tím vysoká cena nástroje. [4]

Duhy výstružníků:

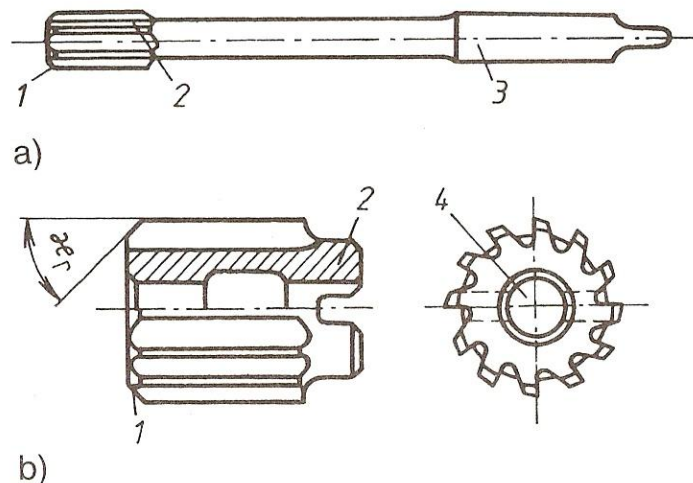
Ruční výstružník – vyrábí se zpravidla s válcovou stopkou zakončenou čtyřhranem pro upnutí do vratidla (Obr. 39).



a) výstružník, b) vratidlo
1-řezná část, 2-stopka, 3-unášecí čtyřhran

Obr. 39. Ruční výstružník [8]

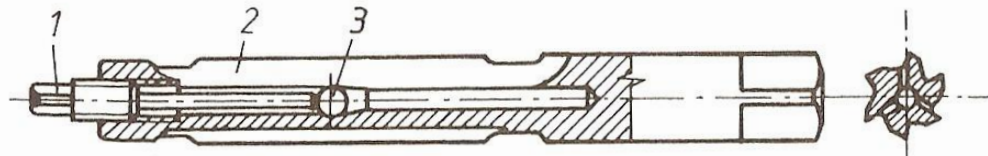
Strojní výstružník – vyrábí se buď s kuželovou stopkou, nebo jako nástrčné (Obr. 40).



a) s kuželovou stopkou, b) nástrčný výstružník
1 - řezná kužel, 2 - tělo nástroje, 3 - stopka, 4 – upínací otvor, κ_r - úhel nastavení hlavního ostří

Obr. 40. Strojní výstružník [8]

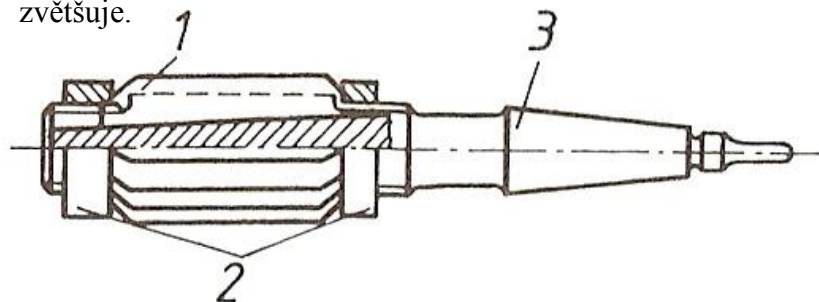
Rozpínací výstružníky mají duté tělo a jsou v axiálním směru mezi jednotlivými zuby rozříznuté. Vtlačováním kužele do kuželového otvoru se výstružník rozpíná (Obr. 41). Používají se při opravách strojních součástí.



1 - šroub, 2 - řezná část, 3 - rozpínací kulička

Obr. 41. Rozpínací výstružník [8]

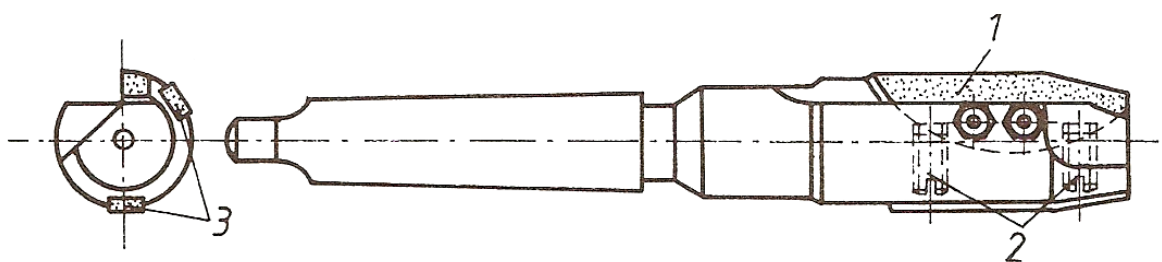
Stavitelné výstružníky mají posuvné zuby v drážkách na kuželové ploše tělesa nástroje (Obr. 42). Posouváním těchto zubů se obalový průměr zubů zmenšuje nebo zvětšuje.



1 - řezná část, 2 - stavěcí matice, 3 - stopka

Obr. 42. Stavitelný výstružník [8]

Jednobřité výstružníky mají v tělese mechanicky upevněnou destičku ze slinutého karbidu a dvě vodící destičky ze slinutého karbidu (Obr. 43).



1 - břitová destička, 2 - šrouby pro nastavení průměru výstružníku, 3 - vodící destičky

Obr. 43. Jednobřítý výstružník [8]

Sled řešení konstrukčních prvků strojního válcového výstružníku:

- 1) Zvolí se vnější průměr nástroje
- 2) Zvolí se materiál břitu a tělesa nástroje
- 3) Určí se geometrické parametry břitu
- 4) Určí se počet zubů
- 5) Určí se rozteč zubů
- 6) Určí se tvar zubů
- 7) Určí se tvar a rozměr zubové mezery
- 8) Určí se všechny hodnoty délek
- 9) Určí se upínací část nástroje
- 10) Určí se doplňkové rozměry výstružníku

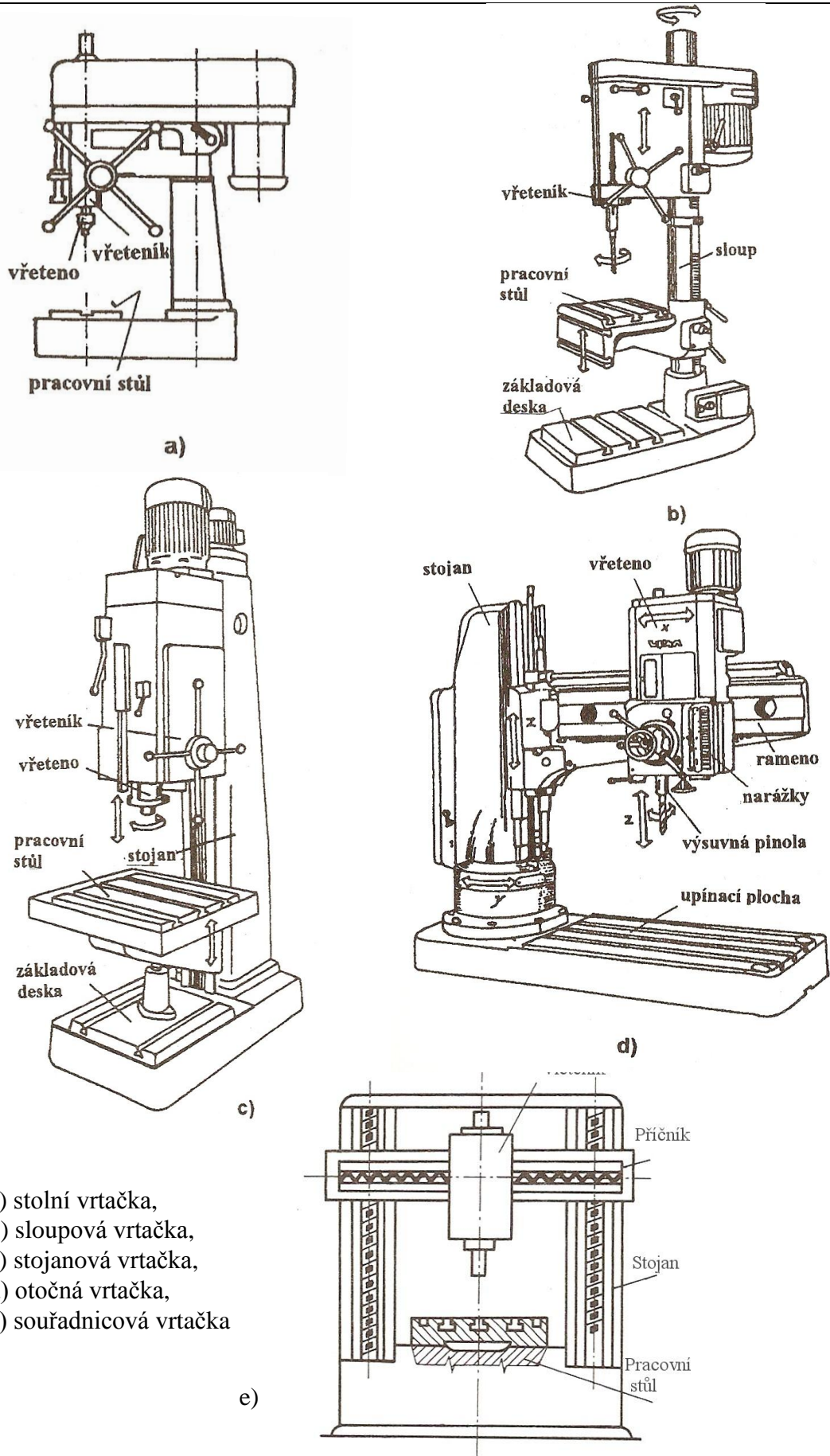
Tab. 11. Dosahované parametry u vyhrubování a vystružování [8]

Operace	Přesnost IT	Drsnost obrobeneho povrchu Ra
Vyhrubování	10 - 12	3,2 – 12,5
Vystružování ruční	6 – 8	0,4 – 1,6
Vystružování strojní	7 – 9	0,4 – 1,6
Vystružování jednobřítým výstružníkem ze SK	5 - 6	0,15 – 0,2

4.3 Vrtačky

Vrtačky jsou stroje obvykle používané pro vrtání, vyhrubování i vystružování. Hlavní řezný pohyb koná vřetenem stroje. Ve vřeteně je upnutý nástroj. Vrtačky se dělí na:

- Stolní
- Sloupové
- Stojanové
- Otočné
- Souřadnicové
- Speciální



- a) stolní vrtačka,
- b) sloupová vrtačka,
- c) stojanová vrtačka,
- d) otočná vrtačka,
- e) souřadnicová vrtačka

Obr. 44. Přehled vrtaček [2]

Stolní vrtačky mají nejjednodušší konstrukci (Obr. 44a). Posuv nástroje je zpravidla ruční

Sloupové vrtačky mají vřeteník i stůl posuvný ve vertikálním směru (Obr. 44b).

Stojanové vrtačky mají posuvný vřeteník i stůl po vedení stojanu (Obr. 44c).

Otočné vrtačky se používají k vrtání do větších a těžších obrobků. Jejich charakteristickou částí je rameno, na němž se pohybuje pracovní vřeteník (Obr. 44d).

Souřadnicové vrtačky se používají k vrtání děr vysoké přesnosti (IT 2- IT 5) (Obr. 44e).

Speciální vrtačky jsou například přenosné (jeřábem) vrtačky s otočnou hlavou. [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cíle praktické části:

- Kontrola parametrů výstružníků
 - Kontrola jmenovitého průměru
 - Kontrola obvodového házení
 - Zkoušky opotřebení
- Kontrola parametrů vystruženého otvoru
 - Kontrola průměru
 - Kontrola drsnosti povrchu

K dispozici byly tři výstružníky 12 H7 s válcovou stopkou od firmy StimZet, které byly postupně podrobovány jednotlivým zkouškám.



Obr. 45. Balení výstružníku

5.1 Kontrola parametrů výstružníku

U výstružníku byl kontrolován jmenovitý průměr, obvodové házení a opotřebení.

5.1.1 Kontrola jmenovitého průměru a jeho mezních úchylek

Bylo provedeno 10 měření (x_1-x_{10}) digitálním třmenovým mikrometrem značky Mitutoyo s rozlišením 1 μm .

Mezní úchylky průměru řezné části výstružníků v závislosti na tolerančním poli. Obrábění díry 12 H7 doporučuje ČSN 22 1405 tyto hodnoty:

Tab. 12. Doporučené mezní úchylky výstružníků

Průměr otvoru	Dolní a horní úchylka výstružníku [μm]
12 H7	+15 +8

Postup výpočtu:**Výpočet aritmetického průměru:**

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \qquad \bar{x} = \frac{5 \cdot 12,009 + 2 \cdot 12,011 + 12,010 + 12,012 + 12,013}{10} = 12,0102 \text{ mm}$$

Výpočet odchylky od aritmetického průměru:

$$\varepsilon_k = x_i - \bar{x} \qquad \varepsilon_k = 12,009 - 12,0102 = -0,0012 \text{ mm}$$

Výpočet standardní nejistoty typu A:

$$u_A(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum \varepsilon_k^2} \qquad u_A(x) = \sqrt{\frac{0,0000196}{10(10-1)}} = 0,000467$$

Výpočet standardní nejistoty typu B: Na této nejistotě se podílejí dvě složky: chyba měřidla a osobní chyba, přičemž u obou se předpokládá rovnoměrné pravoúhlé rozdělení (výskyt kterékoliv hodnoty z intervalu omezeného chybou je stejně pravděpodobný).

$$u_{B1}(x) = \frac{0,001}{\sqrt{3}} \qquad u_{B1}(x) = \frac{0,001}{\sqrt{3}} = 0,000577 \text{ mm}$$

$$u_{B2}(x) = \frac{0,002}{\sqrt{3}} \qquad u_{B2}(x) = \frac{0,002}{\sqrt{3}} = 0,001155 \text{ mm}$$

$$u_B(x) = \sqrt{u_{B1}(x)^2 + u_{B2}(x)^2} \qquad u_B(x) = \sqrt{0,000577^2 + 0,001155^2} = 0,001291 \text{ mm}$$

Výpočet standardní nejistoty kombinované:

$$u_C(x) = \sqrt{u_A(x)^2 + u_B(x)^2} \qquad u_C(x) = \sqrt{0,000467^2 + 0,001291^2} = 0,001373 \text{ mm}$$

Výpočet rozšířené nejistoty U: V praxi se velmi často volí spolehlivost výsledku 95%, což představuje rozšíření výsledné nejistoty koeficientem $k_r=2$

$$U(x) = u_C(x) \cdot k_r \qquad U(x) = 0,001373 \cdot 2 = 0,002746$$

Výsledek získaný opakovaným měřením průměru výstružníku je:

$$\underline{d = (12,0102 \pm 0,003) \text{ mm}}$$

Přehled výsledků měření jmenovitého průměru výstružníků:

Tab. 13. Měření jmenovitého průměru výstružníku 1

Výstružník 1					
Č. měření	Hodnota [mm]	\bar{x} [mm]	$\pm \varepsilon_k$ [mm]	ε_k^2 [mm ²]	$\Sigma \varepsilon_k^2$ [mm ²]
1.	12,009	12,0102	-0,0012	0,00000144	0,0000196
2.	12,010		-0,0002	0,00000004	
3.	12,009		-0,0012	0,00000144	
4.	12,011		0,0008	0,00000064	
5.	12,011		0,0008	0,00000064	
6.	12,009		-0,0012	0,00000144	
7.	12,012		0,0018	0,00000324	
8.	12,013		0,0028	0,00000784	
9.	12,009		-0,0012	0,00000144	
10.	12,009		-0,0012	0,00000144	

Výsledek měření výstružníku 1:

$$d = (12,0102 \pm 0,003)mm$$

Tab. 14. Měření jmenovitého průměru výstružníku 2

Výstružník 2					
Č. měření	Hodnota [mm]	\bar{x} [mm]	$\pm \varepsilon_k$ [mm]	ε_k^2 [mm ²]	$\Sigma \varepsilon_k^2$ [mm ²]
1.	12,012	12,0133	-0,0013	0,00000169	0,0000161
2.	12,014		0,0007	0,00000049	
3.	12,011		-0,0023	0,00000529	
4.	12,013		-0,0003	0,00000009	
5.	12,014		0,0007	0,00000049	
6.	12,015		0,0017	0,00000289	
7.	12,015		0,0017	0,00000289	
8.	12,014		0,0007	0,00000049	
9.	12,012		-0,0013	0,00000169	
10.	12,013		-0,0003	0,00000009	

Výsledek měření výstružníku 2:

$$d = (12,0133 \pm 0,003)mm$$

Tab. 15. Měření jmenovitého průměru výstružníku 3

Výstružník 3					
Č. měření	Hodnota [mm]	\bar{x} [mm]	$\pm \epsilon_k$ [mm]	ϵ_k^2 [mm ²]	$\Sigma \epsilon_k^2$ [mm ²]
1.	12,010	12,0105	0,0005	0,00000025	0,0000145
2.	12,011		0,0005	0,00000025	
3.	12,010		-0,0005	0,00000025	
4.	12,009		-0,0015	0,00000225	
5.	12,012		0,0015	0,00000225	
6.	12,013		0,0025	0,00000625	
7.	12,011		0,0005	0,00000025	
8.	12,009		-0,0015	0,00000225	
9.	12,010		-0,0005	0,00000025	
10.	12,010		-0,0005	0,00000025	

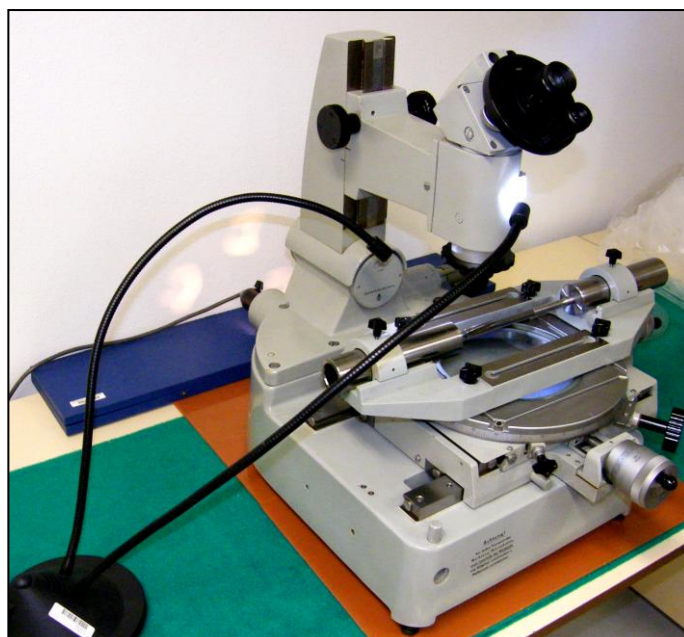
Výsledek měření výstružníku 3:

$$d = (12,0105 \pm 0,003)mm$$

Závěr:

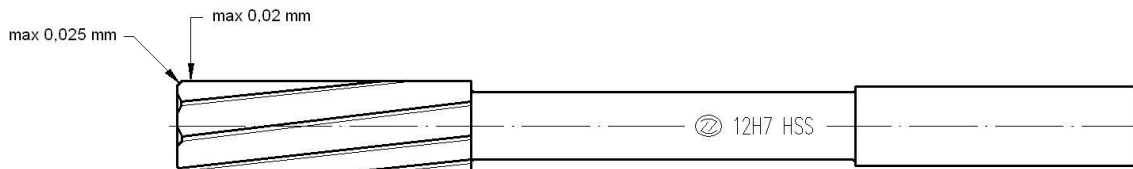
Všechny tři kontrolované nástroje byly vyrobeny v požadované přesnosti.

5.1.2 Kontrola obvodového házení



Obr. 46. Univerzální mikroskop

Obvodové házení pracovní části výstružníku nesmí přesáhnout na počátku vodící části hodnotu 0,02 mm – měřeno na fasetkách a hodnotu 0,025mm na řezném kuželi – měřeno kolmo na hlavní ostří (Obr 47). Obvodové házení bylo měřeno na univerzálním mikroskopu při upnutí nástrojů mezi hroty (Obr. 46).



Obr. 47. Obvodové házení na výstružníku

Obvodové házení na počátku vodící části:

Tab. 16. Měření obvodového házení výstružníků na počátku vodící části

Výstružník 1		Výstružník 2		Výstružník 3	
Č. měření	Obvodové házení [mm]	Č. měření	Obvodové házení [mm]	Č. měření	Obvodové házení [mm]
1.	0,003	1.	0,006	1.	0,004
2.	0,004	2.	0,008	2.	0,006
3.	0,003	3.	0,007	3.	0,005
4.	0,004	4.	0,009	4.	0,004
5.	0,001	5.	0,009	5.	0,005
6.	0,002	6.	0,01	6.	0,004
7.	0,005	7.	0,009	7.	0,006
8.	0,004	8.	0,01	8.	0,005
9.	0,004	9.	0,011	9.	0,005
10.	0,003	10.	0,008	10.	0,005
\bar{x}	0,0033	\bar{x}	0,0087	\bar{x}	0,0049

Obvodové házení na řezném kuželi:

Tab. 17. Měření obvodového házení výstružníků na řezném kuželi

Výstružník 1		Výstružník 2		Výstružník 3	
Č. měření	Obvodové házení [mm]	Č. měření	Obvodové házení [mm]	Č. měření	Obvodové házení [mm]
1.	0,011	1.	0,020	1.	0,012
2.	0,013	2.	0,022	2.	0,014
3.	0,012	3.	0,021	3.	0,016
4.	0,012	4.	0,020	4.	0,015
5.	0,012	5.	0,019	5.	0,012
6.	0,010	6.	0,019	6.	0,013
7.	0,011	7.	0,022	7.	0,016
8.	0,013	8.	0,020	8.	0,014
9.	0,010	9.	0,019	9.	0,015
10.	0,012	10.	0,019	10.	0,016
\bar{x}	0,0116	\bar{x}	0,0201	\bar{x}	0,0143

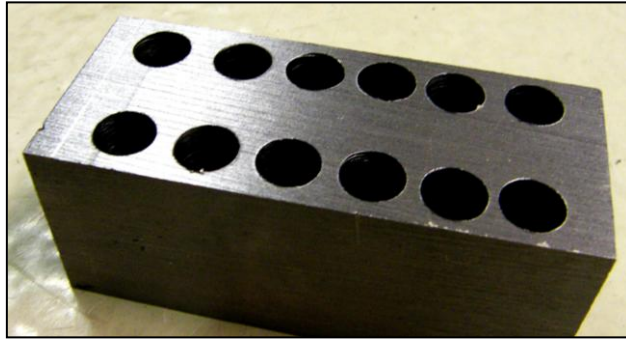
Závěr:

Povolená hodnota obvodového házení nebyla překročena u žádného nástroje.

5.1.3 Zkoušky opotřebení výstružníků

Zkušební materiál byla ušlechtilá uhlíková ocel 12 020. Bloky měly výšku 3D (Obr. 48).

D – průměr vystruženého otvoru



Obr. 48. Zkušební vzorek č. 1.

Zkoušky strojních výstružníků byly prováděny na sloupové vrtačce Optimum (Obr. 49).

Pro stanovení řezných podmínek bylo použito normativů pro vrtání v kombinaci s katalogem firmy StimZet.

Chlazení bylo prováděno naředěnou kapalinou Cimstar 501 s vodou o koncentraci 1:20.

Zkoušky trvanlivosti byly provedeny za těchto řezných podmínek:

$$n = 260 \text{ ot/min}, f = 0,2\text{mm/ot}$$



*Obr. 49. Sloupová vrtačka
Optimum*

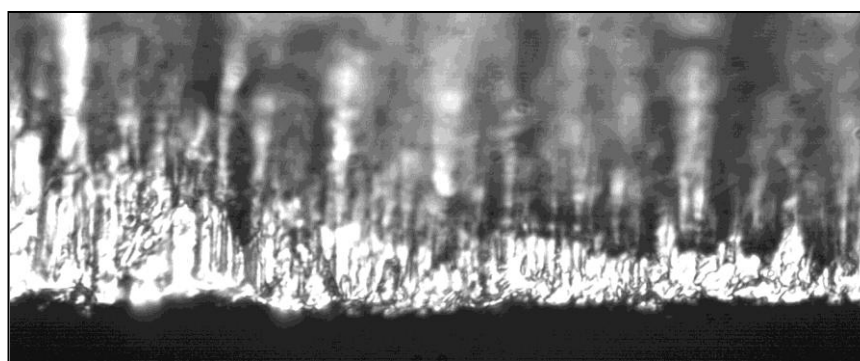
Pro zkoušky výstružníků byly připraveny ve zkušebních vzorcích předvrtané díry vrtákem o průměru 11,8 mm.

Na nástrojích bylo sledováno narůstající opotřebení (VB) řezných hran (Obr. 50) v závislosti na počtu vystružených otvorů (Tab. 18). Velikost opotřebení byla měřena vždy po 5-ti otvorech. Měřilo se na univerzálním mikroskopu při upnutí nástrojů mezi hroty.

Výsledky zkoušek trvanlivosti:

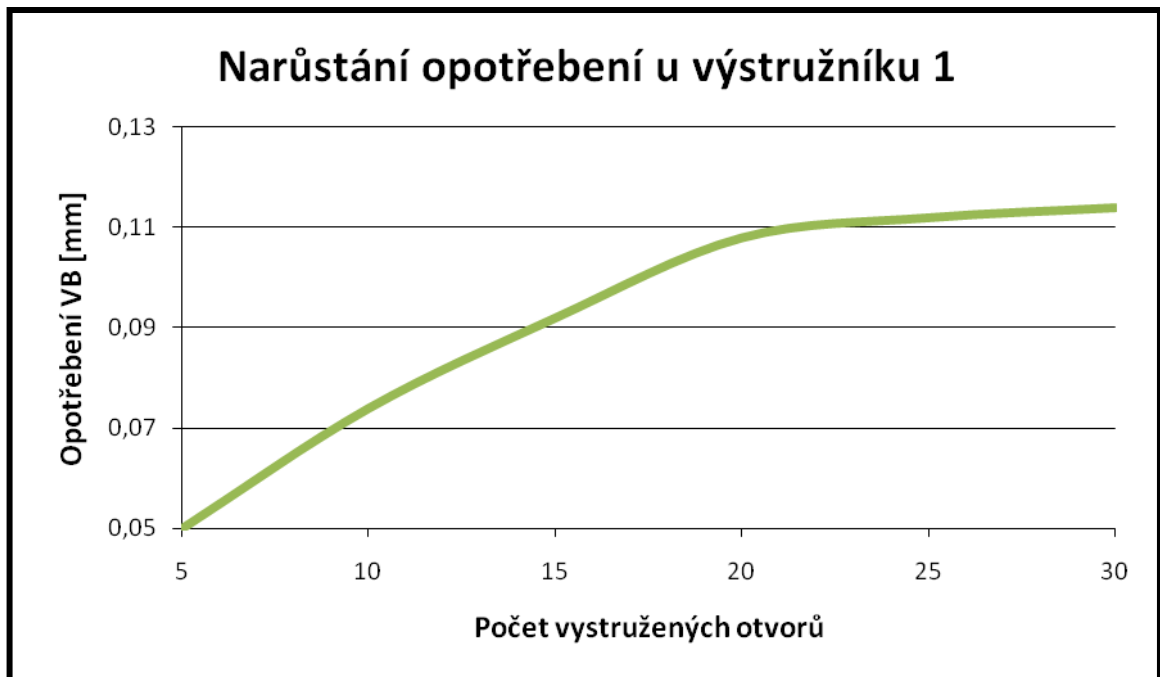
Tab. 18. Měření opotřebení výstružníků

Výstružník	Č. měření	Maximální opotřebení VB [mm] při počtu vystružených otvorů					
		5	10	15	20	25	30
1	1	0,04	0,09	0,08	0,1	0,12	0,11
	2	0,05	0,07	0,09	0,11	0,12	0,12
	3	0,04	0,08	0,1	0,12	0,1	0,11
	4	0,07	0,06	0,09	0,1	0,11	0,13
	5	0,05	0,07	0,1	0,11	0,11	0,1
	\bar{x}	0,05	0,074	0,092	0,108	0,112	0,114
Výstružník	Č. měření	Maximální opotřebení VB [mm] při počtu vystružených otvorů					
		5	10	15	20	25	30
2	1	0,08	0,10	0,14	0,15	0,16	0,17
	2	0,08	0,10	0,14	0,15	0,16	0,16
	3	0,07	0,11	0,13	0,14	0,14	0,14
	4	0,09	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15
	5	0,08	0,11	0,13	0,15	0,15	0,16
	\bar{x}	0,08	0,108	0,132	0,144	0,15	0,156
Výstružník	Č. měření	Maximální opotřebení VB [mm] při počtu vystružených otvorů					
		5	10	15	20	25	30
3	1	0,06	0,09	0,11	0,14	0,15	0,15
	2	0,07	0,1	0,12	0,14	0,15	0,16
	3	0,08	0,11	0,13	0,16	0,15	0,16
	4	0,07	0,09	0,12	0,14	0,14	0,14
	5	0,08	0,11	0,13	0,14	0,15	0,15
	\bar{x}	0,072	0,10	0,122	0,144	0,148	0,152

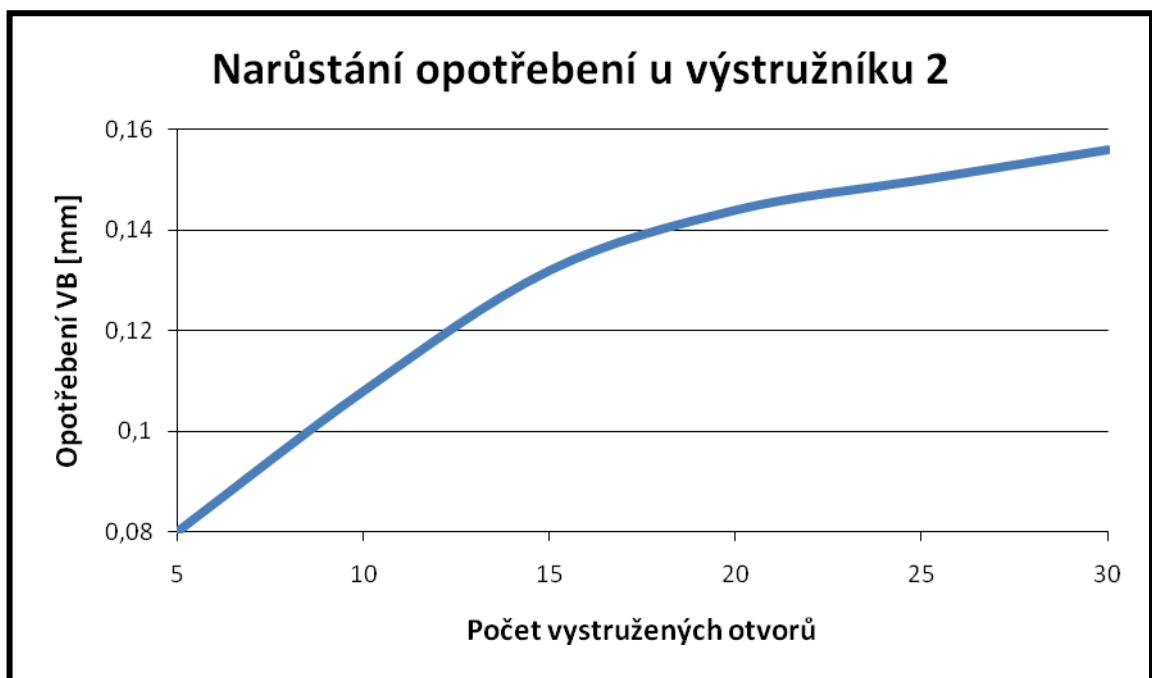


Obr. 50. Snímek opotřebení řezné hrany nástroje

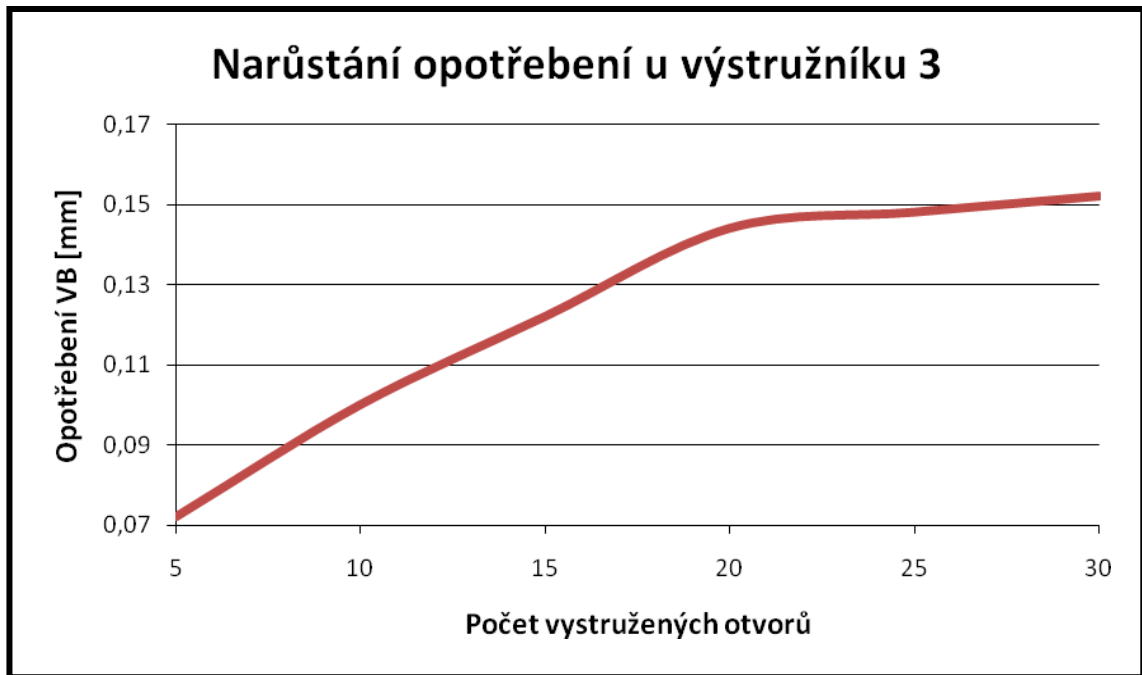
Grafy narůstání opotřebení



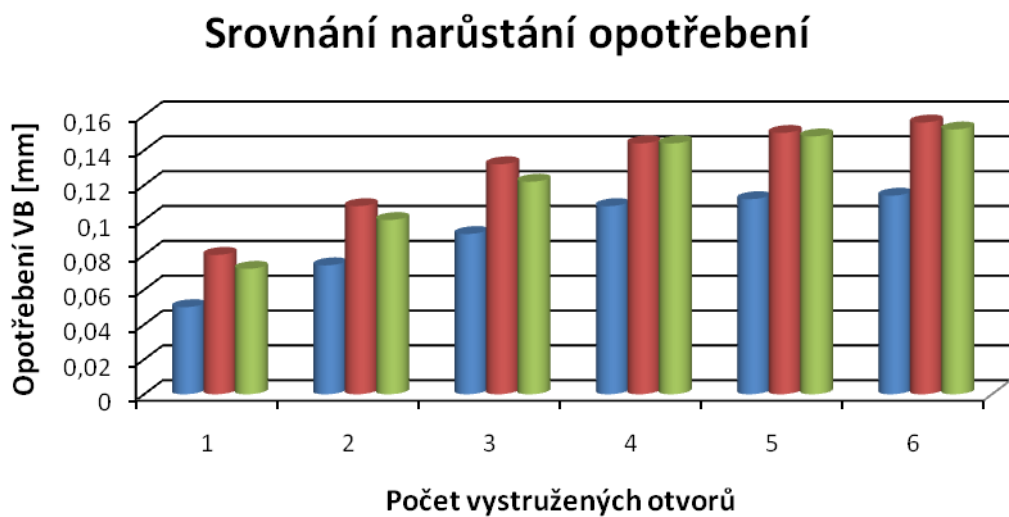
Obr. 51. Graf narůstání opotřebení u výstružníku 1



Obr. 52. Graf narůstání opotřebení u výstružníku 2



Obr. 53. Graf narůstání opotřebení u výstružníku 3



Obr. 54. Graf srovnání narůstání opotřebení u výstružníků

Závěr:

Opotřebení po vystružení 30 otvorů je velmi malé.

5.2 Kontrola parametrů vystružené díry

U vystružených otvorů jsme kontrolovali průměr a jakost povrchu.

5.2.1 Kontrola průměru

Pro měření bylo použito dutinoměru s optickým odečítáním značky SCHUT s rozlišením 0,002 mm. Kontrola byla prováděna u každého desátého vystruženého otvoru (Tab. 20).

Mezní úchytky vystružených děr:

Tab. 19. Mezní úchytky díry 12 H7

Průměr otvoru	Horní a dolní úchytky [μm]
12 H7	+18 0

Výsledky měření průměrů:

Tab. 20. Měření průměru díry

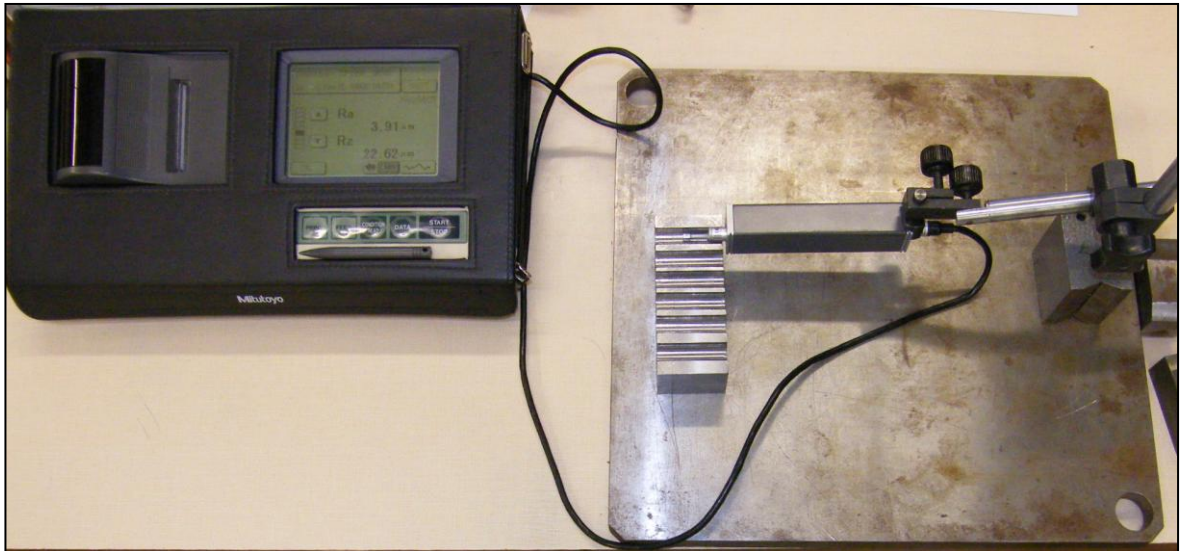
Výstružník	Č. měření	Rozměr [mm] u díry číslo:		
		10	20	30
1	1	12,010	12,014	12,012
	2	12,012	12,012	12,014
	3	12,010	12,014	12,016
	4	12,012	12,016	12,014
	5	12,012	12,012	12,010
	\bar{x}	12,0112	12,0136	12,0132
Výstružník	Č. měření	Rozměr [mm] u díry číslo:		
		10	20	30
2	1	12,014	12,012	12,012
	2	12,012	12,014	12,012
	3	12,016	12,014	12,014
	4	12,016	12,016	12,014
	5	12,014	12,012	12,012
	\bar{x}	12,0144	12,0136	12,0128
Výstružník	Č. měření	Rozměr [mm] u díry číslo:		
		10	20	30
3	1	12,012	12,014	12,010
	2	12,010	12,012	12,010
	3	12,010	12,012	12,014
	4	12,010	12,012	12,012
	5	12,012	12,014	12,012
	\bar{x}	12,0108	12,0128	12,0116

Závěr:

Všechny díry jsou vyrobeny v požadované přesnosti.

5.2.2 Kontrola drsnosti povrchu

Kontrola drsnosti byla prováděna u každého páteho otvoru. Pro měření bylo použito přístroje Mitutoyo SJ – 301 (Obr. 55), délka měřeného úseku 0,8mm x 5. Měření bylo 3x opakováno a zaznamenávána byla hodnota R_a (Tab. 21).



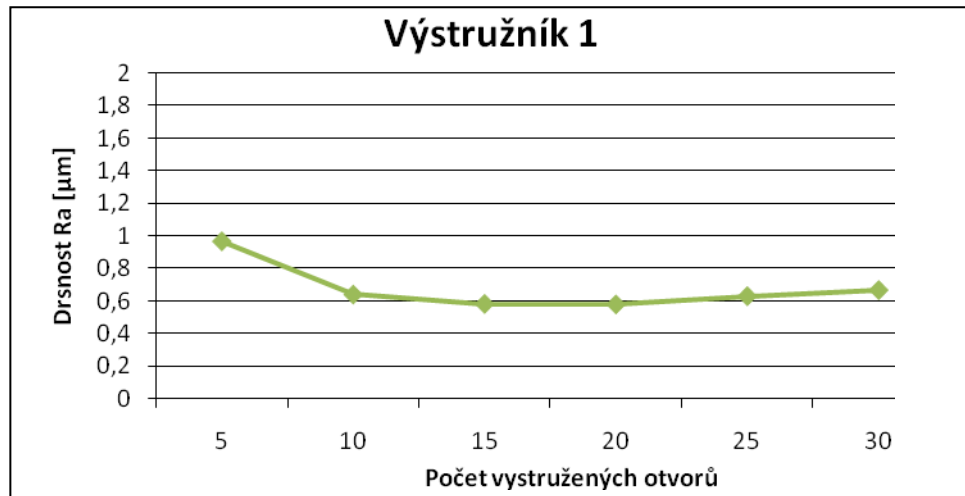
Obr. 55. Drsnoměr Mitutoyo SJ – 301

Výsledky měření drsnosti:

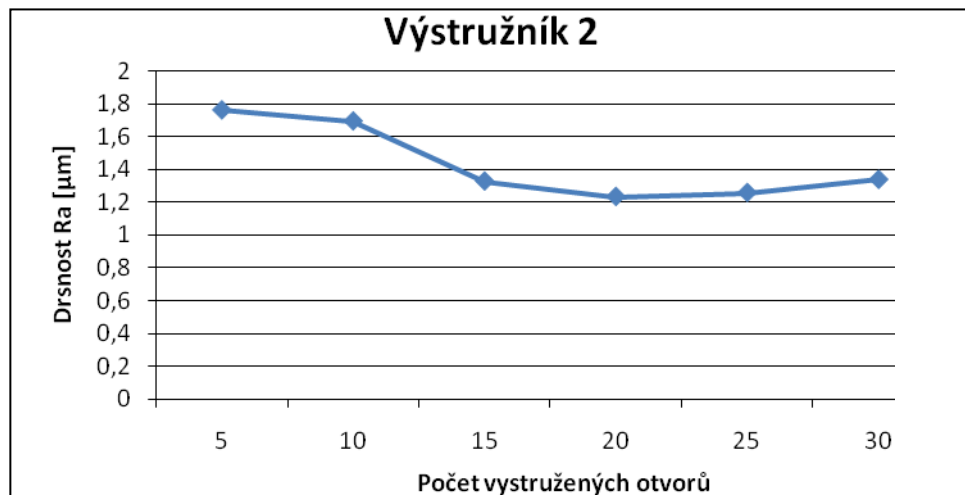
Tab. 21. Měření drsnosti povrchu díry

Výstružník	Č. měření	R_a [μm] u díry číslo:					
		5	10	15	20	25	30
1	1	0,98	0,60	0,62	0,55	0,64	0,69
	2	0,96	0,68	0,58	0,59	0,59	0,68
	3	0,95	0,64	0,55	0,60	0,66	0,63
	\bar{x}	0,963	0,64	0,583	0,58	0,63	0,667
Výstružník	Č. měření	R_a [μm] u díry číslo:					
		5	10	15	20	25	30
2	1	1,68	1,66	1,28	1,20	1,29	1,32
	2	1,74	1,69	1,32	1,26	1,28	1,39
	3	1,86	1,73	1,38	1,24	1,20	1,30
	\bar{x}	1,76	1,693	1,327	1,233	1,257	1,337
Výstružník	Č. měření	R_a [μm] u díry číslo:					
		5	10	15	20	25	30
3	1	1,11	1,01	0,89	0,91	0,82	0,95
	2	1,19	0,98	0,92	0,86	0,88	0,96
	3	1,22	0,89	0,88	0,83	0,81	0,99
	\bar{x}	1,173	0,960	0,897	0,867	0,837	0,967

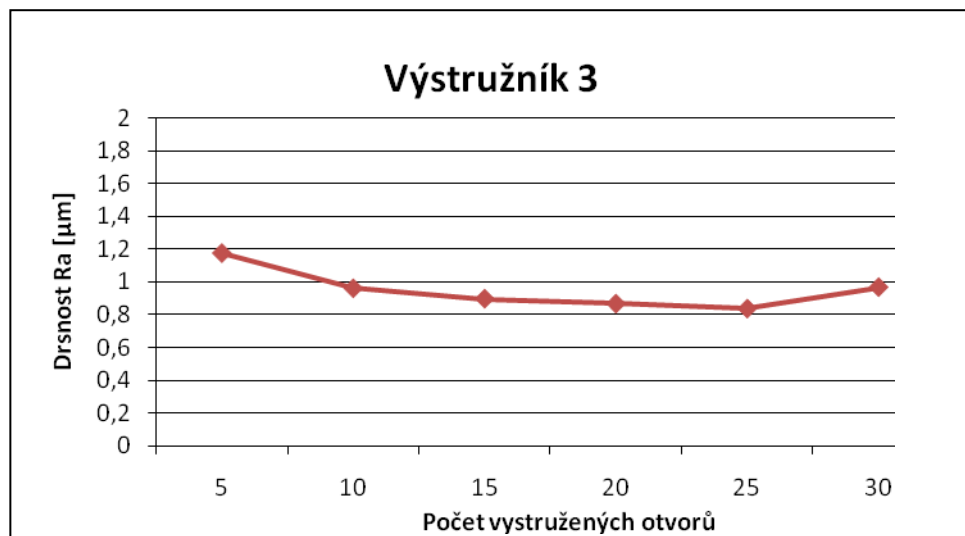
Grafy drsností povrchů v závislosti na počtu obroběných děr:



Obr. 56. Graf závislosti drsnosti na počtu obroběných děr u výstružníku 1



Obr. 57. Graf závislosti drsnosti na počtu obroběných děr u výstružníku 2



Obr. 58. Graf závislosti drsnosti na počtu obroběných děr u výstružníku 3

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo nalézt závislost mezi parametry výstružníku na vlastnostech vystruženého otvoru. K dispozici byly tři výstružníky 12 H7 od firmy StimZet. Nejprve bylo nutné zkontrolovat parametry jednotlivých výstružníků. Jmenovitý průměr se kontroloval digitálním třmenovým mikrometrem Mitutoyo, obvodové házení na počátku vodící části a obvodové házení na řezném kuželi se měřilo na dílenském mikroskopu. Následně začaly vrtací práce na sloupové vrtačce Optimum – Maschinen Germany. Jednotlivé otvory byly předvrtány šroubovitým vrtákem o průměru 11,8 mm a následně vystruženy. V průběhu vystružování bylo měřeno opotřebení jednotlivých výstružníků na dílenském mikroskopu. Po vystružení všech otvorů byly změřeny průměry jednotlivých otvorů (každý pátý). Po změření průměrů se vždy odfrézovala polovina otvorů a měřila se drsnost a drsnoměru Mitutoyo.

Došlo se k tomuto závěru:

1. Všechny tři výstružníky byly vyrobeny v požadované přesnosti.
2. Obvodové házení na poč. vodící části bylo největší u výstružníku 2 (0,0087 mm), což by se mělo projevit nepřesností průměru otvoru. Nejmenší házení bylo naměřeno na výstružníku 1 (0,0033 mm). Otvory vystružené tímto nástrojem by měly být tedy nejpresnější. U výstružníku 2 bylo naměřeno házení 0,0049 mm.
3. Obvodové házení na řezném kuželi má velký vliv na drsnost povrchu. Největší házení bylo naměřeno u výstružníku 2 (0,0201 mm), nejmenší znovu u nástroje 1 (0,0116 mm). U nástroje 3 bylo házení 0,0143 mm.

Žádný z nástrojů nepřekročil předepsané tolerance.

Při měření opotřebení, které probíhalo vždy po vystružení pěti otvorů byly naměřeny poměrně malé hodnoty. Největší opotřebení bylo naměřeno na výstružníku 2, což bylo způsobeno jeho největším obvodovým házením na řezném kuželi (výstružník zabíral pouze některými zuby a ty byly více namáhány). Opotřebení u tohoto výstružníku po obrobení 30 otvorů bylo 0,156 mm. U nástroje 1 bylo opotřebení 0,114 mm a u nástroje 3 to bylo 0,152 mm. Opotřebení narůstalo ze začátku rychle (asi do 20 otvorů), poté už narůstalo opotřebení pozvolna.

Při kontrole průměru vystružených otvorů bylo použito dutinoměru SCHUT. Vzhledem k tomu, že obvodové házení všech nástrojů bylo velmi malé a průměry jednotlivých nástrojů velmi přesné, byly také všechny otvory vystruženy v požadované přesnosti.

Při kontrole drsnosti byl měřen každý pátý vystružený otvor. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při obrábění výstružníkem číslo 1, kde se drsnost povrchu pohybovala v rozmezí ($R_a = 0,667-0,963 \mu\text{m}$), což bylo způsobeno minimálním obvodovým házením na řezném kuželi. Největší drsnost byla naměřena u otvorů vystružených nástrojem 2 ($R_a = 1,337-1,760 \mu\text{m}$), u kterého bylo naopak největší obvodové házení na řezném kuželi. Drsnost povrchu vystružených děr nástrojem 3 bylo $R_a = 0,967-1,173 \mu\text{m}$.

Hodnoty drsnosti se lišily v závislosti na počtu vystružených otvorů. Při měření prvních otvorů byla drsnost největší, což bylo způsobeno právě obvodovým házením na řezném kuželi. Asi po deseti otvorech se zuby zbrousily, zabíraly plynule a drsnost tak byla nižší. Po obrobení asi dvaceti otvorů, začala drsnost mírně stoupat, což bylo způsobeno opotřebením výstružníků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HLUCHÝ, M., HANĚK, V.: *Strojírenská technologie 2, 2. Díl : Koroze, základy obrábění, výrobní postupy*. Praha. Scienta, spol. s.r.o. 2001. 176 s. ISBN 80-7183-245-6
- [2] KOČMAN, K., PROKOP, J.: *Technologie obrábění*. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2
- [3] SLANAŘ, V.: *Technické kreslení : Pravidla pro tvorbu technických výkresů podle mezinárodních norem*. 2. upravené a doplněné vydání. Písek : J&M, 1999. 156 s. ISBN 80-86154-16-5.
- [4] ŠVEC, S.: *Řezné nástroje*. Praha : Institut těžkého průmyslu, 1966. 138 s.
- [5] MACEK, K.; ZUNA, P.; ZILVAR, V.: *Nauka o materiálu III*. Praha : SNTL, 1987. 210 s.
- [6] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. druhé doplněné vydání. Úvaly : ALBRA, 2005. 906 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [7] ŘASA, J.; HANĚK, V.; KAFKA, J.: *Strojírenská technologie 4 : Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže*. Praha : Scientia, 2003. 505 s. ISBN 80-7183-284-7
- [8] ŘASA, J.; GABRIEL, V.: *Strojírenská technologie 3, 1. Díl : Meody, stroje a nástroje pro obrábění*. 2. vydání. Praha : Scientia, 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

κ_r	Úhel nastavení hlavního ostří [°]
κ'	Úhel nastavení vedlejšího ostří [°]
ε	Úhel špičky nástroje [°]
α	Úhel hřbetu [°]
β	Úhel břitu [°]
γ	Úhel čela [°]
δ	Úhel řezu [°]
λ	Úhel sklonu ostří [°]
$s_o (f_o)$	Dráha na jedu otáčku vřetene [mm/ot]
$s_z (f_z)$	Dráha na jeden zub nástroje [mm/zub]
v_f	Rychlost posuvu [m/min]
n	Otáčky [min^{-1}]
h	Hloubka řezu [mm]
v	Řezná rychlost [m/min]
D	Průměr nástroje [mm]
R	Normálové napětí [MPa]
R_m	Pevnost v tahu [MPa]
R_{ms}	Pevnost ve stříhu [MPa]
R_s	Tečné napětí [MPa]
R_{es}	Mez kluzu ve stříhu [MPa]
K_{Vo}	Objemový součinitel třísek
V_t	Objem třísek při jejich hromadění [m^3]
V_m	Objem materiálu před obrobením [m^3]
R_a	Střední aritmetická úchylka profilu [μm]
y	Absolutní úchylka v rozsahu základní délky [μm]

R_z	Výška nerovností profilu z deseti bodů [μm]
y_{pi}	Výška i-tého nejvyššího výstupku profilu [μm]
y_{vi}	Hloubka j-té nejnižší prohlubně profilu [μm]
R_y	Největší výška nerovnosti profilu [μm]
R_p	Výška nejvyššího výstupku profilu [μm]
R_q	Hloubka nejnižší prohlubně profilu [μm]
S_m	Střední rozteč nerovností profilu [μm]
S_{mi}	Počet nerovností profilu
S_j	Střední rozteč místních výstupků profilů [μm]
t_p	Nosný podíl profilu
η_p	Nosná délka [μm]
R_{mo}	Pevnost v ohybu [MPa]
a	Tloušťka třísky [mm]
b	Šířka třísky [mm]
HV	Tvrдость podle Vickerse
HRC	Tvrдость podle Rockwella
t_s	Strojní čas [min]
l_{th}	Teoretická délka vrtání [mm]
l_h	Délka hrotu vrtání [mm]
l_n	Délka náběhu [mm]
l_p	Délka předběhu [mm]
\bar{x}	Aritmetický průměr [mm]
ε_k	Odchylka aritmetického průměru [mm]
u_A	Standardní nejistota typu A [mm]
u_B	Standardní nejistota typu B [mm]
u_C	Kombinovaná standardní nejistota [mm]

U Rozšířená výsledná nejistota [mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Soustava stroj – nástroj – obrobek [1]	12
Obr. 2. Obrobek [1].....	13
Obr. 3. Soustružnický nůž [1]	14
Obr. 4. Strojní výstružník a) s kuželovou stopkou, b) nástrčný [1]	14
Obr. 5. Roviny nástroje [2]	15
Obr. 6. Úhly nástroje [1]	17
Obr. 7. Řezné pohyby [1].....	18
Obr. 8. Realizace řezného procesu [2]	20
Obr. 9. Oblast plastických deformací [1].....	21
Obr. 10. Způsoby namáhání odřezávané vrstvy [1]	22
Obr. 11. Druhy a tvary třísek [1].....	23
Obr. 12. Utvařeče třísek [1]	24
Obr. 13. Grafické vyjádření R_a [3]	25
Obr. 14. Grafické vyjádření R_z [3].....	26
Obr. 15. Grafické vyjádření R_y [3].....	26
Obr. 16. Grafické vyjádření S_m [3].....	26
Obr. 17. Grafické vyjádření S [3]	27
Obr. 18. Grafické vyjádření t_p [3]	27
Obr. 19. Závislost HRC a pevnosti v ohybu slinutých karbidů na obsahu kobaltu [1]	31
Obr. 20. Oblasti řezných podmínek při soustružení běžných ocelí [2].....	33
Obr. 21. Průřez třísky při vrtání [8]	38
Obr. 22. Dráha nástroje při vrtání [8]	38
Obr. 23. Dráha nástroje při vrtání včetně náběhu a předběhu [2].....	39
Obr. 24. Kopinatý vrták pro NC stroje s vyměnitelnou břitovou destičkou z RO. [8]	40
Obr. 25. Břitová destička kopinatého vrtáku	41
Obr. 26. Nejčastější způsob ostření vrtáku [8].....	42
Obr. 27. Další způsoby ostření vrtáků [8].....	42
Obr. 28. Šroubovité vrták s válcovou stopkou	42
Obr. 29. Šroubovité vrták připájenou břitovou destičkou ze SK [8]	42
Obr. 30. Frézovací vrták [2].....	43
Obr. 31. Středící vrták [8]	43
Obr. 32. Dělový vrták s připájenou břitovou destičkou a vodicími lištami ze SK [8].....	44

Obr. 33. Korunová trepanační hlava [2]	44
Obr. 34. Nástroje BTA [2]	45
Obr. 35. Výhrubník [8]	47
Obr. 36. Výhrubník s kuželovou stopkou	47
Obr. 37. Strojní výstružník [8]	47
Obr. 38. Geometrie břitu strojního výstružníku [2]	48
Obr. 39. Ruční výstružník [8]	49
Obr. 40. Strojní výstružník [8]	49
Obr. 41. Rozpínací výstružník [8]	50
Obr. 42. Stavitelný výstružník [8]	50
Obr. 43. Jednobřítý výstružník [8]	50
Obr. 44. Přehled vrtaček [2]	52
Obr. 45. Balení výstružníku	55
Obr. 46. Univerzální mikroskop	58
Obr. 47. Obvodové házení na výstružníku	59
Obr. 48. Zkušební vzorek č. 1	60
Obr. 49. Sloupová vrtačka Optimum	60
Obr. 50. Snímek opotřebení řezné hrany nástroje	61
Obr. 51. Graf narůstání opotřebení u výstružníku 1	62
Obr. 52. Graf narůstání opotřebení u výstružníku 2	62
Obr. 53. Graf narůstání opotřebení u výstružníku 3	63
Obr. 54. Graf srovnání narůstání opotřebení u výstružníků	63
Obr. 55. Drsnoměr Mitutoyo SJ – 301	65
Obr. 56. Graf závislosti drsnosti na počtu obrobených děr u výstružníku 1	66
Obr. 57. Graf závislosti drsnosti na počtu obrobených děr u výstružníku 2	66
Obr. 58. Graf závislosti drsnosti na počtu obrobených děr u výstružníku 3	66

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Terminologie a označení geometrie břitu [2]	16
Tab. 2. Rozdělení a označování nástrojových ocelí.....	28
Tab. 3. Slož. vybraných druhů rychlořez. ocelí ASP vyrobených práš. Metalurgií [2]	30
Tab. 4. Vlastnosti způsobující jednotlivé karbidy	31
Tab. 5. Třídění a značení slinutých karbidů.....	32
Tab. 6. Vybrané brousicí materiály [1]	34
Tab. 7. Pojiva brousicích materiálů [6].....	35
Tab. 8. Řezné podmínky pro šroubovitě vrtáky z rychlořezné oceli [2].....	39
Tab. 9. Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu při vrtání [8]	45
Tab. 10. Jmenovité průměry vrtáků, výhrubníků a výstružníků pro jmenovité průměry vystružovaných děr [2]	46
Tab. 11. Dosahované parametry u vyhrubování a vystružování [8]	51
Tab. 12. Doporučené mezní úchylky výstružníků.....	56
Tab. 13. Měření jmenovitého průměru výstružníku 1	57
Tab. 14. Měření jmenovitého průměru výstružníku 2	57
Tab. 15. Měření jmenovitého průměru výstružníku 3	58
Tab. 16. Měření obvodového házení výstružníků na počátku vodící části	59
Tab. 17. Měření obvodového házení výstružníků na řezném kuželi	59
Tab. 18. Měření opotřebení výstružníků.....	61
Tab. 19. Mezní úchylky díry 12 H7	64
Tab. 20. Měření průměru díry.....	64
Tab. 21. Měření drsnosti povrchu díry.....	65