

Testování nástrojů na zahlubování otvorů

Jiří Vinklárek

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří VINKLÁREK

Osobní číslo: T08665

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Testování nástrojů na zahlubování otvorů.

Zásady pro vypracování:

- 1. Základní pojmy a teorie procesu obrábění.**
- 2. Nástroje na obrábění otvorů.**
- 3. Provedení zkoušek zahlubování.**
- 4. Vyhodnocení zkoušek.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **KOCMAN,K.-PROKOP,J.:**Technologie obrábění. Akademické nakladatelství CERM, 2005.
2. **LIMERT,G., ONDRA,J., VAVŘÍK,I.** Obrábění. 1. vyd. Praha: SNTL 1974. 351 s.
3. **ŠVEC, S.:** Řezné nástroje. Praha : Institut těkého průmyslu, 1966. 138 s.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Josef Hrdina

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011

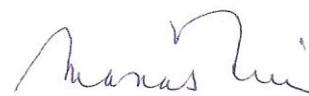
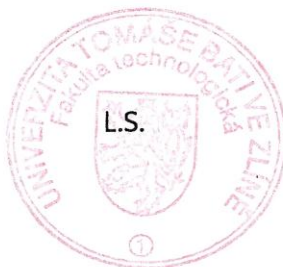
Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 7. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

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 27.5.2011



.....

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). Odpirá-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.

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 zaměřuje na proces zahlubování otvorů a testování nástrojů na zahlubování otvorů. Zkoumá řezné podmínky potřebné ke zhotovení požadovaného zahloubení otvoru. V dalším případě se zde vyhodnocuje jakost povrchu, která vznikla během procesu zahlubování. V práci jsou obsaženy základní pojmy a teorie procesu obrábění, jednotlivé řezné nástroje, materiály nástrojů, operace pro zhotovení otvorů a drsnost povrchu.

Klíčová slova:

Zahlubování otvorů, testování nástrojů, řezné podmínky, jakost povrchu, teorie procesu obrábění, řezné nástroje, materiály nástrojů

ABSTRACT

This work focuses on the process of sinking of holes and testing tools for countersinking holes. Examines cutting conditions necessary for making the desired countersink hole. In another case, the surface quality are evaluated, which was created during the process of sinking. The work contained the basic concepts and theories of the machining process, different cutting tools, materials, tools, operations for making holes and surface roughness.

Keywords:

Countersinking holes, testing tools, cutting conditions, surface quality, the theory of the machining process, cutting tools, materials of tools.

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

„Bez velké vůle neexistují velké talenty“

Honoré De Balzac

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

Ve Zlíně 27.5.2011

.....

Podpis diplomata

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TEORIE OBRÁBĚNÍ	13
1.1 TECHNOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY OBRÁBĚCÍHO PROCESU	13
1.2 OBROBEK	14
1.3 NÁSTROJ	15
1.4 NÁSTROJOVÉ ROVINY A ÚHLY	16
1.5 KINEMATIKA OBRÁBĚNÍ	19
1.6 FYZIKÁLNÍ PODSTATA OBRÁBĚNÍ – MECHANISMUS VZNIKU TŘÍSKY	21
1.6.1 Rozdělení třísek.....	23
1.6.2 Objemový součinitel	24
1.6.3 Nárůstek a jeho vliv na řezný proces.....	25
1.6.4 Mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobené plochy.....	26
1.7 OBROBITELNOST MATERIÁLU	27
2 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY	30
2.1 NÁSTROJOVÉ OCELI.....	31
2.1.1 Nástrojové oceli nelegované	32
2.1.2 Nástrojové oceli legované	33
2.1.3 Rychlořezné oceli	33
2.1.4 Legované na lité nástroje.....	35
2.2 SLINUTÉ KARBIDY	35
2.2.1 Nepovlakované slinuté karbidy.....	38
2.2.2 Povlakované slinuté karbidy	38
2.3 ŘEZNÁ KERAMIKA	39
2.4 POLYKRYSALICKÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY	41
2.4.1 Polykrystalický diamant (PKD).....	42
2.4.2 Kubický nitrid bóru (CBN)	43
2.5 MOŽNÝ VÝVOJ ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ	43
3 DRSNOST POVRCHU	44

3.1	SCHÉMA MĚŘÍCÍ DRÁHY SNÍMAČE	44
3.2	STŘEDNÍ ARITMETICKÁ ÚCHYLKA PROFILU RA	45
3.3	VÝŠKA NEROVNOSTÍ PROFILU Z DESETI BODŮ RZ	45
3.4	NEJVĚTŠÍ VÝŠKA NEROVNOSTÍ PROFILU RY	46
3.5	STŘEDNÍ ROZTEČ NEROVNOSTÍ PROFILU SM.....	46
3.6	STŘEDNÍ ROZTEČ MÍSTNÍCH VÝSTUPKŮ PROFILU S.....	47
3.7	NOSNÝ PODÍL PROFILU TP	47
4	VRTÁNÍ, NÁSTROJE A STROJE PRO OBRÁBĚNÍ OTVORŮ	48
4.1	VRTÁNÍ	48
4.1.1	Řezné podmínky při vrtání	49
4.1.2	Silové poměry při vrtání.....	51
4.1.3	Jmenovitý průřez třísky do plného materiálu „AD ₁ “	52
4.1.4	Velikost průřezu třísky do předvrtaného otvoru „AD ₂ “	52
4.2	NÁSTROJE PRO VÝROBU VÁLCOVÝCH OTVORŮ	53
4.2.1	Vrtáky.....	53
4.2.2	Speciální vrtáky.....	54
4.2.3	Výhrubníky.....	56
4.2.4	Výstružníky	57
4.2.5	Záhlubníky.....	59
4.2.6	Speciální vrtací nástroje	60
4.3	VYVRTÁVÁNÍ	62
4.4	STROJE PRO VÝROBU VÁLCOVÝCH OTVORŮ.....	63
II	PRAKTICKÁ ČÁST	66
5	PŘÍPRAVA A PROVEDENÍ ZKOUŠEK ZAHLUBOVÁNÍ	67
5.1	VOLBA MATERIÁLU	67
5.2	NAŘEZÁNÍ TŘÍ DRUHŮ MATERIÁLŮ NA AUTOMATICKÉ PÁSOVÉ PILE NA PŘIBLIŽNÝ ROZMĚR.....	68
5.3	FRÉZOVÁNÍ NA KONEČNÝ ROZMĚR VŠECH TŘÍ DRUHŮ MATERIÁLŮ.....	69
5.4	VRTÁNÍ OTVORŮ	69
5.5	ZAHLUBOVÁNÍ	71
5.6	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU ZAHLOUBENÝCH PLOCH	76
6	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK	78
6.1	NAMĚŘENÁ A VYHODNOCENÁ DATA DRSNOSTI POVRCHU	79
6.1.1	Materiál ČSN 14 220.4 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; f=0,1[mm/ot]; n=500[ot/min])	79
6.1.2	Materiál ČSN 14 220.4 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; f=0,2[mm/ot]; n=500[ot/min])	83
6.1.3	Vzájemné vyhodnocení	87
6.1.4	Materiál ČSN 12 050.1 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; f=0,1[mm/ot]; n=500[ot/min])	88

6.1.5	Materiál ČSN 12 050.1 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; $f=0,2$ [mm/ot]; $n=500$ [ot/min])	92
6.1.6	Vzájemné vyhodnocení	96
6.1.7	Materiál ČSN 42 4201 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; $f=0,1$ [mm/ot]; $n=500$ [ot/min])	97
6.1.8	Materiál ČSN 42 4201 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; $f=0,2$ [mm/ot]; $n=500$ [ot/min])	101
6.1.9	Vzájemné vyhodnocení	105
ZÁVĚR		106
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		107
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		108
SEZNAM OBRÁZKŮ		111
SEZNAM TABULEK		115

ÚVOD

V této bakalářské práci se zabýváme tématem s názvem Testování nástrojů pro zahlubování otvorů. Cílem je seznámit čtenáře s problematikou výroby a zahlubování otvorů, zejména pro šrouby s válcovou či kuželovou hlavou.

Ve strojírenství je jednou z důležitých operací při výrobě výrobků vytváření zahloubení kruhových otvorů, které se vyrábějí rotačním nástrojem. Podle rozměru předem vyrobeného otvoru a podle typu šroubu se volí typ a rozměr nástroje pro zahlubování.

Zahlubování otvorů je důležité zejména tehdy, potřebujeme-li upravit čelní plochy děr nebo upravení zahloubení pro hlavy šroubů či matic, kdy je nutné ukryt hlavy šroubů či matic pod rovinu funkční plochy výrobků, nebo jen z estetického hlediska, dále také zahlubování využíváme ke srážení hran válcových otvorů.

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části, teoretickou část a praktickou část. Uspořádání jednotlivých bodů je voleno tak, aby byla co nejlépe pochopena tato práce. Pro zlepšení pochopení je zde pro názornost umístěno několik obrázků.

V teoretické části se zabýváme teorií obrábění, nástrojovými materiály, nástroji a stroji pro výrobu otvorů a drsností povrchu. Jednotlivé kapitoly obsahují podkapitoly, aby bylo možno lépe vysvětlit daná fakta. V každé podkapitole jsou vysvětleny jednotlivé charakteristiky daných technologických operací a obráběcích nástrojů. V teorii obrábění jsou vysvětleny základní pojmy, jako jsou obrobek, nástroj, fyzikální podstata vzniku třísky, řezné roviny, úhly, řezné prostředí. V nástrojových materiálech jsou shrnuty materiály, které se uplatňují při výrobě nástrojů. Od základních materiálů jakým je např. rychlořezná ocel až po moderní materiály, kterými jsou např. keramika či diamanty. V části nástroje pro výrobu otvorů je vyjmenováno a popsáno několik nástrojů, kterými se vytvářejí válcové otvory. V kapitole o drsnosti povrchu je zmíněno několik typů a způsobů měření jakosti povrchů obrobených otvorů.

V praktické části se zabýváme vyhodnocením a diskusí parametrů zahloubených děr. Byly použity 2 typy záhlubníků ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627 od firmy M&V. Kontrolovali jsme drsnost zahloubené plochy, která byla zhotovena v rozměru 3x45°.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE OBRÁBĚNÍ

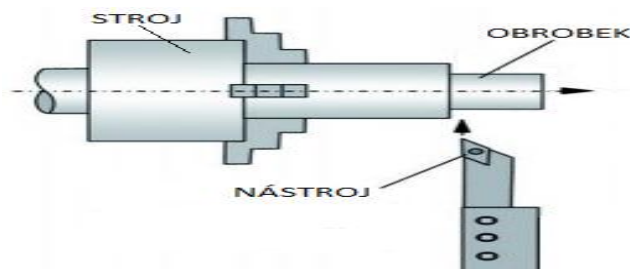
Obrábění zaujímá ve strojírenském průmyslu prioritní místo. Díky obrábění jsme schopni pomocí několika technologických operací vytvořit z polotovaru výrobek, který má požadované tvary, rozměrovou přesnost a jakost povrchu obráběných ploch. Obrábění tvoří přibližně jednu třetinu všech operací při strojírenské výrobě prováděných na výrobku. Proto se snažíme, aby výroba byla co nejvíce ekonomická, hospodárná a nedocházelo ke zbytečnému znečišťování životního prostředí.

V minulosti se používaly převážně konvenční obráběcí stroje, což znamenalo, že některé volby parametrů obrábění, např. volba řezných podmínek byla částečně ponechána dělníkovi, který obsluhoval obráběcí stroj. V současnosti, kdy se ve velké míře využívají číselnicově řízené obráběcí stroje, automatické výrobní stroje a výrobní linky, obráběcí centra nebo integrované výrobní úseky řízené počítači, se předává volba řezných podmínek na technologa, který má plnou zodpovědnost za výrobu.

Množství poznatků o teorii obrábění je získáno pomocí experimentů a statistiky. Každá zákonitost je funkční pouze pro omezený rozsah řezných podmínek a omezený rozsah použití. Díky experimentům a dalším výsledkům výzkumu dochází především ke zlepšení hospodárnosti obrábění a kvality vyráběných výrobků. [1]

1.1 Technologické charakteristiky obráběcího procesu

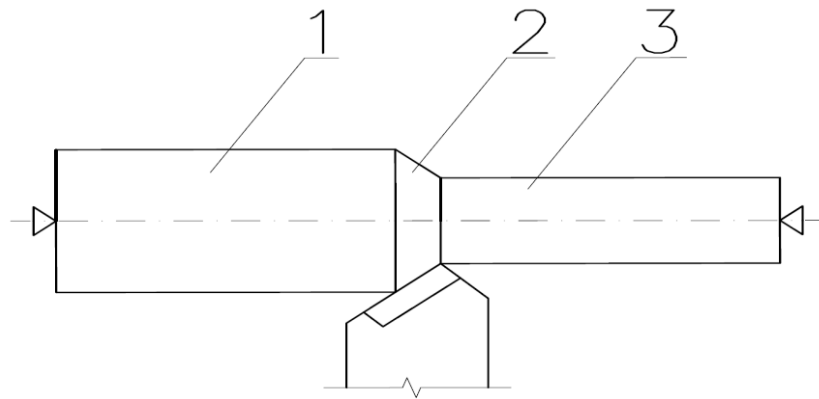
Obrábění je technologický proces, při kterém pomocí nástroje dochází k odebrání přebytečných částí materiálu, které ve formě třísky odřezává z obrobku břit nástroje. Proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu nazýváme řezání nebo také řezný proces. V závislosti na způsobu, jakým oddělujeme materiál, se rozděluje na řezný proces kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání), diskontinuální (hoblování, obrážení) a cyklický (frézování, broušení). Proces obrábění probíhá v soustavě stroj - nástroj - obrobek (Obr. 1). [1]



Obr. 1. Soustava stroj - nástroj - obrobek [11]

1.2 Obrobek

Obrobek je vlivem obrábění charakterizován z geometrického hlediska obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou. Obráběná plocha je taková plocha, na které se odehrává řezný proces, což znamená, že z této plochy je odebírán nadbytečný materiál. Přechodová plocha vzniká působením ostří nástroje během zdvihu nebo otáčky nástroje či obrobku během samotného řezného procesu. Pod významem obrobená plocha je možno si představit výstup obráběcího procesu, kdy nám nástroj obrobil obrobek do požadovaných technologických parametrů, které jsou určeny tvarem, rozměrem součásti, dále pak polohou, strukturou povrchu a v neposlední řadě vlastnostmi povrchové vrstvy. Tyto základní plochy při podélném soustružení jsou znázorněny níže (Obr. 2). [5]



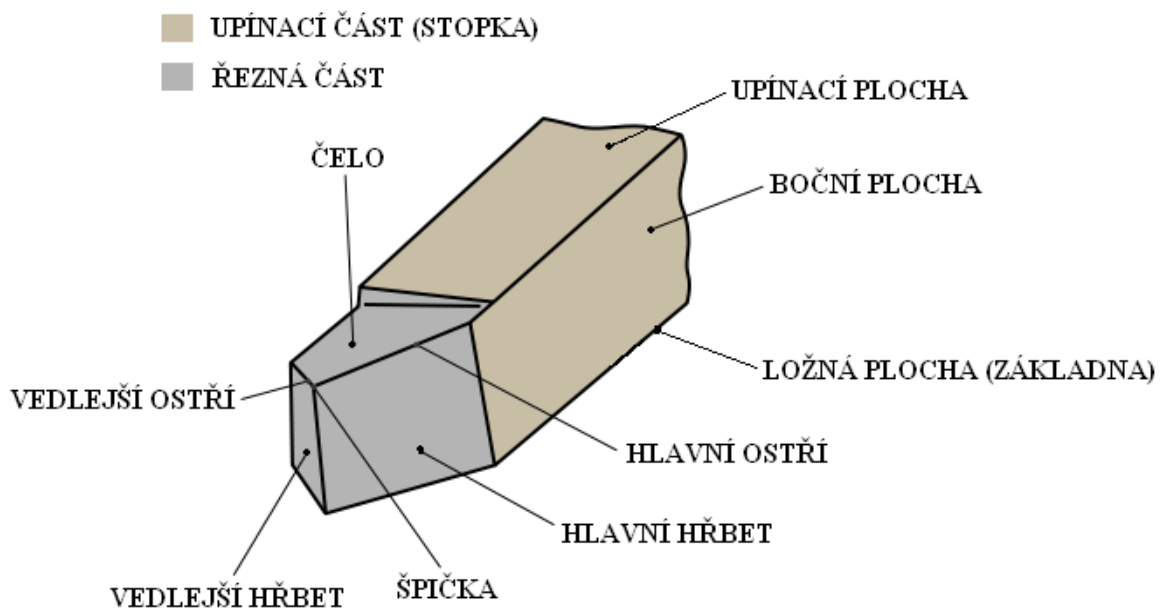
1 - obráběná plocha, 2 – přechodová plocha, 3 – obrobená plocha

Obr. 2. Obrobek [5]

Obecně se dá říci, že tyto parametry obrobené plochy jsou všeobecně chápány jako soubor technologických faktorů, které korespondují s vlastnostmi stroje, nástroje, obrobku, upínacích a hlavně řeznými podmínkami. Nesmíme opomenout, že technologické vlivy na parametry obrobené plochy v závislosti na jejich charakteru lze členit na systematicky konstantní (chyba v seřízení stroje, úchylka rozměru a tvaru nástroje), systematicky proměnné (opotřebení a únava nástroje vlivem tepelné deformace prvků obráběcího ústrojí), náhodné (nesprávná volba materiálu, nesprávný výpočet přídatku na obrábění). [5]

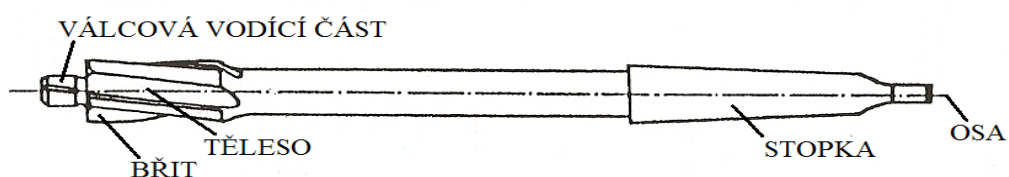
1.3 Nástroj

Nástroj je zjednodušeně řečeno iniciátor řezného procesu. Při styku s obrobkem dochází k obrábění. Nástroj má tvar klínu, který usnadňuje vnikání do obráběného materiálu zapichovacím způsobem a následuje odebrání materiálu. Nástroj se skládá z řezné části a upínací. Do řezné části nástroje řadíme pracovní část, kterou nazýváme břit. Břit je ohraničen plochou hřbetu a plochou čela, po které odchází během obrábění tříska. V místě kde se protínají plochy čela a hřbetu se bavíme o ostří. Pracovní (řezná) část nástroje má zpravidla hlavní a vedlejší ostří, hlavní a vedlejší hřbet, špičku a čelo (Obr. 3). Nástroj je upínán za upínací část (stopka) nástroje, která je tvořena upínací plochou, boční plochou a ložnou plochou (základna). [1]



Obr. 3. Soustružnický nůž [10]

Dále je nutné si uvědomit, že nože mají tvar těla nástroje čtvercového nebo obdélníkového průřezu (Obr. 3.), přičemž nástroje pro vrtání mají stopku válcového nebo kuželového tvaru (Obr. 4.) [1]



Obr. 4. Válcový záhlubník s kuželovou stopkou a válcovou vodící částí [5]

Obráběcí nástroj se skládá:

Těleso - je část nástroje, kde jsou vytvořeny nebo upevněny prvky ostří

Stopka - část nástroje, za kterou se upíná na stroj

Upínací díra - je souhrn vnitřních ploch tělesa nástroje, určených pro nastavení a upnutí nástroje

Osa nástroje - je teoretická přímka s určeným geometrickým vztahem k povrchu nástroje. Je důležitá pro výrobu, upnutí a ostření nástroje. Tato přímka protíná střed stopky nebo upínací díry nástroje. Většinou je kolmá či rovnoběžná k danému povrchu nástroje.

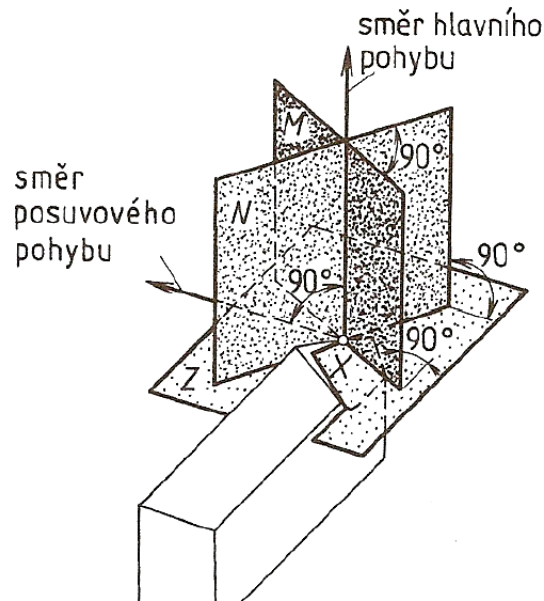
Řezná část - je pracovní část nástroje, která nám odebírá přebytečnou část materiálu z obrobku a tvoří nám tedy třísku. Řadíme sem břit, ostří, čelo jak je uvedeno výše. Ovšem existují i případy, kdy nástroj obsahuje více zubů a tehdy má každý zub svou vlastní řeznou část.

Základna – je plochá část stopky nástroje, která je obvykle kolmá či rovnoběžná k základní rovině nástroje. Je důležité si uvědomit jakou má nástroj základnu, abychom jej správně zorientovali a umístili během jeho výroby, kontroly a ostření. Ovšem ne každý nástroj má přesně definovanou základnu.

Břit – je část řezné části nástroje, je ohraničen plochou hřbetu a plochou čela, po které odchází během obrábění tříska. Může být spojen s hlavním tak i vedlejším ostřím. [5]

1.4 Nástrojové roviny a úhly

Geometrie nástroje je důležitá pro konstrukci, výrobu, kontrolu a ostření. Provádí se ve statickém pojetí. Roviny, které jsou obsaženy na nástroji se nazývají nástrojové roviny. Úhly jsou nepostradatelným parametrem pro identifikaci geometrické polohy hřbetu, čela, ostří. Nástrojové úhly jsme schopni definovat v nástrojové souřadnicové soustavě, kdežto pracovní úhly se definují v pracovní souřadnicové soustavě. Zde uvedené definice rovin a grafická znázornění jsou dále upřesněny pro pravý ubírací soustružnický nůž (Obr. 5).



M - ortogonální rovina, N - rovina hlavního ostří, Z - základní rovina, X - vybraný bod, ve kterém se určuje daná geometrie břitu

Obr. 5. Roviny nástroje [5]

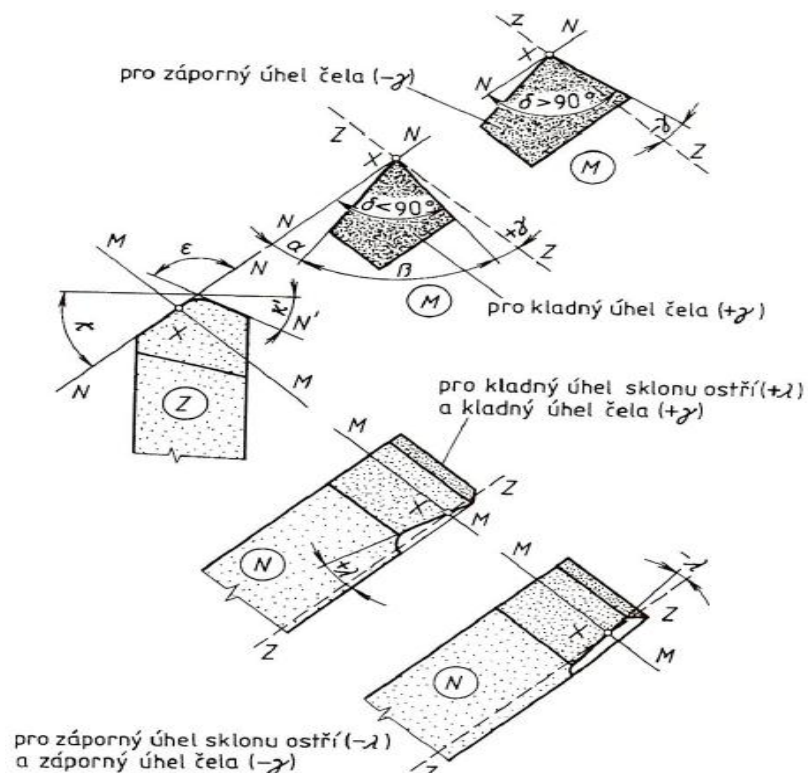
Ortogonální rovina (M) je rovina kolmá k základní rovině i rovině hlavního ostří a protíná zvolený bod X, ve kterém měříme dané geometrii břitu. Úhly, které jsou zjištěny a které se vztahují k daným rovinám jsou zobrazeny na (obr. 6).

Rovina hlavního ostří (N) je tečná rovina k bodu v hlavním ostří X, tedy v bodě ve kterém určuje geometrii břitu. Rovina hlavního ostří je kolmá k rovině základní.

Základní rovina (Z) je rovina procházející bodem X v hlavním ostří, který jsme se zvolili. U nožů je tato rovina rovnoběžná se základnou nebo s osou upínací části (stopky) (Obr. 5). U rotačních nástrojů prochází osou nástroje. [5]

Tab. 1. Názvosloví pracovních úhlů břitu obráběcího nástroje [5]

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	δ	Úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a roviny Z
Úhel řezu	γ	Úhel mezi tečnou rovinou plochy čela a roviny N
Základní rovina		
Úhel nastavení hlanvího ostří	κ	Úhel mezi rovinou N a směrem posuvu nástroje
Úhel nastavení vedlejšího ostří	κ'	Úhel mezi rovinou N' a směrem posuvu nástroje
Úhel špičky	ϵ	Úhel mezi rovinou N a N
Rovina hlavního ostří		
Úhel sklonu hlanvího ostří	λ	Úhel mezi tečnou přímkou ostří a rovinou Z



Obr. 6. Pracovní úhly řezného nástroje [1]

1.5 Kinematika obrábění

Řezný pohyb se uskutečňuje mezi nástrojem a obrokem (Obr. 7). Vzniká díky určité relativní rychlosti nástroje nebo obrobku po určité dráze. Ve většině případech je pohyb tvořen dvěma složkami.

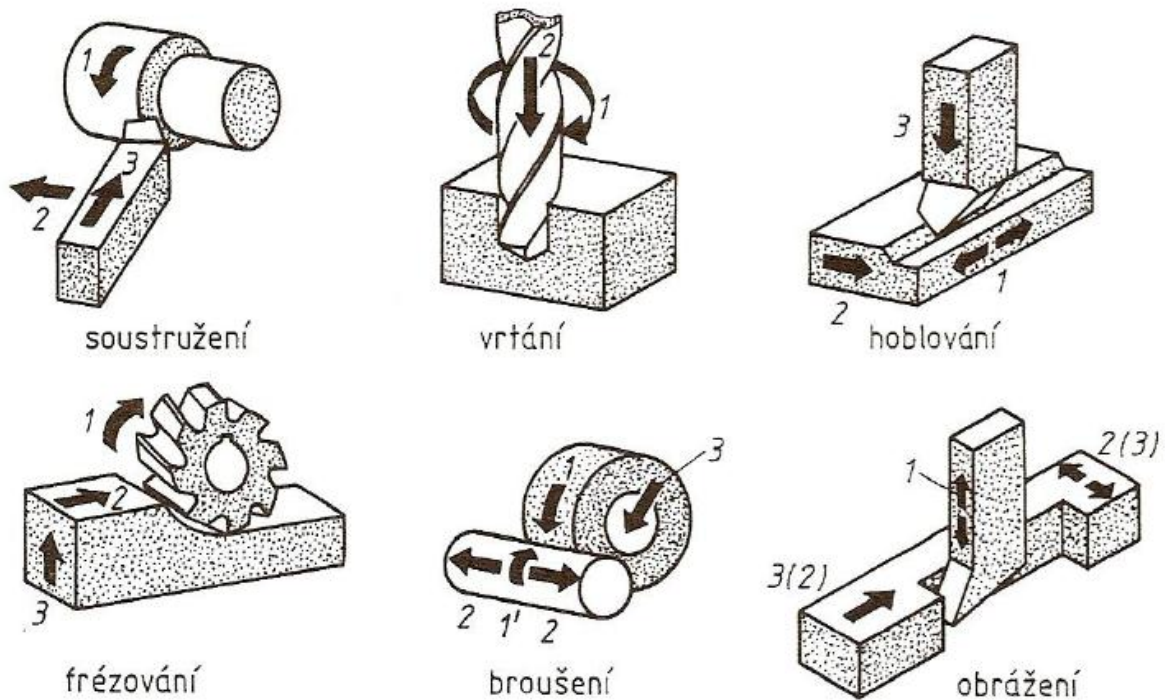
- Hlavní řezný pohyb
- Vedlejší řezný pohyb

Ad.1) Hlavní řezný pohyb je takový, který se vyskytuje zejména u soustruhu, vrtaček, frézek. Tudíž hlavní řezný pohyb je takový, který je totožný se základním pohybem obráběcího stroje.

Ad.2) Vedlejší řezný pohyb je jednoduše řečeno pohyb kolmý na hlavní řezný pohyb obráběcího stroje. Vedlejší řezný pohyb je specifikován jako posuv. Podle působení vedlejšího řezného pohybu se bavíme o posuvu podélném, příčném, kruhovém, plynulém, přerušovaném. [1]

Velikost posuvu se vyjadřuje:

- délkou dráhy s (f) v mm na jednu otáčku vřetene, je-li posuv odvozen od hlavního řezného pohybu
- délkou dráhy s_z (f_z) v mm na jeden zub nástroje, např. frézy, pily, výstružníku, je-li posuv odvozen od hlavního řezného pohybu
- posuvová rychlost v_f [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$] pokud je posuv odvozen od vedlejšího řezného pohybu, např. pracovní stůl frézky, rychlost posuvu $v_f = s \cdot n$, pokud je posuv odvozen od hlavního řezného pohybu, např. support soustruhu
- přísuv je zpravidla vykonáván zároveň nástrojem i obrokem. Je většinou kolmý na obráběnou plochu a umožňuje nastavení hloubky řezu h . [1]



1 - hlavní řezný pohyb, 1' - vedlejší řezný pohyb, 2 - posuv, 3 - přísuv

Obr. 7. Druhy řezných pohybů [1]

Výsledný řezný pohyb je geometrickým součtem hlavního řezného pohybu a posuvu. Posuvová rychlost v_f je několikanásobně menší, tudíž je v podstatě zanedbatelná v porovnání s rychlostí hlavního řezného pohybu a nemá tedy na výslednou rychlost pohybu žádný vliv. Proto se rychlost hlavního řezného pohybu nazývá řezná rychlost „ v “. [1]

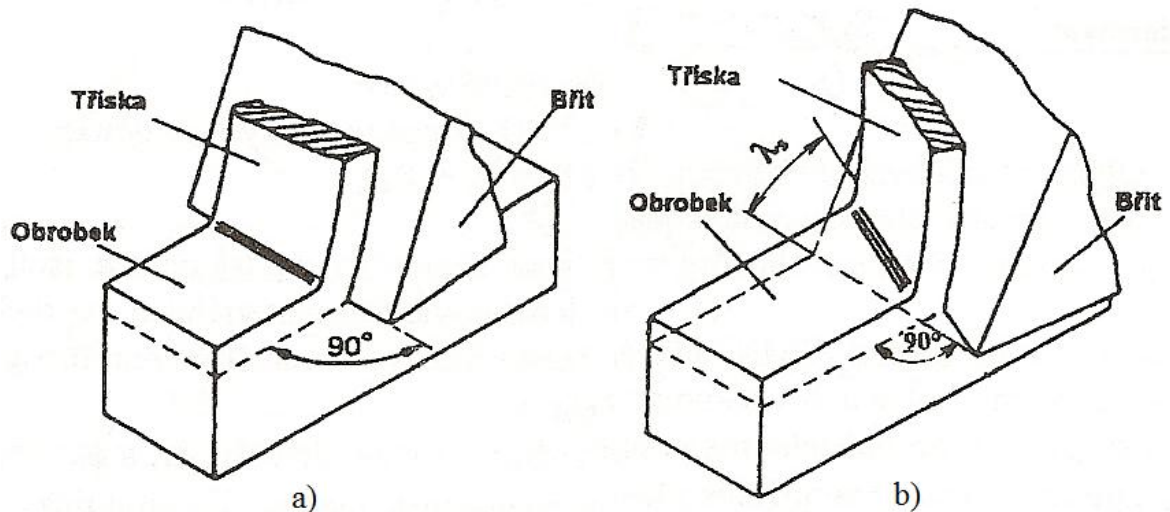
Řezná rychlost je dána vztahem:

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

π - Ludolfovo číslo [3,14], D – průměr nástroje nebo obrobku, n – počet otáček vřetene za minute [\min^{-1}]

1.6 Fyzikální podstata obrábění – mechanismus vzniku třísky

Samotný řezný proces se může uskutečňovat v soustavě stroj - nástroj - obrobek, přičemž musíme vyrobit výrobek o požadovaných parametrech. Z tohoto hlediska je nutné rozpoznat dva typy mechanismu tvoření třísek. Řezný proces se může uskutečňovat jako obecné nebo ortogonální řezání (Obr. 8).



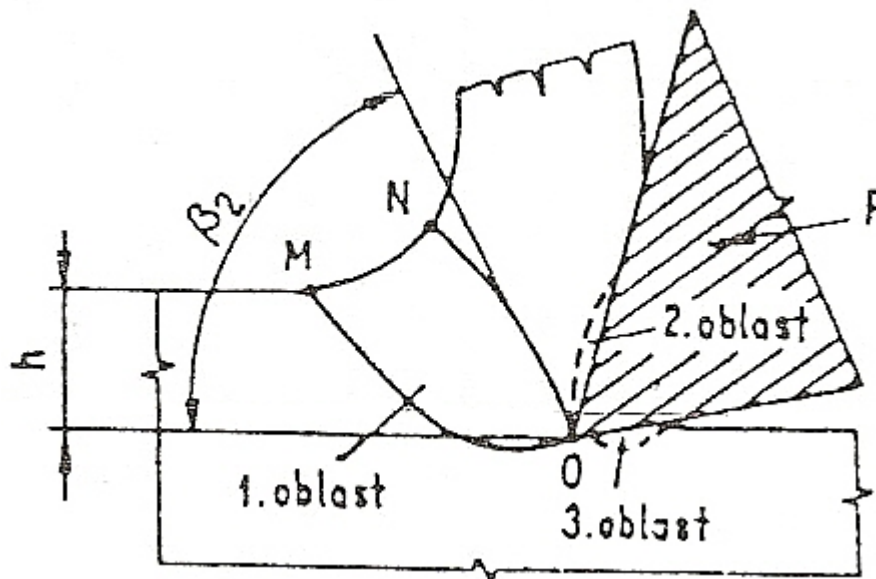
Obr. 8. Realizace řezného procesu [5]

Při ortogonálním řezání je ostří natočeno kolmo na směr řezného pohybu nástroje a daná záležitost se řeší v rovině (např. protahování, zapichování, frézování nástrojem s přímými zuby).

Při obecném řezání je ostří pootočeno, a proto je nutné řešit danou záležitost v prostoru (vrtání, podélné soustružení, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici).

Při obrábění materiálu dochází k procesu, který nazýváme oddělování třísky. Tento proces vzniká vlivem trvalého zatěžování odebírané vrstvy řezným nástrojem. Při vnikání nástroje do obrobku je materiál odebírané vrstvy dosti namáhán a deformován. Podle experimentálních vyhodnocení vzniká deformace především v oblasti plastických deformací (Obr. 9).

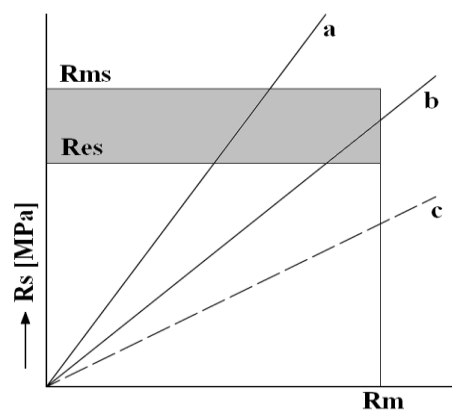
U krystalických a nekrystalických látek je proces oddělování přebytečného materiálu rozdílný. U krystalických látek vzniká během odebrání materiálu řezným nástrojem plastická deformace, která má za následek vznik třísky tvářené. U nekrystalických látek, žádná plastická deformace nevzniká, tudíž tříška se odděluje křehkým lomem nebo štěpením, tříška je tedy netvářená. [5]



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

Obr. 9. Deformace a napětí v oblasti tvoření třísky [1]

Podle pevnosti obráběného materiálu mohou nastat tyto případy. Vše záleží na poměru pevnosti ve smyku a v tahu daného materiálu, který obrábíme.



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

Obr. 10. Závislost napětí ve střihu na pevnosti v tahu [1]

1. Namáhání podle přímky a: dosáhne-li tečné napětí meze kluzu ve střihu R_{es} a meze pevnosti ve střihu R_{ms} dříve než normálové napětí pevnosti v tahu R_m . V tomto momentu dochází k tomu, že odřezávaný materiál se začne prudce plasticky tvářet a oddělovat z obrobku ve formě třísky. Vzniká tedy tříska tvářená plastickým kluzem. Tříska je soudržná, celistvá, v některých případech je buď plynulá, nebo článkovitá. Tato tříska se především objevuje u houževnatých kovových materiálů, kterými jsou např. měď, slitina hliníku, ocel (Obr. 11).

2. Namáhání podle přímky b: dosáhne sice normálové napětí meze pevnosti v tahu R_m dříve než tečné napětí meze pevnosti ve střihu R_{ms} , ale později než meze ve střihu R_{es} a materiál je před oddělením ve formě třísky částečně tvářen. Tento typ třísek se vyskytuje zejména u křehkých materiálů, jakými jsou např. litina, bronz a podobných. Vzniklou třísku nazýváme elementární, částečně tvářenou (Obr. 11).

3. Namáhání podle přímky c: dosáhne-li normálové napětí meze pevnosti v tahu R_m dříve než tečné napětí meze kluzu ve střihu R_{es} . V tomto okamžiku dochází k případu, že materiál odebírané vrstvy je doslova vytržen z materiálu, aniž by došlo k tváření. Tříska tedy vzniká štěpením. Tento typ třísky má prioritní výskyt u materiálů jako je např. dřevo, sklo, plasty. Jedná se o třísku elementární vytrhávanou (Obr. 11). [1]

Zjednodušeně řečeno:

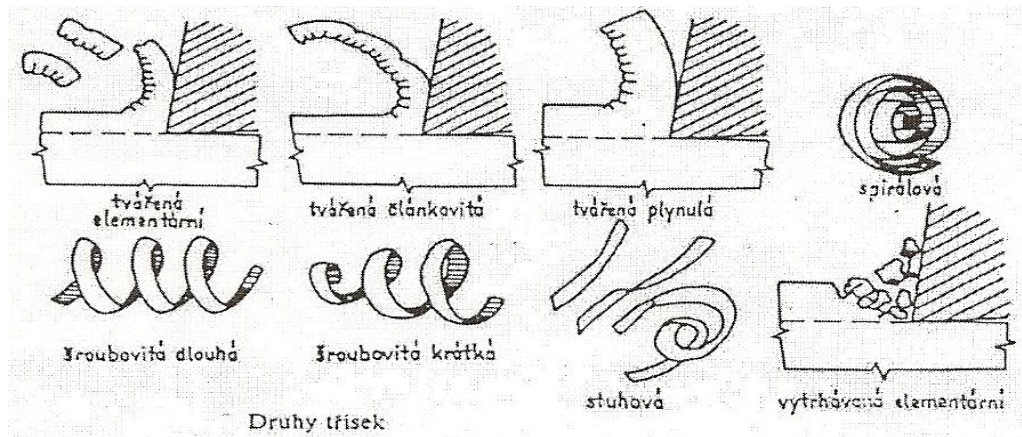
a) je-li napětí v rovině střihu menší než pevnost ve střihu oddělované třísky, vznikne tzv. tříska smyková, která může být podle tvaru dělená, článkovitá nebo souvislá – u houževnatých materiálů.

b) je-li napětí v rovině střihu větší než pevnost ve střihu oddělované třísky, vznikne tzv. tříska elementární, neboli trhaná (lámaná) – převážně u lehkých materiálů. [1]

1.6.1 Rozdělení třísek

- plynulá článkovitá soudržná (vzniká u většiny ocelí)
- plynulá soudržná lamelová (vzniká u většiny korozivzdorných ocelí)
- tvářená elementární (vzniká u většiny litin)
- nepravidelně článkovitá plynulá (vzniká u většiny vysoce legovaných ocelí)

- tvářená plynulý soudržná (vzniká při malých řezných silách)
- dělená segmentová (vzniká při velkých řezných silách a vysokých teplotách řezání)
- plynulá segmentová tříška (vzniká při obrábění titanu) [1]



Obr. 11. Druhy třísek [1]

1.6.2 Objemový součinitel

Objemový součinitel třísky K_{V_0} slouží k vyjádření poměru velikosti objemu, které třísky během obrábění zaujímají. Je to poměr objemu třísek při jejich pěchování (V_t) k objemu, kterým disponoval materiál před samotným obráběcím procesem (V_m).

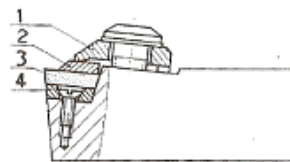
$$K_{V_0} = \frac{V_t}{V_m} > 1 \quad (2)$$

Pokud je nevhodně zvolena geometrie břitu obráběcího nástroje, dochází k tomu, že třísky začnou zabírat během obrábění značný prostor. Na tomto negativním jevu se podepisují i nevhodně zvolené technologické parametry jakým jsou například řezné podmínky, nevhodně zvolený obráběný materiál. Objemový součinitel může nabývat vysokých hodnot, v řádech stovek. Může se přibližovat až hodnotám okolo 300 - 400. Ovšem je patrné, že pokud máme tak velký objemový součinitel, musí logicky docházet k tomu, že bude složité třísky odvádět z pracovního prostoru obráběcího stroje a tudíž výroba nebude zcela kontinuální. Je tedy snahou, aby objemový součinitel byl pokud možno vždy co nejmenší.

Zmenšení objemového součinitele K_{V_0} lze dosáhnout:

- zvolením vhodného obráběného materiálu nebo jiného nástroje s jinou geometrií břítu
- upravením řezných podmínek obrábění
- použitím tzv. utvařečů třísek

Nejvhodnější pro obrábění je tříška elementární dělená. K dosažení takové třísky se používají utvařeče třísek tzv. lamače, a ty můžeme vyrobit vybroušením žlábků na čele nástroje, nebo pomocí mechanické příložky na čele nástroje. V současnosti se používají i příložné utvařeče (Obr. 12). Ty jsou využívány zejména u nástrojů s vyměnitelnými destičkami. [1]

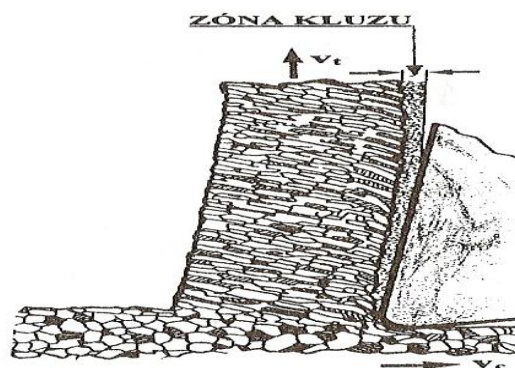


1 - úpinka, 2 - utvařeč třísek, 3 - břitová destička, 4 - podložka

Obr. 12. Příložný utvařeč třísek [1]

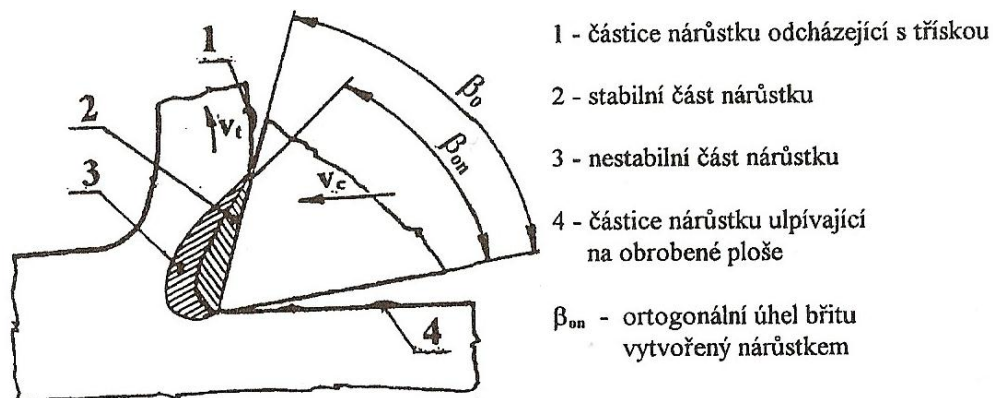
1.6.3 Nárůstek a jeho vliv na řezný proces

Vznik nárůstku probíhá při pohybu třísky po čele nástroje. To se děje za vysokých teplot a tlaků. Vzniká tangenciální síla F_y mezi čelem nástroje a odcházející třískou (Obr. 13), která může vyvolat „zadírání“ při určitých řezných rychlostech. Rychlost třísky nabírá hodnot z teoretické nuly až do hodnot vysokých, tento děj je způsoben vlivem pohybu třísky po čele nástroje. Může tedy vzniknout zóna kluzu mezi třískou a povrchovou plochou čela, kde vzniká tavenina kovu, způsobená vysokými teplotami při obrábění. [4]



Obr. 13. Znárodnění zóny kluzu při pohybu třísky po čele nástroje [4]

Nárůstek lze jinými slovy nazvat jako „**studený návar**“ materiálu obrobku, který vzniká na břitu nástroje (Obr. 14).



Obr. 14. Tvorba a rozpad nárůstku [4]

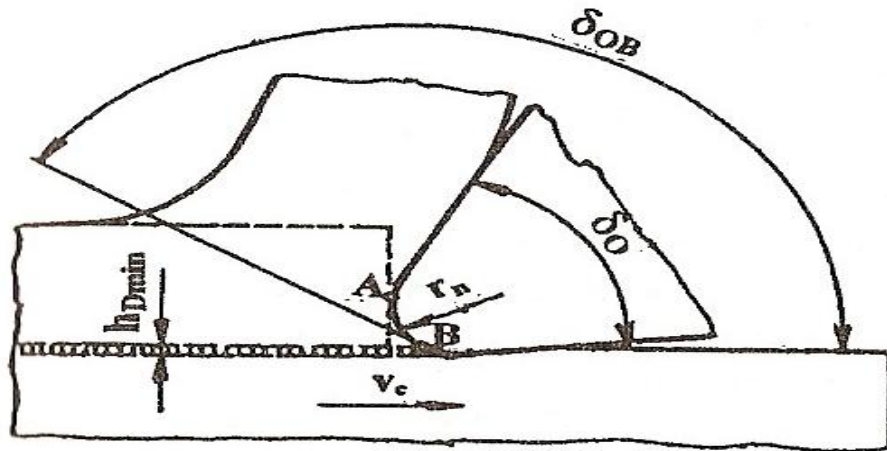
Vznik nárůstku, jako fyzikálního jevu je umožněn za určitých podmínek a za určitého stavu řezného procesu. Nárůstek je nestabilní, cyklický jev (vzniká a zaniká s frekvencí 10^2 až 10^3 Hz). Částice nárůstku při jeho zániku, které se usazují na třísky, se kterou odchází poškozují čelo nástroje. Částice nárůstku při zániku, které se usadí na obrobene ploše, zhoršují její jakost.

Vzniku nárůstku je možné zabránit pokud provedeme vhodnou úpravu řezných podmínek (např. zvýšení řezné rychlosti), vhodné chlazení nebo mazání obrobku během obrábění, úprava čelní plochy nástroje (lapování čelní plochy nástroje nebo je možné pravidelně uhlazovat čelo nástroje). [4]

1.6.4 Mechanické vlastnosti povrchové vrstvy obrobene plochy

V mechanických vlastnostech povrchové vrstvy obrobene plochy dochází ke změnám, které jsou způsobené realizací řezného procesu. Vznikají zejména strukturální změny, zpevnění obrobene plochy, různé vady, zbytková napětí v povrchové vrstvě apod. Zpevnění obrobene plochy (vrstvy) je způsobeno především tím, že oblast primární plastické deformace je obvykle zahrnuta pod úroveň budoucího povrchu. V neposlední řadě hraje na zpevnění vliv i to, že reálné ostří nemá „dokonalou špičku“, jinými slovy není tvořeno přímkou, ale ostří je částečně zaobleno. Ke vzniku povrchu obrobene plochy tudíž nedochází řezáním, ale tvářením. Jelikož v bezprostředním styku břitu s materiálem obrobku vzniká negativní úhel čela. S výše popsaným jevem úzce souvisí určitá minimální jmenovitá hodnota tloušť-

ky řezu, kterou je možné realizovat pro dané řezné podmínky (Obr. 15). Zpevnění povrchové vrstvy obrobeneé plochy lze vyjádřit hodnotou mikrotvrlosti. [4]



Obr. 15. Ortogonální řezání nástrojem s reálným ostrím [3]

Zbytková napětí v povrchové vrstvě vznikají díky nerovnoměrné plastické deformaci. Základními mechanismy vzniku zbytkového napětí v povrchové vrstvě jsou:

- Nerovnoměrná plastická deformace
- Chemické procesy (vlivem difúze a působení řezného prostředí vznikají chemické sloučeniny)
- Při nerovnoměrném ohřevu a ochlazování vzniká teplotní roztažnost
- Strukturální změny materiál v tuhém stavu [4]

1.7 Obrobitelnost materiálu

Je to souhrn fyzikálně-mechanických a technologických vlastností obráběného materiálu, uplatňuje se při vlastním řezání (schopnost materiálu nechat se obrábět).

Základními činiteli ovlivňující obrobitelnost jsou:

- **Fyzikální vlastnosti** - pevnost, tvrdost, houževnatost, měrné teplo, tepelná vodivost
- **Chemické vlastnosti** - působí na velikost řezného odporu, tvar třísky a otupení nástroje
- **Mikrostruktura** – závisí na tepelném zpracování obrobku před obráběním

V praxi se obrobitelnost posuzuje podle řezné rychlosti, která podstatně ovlivňuje výkonost obrábění, tedy i čas a cenu obrobku. Obrobitelnost se vyjadřuje vzhledem k obtížnosti

obrábění materiálu poměrem skutečné řezné rychlosti $V_{cT/VB}$ zkoušeného materiálu a řezné rychlosti $V_{cT/VB}$ etalonového materiálu, tedy součinitel obrobiteľnosti.

$$K_V = \frac{V_{cT/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{V_{cT/VB} \text{ etalonového materiálu}} \quad (3)$$

Obrábění materiálu rozdělujeme celkem do 9-ti kategorií, v nichž je obtížnost obrábění vyjádřena třídou obrobiteľnosti 1-20, přičemž třída 1 je neobtěžněji obrobiteľná a třída 20 je obrobiteľná nejlépe.

Kategorie jsou vyjádřeny malými písmeny řecké abecedy:

a - litina - 10a

b - oceli - 14b

c - těžké kovy - 11c

d - lehké kovy - 10d

e - plastické hmoty

f - přírodní nerostné hmoty

g - vrstvené hmoty

h - pryže

Důležitým činitelem ovlivňující obrobiteľnost je způsob (druh) obrábění tzn. soustružení, frézování, vrtání, broušení atd.

Vlivy na obrobiteľnost:

- přerušovaný řez
- druh materiálu
- hloubka řezu
- trvanlivost nástroje
- druh nástroje

Vždy se najde etalonová rychlost a tato rychlost se vynásobí koeficienty odpovídající různým vlivům, které vznikají. Základem je etalonová rychlost, která je 1 (**pro litinu 10a, pro ocel 14b, pro těžké kovy 11c, pro lehké kovy 10d**) a od této rychlosti vznikly všechny ostatní koeficienty, tzn. třídy obrobiteľnosti materiálů jsou v závislosti na etalonovou rychlost. Etalonová rychlost je stanovena pro různé materiály a různé třídy obrobiteľnosti, a vztahují se na ni výpočty na optimalizaci obrábění materiálů (Tab. 2). [4]

Tab. 2. Součinitel obrobiteľnost k_v [4]

Součinitel obrobiteľnosti k_v		Třída obrobiteľnosti pro skupinu materiálů			
		Ocel etalon	Litiny etalon	Neželezné kovy etalon	Lehké kovy etalon
od - do	střední hodnota	a	b	c	d
0,045-0,054	0,05		1b		
0,055-0,069	0,065		2b		
0,07-0,089	0,08		3b		
0,09-0,11	0,1		4b		
0,12-0,14	0,13		5b		
0,15-0,17	0,16		6b		
0,18-0,221	0,2		7b		
0,23-0,28	0,25		8b		
0,29-0,35	0,32		9b		
0,36-0,44	0,4	6a	10b	7c	6d
0,45-0,56	0,5	7a	11b	8c	7d
0,57-0,71	0,63	8a	12b	9c	8d
0,72-0,89	0,8	9a	13b	10c	9d
0,90-1,12	1	10a	14b	11c	10d
1,13-1,41	1,26	11a	15b	12c	11d
1,42-1,78	1,59	12a	16b	13c	12d
1,79-2,24	2	13a	17b	14c	13d
2,25-2,82	2,5		18b		
2,83-3,55	3,15		19b		
3,56-4,47	4		20b		

2 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY

Podmínky, ve kterých se nachází břit řezného nástroje během obrábění, jsou hlavním ukazatelem mechanických, fyzikálních a chemických vlastností řezných materiálů. Je nutno brát zřetel na dané vlastnosti a podle nich vybrat vhodný nástrojový materiál. Celkové vlastnosti řezného materiálu, které ovlivňují jeho vhodnost k obrábění, se nazývají řezivost.

K základním vlastnostem řezných materiálů patří:

- Tvrdost řezného materiálu, která převyšuje tvrdost obráběného materiálu o 5 – 6 HRC
- Ponechání této vlastnosti i za vysokých teplot po dostatečnou dobu
- Odolnost proti otupení při daných teplotách během řezného procesu
- Optimální tepelnou vodivost [3]

Tab. 3. Přehled nástrojových materiálů [3]

Nástrojové materiály				
Kovové		Řezná keramika		Polykrystalické řezné materiály
Nástrojové oceli	Slinuté karbidy	boridy		polykrystalický diamant
nelegované	jednokarbidové	nitridy		polykrystalický nitrid bóru (CBN)
legované	dvoukarbidové	silicidy		
rychlořezné	kombinované	nekovové tvrdé materiály		
legované na lité nástroje	povlakované	řezná keramika	čistá keramika	
			cermety	
			směsná keramika	

2.1 Nástrojové oceli

Rozdílný způsob namáhání (např. mechanické, tepelné) činné části obráběcího nástroje vyžaduje rozdílné vlastnosti (fyzikální, mechanické) nástrojových ocelí, které jsou zajištěny vhodným zpracováním, v tomto případě legováním a tepelným zpracováním.

Prioritní požadavky na vlastnosti všech nástrojových materiálů jsou:

- Tvrdost a tím tedy i dostatečná pevnost
- Odolnost proti opotřebení
- Houževnatost
- Řezivost
- Kalitelnost a prokalitelnost
- Odolnost proti ohýbání
- Stálost rozměrů

Nástrojové oceli se dále rozdělují podle následujících hledisek:

•Podle typu ochlazovacího prostředí při kalení:

- Kalitelné v oleji
- Kalitelné ve vodě
- Samokalitelné na vzduchu

•Podle účele, na který budou využívány:

- Nelegované
- Legované pro práci za tepla
- Legované pro práci za studena
- Rychlořezné

•Podle chemického složení se rozdělují nejčastěji:

- Nelegované
- Legované
- Rychlořezné

V normách je nástrojovým ocelím vyhrazena třída 19. Rozdělení a označení jednotlivých ocelí podle ČSN 42 0002 je uvedeno v následující tabulce (Tab. 4).

První číslice v základní pětimístné značce je číslo 1, které vyjadřuje, že se jedná o oceli tzv. tvárné. První dvojčíslí nám udává třídu oceli. Třetí číslice nám udává přísadovou skupiny, respektive kombinaci přísadových prvků, které daná ocel obsahuje. Čtvrtá číslice nám ukazuje, jakou mají příslušnou kombinaci přísadových prvků nástrojové oceli slitinové. Pátá číslice je tzv. pořadová číslice, která nás seznamuje s rozlišením jemnosti jakostí ocelí podle určitého typu výroby. [3]

Tab. 4. Rozdělení nástrojových ocelí dle ČSN 42 0002 [3]

Základní číselná značka	Význam třetí číslice v základní značce	
19 0 XX	Dvojčíslí ze 3. a 4. číslice vyjadřuje střední obsah C	Nástrojové oceli nelegované
19 1 XX		
19 2 XX		
19 3 XX	oceli manganové, křemíkové, vanadové	Nástrojové oceli legované
19 4 XX	oceli chromové	
19 5 XX	oceli chrommolybdenové	
19 6 XX	oceli niklové	
19 7 XX	oceli wolframové	
19 8 XX	oceli rychlořezné	Vysokolegované
19 9 XX	oceli volné	Odlévané

2.1.1 Nástrojové oceli nelegované

Vlastnosti nástrojových nelegovaných ocelí jsou poměrně hodně závislé na obsahu uhlíku.

Podle obsahu uhlíku rozlišujeme:

- Velmi houževnaté materiály mají obsah C do 0,7%
- Houževnaté a tvrdé materiály se pohybují s obsahem C v rozmezí od 0,8% do 1,2%
- Tvrdé a velmi tvrdé jsou s obsahem C okolo 1,25 až 1,4%

Pomocí tepelného zpracování mohou oceli získat pevnost 62 maximálně 67 HRC, a tyto vlastnosti si dokážou ponechat až do teplot 250 až 300°C. Průměrná řezná rychlost se pohybuje okolo 12m.min⁻¹ (v=12m.min⁻¹). Jejich hlavní nevýhodou je, že mají rychlý pokles trvanlivosti a řezivosti s poklesem tvrdosti a nedostatečný řezný výkon při vysokých řezných rychlostech. [2]

Představitel nástrojového materiálu patřící do této kategorie:

- **19 221** - jenž se využívá např. při výrobě strojních závitníků, vrtáků, výstružníků, frézy, chirurgické nástroje, měřicí doteky atd. [3]



Obr. 16. Válcový vrták vyroben z nástrojové oceli nelegované [13]

2.1.2 Nástrojové oceli legované

Na rozdíl od nástrojových ocelí nelegovaných jsou mnohonásobně složitější na tepelné zpracování, ale na druhou stranu jsou typické svou větší prokalitelností a zvýšenou odolností proti popouštění. Prioritními přísadami jsou karbidotvorné prvky (Cr, Mo, V, W) a nekarbidotvorné prvky (Ni, Si, Co). Díky tomuto jsme schopni pracovat s poměrně vyššími řeznými rychlostmi, než nástrojové oceli uhlíkové. Řezné rychlosti jsou větší 1,2 x 1,5x.

Představitel nástrojového materiálu patřící do této kategorie:

- **19 241** - používaný na vrtáky, výstružníky, které pracují v menších řezných rychlostech, dále se používá na závitníky, vyhazovače, kolíky atd.
- **19 422** - používaný na profilové nože a frézy pro jemné obrábění plastů, dřeva (neželezných kovů), za použití menších řezných rychlostí. [3]



Obr. 17. Válcový vrták vyroben z nástrojové oceli legované [13]

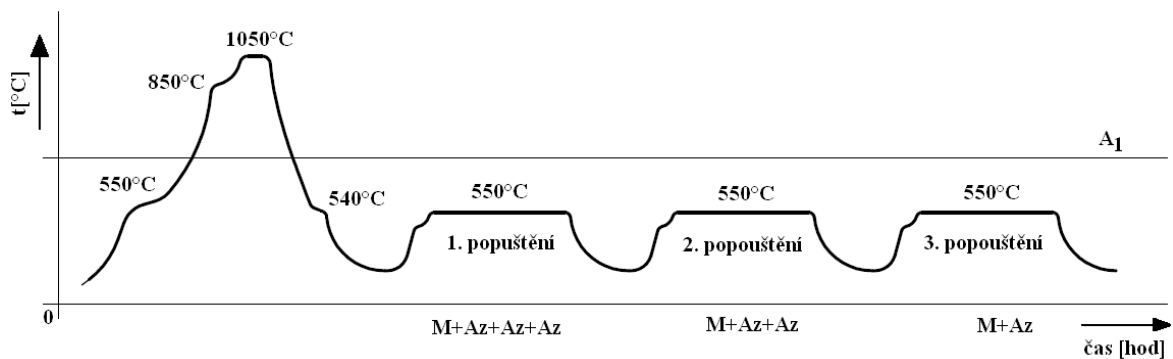
2.1.3 Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli zaujímají poměrně velkou část v nástrojových ocelích, kvůli své výkonnosti, čímž se z rychlořezné oceli stává nejvýkonnější druh nástrojových ocelí s hlavními přísadovými prvky, kterými jsou W, Co, Cr, Mo, V a další. Tvoří izolovanou skupinu vysokolegovaných ocelí, z toho nám plyne, že součet všech legovaných prvků je vyšší než 10%. Ponechávají si své vlastnosti, zejména tvrdost cca 64 až 68 HRC při vysokých teplotách, pohybujících se kolem 600°C. Oproti nástrojovým ocelím nelegovaným se vyznačují

mnohonásobným zvýšením řezné rychlosti (2-3x zvýšené). Existují 3 výkonnostní skupiny (Tab. 5).

Tab. 5. Výkonnostní skupiny [3]

ČSN	Hutní značka (POLDI)	Výkonnostní skupina	Informativní chemické složení [%]					
			C	Cr	W	V	Co	Mo
19 800	Maximum special G	III.skupina - Pro běžné výkony	0,8	4,2	8,75	1,65		
19 824	Maximum special		0,75	4,2	18	1,3		
19 802	Maximum special G Extra	II.skupina - Výkonné	0,85	4,2	10,3	2,35		
19 810	Radeco		1,27	4,4	11	4,05		
19 811	Maximum 12		0,85	4,2	12	2,55		
19 830	Maximum special Mo5		0,85	4,2	6,25	1,85		5
19 855	Maximum special 55	I.skupina - Vysoce výkonné	0,7	4,2	18	1,5	4,7	
19 856	Maximum special 55G		0,95	4,2	10,3	2,35	5	
19 857	MKG		0,95	4,2	10,3	2,35	9,75	
19 858	Radeco C		1,37	4,4	12	4,25	6	



Obr. 18. Tepelné zpracování rychlořezné oceli [3]

Rychlořezné oceli jsou poměrně hodně citlivé na prudké ohřívání. Proto se během kalení ohřívají postupně. Postupné ohřívání nám zajišťují 3 teploty, 550°C, 850°C a 1050°C. Během výdrže se ohřejí na požadovanou teplotu v celém jejich průřezu a následně jsou ochlazeny na kritickou teplotu 540°C, kde vydrží asi 15min a poté jsou dochlazeny na vzduchu za normálního atmosférického tlaku. Ve výsledné struktuře je obsažen martenzit m a poměrně velké procento austenitu, který z povrchu uvedené struktury odstraníme mnohonásobným popouštěním na teplotu 550°C s následným chlazením na vzduchu za normálního atmosférického vzduchu. Pokud předpokládáme, že nástroje budou více namáhány, je nutno aby se při jejich výrobě používalo wolframových ocelí legovaných V a Co. Díky této úpravě nám vznikne superrychlostní rychlořezná ocel.

Představitelé nástrojových materiálů patřící do této kategorie:

- **19 800** - který se využívá na vysoce namáhané nástroje s nepříznivým tvarem. (kalí se při teplotě 1220°C až 1240°C, poté se chladí v termální lázni na teplotu přibližně okolo 550°C, popouští se 3x na popouštěcí teplotu 560°C)
- **19 824** - pro nástroje na oceli, ocelolitinu a to především frézy, vrtáky, záhlubníky
- **19 802** - pro výrazně namáhané nástroje se zaměřením především na hrubování materiálu o nižší a střední pevnosti
- **19 810** - na výrazně namáhané nástroje určené především k dokončovacím operacím (soustružení nebo frézování na čisto) a k přesnému obrábění oceli a ocelolitiny o nižší a střední pevnosti (mosaz, šedá litina atd.).
- **19 830** – pro nástroje, které vyžadují značnou houževnatost při obrábění. Ovšem na druhou stranu pro silně namáhané nástroje určené k obrábění materiálů a střední a vyšší pevnosti (frézy, vrtáky, výstružníky). [3]



Obr. 19. Válcový vrták vyroben z rychlořezné oceli [14]

2.1.4 Legované na lité nástroje

Tento typ nástrojové oceli se používá z ekonomických důvodů a s ohledem na nedostatek a cenu legujících prvků. Nástroje vyrobené z této oceli mají řadu lepších vlastností oproti klasickým než nástroje z ocelí tvářených (např. řezivost). Ale mají nevýhodu takovou, že jsou křehké. Využití našli zejména u fréz, výhrubníků, lité břitové destičky soustružnických nožů atd. Pro výrobu těchto nástrojů je normovaná rychlořezná ocel 42 2992 s obsahem C_r, M_o, V a 10% W. [3]

2.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy umožnili díky svým vlastnostem posunout řezné materiály o velký kvalitativní kus cesty dopředu. Především v oblasti řezných vlastností nástrojových materiálů a z hlediska produktivity práce, což znamená, že jsou schopny několikanásobně převýšit řez-

né rychlosti rychlořezných ocelí. Slinuté karbidy se vyrábí pomocí práškové metalurgie. To je průmyslové odvětví zabývající se výrobou součástí z prášků.

Technologické možnosti práškové metalurgie jsou tyto:

- Má schopnost spojovat kovy a nekovy v jednotný celek
- Zpracovávat složitě tavitelné kovy i nekovy při nižší teplotě, než je jejich teplota tavení
- Spojovat kovy v libovolném poměru, i přes jejich omezenou rozpustnost
- Vyrobit kovy nebo slitiny o vysoké čistotě, které jsou nutné např. pro vakuovou techniku nebo elektroprůmysl atd.
- Vyrobit kovy či slitiny s přesným složením, které nám zaručí požadované fyzikální, mechanické vlastnosti (např. magnetičnost, tvrdost, vodivost, izolačnost atd.)
- Vyrobit kovy nebo slitiny o požadované struktuře, například jemnozrnnost na plátky SK či strukturu pórovitou na samomazná ložiska

Prášková metalurgie našla své přední uplatnění především tam, kde nelze vyrobit materiály klasickou metalurgií. Dále se prášková metalurgie používá při výrobě běžných strojirenských součástí ve velkosériové až hromadné výrobě. Její další výhodou je při zhotovování tvarově složitých součástí, při minimální zmetkovitosti, velké rozměrové přesnosti a vysokém využití připravovaného výchozího materiálu s minimálním odpadem. Nevýhodou práškové metalurgie je prostá. S tím jaké máme díky ní možnosti vyrábět přesné složité tvary, odrazem jsou k ní vysoké pořizovací náklady a velké nároky na lisovací stroje.

Vlastní výroba slinutých karbidů je zajištěna smícháním různých prášků obsahující jednotlivé karbidy kovů, jež jsou nositeli tvrdosti, a pojidla kobaltu, který má zajistit houževnatost SK. Jsme schopni zajistit zlepšení vlastností SK při vysokých teplotách pomocí karbidu titanu nebo karbidu tantalu. Přidáním těchto karbidů jsme schopni zlepšit především odolnost vůči oxidaci, tvrdost za tepla, odolnost proti tepelnému působení. Smíchané prášky se lisují pomocí lisu, jak je uvedeno výše, následují spékání na teplotu okolo 900°C, jejich konečný tvar se jim dá dokončovacím obráběním (broušení, řezání), spékají se na teplotu 1400°C až 1600°C a brousí se polykrystalickým diamantem (PKD) nebo korundovým kotoučem.

Takto vyrobené karbidy poté mají tyto vlastnosti:

- Velká pevnost v tlaku a vysoká tvrdost 88 až 93 HRC
- Při vysokých teplotách 700°C až 1000°C má velkou odolnost proti opotřebení
- Několikanásobné (5-8x) zvýšení řezné rychlosti oproti RO
- Odolnost proti korozi
- Vysoká měrná hmotnost
- Špatná elektrická a tepelná vodivost

Hlavním nedostatkem SK je velká křehkost, která si vyžaduje pevnou soustavu stroj-nástroj-obrobek. I přes tento nedostatek jsou SK prioritním řezným nástrojem používaným pro obrábění materiálů.

Podle chemického složení SK rozdělujeme:

- Jednokarbidové (WC+Co) označované K (wolframové)
- Dvojkarbidové (WC+TiC+Co) označované P (wolframtitanové)
- Kombinované (WC+TiC+TaC+Cr₃C₂+Co) označované M

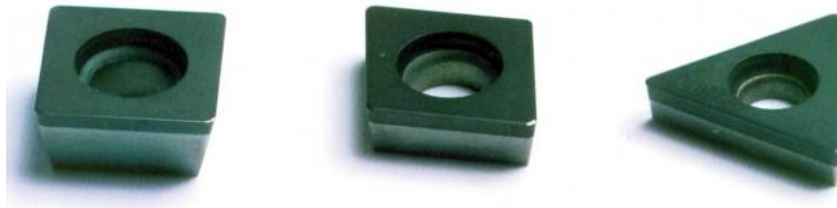
Pro lepší a jednodušší identifikaci se jednotlivé skupiny karbidů označují barevně. Jednokarbidové mají barvu červenou, dvojkarbidové mají barvu modrou a kombinované jsou charakterizovány barvou žlutou. [3]



Obr. 20. Břitové destičky ze slinutých karbidů [12]

2.2.1 Nepovlakované slinuté karbidy

Nepovlakované slinuté karbidy se u soustružení používají jen v malé míře. Nejvíce se prosadili jako řezný materiál vhodný pro frézování. Jejich využitelnost je pouze pro práci při malých hloubkách řezu, které potřebují ostré břity a operace s velkou houževnatostí. Dalšími oblastmi, kde našli využití je obrábění neželezných kovů a nekovů. [3]



Obr. 21. Břítové destičky ze slinutých karbidů nepovlakované [12]

2.2.2 Povlakované slinuté karbidy

Díky povlakování slinutých karbidů jsme schopni zvýšit jejich odolnost proti opotřebení společně se zvýšením jejich houževnatosti. Povlak se pohybuje v tloušťce 4 až 8 μm , který má homogenní jemnozrnnou strukturu a výborně obepíná tvar řezného materiálu, respektive jeho geometrii. Pokud povlakujeme ve více vrstvách, tak se tloušťka těchto povlaků pohybuje okolo 15 μm . To je hlavním předpokladem při výrobě ostrých břitů s minimalizovanou hodnotou zaoblení břit. Pomocí povlakování nám tedy vznikne vrstva naneseného materiálu a právě díky tomuto povlaku jsme schopni obrábět materiály ve vyšších rychlostech což nám zvýší efektivitu práce, jelikož povlakované vrstvy nedifundují do třísky tak rychle jako např. karbid wolframu.

Povrchové vrstvy rozdělujeme:

- Karbid titanu (TiC)
- Karbonitrid titanu (TiCN)
- Nitrid titanu (TiN)
- Oxid hlinitý (Al_2O_3) nanášený ve formě plynu za vysokých teplot (okolo 1000°C)

Existuje technologie nanášení povlaků při podstatně nižších teplotách (cca 500°C), tato technologie se nazývá vakuové plazmatické nanášení par.

Vrstvy, kterými povlakujeme slinuté karbidy jsou především Karbid titanu (TiC) a Nitrid titanu (TiN), které zvyšují schopnost řezného materiálu (SK) odolávat otěru, především na hřbetu nástroje. Povlak Nitridu titanu (TiN) je měkčí, houževnatější, proto se uplatňují především v oblasti větších posuvů, a mají schopnost odolávat vytrhávání částic materiálu na funkční rovině čela nástroje, což by eventuelně mělo za následek vytváření žlábků. [3]



Obr. 22. Břítové destičky ze SK povlakované kubickým nitridem bóru [12]

2.3 Řezná keramika

Řezná keramika je tvořena skupinou materiálů, které zahrnují sloučeniny s křemíkem, dusíkem, bórem, kyslíkem a nekovové tvrdé látky. Hlavní prioritou těchto materiálů je to, že si za vysokých teplot (1600°C) při obrábění materiálů, jsou schopny udržet po dostatečnou dobu svoji tvrdost.

Rozdělují se do následujících základních skupin:

- **Boridy** - slinuté materiály, které se skládají z boridů molybdenu, bromu, titanu a v neposlední řadě kovových pojiv Cu, Fe, Ni. Boridy v současnosti nenahrazují slinuté karbidy, jelikož sou poměrně křehké.
- **Nitridy a silicidy** - jsou stejně jako boridy pro strojní obrábění jako řezný materiál prozatím nepoužitelné, jelikož mají ohromně velkou křehkost. Je možné předpokládat zlepšení vlastností - je to věc budoucnosti.
- **Nekovové látky** - používají se především jako brusivo společně s kyslíčkem hliníkem. Zahrnují diamant, karbid bóru a křemíku.

- **Řezná keramika** - se vyznačuje vysokou stálostí za vysokých teplot (1600°C), v podstatě jsou to slinuté korundy. Rozdělují se do tří základních skupin podle chemických vlastností, složení a doporučeného využití. [3]

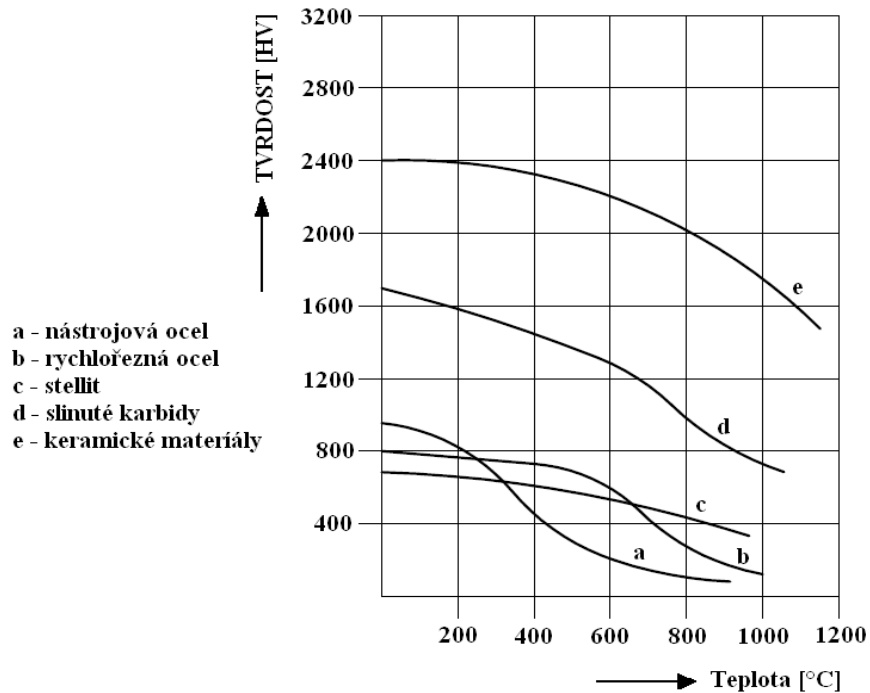


Obr. 23. Břitové destičky
z řezné keramiky [12]

Rozdělení řezné keramiky:

- **Čistá keramika** - je v podstatě 99% čistý oxid hlinitý. Využívá se zejména kvůli své otěruvzdornosti, tvrdosti a výhodným mechanickým vlastnostem, hlavně pro dokončovací operace obrábění, především soustružení šedé litiny, nelegovaných a nízkolegovaných ocelí za použití řezných rychlostí přesahujících $1000\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$
- **Cermety (ISO-skupina HT)** - vyznačují se vysokou odolností za vysokých teplot, odolnost proti otěru hřbetu a tvorbě výmolu na čele. Cermety jsou poměrně dlouhou dobu schopny udržet přesnost výrobku a vysokou jakost povrchu. Jejich hlavní uplatnění je pro jemné soustružení a soustružení na čisto uhlíkových, legovaných a kalených ocelí, které mají pevnost kolem 1000MPa . Dalším parametrem, který umožňuje použít cermety je nepřerušovaný řez při vysokých řezných rychlostech.
- **Směsná keramika** - vyznačuje se vysokou stálostí a tvrdostí za vysokých teplot, jelikož jsou vytvořeny na bázi nitridu křemíku. Doporučují se jak na obrábění na čisto tak i na hrubování šedé litiny, dále našla své uplatnění i při přerušovaném řezu, vhodná je i pro obrábění žárovevných slitin na bázi niklu.

Řeznou keramiku lze hodnotit jako materiál, který si dokáže udržet svoji tvrdost při vysokých řezných rychlostech a vysokých teplotách během řezného procesu (Obr. 24). [3]



Obr. 24. Závislost tvrdosti řezných materiálů na teplotě [5]

2.4 Polykrystalické řezné materiály

Do polykrystalických materiálů řadíme:

- Kubický nitrid bóru (ISO - skupina BN)
- Polykrystalický diamant (ISO - skupina DP)

Oba tyto řezné materiály jsou vyrobeny vysokoteplotní a vysokotlakou syntézou.

Uplatnění těchto řezných materiálů je zejména u NC strojů, zejména kvůli jejich vynikajícím vlastnostem. Jejich hlavní nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady.

Za supertvrký řezný materiál můžeme požadovat každý, který obsahuje tyto komponenty:

- Diamantové prášky
- Prášky kubického nitridu bóru
- Diamantové brusné pasty
- Brousící kotouče obsahující tyto komponenty
- Řezné nástroje obsahující CNB nebo PKD

- Orovnače s práškovými komponenty CBN nebo PKD
- Kompozitní materiály [3]

2.4.1 Polykrystalický diamant (PKD)

Je naprosto izotropní, tzn. má vlastnosti nezávislé na směrové orientaci, tudíž má menší náchylnost vůči zlomení. Jeho struktura je zrnitá, která nám dovoluje vybrousit velmi ostré břity, bez sebemenších zoubků. Polykrystalický diamant našel své uplatnění především při obrábění neželezných kovů a nekovových materiálů. Ovšem za předpokladu vysokých řezných rychlostí.

Neželezné kovy:

- Slitiny hliníku, měď, titan

Nekovové materiály:

- Sklolaminát, sklo, kaučuk, grafit [3]



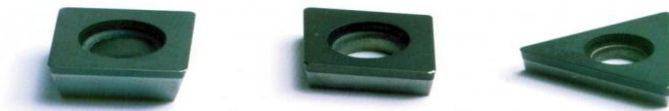
Obr. 25. Fréza s pájenými destičkami
z PKD [12]

Tab. 6. Doporučené řezné podmínky pro destičky z polykrystalického diamantu [3]

Materiál	Způsob obrábění	v [m.min ⁻¹]	h [mm]	s [mm.ot-1]
Ocel tvrdosti HRC 55 až 67	jemné	80 až 160	0,2 až 0,6	0,04 až 0,08
	velmi jemné	120 až 180	0,05 až 0,2	0,02 až 0,04
Ocel tvrdosti HRC 45 až 60	střední	80 až 120	1 až 2	0,12 až 0,2
	jemné	80 až 120	0,05 až 1	0,04 až 0,1
	velmi jemné	80 až 120	0,01 až 0,03	0,02 až 0,06
Litina tvrdosti HB 200	střední	150 až 250	3 až 4	0,2 až 0,6
	jemné	300 až 400	2 až 3	0,12 až 0,4
	velmi jemné	400 až 500	0,2 až 1	0,04 až 0,1
Litina tvrdosti HB 600	střední	100 až 200	3 až 4	0,2 až 0,4
	jemné	200 až 300	1 až 2	0,12 až 0,2
	velmi jemné	300 až 500	0,1 až 0,8	0,04 až 0,12

2.4.2 Kubický nitrid bóru (CBN)

Zaujímá po nejtvrdějším diamantu druhé místo řezných materiálech, jeho odolnost proti opotřebení je vysoká, a to i při vysokých teplotách cca 1000°C. Břitových destiček z CBN se využívá zejména při obrábění tvrdých materiálů, kalených nástrojových ocelí, kobaltových a niklových slitin, žáruvzdorných materiálů. Uplatnění našel též při dokončovacích operacích obrábění. Jednoduše řečeno, náhrada za broušení. [3]



Obr. 26. Břítové destičky povlakované CBN [12]

2.5 Možný vývoj řezných materiálů

Největší snahou v dalším vývoji řezných materiálů bude zajistit zvýšení rozsahu jejich použití a experimentů se zaměřením na vývoj jejich nových specifikací. Tento vývoj bude ovlivňován nasazováním nových obráběných materiálů, které se budou vyznačovat většími pevnostmi a malými hustotami. Je tedy patrné, že ruku v ruce s tímto trendem musí logicky jít i vývoj nástrojových materiálů. Největší perspektivou se vyznačuje nástrojový materiál z rychlořezné oceli se silnou vrstvou nitridu titanu, který se nazývá coronit. Ovšem v současné době, i v blízké budoucnosti budou mít největší podíl na scéně obrábění materiálů povlakované slinuté karbidy. U keramických materiálů se prorokuje vývoj ve formě kompozitu, který ve spojení s různými vystužovadly (whiskery). Syntetický diamant, ale i polykrystalický kubický nitrid bóru bude nadále využíván zejména při speciálních případech obrábění. Jako perspektivní záležitost se ovšem jeví i povlakování vhodných materiálů diamantem. Nejvíce využívanou technologií povlakování materiálů polykrystalickým průmyslovým diamantem je plazmatická technologie. Umožňuje nanášet na materiál rovnoměrnou vrstvu polykrystalického průmyslového diamantu vysoké čistoty o tloušťce 6 až 8 μm na prakticky každou existující geometrii a na všechny plochy břitové destičky s mnoha řeznými hranami. Uplatnění našel takto upravený řezný materiál při obrábění neželezných slitin kovů, obzvláště hliníkových v náročných průmyslových procesech. Takto upravené břitové destičky mají několikanásobně větší trvanlivost břítu. [3]

3 DRSNOST POVRCHU

Aby strojní součásti plnili správnou funkci, pro kterou jsou navrženy, musejí mít tvarovou i rozměrovou přesnost. V neposlední řadě je také vhodná jakost povrchu jejich funkčních ploch. Na reálném povrchu součásti jsou viditelné minimální nerovnosti, které jsou tvořeny výstupky a propadlinami do jisté míry stejného charakteru (průběhu) po celé ploše součásti. Technologie obrábění (soustružení, frézování, broušení atd.), technologické podmínky a druh obráběného materiálu určují charakter nerovností (tvar a velikost). Stupeň drsnosti povrchu je možno charakterizovat buď to porovnáním se vzorovými etalony, nebo změřením hodnot udávající charakteristiku drsnosti povrchu. [8]

3.1 Schéma měřící dráhy snímače

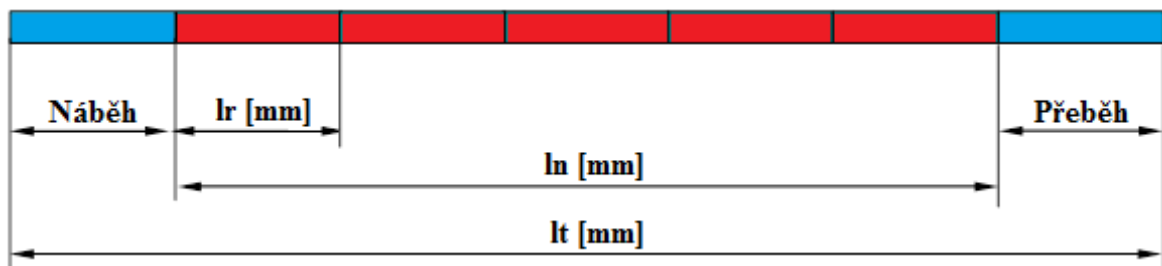
Základní délka „ l_r “ [mm] - délka ve směru osy x, použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil.

Vyhodnocovaná délka „ l_n “ [mm] - délka ve směru osy x, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu. Vyhodnocovaná délka může obsahovat 1, 3, 5ti násobek základní délky.

Náběh - má velikost základní délky. Délka, kterou projede snímací dotyk, než začne měřit.

Přeběh - má velikost základní délky. Délka, kterou projede snímací dotyk po skončení snímání povrchu.

Celková délka snímání „ l_t “ [mm] - délka dráhy hrotu [15]



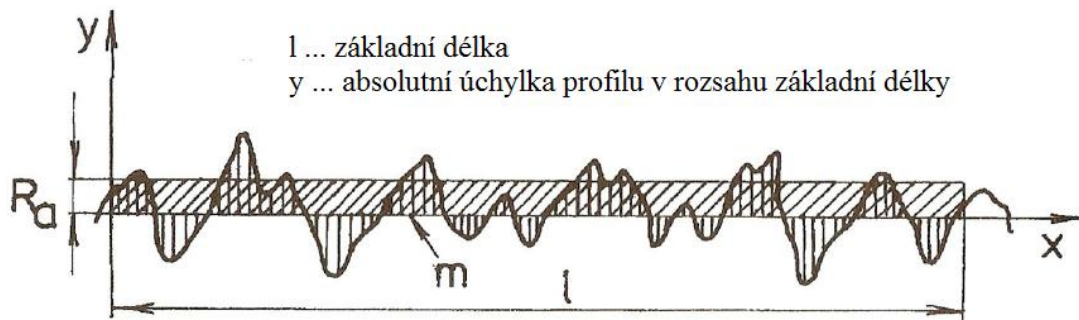
Obr. 27. Schéma měřící dráhy nástroje [15]

Mezinárodní norma uvádí tyto parametry drsnosti povrchu:

3.2 Střední aritmetická úchylka profilu R_a

Střední aritmetická úchylka profilu R_a (Obr. 28) je dána vztahem:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (4)$$

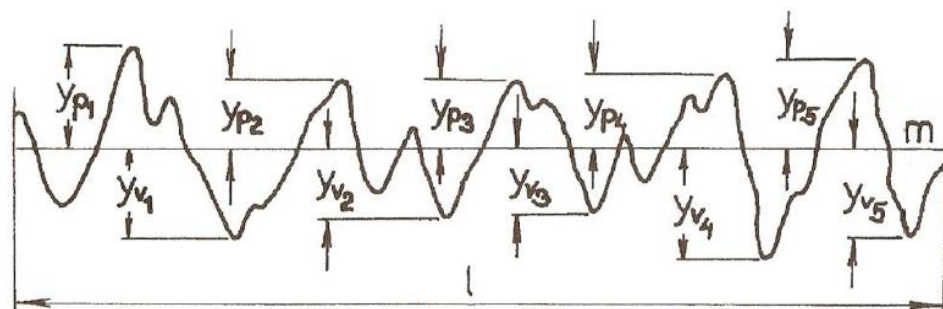


Obr. 28. Grafické vyjádření R_a [8]

3.3 Výška nerovností profilu z deseti bodů R_z

Výška nerovností profilu z deseti bodů R_z (Obr. 29) je dána vztahem:

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



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

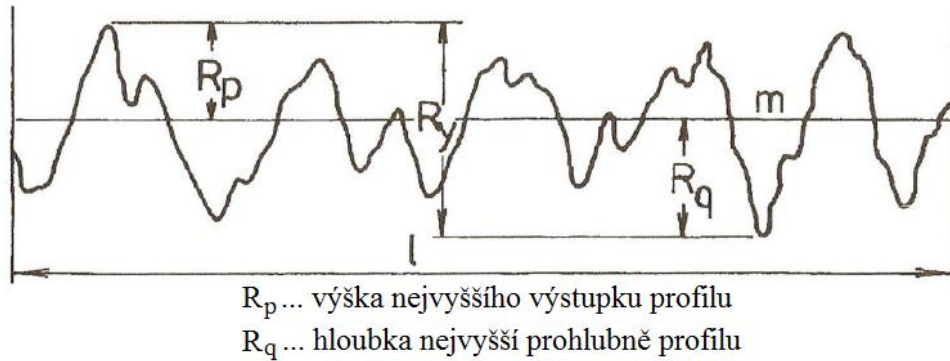
y_{vj} ... hloubky j-té nejnížší prohlubně profilu

Obr. 29. Grafické vyjádření R_z [8]

3.4 Největší výška nerovností profilu R_y

Největší výška nerovností profilu R_y (Obr.30) je dána vztahem:

$$R_y = R_p + |R_q| \quad (6)$$

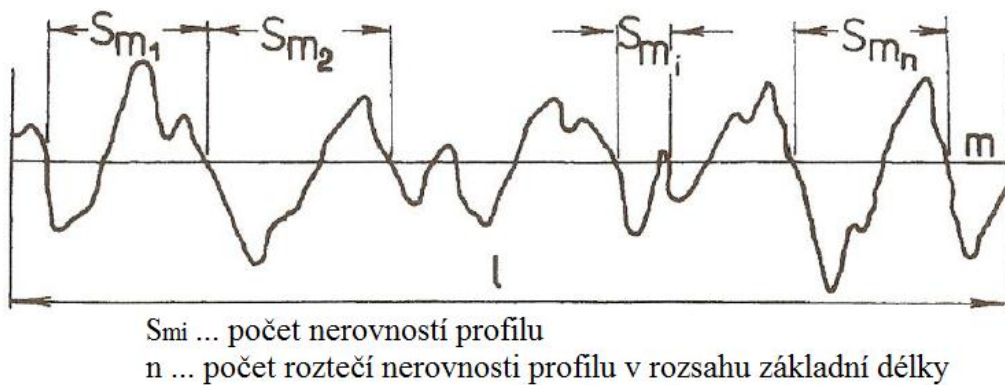


Obr. 30. Grafické vyjádření R_y [8]

3.5 Střední rozteč nerovností profilu S_m

Střední rozteč nerovností profilu S_m (Obr. 31) je dána vztahem:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m_i} \quad (7)$$

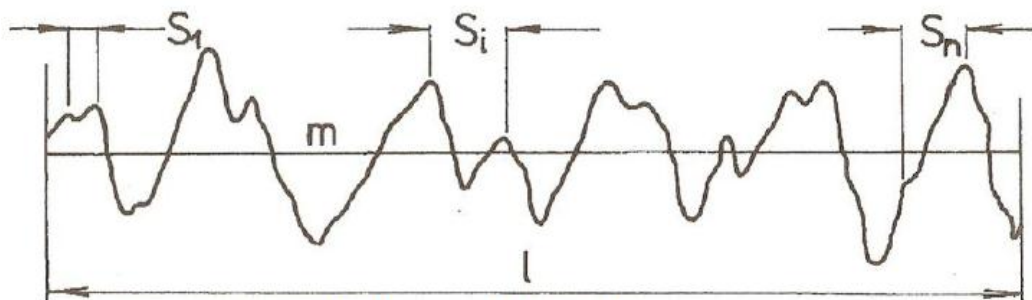


Obr. 31. Grafické vyjádření S_m [8]

3.6 Střední rozteč místních výstupků profilu S

Střední rozteč místních výstupků profilu S (Obr. 32) je dána vztahem:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j \quad (8)$$



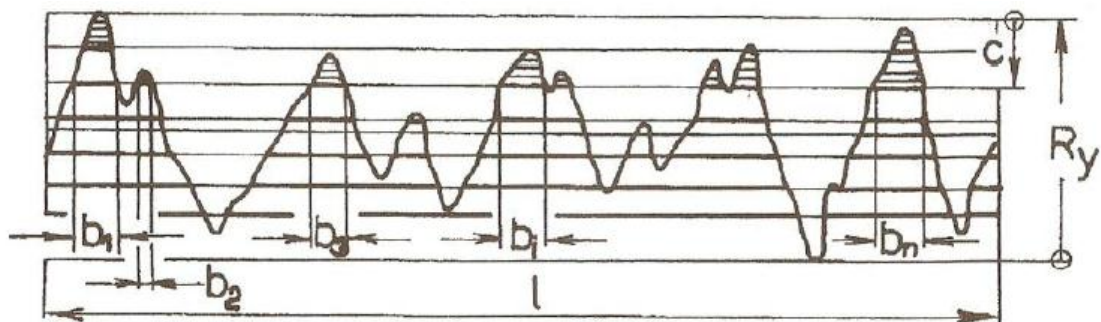
S_j ... rozteč místních výstupků profilu
 n ... počet místních výstupků profilu v rozsahu základní délky

Obr. 32. Grafické vyjádření S [8]

3.7 Nosný podíl profilu t_p

Nosný podíl profilu t_p (Obr.33) je dán vztahem:

$$t_p = \frac{n_p}{l} \quad (9)$$



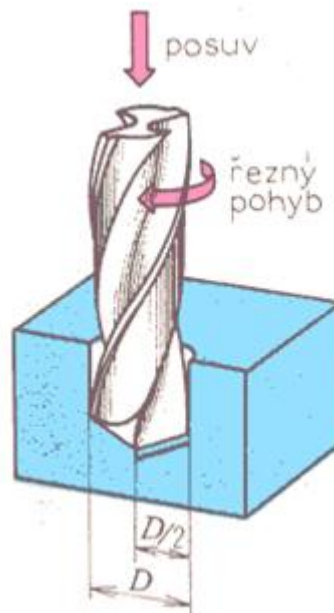
n_p ... nosná délka
 l ... základní délka

Obr. 33. Grafické vyjádření t_p [8]

4 VRTÁNÍ, NÁSTROJE A STROJE PRO OBRÁBĚNÍ OTVORŮ

4.1 Vrtání

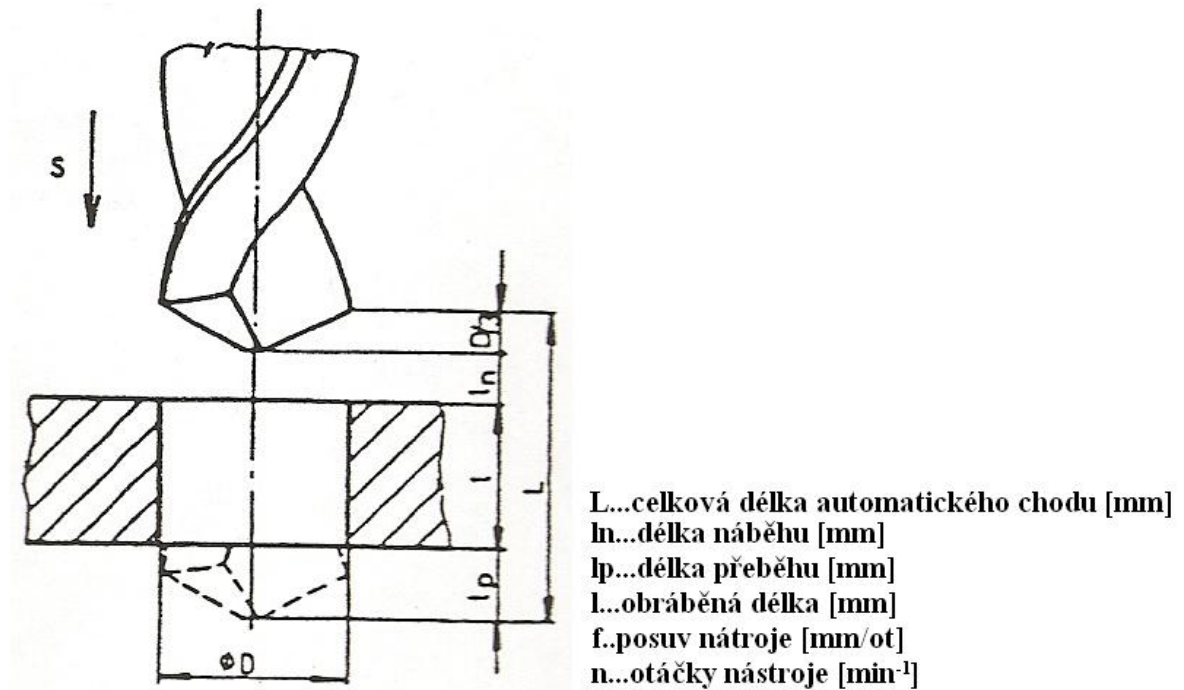
Vrtání slouží k vytváření válcových průchozích i neprůchozích otvorů (děr) do plného či předvrtaného materiálu. Nástroj se vůči obrobku otáčí kolem své vlastní osy a současně se pohybuje ve směru této osy do obráběného materiálu tak, aby řezná část nástroje odebírala třísky z obráběného materiálu. Hlavním pohybem je pohyb rotační. Pohyb ve směru osy je posuv [$\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$] a je to pohyb vedlejší. Výsledným pohybem je pak pohyb ve tvaru šroubovice. [9]



Obr. 34. Průřez třísky při vrtání
do plného materiálu [9]

Základní druhy vrtání:

- **Běžná vrtání** - díry s poměrem rozměrů $D:L=1:7(:10)$ → běžné vrtáky
- **Pro krátké díry** - předlité, předkované, vystřižené → speciální vrtáky
- **Pro hluboké díry ($D:L>1:10$)** – používají se speciální vrtáky, které se jen otáčí a posuv zajišťuje obrobek (korunkový, hlavňový, dělový vrták)
- **Pro díry velkých Φ** – provádí se vykržováním, nástroj upnutý ve vrtací hlavě [9]



Obr. 35. Dráha nástroje při vrtání [4]

4.1.1 Řezné podmínky při vrtání

Volba velikost řezné rychlosti „v“ a posuvu „s“ se vyjadřuje jako závislost na danému druhu obráběného materiálu tak, aby bylo vždy dosaženo optimální ekonomie a co největší hospodárnosti. Rychlost se vyjadřuje k nejvzdálenějšímu bodu ostří od středu nástroje. Řezné rychlosti během vrtání jsou nižší oproti soustružení nebo frézování, jelikož vrták pracuje v poměrně nepříznivých podmínkách. Břit vrtáku je tepelně zatížen a odvod tepla z místa řezu je složitý. Proto je nutné zajistit vhodný odvod tepla z místa řezu chladicí kapalinou (emulzí) nebo mazací kapalinou (olej) při vrtání hlubokých děr.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \left[m \cdot \text{min}^{-1} \right] \quad (1)$$

π - Ludolfovo číslo [3,14], D – průměr nástroje nebo obrobku, n – počet otáček vřetene za minutu [min⁻¹]

Tab. 7. Řezné podmínky při vrtání [9]

Obráběný materiál	Třída obrobitelnosti	Materiál nástroje	Šroubovitě vrtáky		Dělové vrtáky	
			v [m/min]	f0 [mm/ot]	v [m/min]	f0 [mm/ot]
Ocel 500 -800 MPa	13-14b	RO	25÷30	0,1÷0,5	20÷30	0,05÷0,5
		SK	50÷70	0,05÷0,2	80÷100	0,07÷0,5
Ocel 800 -1000 MPa	11-12b	RO	10÷20	0,1÷0,3	12÷25	0,05÷0,3
		SK	40÷60	0,05÷0,1	60÷100	0,07÷0,5
Šedá litina 200 HB	11a	RO	10÷25	0,1÷0,8	-	-
		SK	40÷100	0,1÷0,5	-	-
Slitiny Cu 90 HB	-	RO	40÷70	0,12÷0,4	-	-
		SK	80÷100	0,08÷0,3	-	-
Slitiny Al 100 HB	-	RO	120÷200	0,15÷0,5	-	-
		SK	200÷300	0,15÷0,4	-	-
Obráběný materiál	Třída obrobitelnosti	Materiál nástroje	Vrtací hlavy		Vrtáky s VBD	
			v [m/min]	f0 [mm/ot]	v [m/min]	f0 [mm/ot]
Ocel 500 -800 MPa	13-14b	RO	-	-	-	-
		SK	80÷140	0,07÷0,3	200÷300	0,04÷0,1
Ocel 800 -1000 MPa	11-12b	RO	-	-	-	-
		SK	60÷120	0,05÷0,2	170÷250	0,06÷0,2
Šedá litina 200 HB	11a	RO	-	-	-	-
		SK	80÷180	0,1÷0,4	210÷280	0,1÷0,2
Slitiny Cu 90 HB	-	RO	-	-	-	-
		SK	-	-	250÷350	0,05÷0,2
Slitiny Al 100 HB	-	RO	-	-	-	-
		SK	-	-	250÷400	-

Tab. 8. Dosahovaná přesnost a drsnost vrtaných povrchů [9]

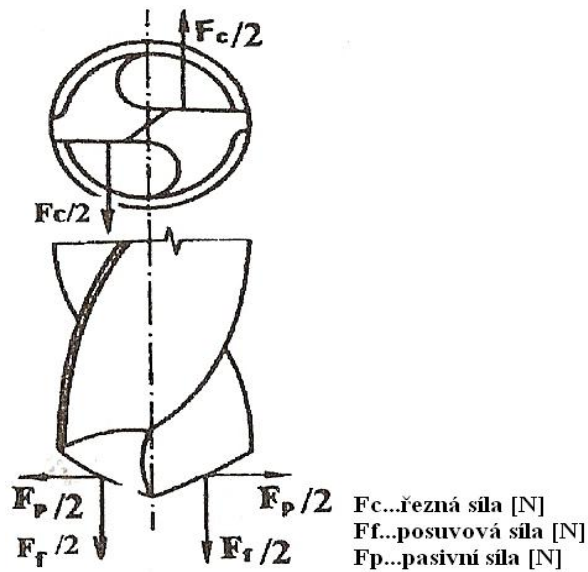
Nástroj	Přesnost rozměrů IT	Drsnost obrobeného povrchu Ra [ηm]
Šroubovitý vrták	10 až 13	6,3-25
Šroub. vrták s vodícím pouzdem	10	6,3-25
Kopinatý vrták	10	6,3-25
Dělový vrták	8	1,6-6,3
Vrták s VBD	8 až 10	3,2-12,5

4.1.2 Silové poměry při vrtání

Řeznou sílu F_c jsme schopni určit pro známou velikost měrné řezné síly k_c a pro jmenovitý průměr třísky A_D . Výpočet provedeme podle tohoto vztahu:

$$F_c = k_c \cdot A_D \text{ [N]} \quad (10)$$

- Znázornění silových poměrů na vrtáku:



Obr. 36. Silové poměry na vrtáku [5]

- **Kroutící moment:** $M_k = \frac{F_c}{2} \cdot \frac{D}{2} = \frac{F_c \cdot D}{4} \text{ [Nmm]} \text{ [9]} \quad (11)$

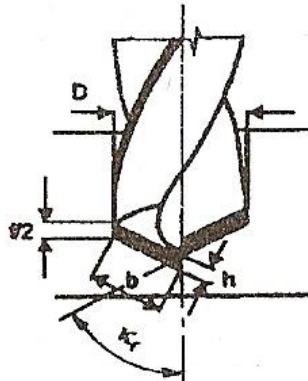
- **Vznikající síla:** $F_c = C_{F_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \text{ [N]} \text{ [5]} \quad (12)$

- **Řezný výkon při vrtání:** $P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{12 \cdot 10^4} \text{ [kW]} \text{ [5]} \quad (13)$

- **Příkon elektromotoru:** $P_e = \frac{P_{U\check{z}}}{\eta} \text{ [kW]} \quad \eta \rightarrow 0,7 \text{ [9]} \quad (14)$

4.1.3 Jmenovitý průřez třísky do plného materiálu „AD₁“

$$AD_1 = h \cdot b = \frac{D \cdot f}{4} [mm^2] \quad (15)$$

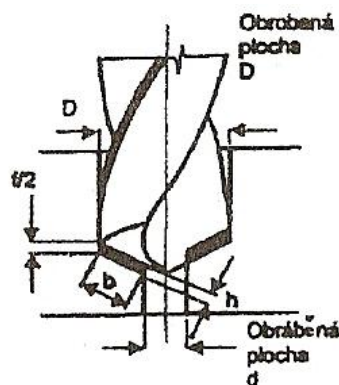


b - jmenovitá tloušťka třísky [mm], **h** - jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu [mm],
D, d - jmenovitá šířka třísky při rozšiřování díry [mm]

Obr. 37. Jmenovitý rozměr třísky při vrtání
 šroubovým vrtákem do plného mat. [5]

4.1.4 Velikost průřezu třísky do předvrtaného otvoru „AD₂“

$$AD_2 = \frac{D - d}{4} \cdot f [mm^2] \quad (16)$$



b - jmenovitá tloušťka třísky [mm], **h** - jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu [mm],
D, d - jmenovitá šířka třísky při rozšiřování díry [mm]

Obr. 38. Jmenovitý rozměr třísky při vrtání
 šroubovým vrtákem do předvrt. díry [5]

4.2 Nástroje pro výrobu válcových otvorů

Rozlišujeme podle toho, jakým způsobem jsme se rozhodli dosáhnout požadovaného tvaru a přesnosti otvoru. Dále je lze rozdělit pro výrobu krátkých děr a pro obrábění hlubokých otvorů. [5]

4.2.1 Vrtáky

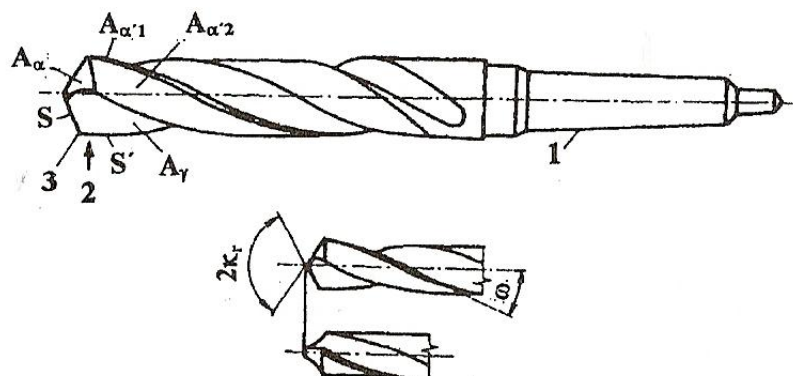
Jsou nejpoužívanějším nástrojem pro případy obrábění krátkých válcových otvorů, kde není nutná vysoká rozměrová ani tvarová přesnost. [5]

Podle tvaru vrtáků je lze rozdělit na:

- Šroubovitě
- Kopinaté
- Frézovací [5]

Šroubovitě vrtáky:

- S válcovou nebo kuželovou stopkou (podle typu upínání)
- Podle délky řezné části (krátké, střední, dlouhé)
- Podle smyslu otáčení (pravořezné nebo levořezné)
- Podle sklonu šroubovice (s velkým, středním nebo malým sklonem → úhel $+\omega$, $-\omega$) [2]



1 – stopka; 2 – řezná část; 3 – špička; A_γ - čelo; A_α - hlavní hřbet; $A'_{\alpha 1}$ – první vedlejší hřbet; $A'_{\alpha 2}$ – druhý vedlejší hřbet; S – ostří; S' - vedlejší ostří; κ_r – úhel nastavení hlavního ostří; ω - úhel stoupání šroubovice

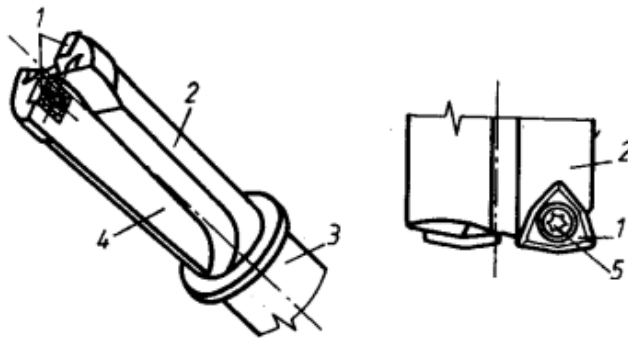
Obr. 39. Ostří plochy na řezné části šroubovitého vrtáku [5]

Podle použití:

- Pro běžné vrtačky
- Pro automaty
- Pro NC stroje [5]

Podle konstrukce:

- Celistvé
- Svařované
- Skládané (destičky ze slinutých karbidů nebo hlavičky ze slinutých karbidů) [9]

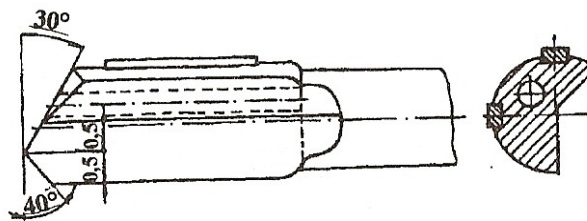


1 - vyměnitelné břitové destičky, 2 – tělo, 3 – stopka,
4 - drážka pro odvod třísek, 5 - upínací šroub

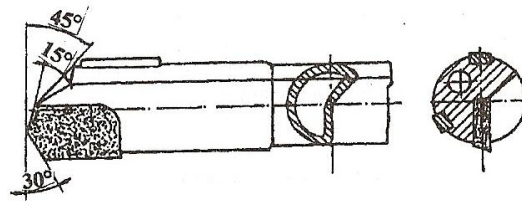
Obr. 40. Vrták s vyměnitelnými destičkami ze SK [9]

4.2.2 Speciální vrtáky

- **Hlavňové vrtáky:** jsou velmi výkonné. Mají výborný odvod třísek, jelikož řezná kapalina je přiváděna pod tlakem otvorem v tělese vrtáku. Jsou přesné, a proto se mohou používat větší posuvy [5]

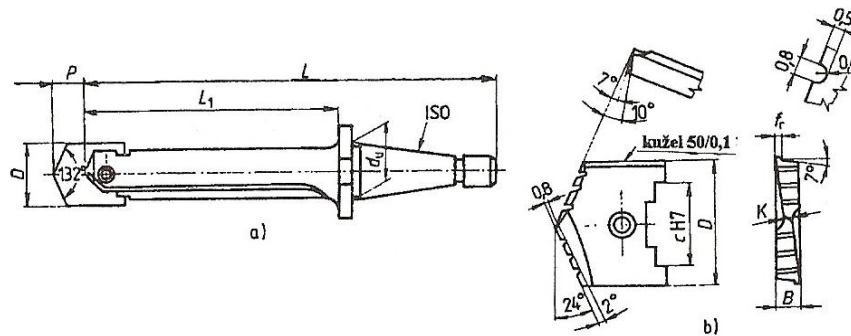


Obr. 41. Hlavňový vrták [5]



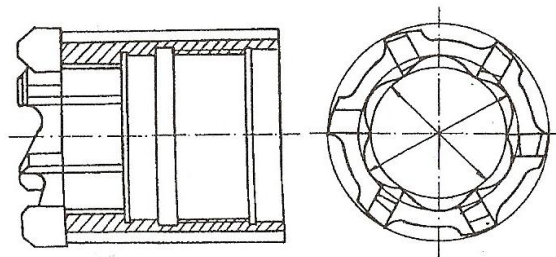
Obr. 42. Hlavnový vrták jednobřítý [5]

- **Kopinaté vrtáky:** Výhodou je velká jednoduchost a tuhost, umožňuje vrtat díry ϕ 28-128mm do poměru $L:D=3:1$ bez navrtání.. Nevýhoda je špatné vedení třísek a nezcela přesné vedení v díře, drsnost povrchu horší než u šroubovitého vrtáku. Používá se především na předhrubování a hrubování děr. [5]



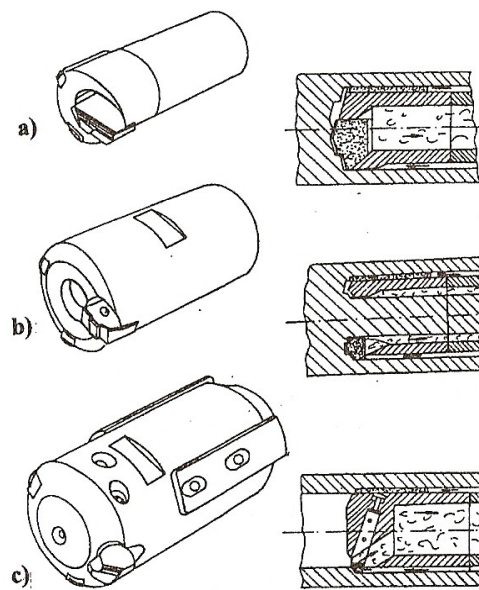
Obr. 43. Kopinatý vrták – a) celkový pohled, b) geometrie břitu [5]

- **Korunová trepanační hlava:** Slouží také pro výrobu hlubokých děr větších průměrů. Několikabřítý vrtací nástroj, kde je řezná kapalina dopravována do místa řezu tělem nástroje a odchází společně s třískami vnějším povrchem nástroje mezi jednotlivými břity. Jelikož prostor kolem vně nástroje je značně stísněn, je nutné brát v úvahu tvarování a rozdělení třísek. [5]



Obr. 44. Korunová trepanační hlava [5]

• **Nástroje BTA:** dovolují nám vrtat nejproduktivněji hluboké díry. Je možné vrtat do plného materiálu, na jádro, nebo zvětšovat předvrtanou díru. **Vrtací hlavou do plna** je možné používat pro hluboké díry a větší průměry. U menších průměrů jsou řezné a vodící plátky připájeny do vrtací trubky a vrtací hlava je pomocí šroubu s plochým závitěm upevněna k vrtací trubce. **Vrtací hlava na jádro** umožňuje obrábět pouze mezikruží, takže uprostřed zůstává „jádro“. **Vrtací hlava pro zvětšování již vyvrtané díry** odebírá jen malé třísky, na přední části jsou dva vodící plátky z SK a na konci jsou vodící lišty z umělé hmoty. [5]



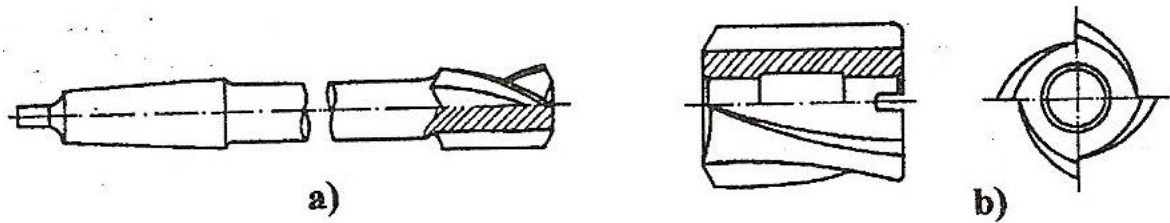
Obr. 45. Nástroje BTA [5]

4.2.3 Výhrubníky

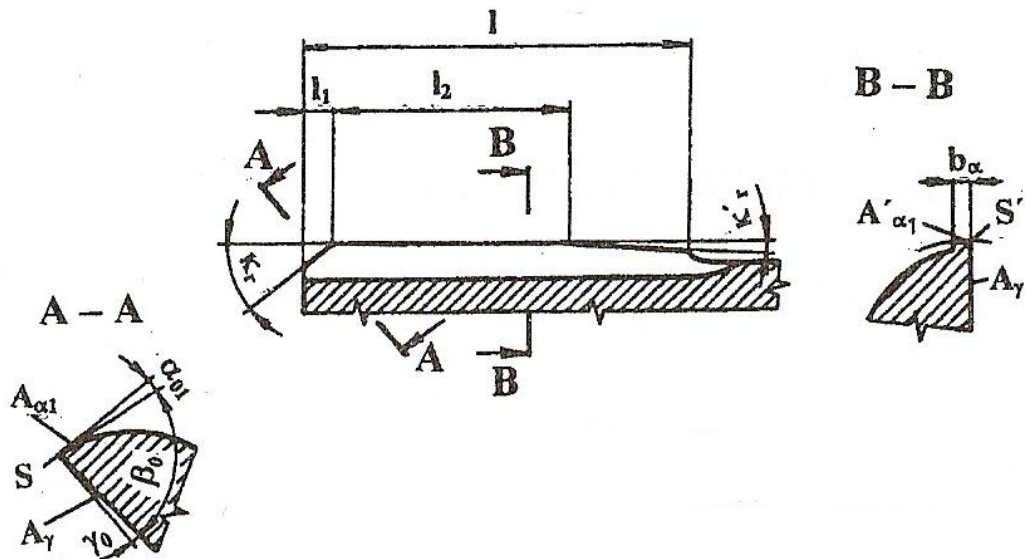
Rozděluje je podle konstrukce na:

- Se stopkou kuželovou se vsazeným ostřím nebo celistvými zuby
- Nástrčné se vsazeným ostřím nebo celistvými zuby

Důležité je, že řeže jenom kuželová část zubu pod úhlem nastavení hlavního ostří λ . Válcová část je určená pouze k vedení výhrubníku. Část pod sklonem (úhlem) 2° až 5° nazýváme uvolňovací. Výhrubníky bývají o 0,5-2mm, větší než předvrtaný otvor vrtákem, ale menší než rozměr dokončené díry výstružníkem o 0,2-0,5mm. Výhrubníky slouží pouze pro úpravu tvaru válcových otvorů, slouží tedy ke zvýšení tvarové přesnosti díry. Výhrubníky mají 3-4 zuby, výhrubníky větších rozměrů mají 5 a více zubů. [4]



Obr. 46. Výhrušnice - a) se stopkou b) nástrčný [5]



Obr. 47. Tvar zubu a geometrie břitu výhrušniku z RO [5]

4.2.4 Výstružníky

Vystružování slouží ke zlepšení tvarové a rozměrové přesnosti válcových otvorů. Pečlivě se ostří a lapují, jelikož odebírají velmi malý průřez třísky.

Vystružování rozlišujeme na:

- Ruční
- Strojní

Výstružníky se dělí podle:

a) Tvaru obrobených ploch:

- Válcové
- Kuželové

b) Způsobu použití:

- Ruční
- Strojní

c) Konstrukce:

- Pevné
- Stavitelné: rozpínací a se stavitelnými zuby

d) Upínání:

- Se stopkou válcovou nebo kuželovou
- Nástrčné s válcovou nebo kuželovou dírou

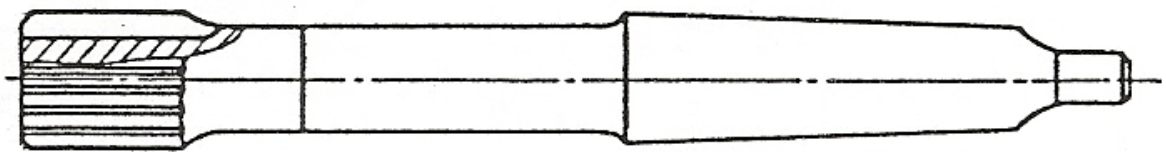
e) Dle materiálu zubů:

- Rychlořezná ocel (RO)
- Slinuté karbidy (SK)

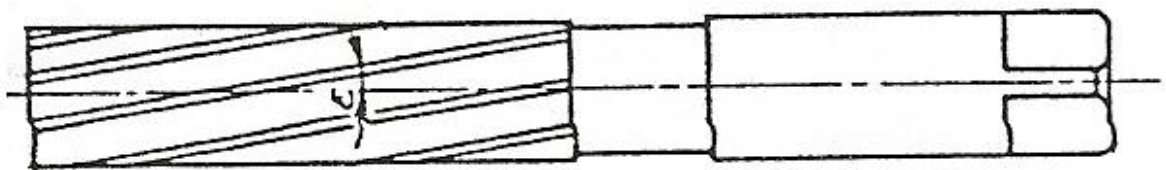
f) Podle průběhu zubů:

- Přímé (rovné)
- Ve šroubovici

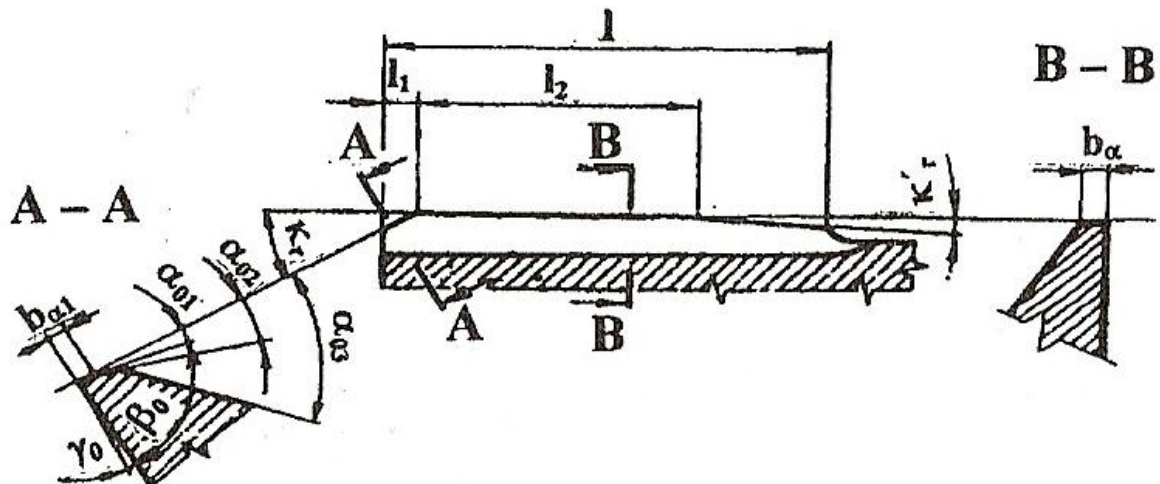
Výstružníky proti výhrubníkům mají větší počet zubů (4 až 18). Ruční výstružníky mají upínací část vždy zakončenou 4hranem, aby je bylo možno upnout do upínacích brýlí. [5]



Obr. 48. Strojní výstružník se stopkou [5]



Obr. 49. Ruční výstružník [5]



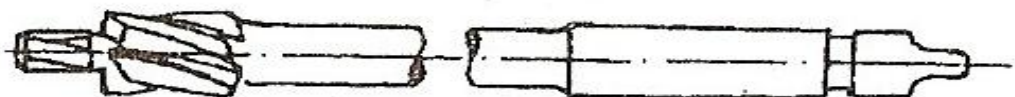
Obr. 50. Geometrie břitu strojního výstružníku [5]

4.2.5 Záhlubníky

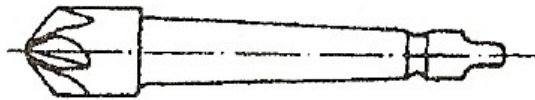
Jsou konstruovány s jedním nebo více ostřími a **používají se na:**

- Úpravu čelních ploch
- Úpravu zahloubení pro hlavy šroubů (matic)
- Sražení hran

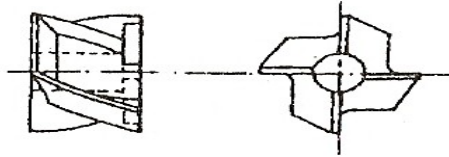
Záhlubníky rozdělujeme podle tvaru ploch, které mají obrábět. Podle konstrukce (dvou – nebo vícebřité záhlubníky) mohou být válcové nebo kuželové a bývají doplněny vodící kolíkem (čepem) a to pevným nebo výměnným. Pokud vodící kolík nemají, jsou většinou vedeny pomocí vodícího pouzdra (podobně jako vrták, výhrubník nebo výstružník). Zuby mohou být ze slinutých karbidů (pájené nebo vsazené) nebo z rychlořezné oceli (jako celistvé). Zuby bývají frézované nebo podsoustružené. Většinou pro válcová zahloubení jsou zuby ve šroubovici (obvykle 4), ovšem mohou být i přímé. Záhlubníky kuželové na zkosení hran mívají zubů 6-10. [5]



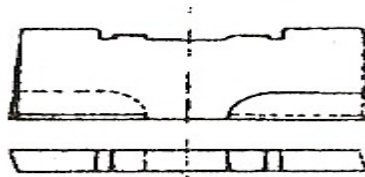
Obr. 51. Válcový záhlubník s válcovou stopkou a válcovou vodící částí [5]



Obr. 52. Kuželový záhlubník [5]



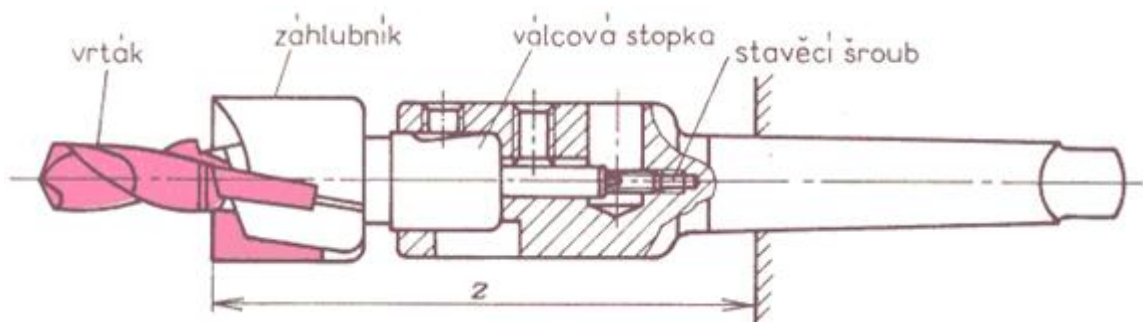
Obr. 53. Válcový nástrčný záhlubník [5]



Obr. 54. Dvoubřítý záhlubník [5]

4.2.6 Speciální vrtací nástroje

Speciální vrtací nástroje se využívají především v sériové a hromadné výrobě aby došlo k časové úspoře během obrábění, a protože jejich zhotovení je nákladné. Obvykle se kombinuje vrták se záhlubníkem nebo výhrubníkem či výstružníkem. Používají se k výrobě zahloubení, osazených děr, předvrtání díry pro závit atd. [9]



Obr. 55. Kombinovaný nástroj pro vrtání a zahlubování [9]

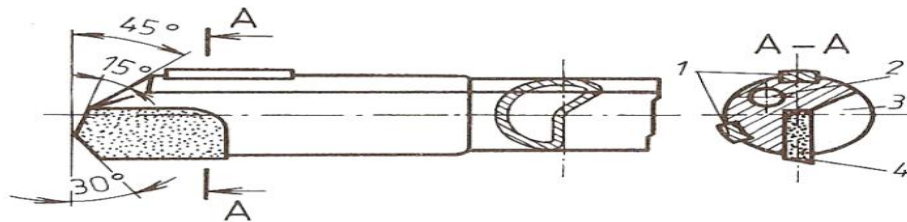
Mezi další speciální nástroje řadíme:

- **Středící vrtáky:** slouží k navrtání tvarových důlků, které slouží k upnutí obrodku mezi hroty nebo pro přesné najetí vrtáku do osy díry při zahajování vrtání. [7]



Obr. 56. Středící vrták [9]

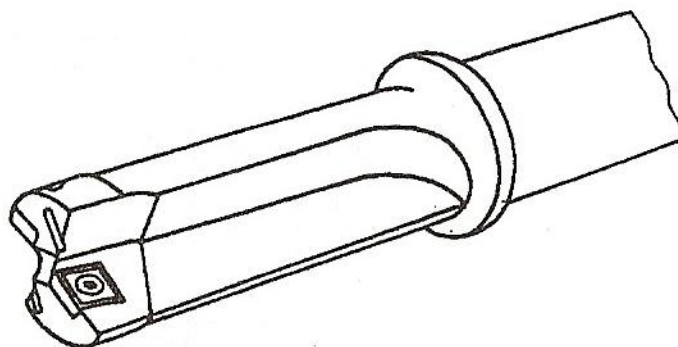
- **Dělové vrtáky:** pro zhotovení hlubokých děr, jeho konstrukce je řešena tak, aby bylo jeho vedení v díře co nejlepší. Je možné zhotovit díry stonásobně hlubší než je průměr vrtáku, aniž by došlo k vybočení, ovšem je nutné zajistit dokonalý odvod třísek z místa řezu. Dělový vrták obvykle koná posuvný pohyb, rotační pohyb koná obrobek. [7]



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

Obr. 57. Dělový vrták s připájenou destičkou a vodícími lištami z SK [7]

- **Frézovací vrtáky:** pro krátké díry. Tříska se odvádí přímými zuby, je tedy nutné zajistit kvalitní odvod třísek, ten je realizován chladicí kapalinou, která proudí tělem vrtáku. Tímto typem vrtáku lze umožnit 5-10krát vyšší úběr materiálu než šroubovitým vrtákem z RO. [5]



Obr. 58. Frézovací vrták [5]

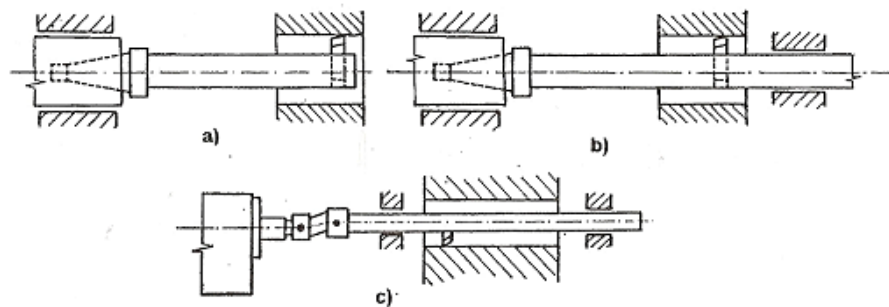
4.3 Vyvtávání

Slouží k výrobě rotačních otvorů, popřípadě k jejich dokončování. Používá se převážně u hranolovitých součástí (odlitků, výkovků, výlisky) nebo k jejich úpravám. Nástroj pro vyvtávání je nůž obdobný jako soustružnický nůž. Tento nástroj je připevněn na vyvtávací tyči pomocí šroubu, která může být uložena letmo nebo s vedením (podpěrným ložiskem). [5]

Podle počtu břítů dělíme nástroje:

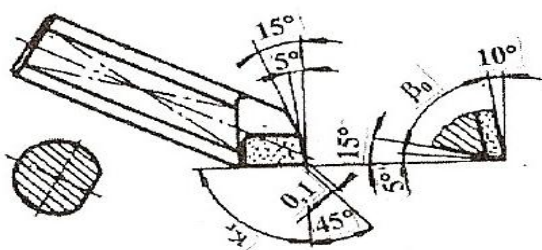
- S jedním břitem (nůž jednostranný)
- Se dvěma břity (nůž oboustranně naostřený, nebo ve vyvtávací tyči jsou umístěny dva nože)
- S více břity (vyvtávací hlavy)

Geometrie vyvtávacích nožů je závislá na druhu materiálu, který se chystáme obrábět. Břit je možno mít vyroben z rychlořezné oceli, popřípadě ze slinutých karbidů nebo eventuelně keramiky, diamantu či kubického nitridu bóru. Nůž může být na vyvtávací tyči upevněn pomocí stavěcích šroubů nebo kolíků, a to zejména kuželových. [5]



a) uložení letmo ve vřetenu, b) podepřená v jednom vodicím pouzdře
c) podepřená ve dvou vodicích pouzdrech spojená s vřetenem dvojitým kloubem

Obr. 59. Vyvtávací tyče [5]



Obr. 60. Geometrie vyvtávacího nože [5]

4.4 Stroje pro výrobu válcových otvorů

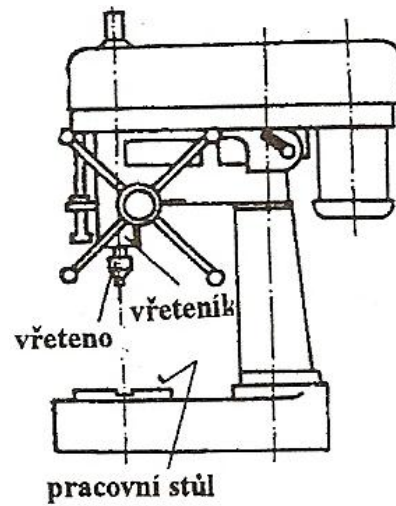
Jinými slovy vrtačky. Jsou to obráběcí stroje ke zhotovování, úpravě nebo dokončování otvorů rotačního tvaru.

Vrtačky se skládají z těchto částí:

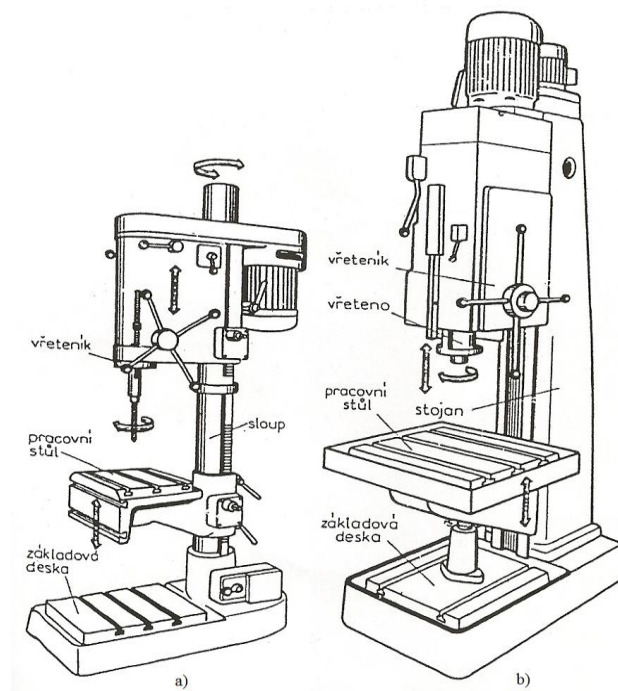
- **Stojan**
- **Vřeteník:** buď na stojanu, nebo výložném rameni, vykonává přímočarý pohyb posuvný)
- **Stůl** (pro upínání menších obrobků)
- **Základní deska** (pro upínání velkých obrobků)

Druhy vrtaček:

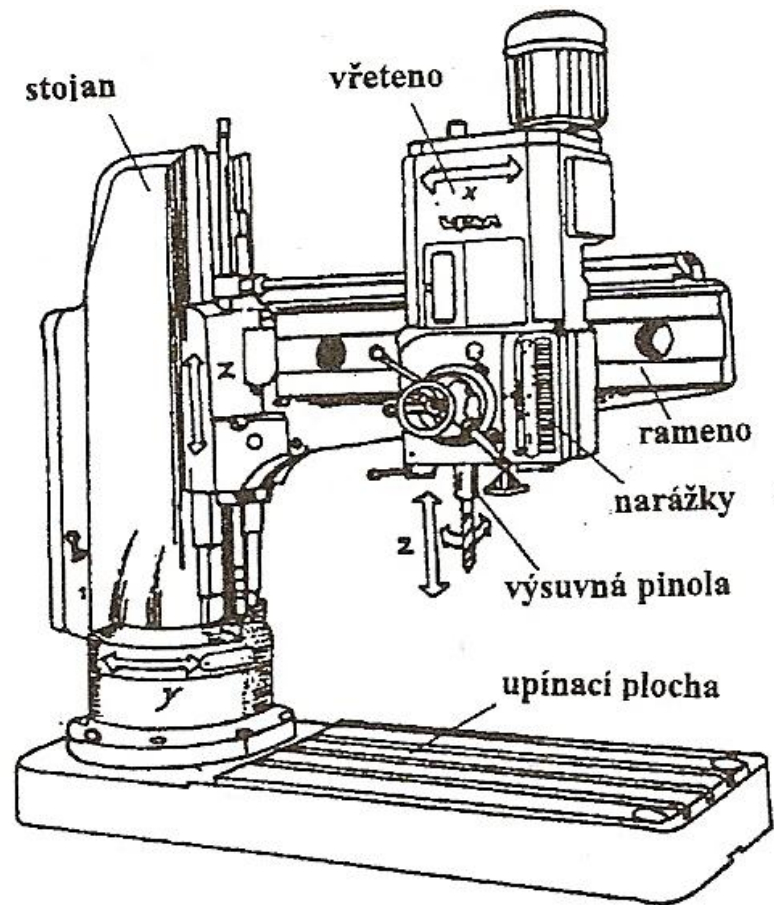
- **Stolní** - jednovřetenové, řadové s uspořádáním vřeten v jedné řadě na společném stole
- **Sloupová** - vřeteník i stůl ve vertikálním směru po sloupu, mechanický posuv vřetena
- **Stojanová** - vřeteník i stůl je posuvný po vedení stojanu vrtačku, který má skříňovitý průřez
- **Otočná** - obsahují rameno, na kterém se ve vodorovném směru pohybuje pracovní vřeteník. Je ovšem i možná konstrukce kde se rameno pohybuje svisle po vedení stojanu skříňovitého průřezu
- **Montážní vrtačky** - jiná konstrukce otočné vrtačky (rozsah až 360°), jsou přenosné, používají se v montážních dílnách
- **Speciální vrtačky** - pro speciální vrtací operace (vrtačky na hluboké díry, vrtačky souřadnicové, vícevřetenové, stavebnicové apod.) [5]



Obr. 61. Vrtačka stolní [5]



Obr. 62. Vrtačky - a) sloupová, b) stojanová [5]



Obr. 63. Vrtačka sloupová (otočná) [5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PŘÍPRAVA A PROVEDENÍ ZKOUŠEK ZAHLUBOVÁNÍ

Tato část práce je zaměřena na volbu materiálů, které byly použity ke zkouškám zahlubování děr, určení jejich vlastností a použití, pomocí Strojnických tabulek. Zvolení rozměrů těchto materiálů a samotným výrobním postupům, kterými jsou řezání na automatické pásové pile, frézování na konečný tvar, vrtání děr a zahlubování otvorů. V poslední řadě zabývá měřením drsnosti na kontaktním měřícím přístroji.

5.1 Volba materiálu

Byly použity materiály s rozdílnou tvrdostí, ČSN 14 220.4, ČSN 12 050.1 a ČSN 42 4201. Zde jsou uvedeny jejich vlastnosti a použití v technické praxi.

Vlastnosti a použití jsem dohledal ve Strojnických tabulkách. [6]

- **ČSN 14 220.4:** $R_m = \text{min. } 785 \text{ [MPa]}$; $R_{e \text{ min}} = 590 \text{ [MPa]}$; tvrdost HB = min. 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 i svařitelná; strojní součásti s velmi tvrdou cementovanou vrstvou 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.

- **Použití v technické praxi:** menší hřídele, ozubená kola, šneky, vačkové hřídele, vřetena obráběcích strojů, pístní čepy, pera, zubové spojky, trny, upínací nářadí apod. [6]

- **ČSN 12 050.1:** $R_m = \text{min. } 530 \text{ [MPa]}$; $R_{e \text{ min}} = 305 \text{ [MPa]}$; tvrdost HB = min. 225; třída odpadu 002

- **Vlastnosti:** konstrukční ocel nelegovaná k zušlechťování a povrchovému kalení. NŽ - 840°C; ŽM - 700°C; K - 820°C/voda, olej; P - 600°C/vzduch

- **Použití v technické praxi:** hřídele turbokompresorů, čerpadel, těžních strojů, elektromotorů a dynam; větší ozubená kola, šneky. Automobilové klikové hřídele, ojnice, páky řízení, závěsy pružin, čepy. [6]

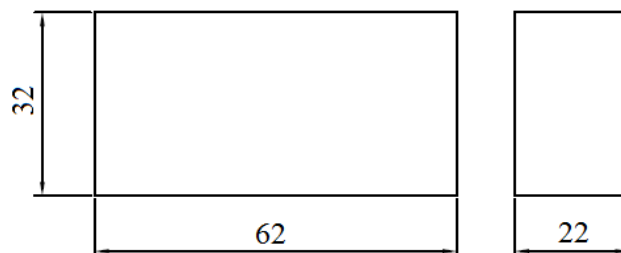
- ČSN 42 4201 (Duralumin): $R_m = \text{min. } 180 - 400$ [MPa]; $A_{10} = 14 - 7$ [%]; třída odpadu 812

- **Vlastnosti:** Vytvrzovatelná slitina, svařitelnost plamenem dobrá podmíněná; náchylná ke tvorbě trhlin při svařování. Menší chemická odolnost (velký obsah Cu). T – 350 až 500; Ž – 360 až 400/2 až 6h; V – 495 až 515/voda 20 až 40°C

- **Použití v technické praxi:** konstrukční materiál na letadla, kolejová vozidla, auta, zdvihadla, jeřáby, mosty; (plechy, pásy, kotouče, pruhy, drat, tyče, trubky, profily, výkovky) [6]

5.2 Nařezání tří druhů materiálů na automatické pásové pile na přibližný rozměr

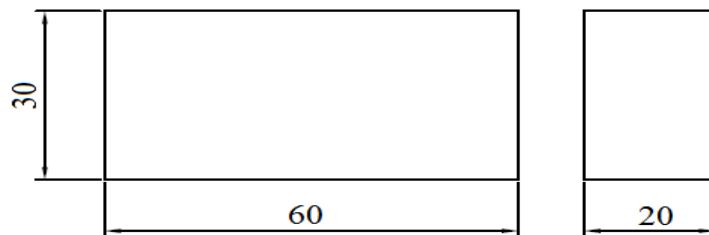
Automatická pásová pila slouží k nařezání polotovaru (Obr. 64) na přibližný rozměr 62x32x22[mm]. Po nařezání všech tří materiálů se lehce srazily všechny hrany polotovaru na stojanové brusce, aby nedošlo ke zranění.



Obr. 64. Výkresová dokumentace - polotovar

5.3 Frézování na konečný rozměr všech tří druhů materiálů

Polotovar všech tří druhů materiálů z automatické pásové pily byl ofrézován na konečný rozměr 60x30x20[mm] (Obr. 65). Tato úprava rozměru má hlavní smysl vtom, že se nastavuje pouze jedna hodnota dorazu na stojanové vrtačce, další roli hraje také estetické hledisko. Pokud bychom měli každý polotovar jinak velký (jiný rozměr), museli bychom doraz nastavovat pokaždé znovu, a to by znehodnocovalo naměřené výsledky. Frézování probíhalo čelní válcovou frézou $\Phi 30$ [mm].



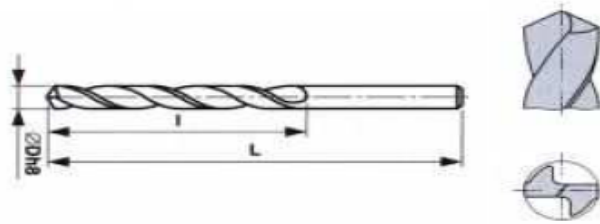
Obr. 65. Výkresová dokumentace – konečný rozměr

5.4 Vrtání otvorů

Vrtání probíhalo na stojanové vrtačce OPTIMUM (Obr. 66). Průchozí díra byla zhotovena vrtákem s válcovou stopkou – střední řada HSS, ČSN 22 1121, $\phi 7,00$ mm (Obr. 67). Velikost otáček $n=500$ [ot/min] (Obr. 68). Posuv byl zajištěn ručně. Pro názornost vrtané díry je zde uvedena výkresová dokumentace (Obr. 69).



Obr. 66. Stojanová vrtačka OPTIMUM



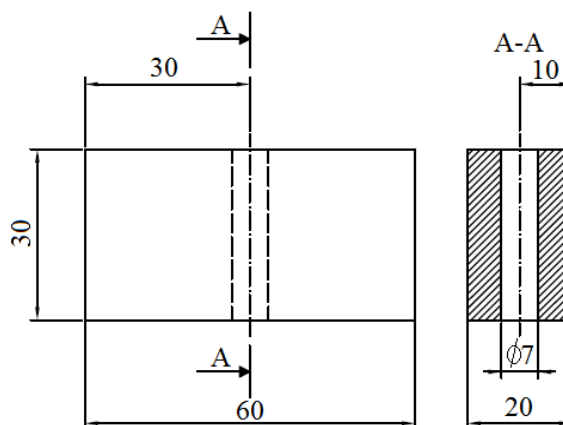
$\phi D=7[\text{mm}]; l=69[\text{mm}]; L=109[\text{mm}]$

Obr. 67. Výkresová dokumentace válcového vrtáku

ČSN 22 1121 [11]



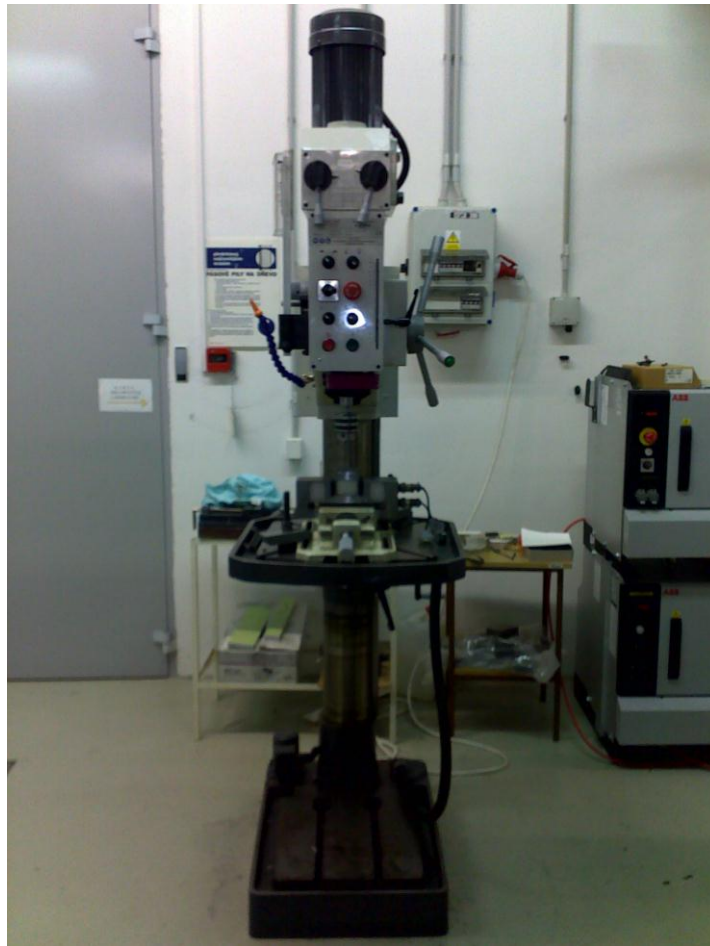
Obr. 68. Počet otáček při vrtání



Obr. 69. Výkresová dokumentace – kostka s vyvrtanou průchozí dírou

5.5 Zhlubování

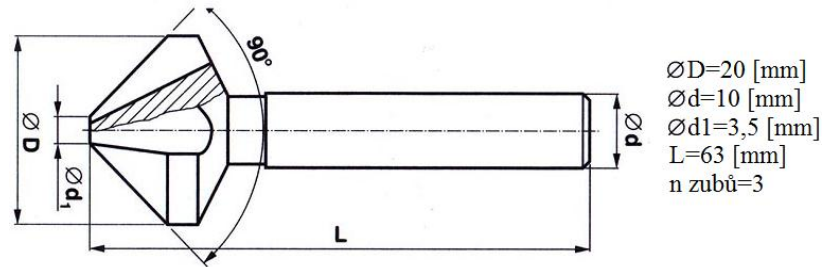
Zahlubování probíhalo na stojanové vrtačce OPTIMUM (Obr. 70). Zhloubení díry je $3 \times 45^\circ$ a je zhotoveno dvěma typy nástrojů. Velikost otáček $n=500[\text{ot}/\text{min}]$ (Obr. 71). Jeden nástroj je záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou HSS, ČSN 22 1625, $19 \times 90\text{mm}$ (Obr. 72 a 73) a druhý nástroj je záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou HSS, ČSN 22 1627, $90 \times 20\text{mm}$ (Obr. 74 a 75). Posuv byl zajištěn strojně, posuvy byly zvoleny dva, a sice, první $f=0,1[\text{mm}/\text{ot}]$ a druhý posuv $f=0,2[\text{mm}/\text{ot}]$. Pro názornost zhloubené díry je zde uvedena výkresová dokumentace (Obr. 76). V dalším případě jsou uvedeny fotografie zachycující zhloubení děr ve všech třech materiálech, různými typy záhlubníků (Obr. 77 – 82).



Obr. 70. Stojanová vrtačka OPTIMUM



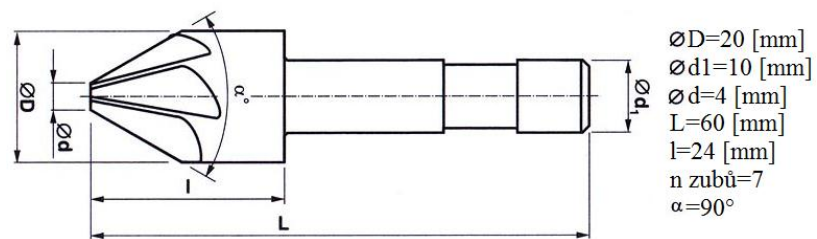
Obr. 71. Počet otáček při zahlubování



Obr. 72. Výkresová dokumentace záhlubníku ČSN 22 1625 [11]



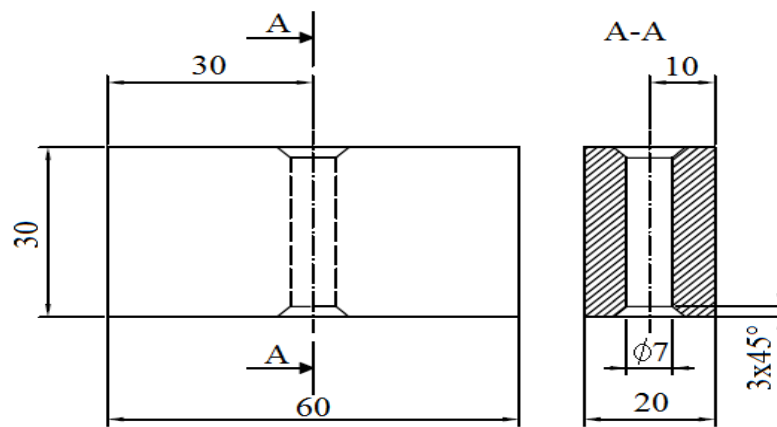
Obr. 73. Použitý záhlubník ČSN 22 1625



Obr. 74. Výkresová dokumentace záhlubníku ČSN 22 1627 [11]



Obr. 75. Použitý záhlubník ČSN 22 1627



Obr. 76. Výkresová dokumentace – zahloubená díra 3x45°



*Obr. 77. Zahlubování záhlubníkem
ČSN 22 1625 do materiálu 12 050.1*



*Obr. 78. Zahlubování záhlubníkem
ČSN 22 1625 do materiálu 14 220.4*



*Obr. 79. Zahlubování záhlubníkem
ČSN 22 1625 do materiálu 42 4201*



*Obr. 80. Zahlubování záhlubníkem
ČSN 22 1627 do materiálu 12 050.1*



*Obr. 81. Zahlubování záhlubníkem
ČSN 22 1627 do materiálu 14 220.4*



*Obr. 82. Zahlubování záhlubníkem
ČSN 22 1627 do materiálu 42 4201*

5.6 Měření drsnosti povrchu zahloubených ploch

Na zahloubených plochách se měřila se drsnost povrchu Ra a Rz. Měření drsnosti zahloubených děr proběhlo na přístroji pro měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ-301 (Obr. 83) za pomoci měřícího hrotu R2 (Obr. 85), který je koncipován pro kovy. Celá sestava je vidět na fotografii (Obr. 84). Schéma měření je znázorněno na (Obr. 86). Dráha, po které probíhalo měření, byla určena λ_C 5x0,25mm. Norma, podle které byla drsnost měřena je ISO 1997. Profil byl nastaven R a chyby byly zakreslovány na Gaussově křivce chyb. Teplota okolí byla naměřena přibližně 20°C, ovšem místnost nebyla klimatizována, tudíž mohla různě dilatovat. Měření drsnosti povrchu bylo opakováno pro každou zahloubenou díru 10krát, aby byla zajištěna rozmanitost výsledků.



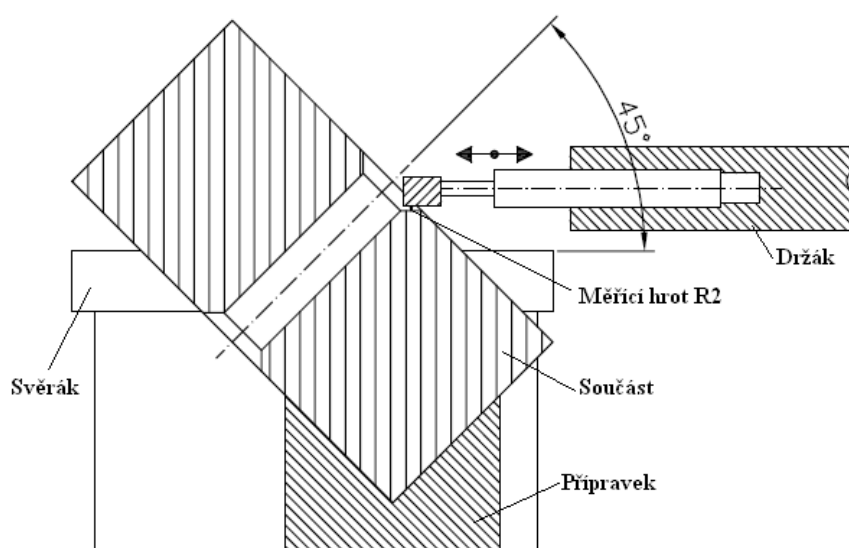
*Obr. 83. Přístroj pro měření drsnosti povrchu
Mitutoyo SJ-301*



Obr. 84. Měřicí sestava



Obr. 85. Měřicí hrot R2



Obr. 86. Schéma měření drsnosti

6 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

Vyhodnocení zkoušek spočívá ve zkoumání a vyhodnocení naměřených dat drsnosti povrchů jednotlivých zahloubených děr. Požadované zahloubení $3 \times 45^\circ$. Je zde nutné využít statistiku, zejména především průměrnou hodnotu, směrodatnou odchylku, rozsah, minimální a maximální hodnotu z naměřených dat. Měření jednotlivých drsností zahloubení děr se opakovalo 10krát, aby bylo možné zajistit co největší přesnost výsledků.

6.1 Naměřená a vyhodnocená data drsnosti povrchu

V této části práce se zaměřuji na zpracování a vyhodnocení dat získaných při měření drsnosti. Vyhodnocení bude spočívat především v tom, zjistit za kterých řezných podmínek, které mám zvolené, je výhodnější vytvořit zahloubení s ohledem na to, jakou drsnost povrchu bude mít zahloubení 3x45° ve třech různě tvrdých materiálech, kterými jsou ČSN 14 220.4, ČSN 12 050.1 a ČSN 42 4201.

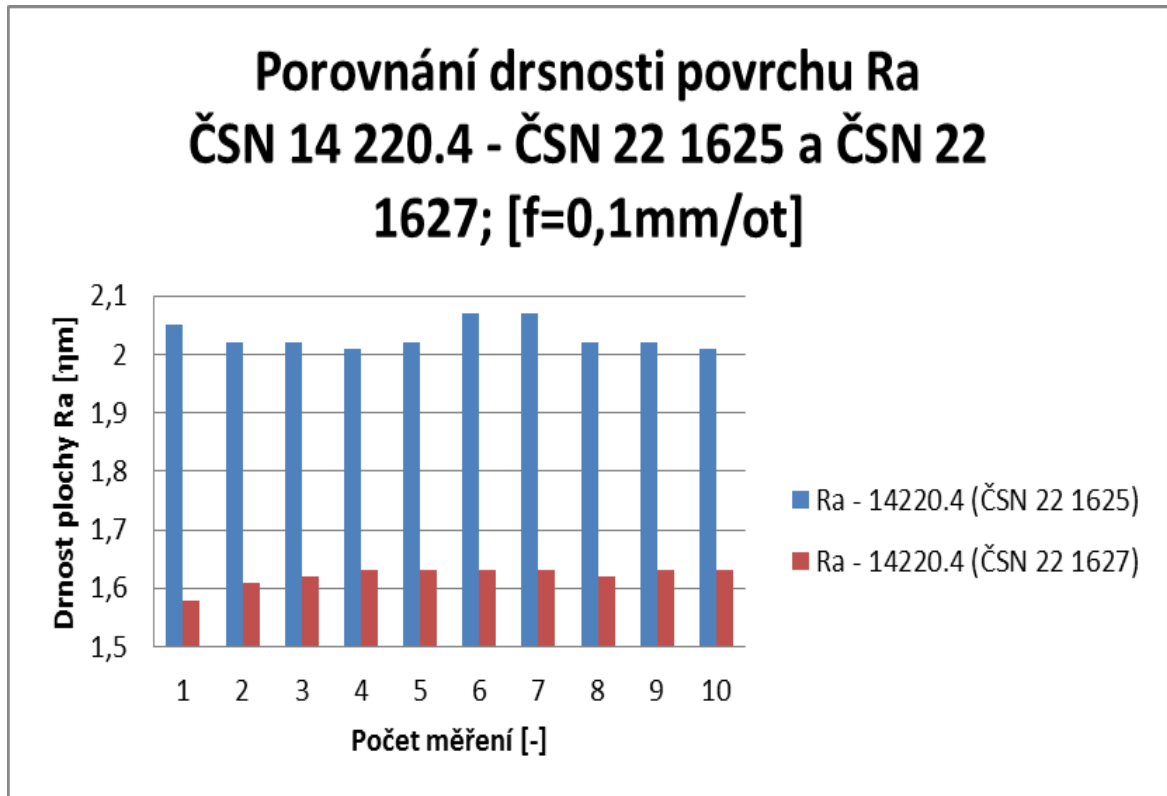
6.1.1 Materiál ČSN 14 220.4 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; $f=0,1$ [mm/ot]; $n=500$ [ot/min])

Měření: drsnost povrchu Ra a Rz naměřená pro materiál ČSN 14 220.4 za použití 3břitého, ČSN 22 1625 a 7břitého, ČSN 22 1627 záhlubníku při posuvu $f=0,1$ [mm/ot] při otáčkách 500[ot/min]

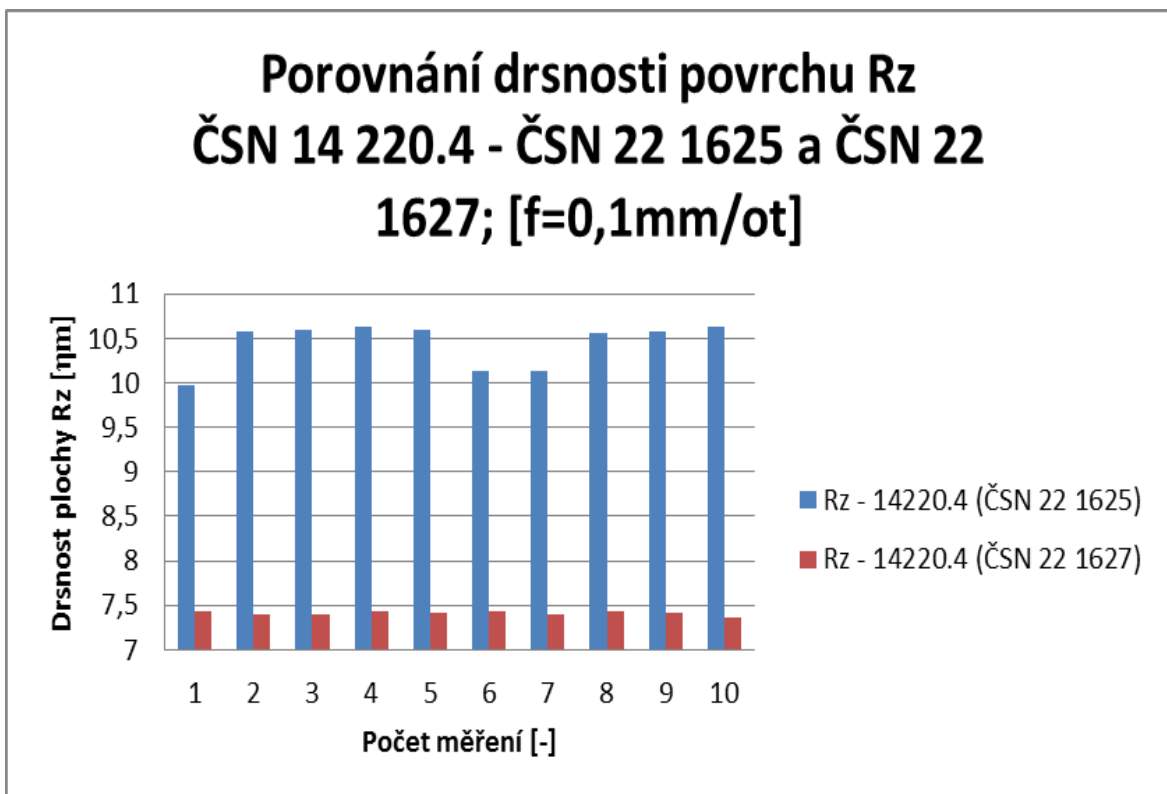
Tabulka 9. Naměřené hodnoty ČSN 14 220.4; $f=0,1$ [mm/ot]

ČSN 22 1625 $f=0,1$ mm/ot	Materiál	
č. měření	ČSN 14 220.4	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	2,05	9,98
2	2,02	10,58
3	2,02	10,6
4	2,01	10,63
5	2,02	10,59
6	2,07	10,13
7	2,07	10,13
8	2,02	10,56
9	2,02	10,58
10	2,01	10,63
Průměr	2,03	10,44
Směr. odch	0,02	0,24
Rozsah	0,06	0,65
Max	2,07	10,63
Min	2,01	9,98

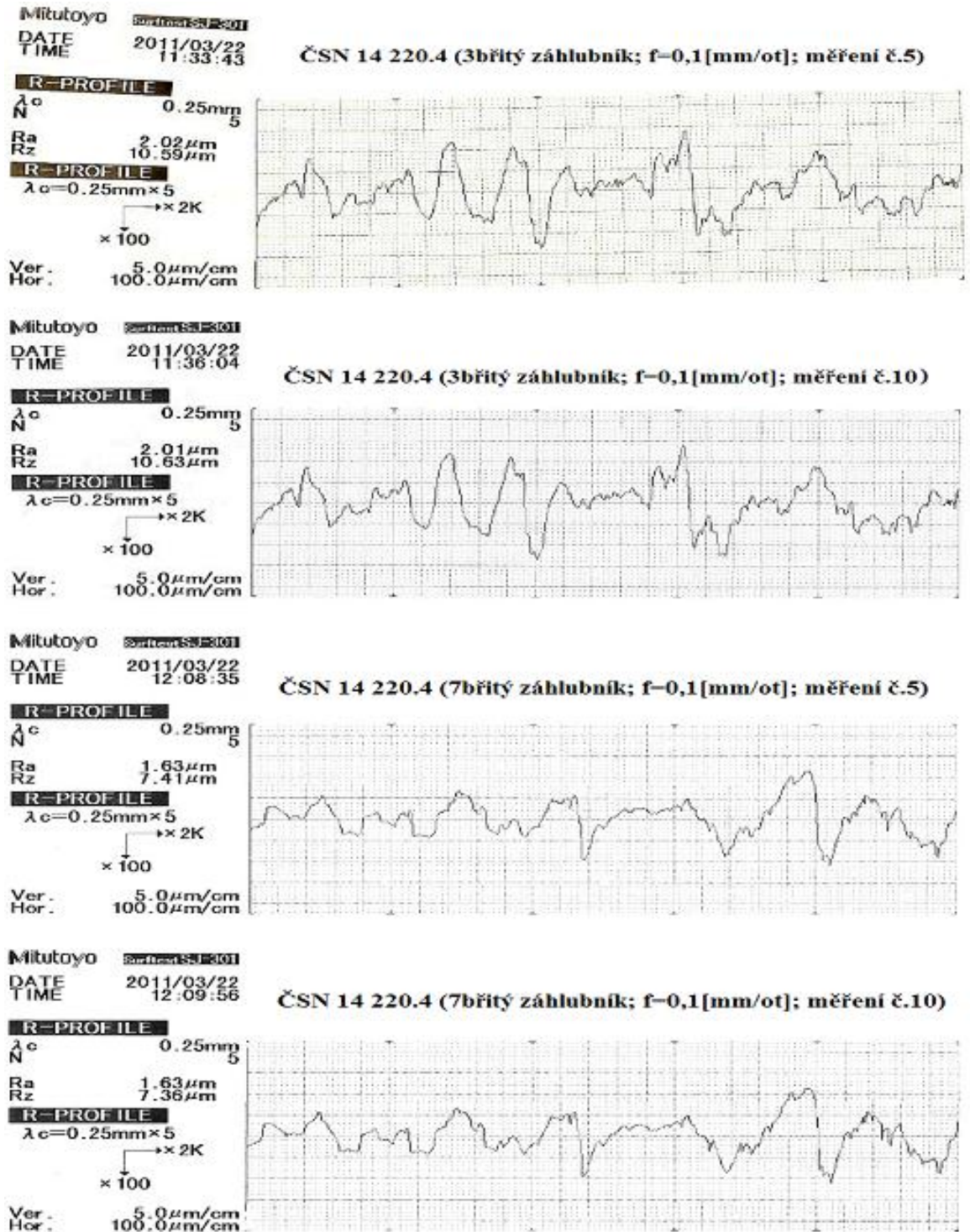
ČSN 22 1627 $f=0,1$ mm/ot	Materiál	
č. měření	ČSN 14 220.4	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	1,58	7,43
2	1,61	7,39
3	1,62	7,4
4	1,63	7,43
5	1,63	7,41
6	1,63	7,43
7	1,63	7,39
8	1,62	7,43
9	1,63	7,41
10	1,63	7,36
Průměr	1,62	7,41
Směr. odch	0,02	0,02
Rozsah	0,05	0,07
Max	1,63	7,43
Min	1,58	7,36



Obr. 87. Porovnání drsnosti povrchu Ra 14 220.4 [f=0,1mm/ot]



Obr. 88. Porovnání drsnosti povrchu Rz 14 220.4 [f=0,1mm/ot]



Obr. 89. Zobrazení drsnosti (14 220.4; $f=0,1[\text{mm/ot}]$) - Mitutoyo SJ-301

Vyhodnocení:

Pro zahlubování otvorů v materiálu ČSN 14 220.4 je použit 3břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1625 o rozměrech 19mmx90° a 7břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1627 o rozměrech 20mmx90°. Nastavený posuv byl $f=0,1$ [mm/ot] a otáčky 500 [ot/min]. Při nastavení těchto řezných podmínek je průměrná drsnost R_a u zahloubené díry záhlubníkem ČSN 22 1625 $R_a=2,03$ [ηm] a rozsah naměřených hodnot 0,6[ηm]. Za použití záhlubníku ČSN 22 1627 průměrná drsnost povrchu klesne na hodnotu $R_a=1,62$ [ηm] a rozsah 0,5[ηm]. Z (Obr. 87) je tedy zřejmé, že pro zahlubování otvoru do materiálu ČSN 14 220.4, je pro posuv $f=0,1$ [mm/ot] a otáček 500 [ot/min] vhodnější použít záhlubník ČSN 22 1627, který materiál odebírá častěji, jelikož obsahuje větší počet břitů a nevytváří tedy na zahloubeném povrchu příliš velké drsnostní rozdíly způsobené odebíráním materiálu. To je patrné z (Obr. 88) kde jsou vyhodnoceny hodnoty drsnosti povrchu R_z . Při použití záhlubníku ČSN 22 1625 se hodnota drsnosti povrchu pohybuje průměrně $R_z=10,44$ [ηm] kde je rozsah naměřených hodnot 0,65[ηm] a za použití záhlubníku ČSN 22 1627 opět klesne hodnota drsnost povrchu $R_z=7,41$ [ηm] kde je rozsah naměřených dat pouze 0,07[ηm]. Pro názornost, jak vypadá drsnost zahloubených povrchů různými řeznými nástroji při jednotlivých měřeních, je doložen obrázek (Obr. 89).

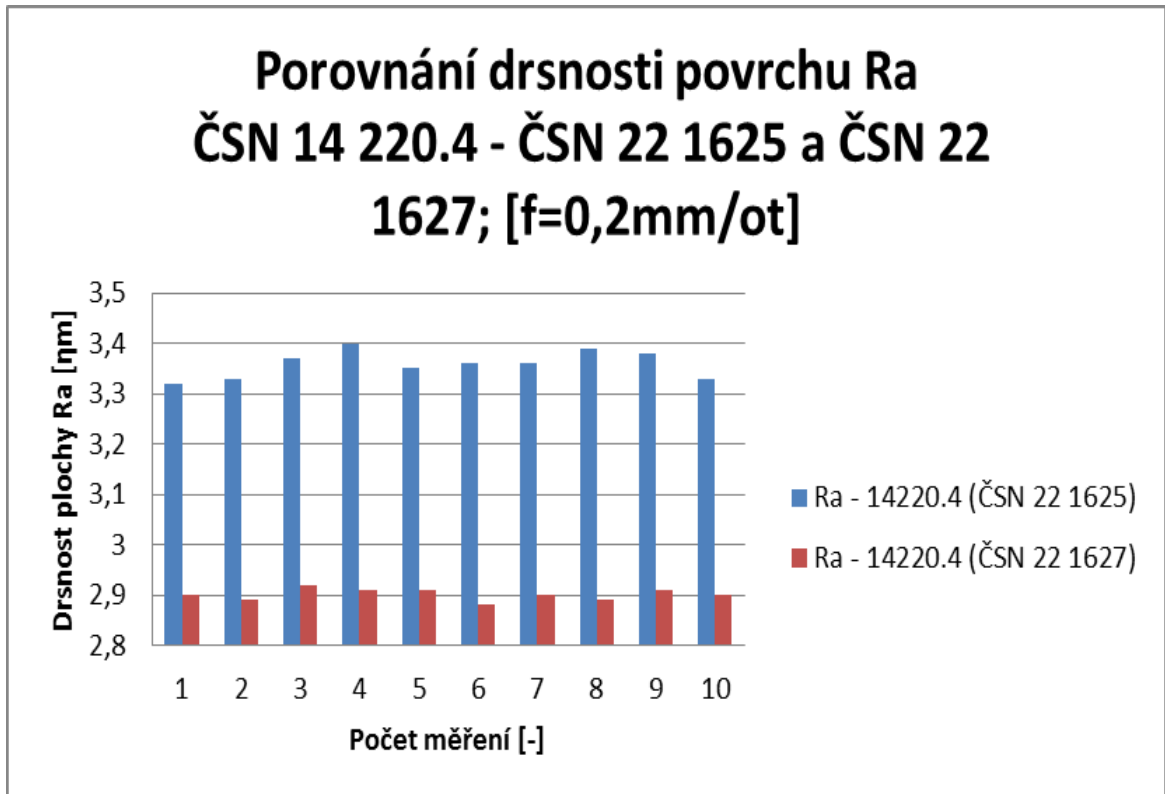
**6.1.2 Materiál ČSN 14 220.4 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; $f=0,2$ [mm/ot];
 $n=500$ [ot/min])**

Měření: drsnost povrchu Ra a Rz naměřená pro materiál ČSN 14 220.4 za použití 3břitého, ČSN 22 1625 a 7břitého, ČSN 22 1627 záhlubníku při posuvu $f=0,2$ [mm/ot] při otáčkách 500[ot/min]

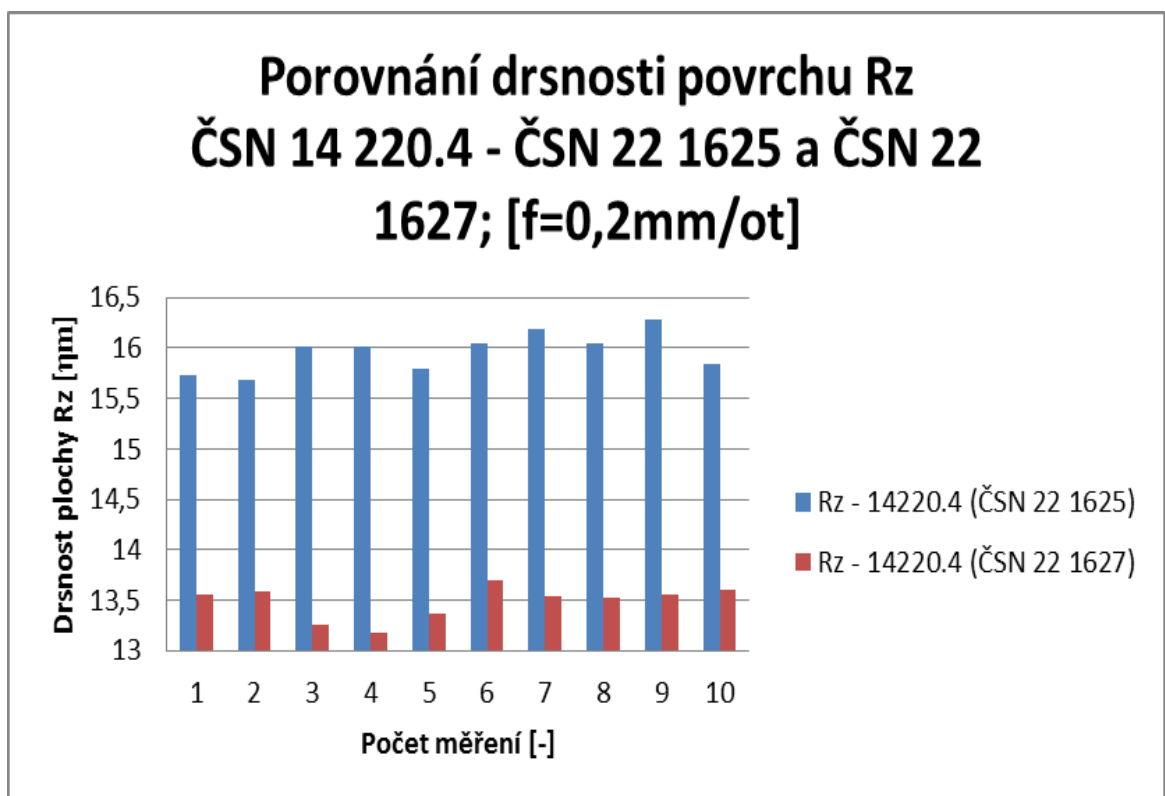
Tabulka 10. Naměřené hodnoty ČSN 14 220.4; $f=0,2$ [mm/ot]

ČSN 22 1625 $f=0,2$ mm/ot	Materiál	
	ČSN 14 220.4	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	3,32	15,73
2	3,33	15,69
3	3,37	16,01
4	3,4	16,02
5	3,35	15,79
6	3,36	16,04
7	3,36	16,19
8	3,39	16,05
9	3,38	16,28
10	3,33	15,84
Průměr	3,36	15,96
Směr. odch	0,03	0,19
Rozsah	0,08	0,59
Max	3,4	16,28
Min	3,32	15,69

ČSN 22 1627 $f=0,2$ mm/ot	Materiál	
	ČSN 14 220.4	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	2,9	13,55
2	2,89	13,58
3	2,92	13,26
4	2,91	13,18
5	2,91	13,36
6	2,88	13,69
7	2,9	13,54
8	2,89	13,53
9	2,91	13,55
10	2,9	13,61
Průměr	2,90	13,49
Směr. odch	0,01	0,15
Rozsah	0,04	0,51
Max	2,92	13,69
Min	2,88	13,18



Obr. 90. Porovnání drsnosti povrchu Ra 14 220.4 [f=0,2mm/ot]

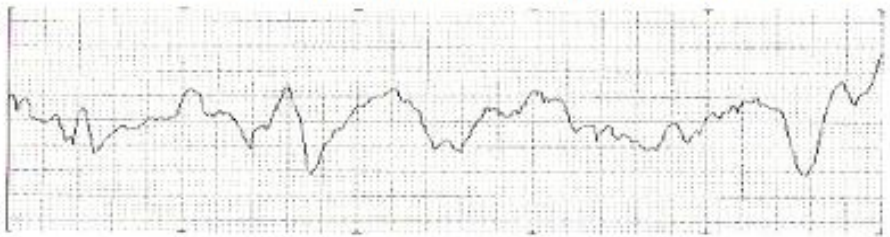


Obr. 91. Porovnání drsností plochy Rz 14 220.4 [f=0,2mm/ot]

Mitutoyo SJ-301
 DATE 2011/03/22
 TIME 11:28:29

ČSN 14 220.4 (3břítý záhlubník; $f=0,2$ [mm/ot]; měření č.5)

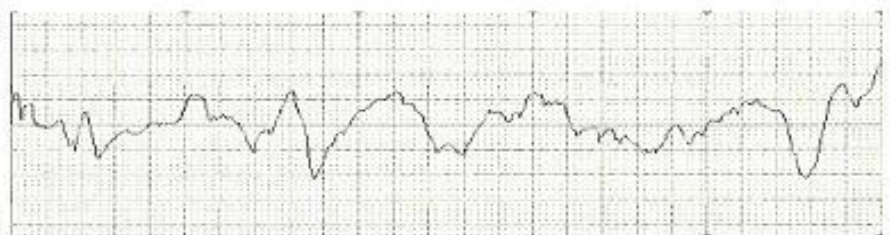
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 3.35 μ m
 Rz 15.79 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 100.0 μ m/cm



Mitutoyo SJ-301
 DATE 2011/03/22
 TIME 11:30:44

ČSN 14 220.4 (3břítý záhlubník; $f=0,2$ [mm/ot]; měření č.10)

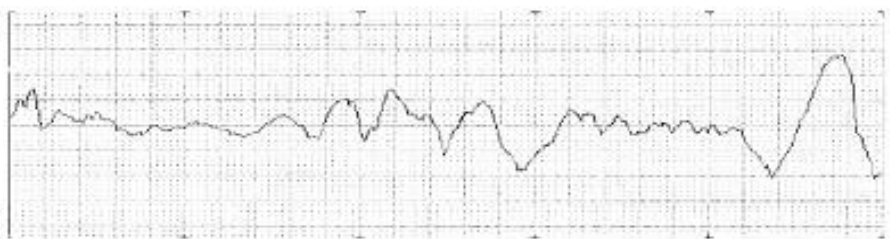
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 3.33 μ m
 Rz 15.84 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 100.0 μ m/cm



Mitutoyo SJ-301
 DATE 2011/03/22
 TIME 12:12:53

ČSN 14 220.4 (7břítý záhlubník; $f=0,2$ [mm/ot]; měření č.5)

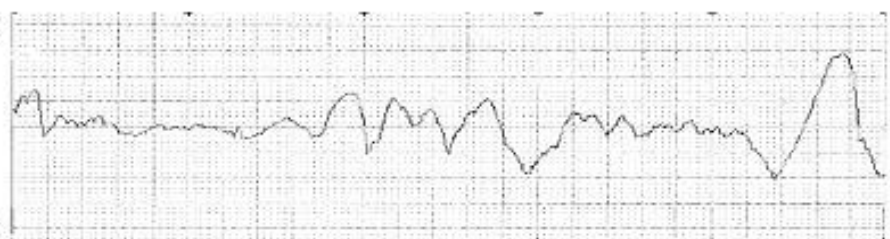
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 2.91 μ m
 Rz 13.36 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 100.0 μ m/cm



Mitutoyo SJ-301
 DATE 2011/03/22
 TIME 12:14:29

ČSN 14 220.4 (7břítý záhlubník; $f=0,2$ [mm/ot]; měření č.10)

R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 2.90 μ m
 Rz 13.61 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 100.0 μ m/cm



Obr. 92. Zobrazení drsnosti (14 220.4; $f=0,2$ [mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301

Vyhodnocení:

Pro zahlubování otvorů v materiálu ČSN 14 220.4 je použit 3břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1625 o rozměrech 19mmx90° a 7břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1627 o rozměrech 20mmx90°. Nastavený posuv byl $f=0,2$ [mm/ot] a otáčky 500 [ot/min]. Při nastavení těchto řezných podmínek je průměrná drsnost R_a u zahloubené díry záhlubníkem ČSN 22 1625 $R_a=3,36$ [ηm] a rozsah hodnot 0,08[ηm]. Za použití záhlubníku ČSN 22 1627 průměrná drsnost povrchu klesne na hodnotu $R_a=2,9$ [ηm] a rozsah hodnot 0,04[ηm]. Z (Obr. 90) je tedy viditelné, že pro zahlubování otvoru do materiálu ČSN 14 220.4, je pro posuv $f=0,2$ [mm/ot] a otáček 500 [ot/min] vhodnější použít záhlubník ČSN 22 1627, který materiál odebírá častěji, jelikož obsahuje větší počet břitů a nevytváří tedy na zahloubeném povrchu příliš velké drsnostní rozdíly způsobené odebíráním materiálu. To je patrné z (Obr. 91) kde jsou vyhodnoceny hodnoty drsnosti povrchu R_z . Při použití záhlubníku ČSN 22 1625 se hodnota drsnosti povrchu pohybuje průměrně $R_z=15,96$ [ηm] kde je rozsah naměřených hodnot 0,59[ηm] a za použití záhlubníku ČSN 22 1627 opět klesne hodnota drsnost povrchu $R_z=13,49$ [ηm] kde je rozsah naměřených dat 0,51[ηm]. Pro názornost, jak vypadá drsnost zahloubených povrchů různými řeznými nástroji při jednotlivých měřeních, je doložen obrázek (Obr. 92).

6.1.3 Vzájemné vyhodnocení

- zahloubených otvorů v materiálu ČSN 14 220.4, kuželovými záhlubníky ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627 při posuvu $f=0,1$ [mm/ot] a $f=0,2$ [mm/ot] při otáčkách 500 [ot/min]

Z naměřených a vyhodnocených dat lze vyčíst, že výhodnější pro zhotovení požadovaného zahloubení v materiálu ČSN 14 220.4 bude použití 7břitého kuželového záhlubníku ČSN 22 1627. Posuv při zhotovení zahloubení bude $f=0,1$ [mm/ot], při kterém jsme schopni vytvořit zahloubení o drsnosti plochy $Ra=1,62$ [μm] a $Rz=7,41$ [μm], přičemž při použití záhlubníku ČSN 22 1625 za stejného posuvu vytvoříme zahloubení s drsností plochy $Ra=2,03$ [μm] a $Rz=10,44$ [μm]. Pokud bychom ovšem chtěli zvýšit produktivitu práce tím, že zvýšíme posuv na $f=0,2$ [mm/ot], musíme počítat se zvýšením drsnosti obrobenech ploch vytvořených záhlubníky ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627, stejně jako v našem případě, kdy pro zahloubení vytvořené záhlubníkem ČSN 22 1625 je průměrná hodnota drsnosti povrchu $Ra=3,36$ [μm] a $Rz=15,96$ [μm] a za použití záhlubníku ČSN 22 1627 je průměrná drsnost povrchu $Ra=2,9$ [μm] a $Rz=13,49$ [μm]. To je způsobeno tím, že pokud změníme pouze posuv a otáčky nám zůstanou stejné, stejně tak jak máme řezné podmínky zvoleny my, dojde k tomu, že materiál bude při větším posuvu nedokonale obráběn, bude spíše vytrháván, což má za následek vzniku nedokonale obrobenech plochy, tudíž se zvětší drsnost obrobenech plochy. Abychom eliminovali zvýšení drsnosti obrobenech ploch při posuvu $f=0,2$ [mm/ot] je nutné zvýšit i otáčky.

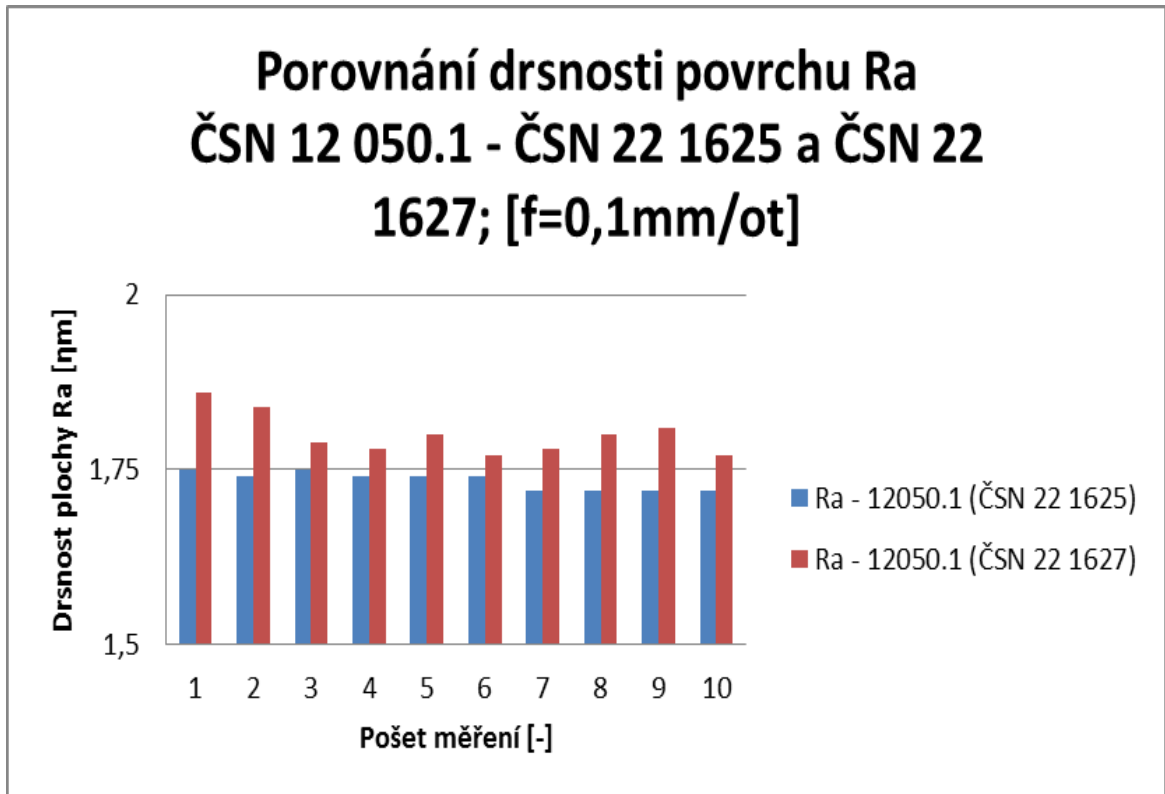
**6.1.4 Materiál ČSN 12 050.1 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; $f=0,1$ [mm/ot];
 $n=500$ [ot/min])**

Měření: drsnost povrchu Ra a Rz naměřená pro materiál ČSN 12 050.1 za použití 3břitého, ČSN 22 1625 a 7břitého, ČSN 22 1627 záhlubníku při posuvu $f=0,1$ [mm/ot] při otáčkách 500[ot/min]

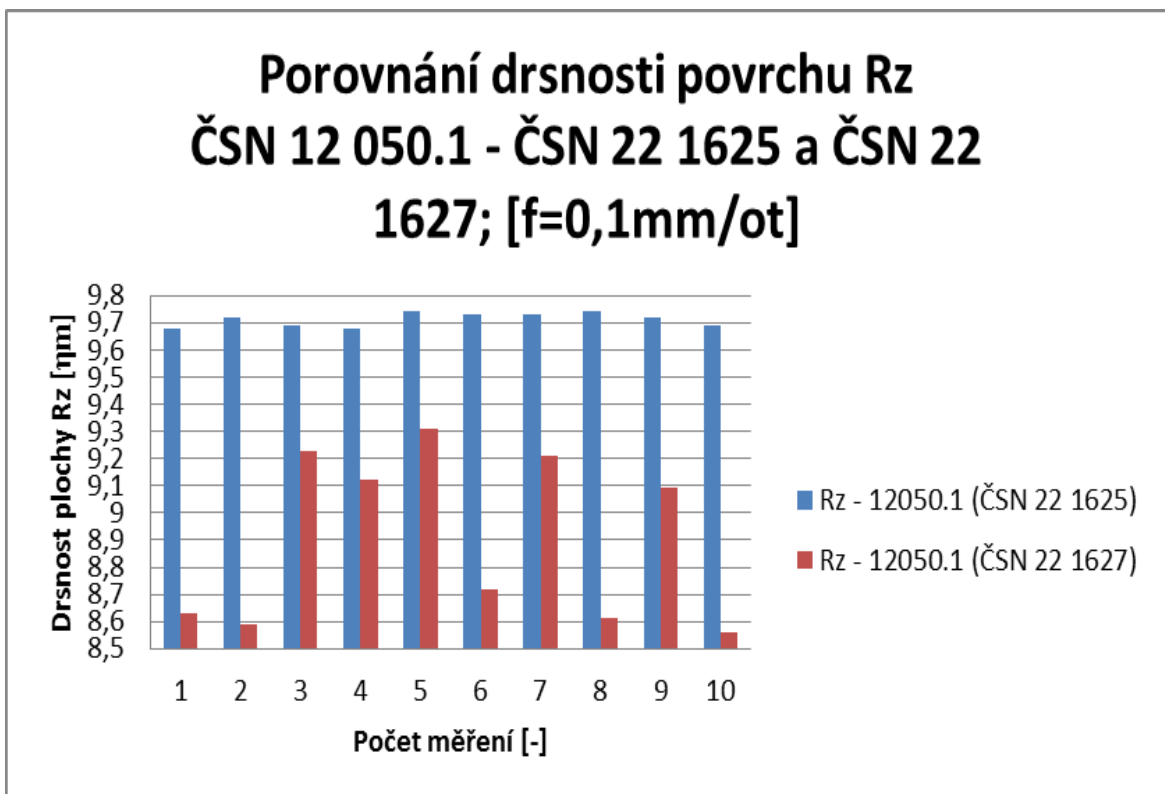
Tabulka 11. Naměřené hodnoty ČSN 12 050.1; $f=0,1$ [mm/ot]

ČSN 22 1625 $f=0,1$ mm/ot	Materiál	
č. měření	ČSN 12 050.1	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	1,75	9,68
2	1,74	9,72
3	1,75	9,69
4	1,74	9,68
5	1,74	9,74
6	1,74	9,73
7	1,72	9,73
8	1,72	9,74
9	1,72	9,72
10	1,72	9,69
Průměr	1,73	9,71
Směr. odch	0,01	0,02
Rozsah	0,03	0,06
Max	1,75	9,74
Min	1,72	9,68

ČSN 22 1627 $f=0,1$ mm/ot	Materiál	
č. měření	ČSN 12 050.1	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	1,86	8,63
2	1,84	8,59
3	1,79	9,23
4	1,78	9,12
5	1,8	9,31
6	1,77	8,72
7	1,78	9,21
8	1,8	8,61
9	1,81	9,09
10	1,77	8,56
Průměr	1,80	8,91
Směr. odch	0,03	0,29
Rozsah	0,09	0,75
Max	1,86	9,31
Min	1,77	8,56



Obr. 93. Porovnání drsnosti povrchu Ra 12 050.1 [f=0,1mm/ot]

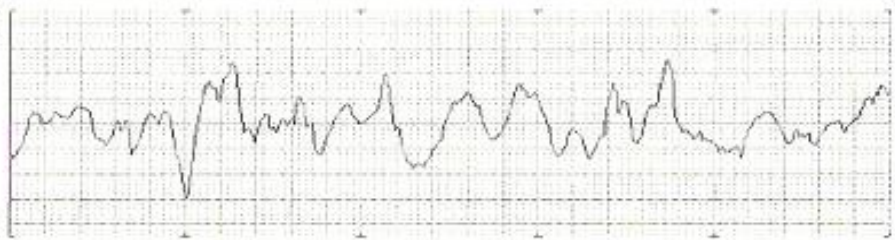


Obr. 94. Porovnání drsnosti povrchu Rz 12 050.1 [f=0,1mm/ot]

Mitutoyo **Surftest SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 11:40:05

ČSN 12 050.1 (3břítý záhlubník; f=0,1[mm/ot]; měření č.5)

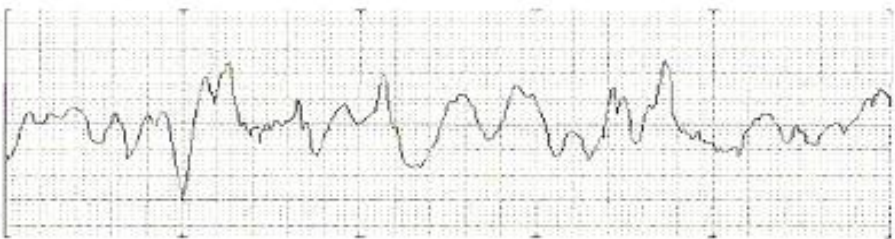
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 1.74 μ m
 Rz 9.74 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 2K$
 $\times 100$
 Ver: 5.0 μ m/cm
 Hor: 100.0 μ m/cm



Mitutoyo **Surftest SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 11:42:12

ČSN 12 050.1 (3břítý záhlubník; f=0,1[mm/ot]; měření č.10)

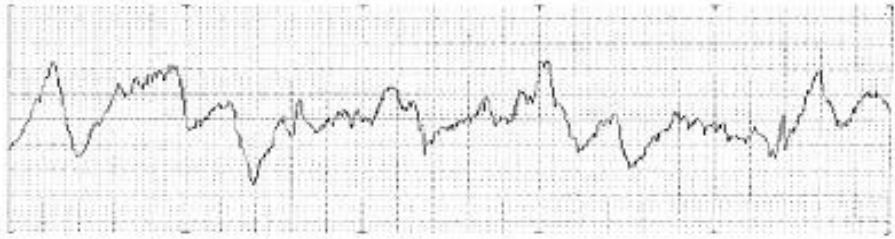
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 1.72 μ m
 Rz 9.69 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 2K$
 $\times 100$
 Ver: 5.0 μ m/cm
 Hor: 100.0 μ m/cm



Mitutoyo **Surftest SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 12:16:53

ČSN 12 050.1 (7břítý záhlubník; f=0,1[mm/ot]; měření č.5)

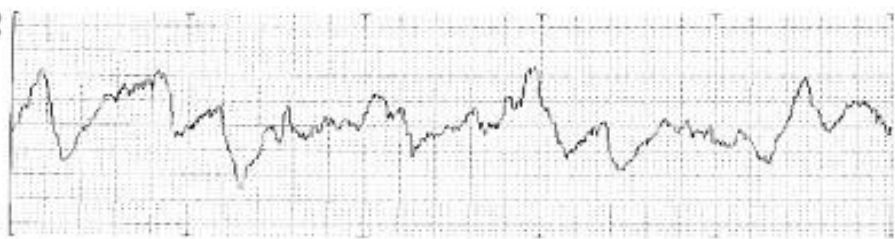
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 1.80 μ m
 Rz 9.31 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 2K$
 $\times 100$
 Ver: 5.0 μ m/cm
 Hor: 100.0 μ m/cm



Mitutoyo **Surftest SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 12:19:22

ČSN 12 050.1 (7břítý záhlubník; f=0,1[mm/ot]; měření č.10)

R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 1.77 μ m
 Rz 8.56 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 2K$
 $\times 100$
 Ver: 5.0 μ m/cm
 Hor: 100.0 μ m/cm



Obr. 95. Zobrazení drsnosti (12 050.1; f=0,1[mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301

Vyhodnocení:

Pro zahlubování otvorů v materiálu ČSN 12 050.1 je použit 3břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1625 o rozměrech 19mmx90° a 7břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1627 o rozměrech 20mmx90°. Nastavený posuv byl $f=0,1$ [mm/ot] a otáčky 500 [ot/min]. Při nastavení těchto řezných podmínek je průměrná drsnost R_a u zahloubené díry záhlubníkem ČSN 22 1625 $R_a=1,73$ [ηm] a rozsah hodnot 0,03[ηm]. Za použití záhlubníku ČSN 22 1627 průměrná drsnost povrchu vzroste na hodnotu $R_a=1,80$ [ηm] a rozsah hodnot 0,09[ηm]. Z (Obr. 93) je viditelné, že pro zahlubování otvoru do materiálu ČSN 12 050.1, je pro posuv $f=0,1$ [mm/ot] a otáček 500 [ot/min] vhodnější použít záhlubník ČSN 22 1625, který materiál neodebírá tak často, jelikož obsahuje menší počet břitů a nevytváří tedy na zahloubeném povrchu příliš velké drsnostní rozdíly způsobené odebráním materiálu, jelikož je schopný tento materiál ČSN 12 050.1 lépe na sebe navázat. To je patrné z (Obr. 94) kde jsou vyhodnoceny hodnoty drsnosti povrchu R_z . Při použití záhlubníku ČSN 22 1625 se hodnota drsnosti povrchu pohybuje průměrně $R_z=9,71$ [ηm] kde je rozsah naměřených hodnot pouze 0,06[ηm], tudíž není na takto obrobeném povrchu mnoho vytrhnutých míst. Za použití záhlubníku ČSN 22 1627 opět klesne hodnota drsnost povrchu $R_z=8,91$ [ηm] kde je rozsah naměřených dat 0,75[ηm], což je způsobeno právě tím, že záhlubník ČSN 22 1627 povrch zahloubené díry částečně vydroluje a proto zde vzniká poměrně velký rozsah. Pro názornost, jak vypadá drsnost zahloubených povrchů různými řeznými nástroji při jednotlivých měřeních, je doložen obrázek (Obr. 95).

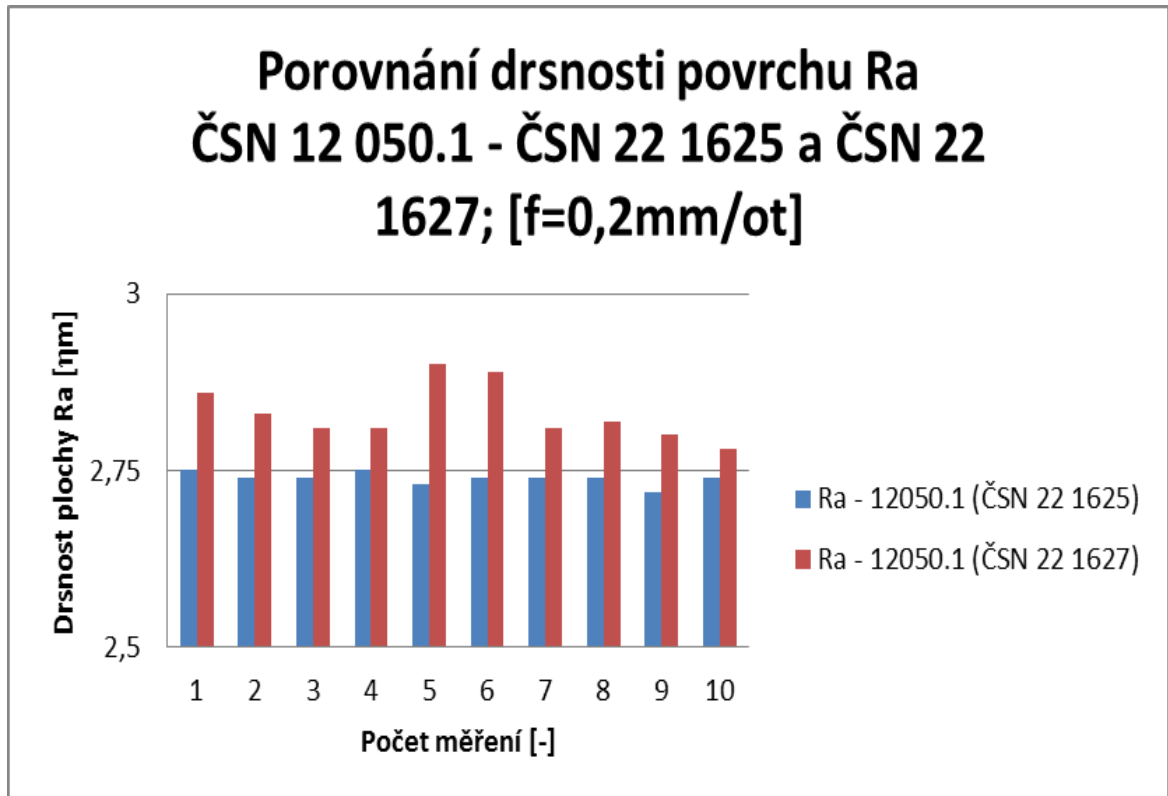
**6.1.5 Materiál ČSN 12 050.1 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; $f=0,2$ [mm/ot];
 $n=500$ [ot/min])**

Měření: drsnost povrchu Ra a Rz naměřená pro materiál ČSN 12 050.1 za použití 3břitého, ČSN 22 1625 a 7břitého, ČSN 22 1627 záhlubníku při posuvu $f=0,2$ [mm/ot] při otáčkách 500[ot/min]

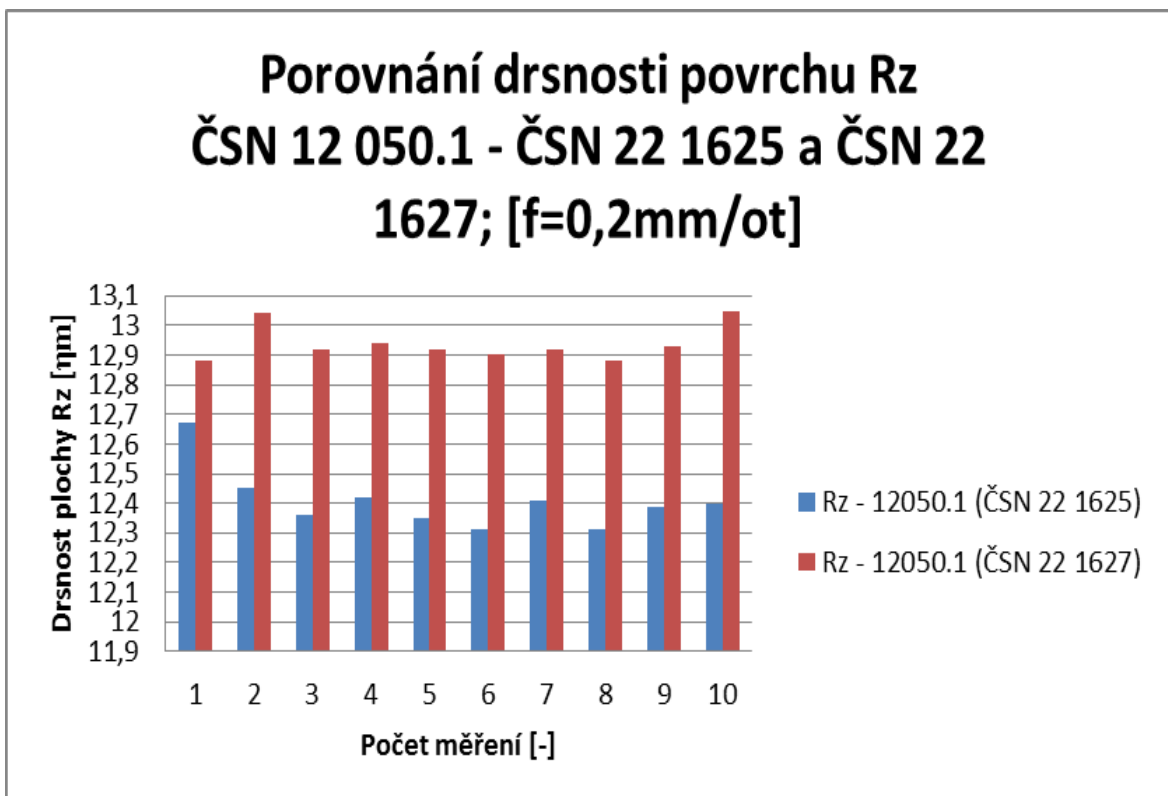
Tabulka 12. Naměřené hodnoty ČSN 12 050.1; $f=0,2$ [mm/ot]

ČSN 22 1625 $f=0,2$ mm/ot	Materiál	
č. měření	ČSN 12 050.1	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	2,75	12,67
2	2,74	12,45
3	2,74	12,36
4	2,75	12,42
5	2,73	12,35
6	2,74	12,31
7	2,74	12,41
8	2,74	12,31
9	2,72	12,39
10	2,74	12,4
Průměr	2,74	12,41
Směr. odch	0,01	0,10
Rozsah	0,03	0,36
Max	2,75	12,67
Min	2,72	12,31

ČSN 22 1627 $f=0,2$ mm/ot	Materiál	
č. měření	ČSN 12 050.1	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	2,86	12,88
2	2,83	13,04
3	2,81	12,92
4	2,81	12,94
5	2,9	12,92
6	2,89	12,9
7	2,81	12,92
8	2,82	12,88
9	2,8	12,93
10	2,78	13,05
Průměr	2,83	12,94
Směr. odch	0,04	0,06
Rozsah	0,12	0,17
Max	2,9	13,05
Min	2,78	12,88



Obr. 96. Porovnání drsnosti povrchu Ra 12 050.1 [f=0,2mm/ot]

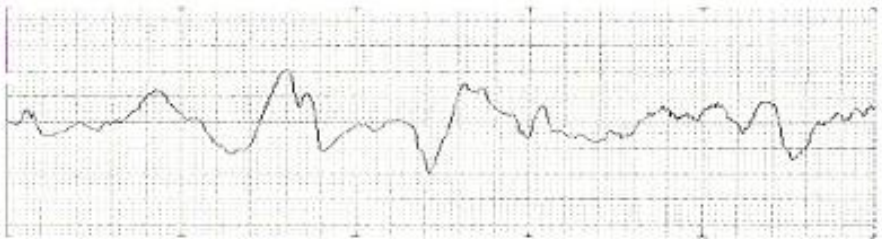


Obr. 97. Porovnání drsnosti povrchu Rz 12 050.1 [f=0,2mm/ot]

Mitutoyo **Surtronic SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 11:44:42

ČSN 12 050.1 (3břítý záhlubník; $f=0,2$ [mm/ot]; měření č.5)

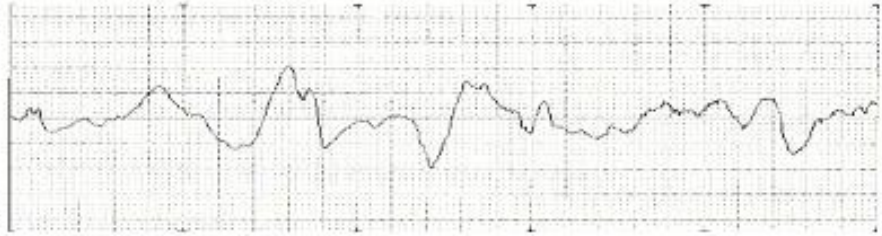
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 2.73 μ m
 Rz 12.35 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm}\times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 100.0 μ m/cm



Mitutoyo **Surtronic SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 11:46:49

ČSN 12 050.1 (3břítý záhlubník; $f=0,2$ [mm/ot]; měření č.10)

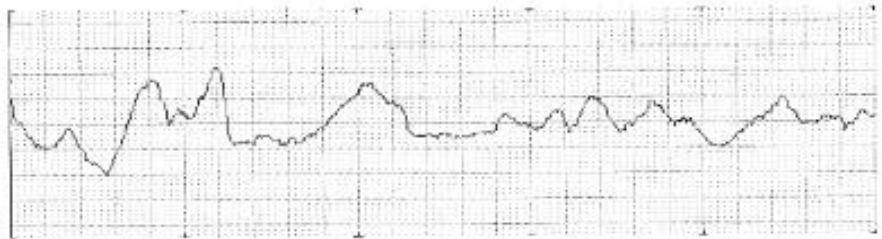
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 2.74 μ m
 Rz 12.40 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm}\times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 100.0 μ m/cm



Mitutoyo **Surtronic SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 12:21:40

ČSN 12 050.1 (7břítý záhlubník; $f=0,2$ [mm/ot]; měření č.10)

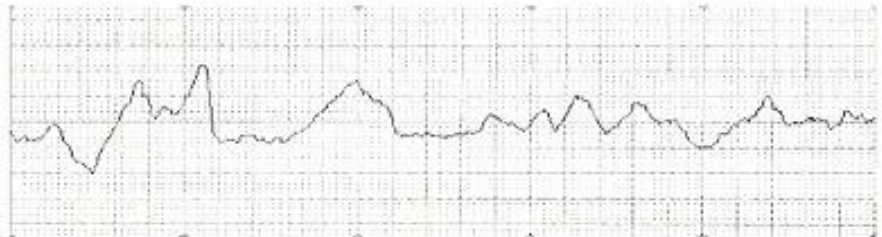
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 2.90 μ m
 Rz 12.92 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm}\times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 100.0 μ m/cm



Mitutoyo **Surtronic SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 12:24:48

ČSN 12050.1 (7břítý záhlubník; $f=0,2$ [mm/ot]; měření č.10)

R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 2.78 μ m
 Rz 13.05 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm}\times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver. 10.0 μ m/cm
 Hor. 100.0 μ m/cm



Obr. 98. Zobrazení drsnosti (12 050.1; $f=0,2$ [mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301

Vyhodnocení:

Pro zahlubování otvorů v materiálu ČSN 12 050.1 je použit 3břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1625 o rozměrech 19mmx90° a 7břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1627 o rozměrech 20mmx90°. Nastavený posuv byl $f=0,2$ [mm/ot] a otáčky 500 [ot/min]. Při nastavení těchto řezných podmínek je průměrná drsnost R_a u zahloubené díry záhlubníkem ČSN 22 1625 $R_a=2,74$ [ηm] a rozsah hodnot 0,03[ηm]. Za použití záhlubníku ČSN 22 1627 průměrná drsnost povrchu klesne na hodnotu $R_a=2,83$ [ηm] a rozsah hodnot 0,12[ηm]. Na (Obr. 96) je tedy viditelné, že pro zahlubování otvoru do materiálu ČSN 12 050.1, je pro posuv $f=0,2$ [mm/ot] a otáček 500 [ot/min] vhodnější použít záhlubník ČSN 22 1625, který materiál neodebírá tak často, jelikož obsahuje menší počet břitů a nevytváří tedy na zahloubeném povrchu příliš velké drsnostní rozdíly způsobené odebíráním materiálu, jelikož je schopný tento materiál ČSN 12 050.1 ideálně na sebe navázat. To je patrné z (Obr. 97) kde jsou vyhodnoceny hodnoty drsnosti povrchu R_z . Při použití záhlubníku ČSN 22 1625 se hodnota drsnosti povrchu pohybuje průměrně $R_z=12,41$ [ηm] kde je rozsah naměřených hodnot 0,36[ηm] a za použití záhlubníku ČSN 22 1627 lehce vzroste hodnota drsnosti povrchu na $R_z=12,94$ [ηm] kde je rozsah naměřených dat 0,17[ηm]. Zvýšení hodnoty drsnosti povrchu R_z u záhlubníku ČSN 22 1627 za posuvu $f=0,2$ [mm/ot] může být způsobeno rozložením částic v materiálu ČSN 12 050.1 kdy během obrábění se poměrně snadno vydrolily z materiálu, nic méně pro nás je důležitá hodnota R_a , která vůči záhlubníku ČSN 22 1625 za posuvu $f=0,2$ [mm/ot] vzrostla. Pro názornost, jak vypadá drsnost zahloubených povrchů různými řeznými nástroji při jednotlivých měřeních, je doložen obrázek (Obr. 98).

6.1.6 Vzájemné vyhodnocení

- zahloubených otvorů v materiálu ČSN 12 050.1, kuželovými záhlubníky ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627 při posuvu $f=0,1$ [mm/ot] a $f=0,2$ [mm/ot] při otáčkách 500 [ot/min]

Z naměřených a vyhodnocených dat lze vyčíst, že nejvýhodnější pro zhotovení požadovaného zahloubení v materiálu ČSN 12 050.1 bude použití 3břitého kuželového záhlubníku ČSN 22 1625. Posuv při zhotovení zahloubení bude $f=0,1$ [mm/ot], při kterém jsme schopni vytvořit zahloubení o drsnosti plochy $Ra=1,73$ [ηm] a $Rz=9,71$ [ηm]. Jelikož při použití záhlubníku ČSN 22 1627 za stejného posuvu vytvoříme zahloubení s drsností plochy $Ra=1,8$ [ηm] a $Rz=8,91$ [ηm]. Pokud bychom ovšem chtěli zvýšit produktivitu práce tím, že zvýšíme posuv na $f=0,2$ [mm/ot], musíme počítat se zvýšením drsnosti obrobených ploch vytvořených záhlubníky ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627, stejně jako v našem případě, kdy pro zahloubení vytvořené záhlubníkem ČSN 22 1625 je průměrná hodnota drsnosti povrchu $Ra=2,74$ [ηm] a $Rz=12,41$ [ηm] a za použití 7břitého záhlubníku je průměrná drsnost povrchu $Ra=2,83$ [ηm] a $Rz=12,94$ [ηm]. To je způsobeno tím, že pokud změníme pouze posuv a otáčky nám zůstanou stejné, stejně tak jak máme řezné podmínky zvoleny my, dojde k tomu, že materiál bude při větším posuvu nedokonale odebírán, bude spíše vytrháván, což má za následek vzniku nedokonale obrobené plochy, tudíž se zvětší drsnost obrobené plochy. Abychom eliminovali zvýšení drsnosti obrobených ploch při posuvu $f=0,2$ [mm/ot] je nutné zvýšit i otáčky.

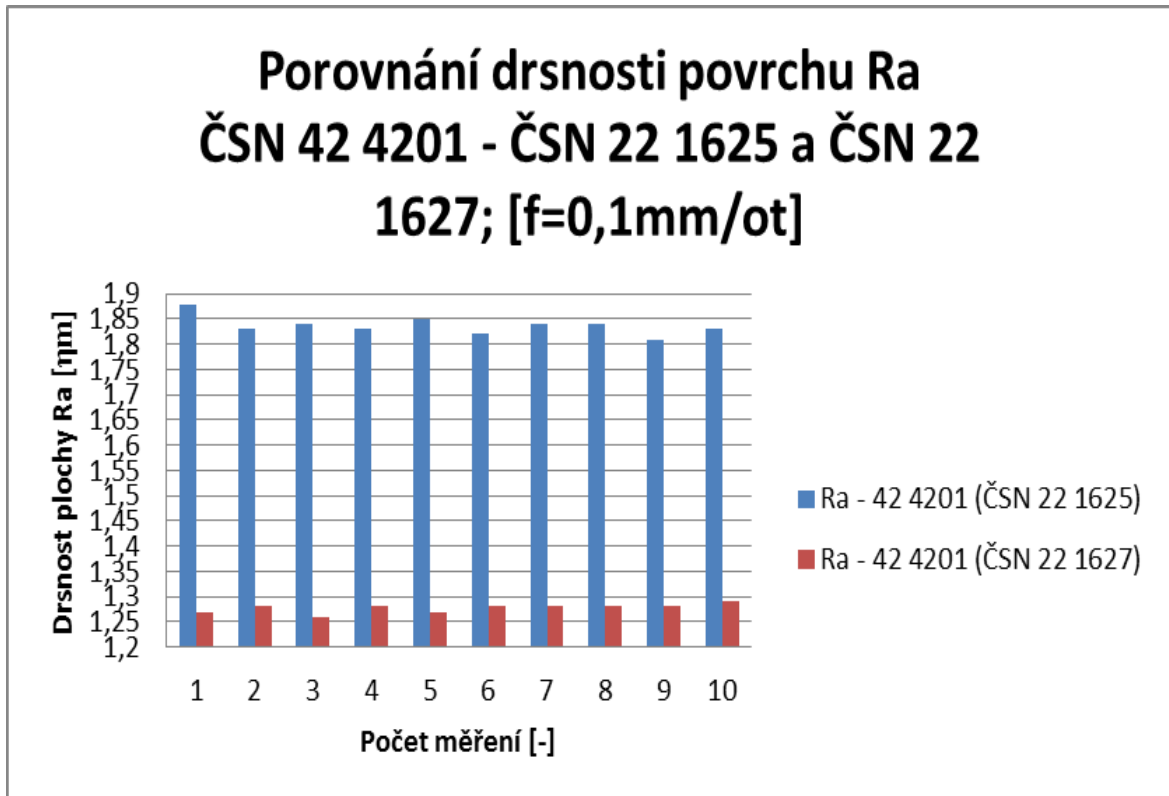
**6.1.7 Materiál ČSN 42 4201 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; $f=0,1$ [mm/ot];
 $n=500$ [ot/min])**

Měření: drsnost povrchu Ra a Rz naměřená pro materiál ČSN 42 4201 za použití 3břitého, ČSN 22 1625 a 7břitého, ČSN 22 1627 záhlubníku při posuvu $f=0,1$ [mm/ot] při otáčkách 500[ot/min]

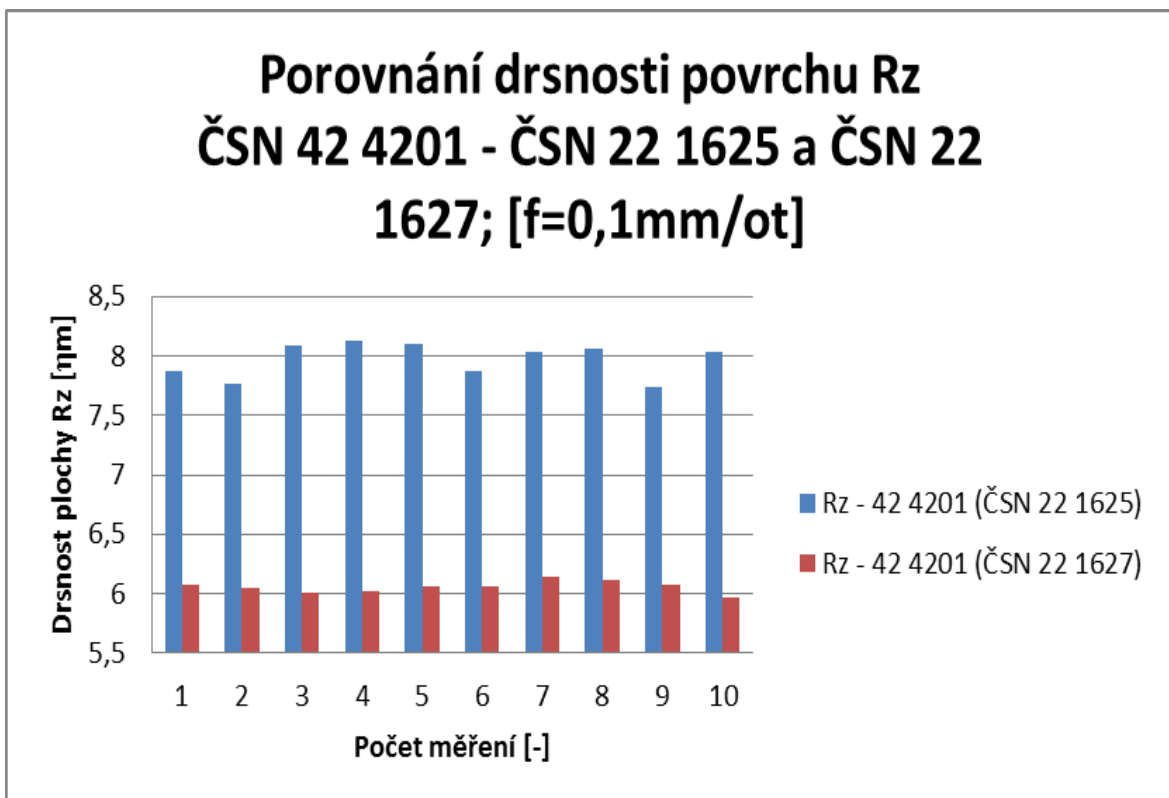
Tabulka 13. Naměřené hodnoty ČSN 42 4201; $f=0,1$ [mm/ot]

ČSN 22 1625 $f=0,1$ mm/ot	Materiál	
č. měření	ČSN 42 4201	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	1,88	7,87
2	1,83	7,77
3	1,84	8,09
4	1,83	8,13
5	1,85	8,1
6	1,82	7,87
7	1,84	8,03
8	1,84	8,06
9	1,81	7,74
10	1,83	8,04
Průměr	1,84	7,97
Směr. odch	0,02	0,14
Rozsah	0,07	0,39
Max	1,88	8,13
Min	1,81	7,74

ČSN 22 1627 $f=0,1$ mm/ot	Materiál	
č. měření	ČSN 42 4201	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	1,27	6,07
2	1,28	6,05
3	1,26	6,01
4	1,28	6,02
5	1,27	6,06
6	1,28	6,06
7	1,28	6,14
8	1,28	6,11
9	1,28	6,08
10	1,29	5,97
Průměr	1,28	6,06
Směr. odch	0,01	0,05
Rozsah	0,03	0,17
Max	1,29	6,14
Min	1,26	5,97



Obr. 99. Porovnání drsnosti povrchu Ra 42 4201 [f=0,1mm/ot]

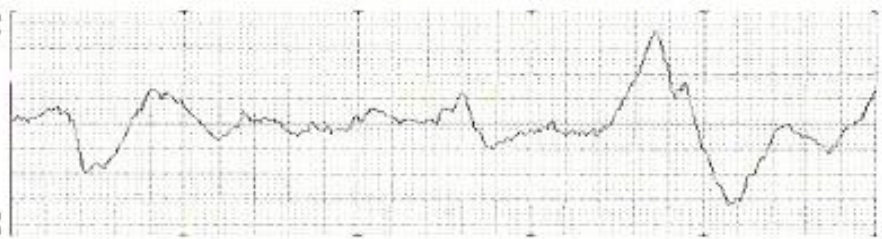


Obr. 100. Porovnání drsnosti povrchu Rz 42 4201 [f=0,1mm/ot]

Mitutoyo Surftrac SJ-301
 DATE 2011/03/22
 TIME 11:49:40

ČSN 42 4201 (3břítý záhlubník; f=0,1[mm/ot]; měření č.5)

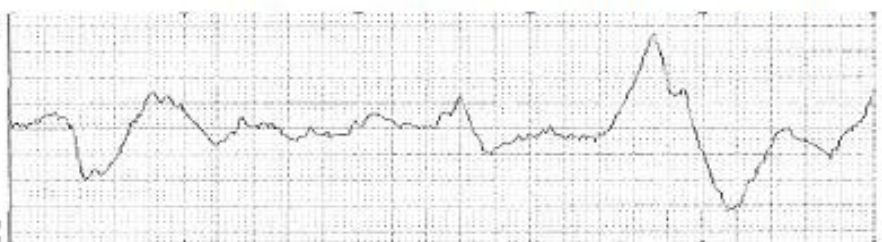
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 1.85 μ m
 Rz 8.10 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 × 2K
 × 100
 Ver: 5.0 μ m/cm
 Hor: 100.0 μ m/cm



Mitutoyo Surftrac SJ-301
 DATE 2011/03/22
 TIME 11:51:10

ČSN 42 4201 (3břítý záhlubník; f=0,1[mm/ot]; měření č.10)

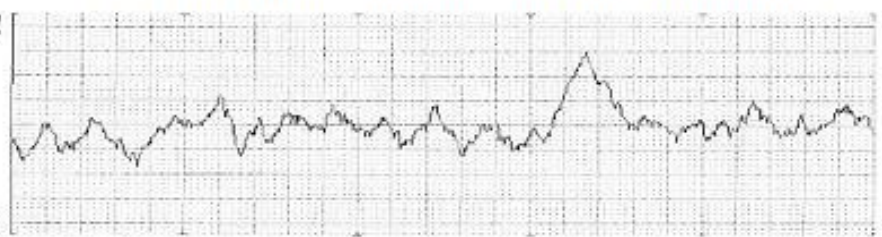
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 1.83 μ m
 Rz 8.04 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 × 2K
 × 100
 Ver: 5.0 μ m/cm
 Hor: 100.0 μ m/cm



Mitutoyo Surftrac SJ-301
 DATE 2011/03/22
 TIME 12:33:08

ČSN 42 4201 (7břítý záhlubník; f=0,1[mm/ot]; měření č.5)

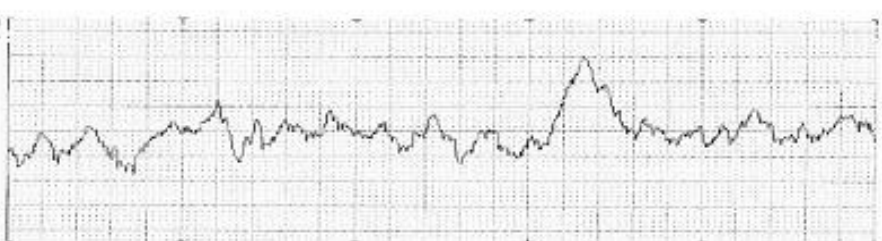
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 1.27 μ m
 Rz 6.06 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 × 2K
 × 100
 Ver: 5.0 μ m/cm
 Hor: 100.0 μ m/cm



Mitutoyo Surftrac SJ-301
 DATE 2011/03/22
 TIME 12:34:50

ČSN 42 4201 (7břítý záhlubník; f=0,1[mm/ot]; měření č.10)

R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 1.29 μ m
 Rz 5.97 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 × 2K
 × 100
 Ver: 5.0 μ m/cm
 Hor: 100.0 μ m/cm



Obr. 101. Zobrazení drsnosti (42 4201; f=0,1[mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301

Vyhodnocení:

Pro zahlubování otvorů v materiálu ČSN 42 4201 je použit 3břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1625 o rozměrech 19mmx90° a 7břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1627 o rozměrech 20mmx90°. Nastavený posuv byl $f=0,1$ [mm/ot] a otáčky 500 [ot/min]. Při nastavení těchto řezných podmínek je průměrná drsnost R_a u zahloubené díry záhlubníkem ČSN 22 1625 $R_a=1,84$ [ηm] a rozsah hodnot 0,07[ηm]. Za použití záhlubníku ČSN 22 1627 průměrná drsnost povrchu klesne na hodnotu $R_a=1,28$ [ηm] a rozsah hodnot 0,03[ηm]. Z (Obr. 99) je tedy zřejmé, že pro zahlubování otvoru materiálu ČSN 42 4201, je pro posuv $f=0,1$ [mm/ot] a otáček 500 [ot/min] vhodnější použít záhlubník ČSN 22 1627, který materiál odebírá častěji, jelikož obsahuje větší počet břitů a nevytváří tedy na zahloubeném povrchu příliš velké drsnostní rozdíly způsobené odebíráním materiálu. To je patrné z (Obr. 100) kde jsou vyhodnoceny hodnoty drsnosti povrchu R_z . Při použití záhlubníku ČSN 22 1625 se hodnota drsnosti povrchu pohybuje průměrně $R_z=7,97$ [ηm] kde je rozsah naměřených hodnot 0,39[ηm] a za použití záhlubníku ČSN 22 1627 opět klesne hodnota drsnost povrchu $R_z=6,06$ [ηm] kde je rozsah naměřených dat pouze 0,17[ηm]. Pro názornost, jak vypadá drsnost zahloubených povrchů různými řeznými nástroji při jednotlivých měřeních, je doložen obrázek (Obr. 101).

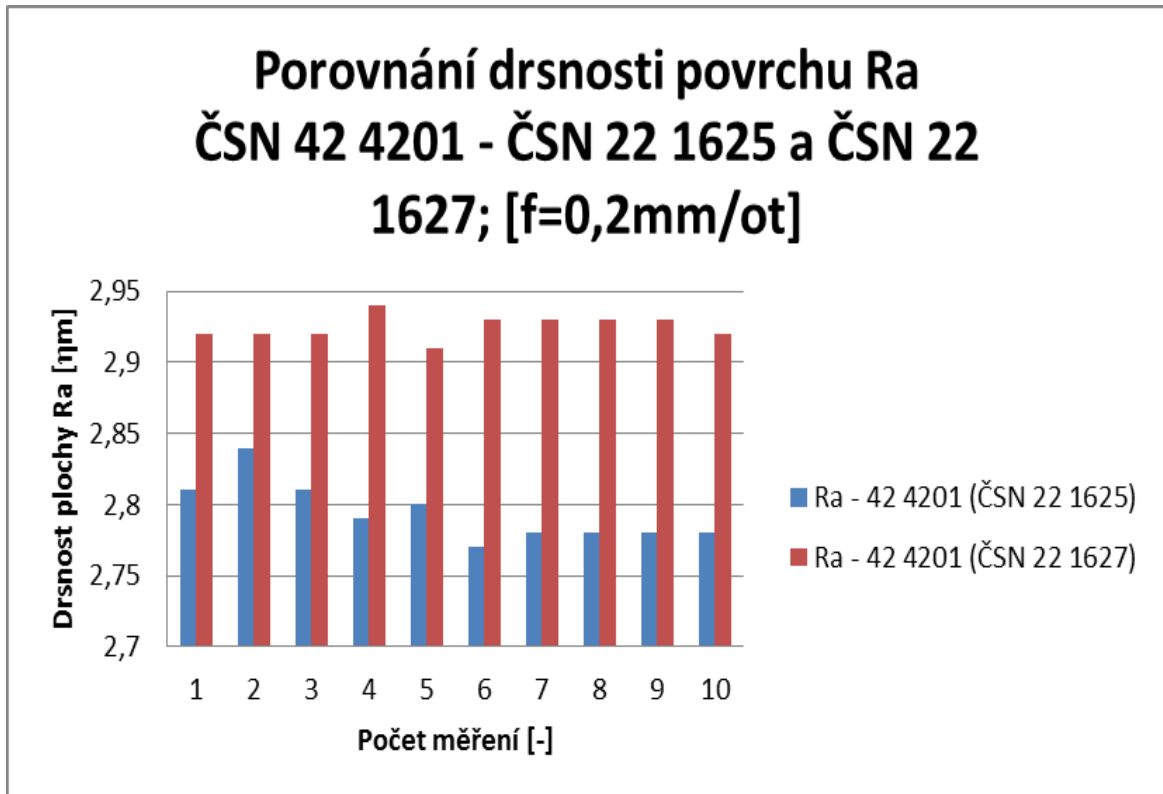
**6.1.8 Materiál ČSN 42 4201 (ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627; $f=0,2$ [mm/ot];
 $n=500$ [ot/min])**

Měření: drsnost povrchu Ra a Rz naměřená pro materiál ČSN 42 4201 za použití 3břitého, ČSN 22 1625 a 7břitého, ČSN 22 1627 záhlubníku při posuvu $f=0,2$ [mm/ot] při otáčkách 500[ot/min]

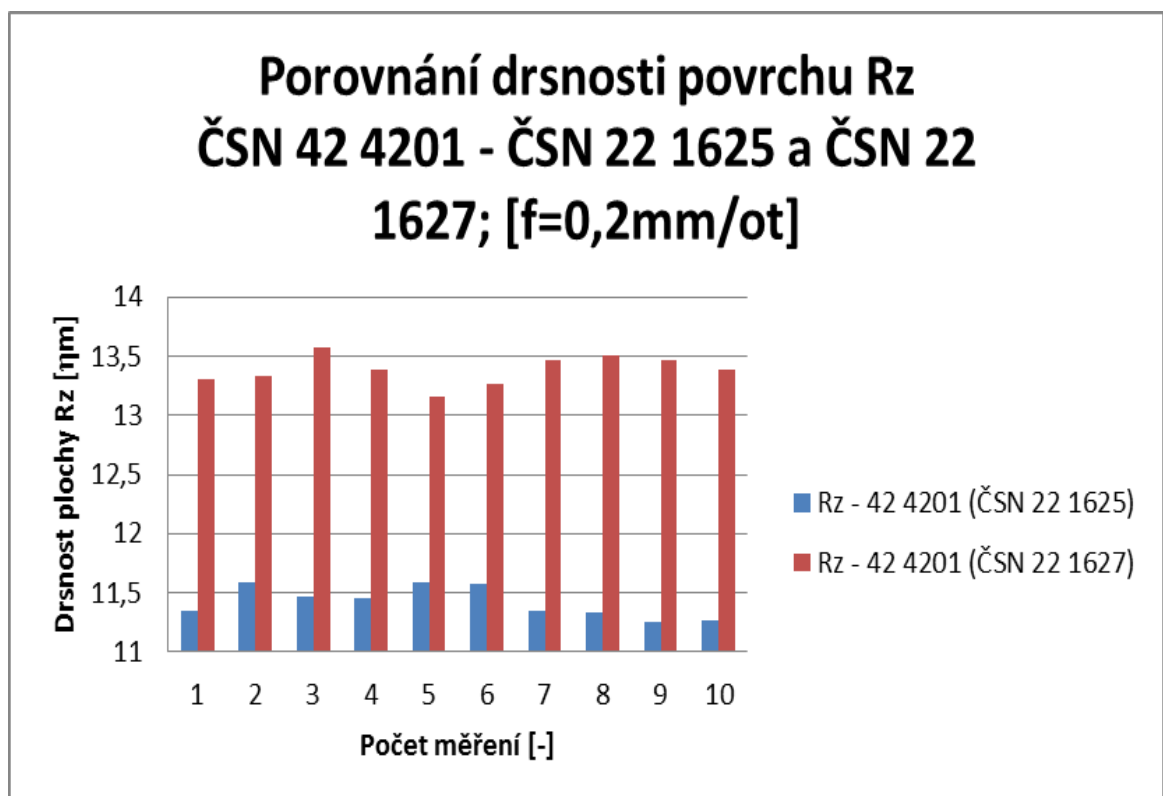
Tabulka 14. Naměřené hodnoty ČSN 42 4201; $f=0,2$ [mm/ot]

ČSN 22 1625 $f=0,2$ mm/ot	Materiál	
	ČSN 42 4201	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	2,81	11,34
2	2,84	11,59
3	2,81	11,47
4	2,79	11,46
5	2,8	11,59
6	2,77	11,57
7	2,78	11,35
8	2,78	11,33
9	2,78	11,25
10	2,78	11,26
Průměr	2,79	11,42
Směr. odch	0,02	0,13
Rozsah	0,07	0,34
Max	2,84	11,59
Min	2,77	11,25

ČSN 22 1627 $f=0,2$ mm/ot	Materiál	
	ČSN 42 4201	
	Ra [η m]	Rz [η m]
1	2,92	13,3
2	2,92	13,33
3	2,92	13,58
4	2,94	13,39
5	2,91	13,16
6	2,93	13,26
7	2,93	13,46
8	2,93	13,51
9	2,93	13,46
10	2,92	13,39
Průměr	2,93	13,38
Směr. odch	0,01	0,12
Rozsah	0,03	0,42
Max	2,94	13,58
Min	2,91	13,16



Obr. 102. Porovnání drsnosti povrchu Ra 42 4201 [f=0,2mm/ot]

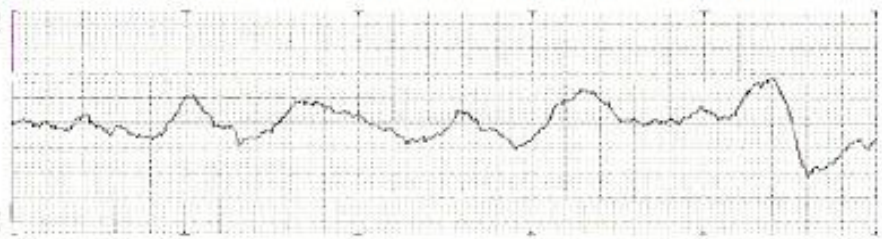


Obr. 103. Porovnání drsnosti povrchu Rz 42 4201 [f=0,2mm/ot]

Mitutoyo **SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 11:53:25

ČSN 42 4201 (3břítý záhlubník; f=0,2[mm/ot]; měření č.5)

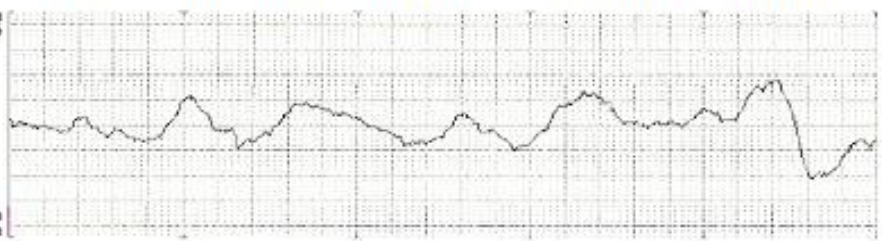
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 2.80 μ m
 Rz 11.59 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver.: 10.0 μ m/cm
 Hor.: 100.0 μ m/cm



Mitutoyo **SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 11:55:30

ČSN 42 4201 (3břítý záhlubník; f=0,2[mm/ot]; měření č.10)

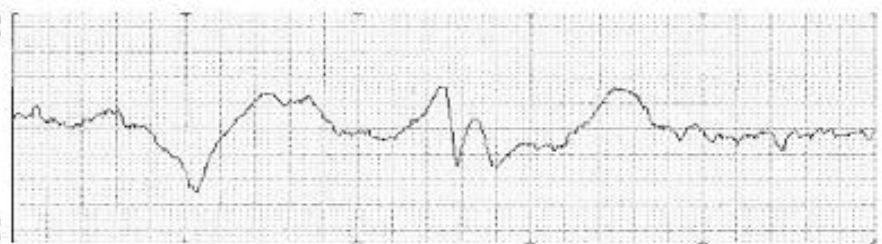
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 2.78 μ m
 Rz 11.26 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver.: 10.0 μ m/cm
 Hor.: 100.0 μ m/cm



Mitutoyo **SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 12:26:57

ČSN 42 4201 (7břítý záhlubník; f=0,2[mm/ot]; měření č.5)

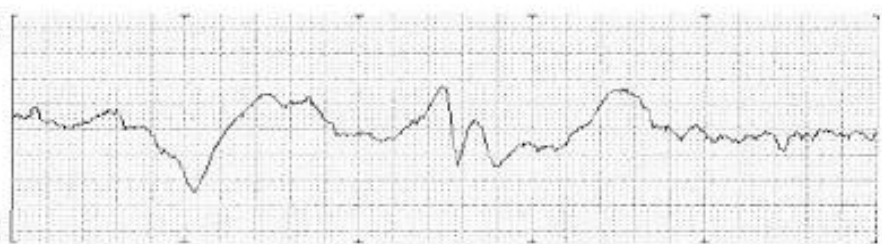
R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 2.91 μ m
 Rz 13.16 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver.: 10.0 μ m/cm
 Hor.: 100.0 μ m/cm



Mitutoyo **SJ-301**
 DATE 2011/03/22
 TIME 12:29:01

ČSN 42 4201 (7břítý záhlubník; f=0,2[mm/ot]; měření č.10)

R-PROFILE
 λ_c 0.25mm
 N 5
 Ra 2.92 μ m
 Rz 13.39 μ m
R-PROFILE
 $\lambda_c=0.25\text{mm} \times 5$
 $\times 1K$
 $\times 100$
 Ver.: 10.0 μ m/cm
 Hor.: 100.0 μ m/cm



Obr. 104. Zobrazení drsnosti (42 4201; f=0,1[mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301

Vyhodnocení:

Pro zahlubování otvorů v materiálu ČSN 42 4201 je použit 3břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1625 o rozměrech 19mmx90° a 7břítý záhlubník kuželový 90° s válcovou stopkou, ČSN 22 1627 o rozměrech 20mmx90°. Nastavený posuv byl $f=0,2$ [mm/ot] a otáčky 500 [ot/min]. Při nastavení těchto řezných podmínek je průměrná drsnost R_a u zahloubené díry záhlubníkem ČSN 22 1625 $R_a=2,79$ [ηm] a rozsah hodnot 0,07[ηm]. Za použití záhlubníku ČSN 22 1627 průměrná drsnost povrchu vzroste na hodnotu $R_a=2,93$ [ηm] a rozsah hodnot 0,07[ηm]. Z (Obr. 102) je tedy zřejmé, že pro zahlubování otvoru materiálu ČSN 42 4201, je pro posuv $f=0,2$ [mm/ot] a otáček 500 [ot/min] vhodnější použít záhlubník ČSN 22 1625, který materiál odebírá s menší pravidelností, jelikož obsahuje menší počet břitů a nevytváří tedy na zahloubeném povrchu příliš velké drsnostní rozdíly způsobené odebíráním materiálu. To je patrné z (Obr. 103) kde jsou vyhodnoceny hodnoty drsnosti povrchu R_z . Při použití 3břitého záhlubníku se hodnota drsnosti povrchu pohybuje průměrně $R_z=11,42$ [ηm] kde je rozsah naměřených hodnot 0,34[ηm] a za použití záhlubníku ČSN 22 1627 vzroste hodnota drsnosti povrchu $R_z=13,38$ [ηm] kde je rozsah naměřených dat 0,42[ηm]. Při tomto posuvu $f=0,2$ [mm/ot] je patrné, že při rychlejším posuvu záhlubník ČSN 22 1625 je schopný na sebe navázat větší množství odebíraného materiálu, aniž by došlo k jeho vytrhnutí. Přesně tak je tomu u záhlubníku ČSN 22 1627. Vlivem zvýšeného posuvu a vlivem většího počtu zubů dojde k tomu, že nástroj více materiál vytrhává místo toho, aby jej na sebe navazoval, tudíž se zde zvětšila drsnost povrchu. Pro názornost, jak vypadá drsnost zahloubených povrchů různými řeznými nástroji při jednotlivých měřeních, je doložen obrázek (Obr. 104).

6.1.9 Vzájemné vyhodnocení

- zahloubených děr v materiálu ČSN 42 4201, kuželovými záhlubníky ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627 při posuvu $f=0,1$ [mm/ot] a $f=0,2$ [mm/ot] a otáčkách 500 [ot/min]

Z naměřených a vyhodnocených dat lze vyčíst, že nejvýhodnější pro zhotovení požadovaného zahloubení v materiálu ČSN 42 4201 bude použití 7břitého kuželového záhlubníku ČSN 22 1627. Posuv při zhotovení zahloubení bude $f=0,1$ [mm/ot] při kterém jsme schopni vytvořit zahloubení o drsnosti plochy $Ra=1,28$ [η m] a $Rz=6,06$ [η m]. Jelikož při použití záhlubníku ČSN 22 1625 za stejného posuvu vytvoříme zahloubení s drsností plochy $Ra =1,84$ [η m] a $Rz=7,97$ [η m]. Pokud bychom ovšem chtěli zvýšit produktivitu práce tím, že zvýšíme posuv na $f=0,2$ [mm/ot], musíme počítat se zvýšením drsnosti obrobených ploch vytvořených záhlubníky ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627, stejně jako v našem případě, kdy pro zahloubení vytvořené záhlubníkem ČSN 22 1627 je průměrná hodnota drsnosti povrchu $Ra=2,93$ [η m] a $Rz=13,38$ [η m] a za použití záhlubníku ČSN 22 1625 klesne průměrná drsnost povrchu na $Ra=2,79$ [η m] a $Rz=11,42$ [η m]. To je způsobeno tím, že pokud změníme pouze posuv a otáčky nám zůstanou stejné, stejně tak jak máme řezné podmínky zvoleny, dojde k tomu, že materiál bude při větším posuvu nedokonale odebrán, bude spíše vytrháván, což má za následek vzniku nedokonale obrobené plochy, tudíž se zvětší drsnost obrobené plochy. Abychom eliminovali zvýšení drsnosti obrobených ploch při posuvu $f=0,2$ [mm/ot] je nutné zvýšit i otáčky.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo porovnat dva druhy kuželových záhlubníků ČSN 22 1625 a ČSN 22 1627 pro zahlubování otvorů a zjištění, který z těchto záhlubníků je vhodnější použít pro materiály o různé tvrdosti, pro dosažení co nejlepší drsnosti povrchu.

Pro zahlubování otvoru do materiálu 14 220.4 při konstantních otáčkách $n=500[\text{ot}/\text{min}]$, které jsou shodné pro všechny typy materiálů, je vhodné použít záhlubník ČSN 22 1627 a posuvu $f=0,1[\text{mm}/\text{ot}]$, se kterým je možno zhotovit zahloubení o drsnosti povrchu $R_a=1,62[\eta\text{m}]$ a $R_z=7,41[\eta\text{m}]$. Při zahlubování otvoru do materiálu 12 050.1 při $n=500[\text{ot}/\text{min}]$ je perspektivnější využít záhlubník ČSN 22 1625 při posuvu $f=0,1[\text{mm}/\text{ot}]$. Tento typ záhlubníku umožňuje vzniku průměrné drsnosti povrchu zahloubení $R_a=1,73[\eta\text{m}]$ a $R_z=9,71[\eta\text{m}]$. Pro vznik zahloubeného otvoru do materiálu 42 4201 opět při otáčkách $n=500[\text{ot}/\text{min}]$ je lepší použít záhlubník ČSN 22 1627 při posuvu $f=0,1[\text{mm}/\text{ot}]$. Pomocí tohoto typu záhlubníku jsme schopni vytvořit zahloubení otvoru, kde je průměrná drsnost povrchu $R_a=1,28[\eta\text{m}]$ a $R_z=6,06[\eta\text{m}]$.

Během zahlubování otvorů se zvýšením posuvu $f=0,1[\text{mm}/\text{ot}]$ na $f=0,2[\text{mm}/\text{ot}]$ dojde ke značnému zvýšení průměrných drsností povrchů u všech typů testovaných materiálů, a to jak záhlubníkem ČSN 22 1625 tak i ČSN 22 1627. Je to způsobeno tím, že posuv se sice zvýšil, ale otáčky zůstali stále konstantní $n=500[\text{ot}/\text{min}]$. Zahloubené díry tedy nebyly správně obráběny, ale částice materiálu byly z materiálu spíše vytrhávány, tudíž vznikly větší výškové rozdíly na obrobených površích a tím se tedy zvýšila i jejich drsnost. Pokud bychom chtěli zvýšit produktivitu práce tím, že zvýšíme posuv, musíme zajistit zvýšení počtu otáček obráběcího nástroje, aby došlo ke správnému obrobení daných materiálů.

Při zahlubování bylo nutné zajistit přesné a pevné upnutí záhlubníku do vřetene vrtacího stroje, aby nedocházelo k prokluzování záhlubníku ve vřetenu či eventuálně nedocházelo k tzv. excentrickému házení záhlubníku. Bylo nezbytné častěji oddalovat záhlubník od obrobku, aby došlo k samovolnému odstranění třísek, popřípadě bylo potřebné zastavit stroj a třísky odstranit ze záhlubníku ručně, jelikož třísky a chvění záhlubníku by snížily kvalitu obrobeného povrchu. Během zahlubování by měl být nastaven malý posuv, což bylo splněno, a pokud bychom chtěli ještě více zlepšit kvalitu obrobeného povrchu zahloubené díry, je vhodné použít chladicí nebo mazací kapaliny.

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] JURKO, J.; LUKOVICS, I.: *Vrtanie : technologická metóda výroby dier*. Zlín : Univerzita Tomáše Bati, 2007. 191 s. ISBN 978-80-7318-488-9.
- [3] KARAFIÁTOVÁ, S.; LANGER, I.: *Technologie soustružení*. Praha. FRAGMENT, 1998. 124 s. ISBN 80-7200-239-2.
- [4] KOČMAN, K.: *Technologické procesy obrábění*. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2011. 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [5] KOČMAN, K.; PROKOP., J.: *Technologie obrábění*. Brno. Akademické nakladatelství CERM. 2005. 270s. ISBN 80-214-3068-0.
- [6] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 1.vydání. Nakladatelství ALBRA, 2003. 866 s. ISBN 80-86490-74-2
- [7] ŘASA, J.; GABRIEL, V.: *Strojírenská technologie 3, 1. Díl : Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 2. vydání. Praha : Scientia, 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1.
- [8] 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
- [9] www.elitalyceca.wz.cz/files/tep/tep22.pdf
- [10] <http://de.wikipedia.org>
- [11] www.mav.cz
- [12] <http://www.mmspektrum.com>
- [13] <http://www.oren.cz>
- [14] <http://www.stimzetvsetin.cz>
- [15] PATA, V.: *Učební texty: Metrologie struktury povrchů. VUT Brno*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

π	Ludolfovo číslo [-]
D	Průměr obrobku nebo nástroje [mm]
n	Otáčky vřetene [min^{-1}]
α	Úhel hřbetu [$^{\circ}$]
β	Úhel břitu [$^{\circ}$]
γ	Úhel čela [$^{\circ}$]
δ	Úhel řezu [$^{\circ}$]
κ	Úhel nastavení hlavního ostří [$^{\circ}$]
κ'	Úhel nastavení vedlejšího ostří [$^{\circ}$]
ε	Úhel špičky [$^{\circ}$]
λ	Úhel sklonu hlavního ostří [$^{\circ}$]
s	Délka dráhy na jednu otáčku vřetene [mm]
s_z	Délka dráhy na jeden zub nástroje [mm]
v_f	Posuvová rychlost [mm/min]
v	Řezná rychlost [m/min]
β_2	Mezní úhel plastické deformace [$^{\circ}$]
h	Hloubka řezu [mm]
F	Síla [N]
R	Normálové napětí [MPa]
R _m	Pevnost v tahu [MPa]
R _{ms}	Pevnost ve stříhu
R _s	Tečné napětí (ve stříhu) [MPa]
R _{es}	Mez kluzu ve stříhu [MPa]
K _{VO}	Objemový součinitel [-]

F_γ	Tangenciální síla [N]
β_{OR}	Ortogonální úhel břitu vytvořený nárůstkem [°]
K_V	Součinitel obrobitelnosti [-]
$V_{cT/VB}$	Řezná rychlost v_c při trvanlivosti T pro opotřebení břitu VB [m/min]
T	Trvanlivost břitu [min]
l_r	Základní délka [mm]
l_n	Vyhodnocovaná délka [mm]
l_t	Celková délka snímání [mm]
R_a	Střední aritmetická úchylka profilu [ηm]
R_z	Výška nerovností profile z deseti bodů [ηm]
R_y	Největší výška nerovností profile [ηm]
S_m	Střední rozteč nerovností profile [ηm]
S	Střední rozteč místních výstupků profile [ηm]
t_p	Nosný podíl profilu [ηm]
L	Celková délka automatického chodu [mm]
l_n	Délka náběhu [mm]
l_p	Délka přeběhu [mm]
l	Obráběná délka [mm]
s	Posuv [mm/ot]
IT	Přesnost rozměrů [-]
F_c	Řezná síla [N]
F_f	Posuvová síla [N]
F_p	Pasivní síla [N]
M_k	Kroutící moment [Nm, Nmm]
P_c	Řezný výkon při vrtání [kW]

P_e	Příkon elektromotoru [kW]
η	Účinnost [%]
AD_1	Jmenovitý průřez třísky při vrtání do plného materiálu [mm ²]
AD_2	Jmenovitý průřez třísky při vrtání do předvrtaného materiálu [mm ²]
b	Jmenovitá tloušťka třísky [mm]
h	Jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného material [mm]
D, d	Jmenovitá šířka třísky při rozšiřování díry [mm]
ω	Sklon šroubovice (+,-) [°]
HB	Tvrдость podle Brinella [-]
n	Počet zubů [-]
λ_C	Měřicí dráha [mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Soustava stroj - nástroj - obrobek [11]	13
Obr. 2. Obrobek [5].....	14
Obr. 3. Soustružnický nůž [10]	15
Obr. 4. Válcový záhlubník s kuželovou stopkou a válcovou vodící částí [5].....	15
Obr. 5. Roviny nástroje [5]	17
Obr. 6. Pracovní úhly řezného nástroje [1]	18
Obr. 7. Druhy řezných pohybů [1]	20
Obr. 8. Realizace řezného procesu [5]	21
Obr. 9. Deformace a napětí v oblasti tvoření třísky [1]	22
Obr. 10. Závislost napětí ve stříhu na pevnosti v tahu [1]	22
Obr. 11. Druhy třísek [1].....	24
Obr. 12. Příložný utvařeč třísek [1]	25
Obr. 13. Znázornění zóny kluzu při pohybu třísky po čele nástroje [4]	25
Obr. 14. Tvorba a rozpad nárůstku [4].....	26
Obr. 15. Ortogonální řezání nástrojem s reálným ostřím [3]	27
Obr. 16. Válcový vrták vyroben z nástrojové oceli nelegované [13].....	33
Obr. 17. Válcový vrták vyroben z nástrojové oceli legované [13]	33
Obr. 18. Tepelné zpracování rychlořezné oceli [3].....	34
Obr. 19. Válcový vrták vyroben z rychlořezné oceli [14].....	35
Obr. 20. Břitové destičky ze slinutých karbidů [12]	37
Obr. 21. Břitové destičky ze slinutých karbidů nepovlakované [12]	38
Obr. 22. Břitové destičky ze SK povlakované kubickým nitridem bóru [12].....	39
Obr. 23. Břitové destičky z řezné keramiky [12]	40
Obr. 24. Závislost tvrdosti řezných materiálů na teplotě [5]	41
Obr. 25. Fréza s pájenými destičkami z PKD [12]	42
Obr. 26. Břitové destičky povlakované CBN [12].....	43
Obr. 27. Schéma měřicí dráhy nástroje [15]	44
Obr. 28. Grafické vyjádření Ra [8]	45
Obr. 29. Grafické vyjádření Rz [8]	45
Obr. 30. Grafické vyjádření Ry [8]	46
Obr. 31. Grafické vyjádření Sm [8]	46

Obr. 32. Grafické vyjádření S [8]	47
Obr. 33. Grafické vyjádření tp [8].....	47
Obr. 34. Průřez třísky při vrtání do plného materiálu [9]	48
Obr. 35. Dráha nástroje při vrtání [4]	49
Obr. 36. Silové poměry na vrtáku [5]	51
Obr. 37. Jmenovitý rozměr třísky při vrtání šroubovitým vrtákem do plného mat. [5].....	52
Obr. 38. Jmenovitý rozměr třísky při vrtání šroubovitým vrtákem do předvrt. díry [5].....	52
Obr. 39. Ostří plochy na řezné části šroubovitého vrtáku [5]	53
Obr. 40. Vrták s vyměnitelnými destičkami ze SK [9].....	54
Obr. 41. Hlavňový vrták [5].....	54
Obr. 42. Hlavňový vrták jednobřítý [5]	55
Obr. 43. Kopinatý vrták – a) celkový pohled, b) geometrie břitu [5]	55
Obr. 44. Korunová trepanační hlava [5]	55
Obr. 45. Nástroje BTA [5].....	56
Obr. 46. Výhrubníky - a) se stopkou b) nástrčný [5]	57
Obr. 47. Tvar zubu a geometrie břitu výhrubníku z RO [5]	57
Obr. 48. Strojní výstružník se stopkou [5].....	58
Obr. 49. Ruční výstružník [5]	58
Obr. 50. Geometrie břitu strojního výstružníku [5]	59
Obr. 51. Válcový záhlubník s válcovou stopkou a válcovou vodící částí [5].....	59
Obr. 52. Kuželový záhlubník [5]	60
Obr. 53. Válcový nástrčný záhlubník [5].....	60
Obr. 54. Dvoubřítý záhlubník [5]	60
Obr. 55. Kombinovaný nástroj pro vrtání a zahlubování [9].....	60
Obr. 56. Středící vrták [9].....	61
Obr. 57. Dělový vrták s připájenou destičkou a vodícími lištami z SK [7].....	61
Obr. 58. Frézovací vrták [5].....	61
Obr. 59. Vyvrtávací tyče [5]	62
Obr. 60. Geometrie vyvrtávacího nože [5]	62
Obr. 61. Vrtačka stolní [5]	64
Obr. 62. Vrtačky - a) sloupová, b) stojanová [5]	64
Obr. 63. Vrtačka sloupová (otočná) [5]	65
Obr. 64. Výkresová dokumentace - polotovár	68

Obr. 65. Výkresová dokumentace – konečný rozměr	69
Obr. 66. Stojanová vrtačka OPTIMUM.....	69
Obr. 67. Výkresová dokumentace válcového vrtáku ČSN 22 1121 [11].....	70
Obr. 68. Počet otáček při vrtání	70
Obr. 69. Výkresová dokumentace – kostka s vyvrtanou průchozí dírou	70
Obr. 70. Stojanová vrtačka OPTIMUM.....	71
Obr. 71. Počet otáček při zahlubování	72
Obr. 72. Výkresová dokumentace záhlubníku ČSN 22 1625 [11]	72
Obr. 73. Použitý záhlubník ČSN 22 1625	72
Obr. 74. Výkresová dokumentace záhlubníku ČSN 22 1627 [11]	72
Obr. 75. Použitý záhlubník ČSN 22 1627	73
Obr. 76. Výkresová dokumentace – zahloubená díra 3x45°	73
Obr. 77. Zahlubování záhlubníkem ČSN 22 1625 do materiálu 12 050.1.....	74
Obr. 78. Zahlubování záhlubníkem ČSN 22 1625 do materiálu 14 220.4.....	74
Obr. 79. Zahlubování záhlubníkem ČSN 22 1625 do materiálu 42 4201.....	74
Obr. 80. Zahlubování záhlubníkem ČSN 22 1627 do materiálu 12 050.1.....	75
Obr. 81. Zahlubování záhlubníkem ČSN 22 1627 do materiálu 14 220.4.....	75
Obr. 82. Zahlubování záhlubníkem ČSN 22 1627 do materiálu 42 4201.....	75
Obr. 83. Přístroj pro měření drsnosti povrchu Mitutoyo SJ-301	76
Obr. 84. Měřicí sestava	76
Obr. 85. Měřicí hrot R2	77
Obr. 86. Schéma měření drsnosti.....	77
Obr. 87. Porovnání drsnosti povrchu Ra 14 220.4 [f=0,1mm/ot].....	80
Obr. 88. Porovnání drsnosti povrchu Rz 14 220.4 [f=0,1mm/ot].....	80
Obr. 89. Zobrazení drsnosti (14 220.4; f=0,1[mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301.....	81
Obr. 90. Porovnání drsnosti povrchu Ra 14 220.4 [f=0,2mm/ot].....	84
Obr. 91. Porovnání drsností plochy Rz 14 220.4 [f=0,2mm/ot]	84
Obr. 92. Zobrazení drsnosti (14 220.4; f=0,2[mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301.....	85
Obr. 93. Porovnání drsnosti povrchu Ra 12 050.1 [f=0,1mm/ot].....	89
Obr. 94. Porovnání drsnosti povrchu Rz 12 050.1 [f=0,1mm/ot].....	89
Obr. 95. Zobrazení drsnosti (12 050.1; f=0,1[mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301.....	90
Obr. 96. Porovnání drsnosti povrchu Ra 12 050.1 [f=0,2mm/ot].....	93
Obr. 97. Porovnání drsnosti povrchu Rz 12 050.1 [f=0,2mm/ot].....	93

Obr. 98. Zobrazení drsnosti (12 050.1; $f=0,2$ [mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301.....	94
Obr. 99. Porovnání drsnosti povrchu Ra 42 4201 [$f=0,1$ mm/ot].....	98
Obr. 100. Porovnání drsnosti povrchu Rz 42 4201 [$f=0,1$ mm/ot].....	98
Obr. 101. Zobrazení drsnosti (42 4201; $f=0,1$ [mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301.....	99
Obr. 102. Porovnání drsnosti povrchu Ra 42 4201 [$f=0,2$ mm/ot].....	102
Obr. 103. Porovnání drsnosti povrchu Rz 42 4201 [$f=0,2$ mm/ot].....	102
Obr. 104. Zobrazení drsnosti (42 4201; $f=0,1$ [mm/ot]) - Mitutoyo SJ-301.....	103

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Názvosloví pracovních úhlů břitu obráběcího nástroje [5].....	18
Tab. 2. Součinitel obrobitelnost k_v [4]	29
Tab. 3. Přehled nástrojových materiálů [3].....	30
Tab. 4. Rozdělení nástrojových ocelí dle ČSN 42 0002 [3]	32
Tab. 5. Výkonnostní skupiny [3]	34
Tab. 6. Doporučené řezné podmínky pro destičky z polykrystalického diamantu [3].....	42
Tab. 7. Řezné podmínky při vrtání [9].....	50
Tab. 8. Dosahovaná přesnost a drsnost vrtaných povrchů [9]	50
Tabulka 9. Naměřené hodnoty ČSN 14 220.4; $f=0,1$ [mm/ot]	79
Tabulka 10. Naměřené hodnoty ČSN 14 220.4; $f=0,2$ [mm/ot]	83
Tabulka 11. Naměřené hodnoty ČSN 12 050.1; $f=0,1$ [mm/ot]	88
Tabulka 12. Naměřené hodnoty ČSN 12 050.1; $f=0,2$ [mm/ot]	92
Tabulka 13. Naměřené hodnoty ČSN 42 4201; $f=0,1$ [mm/ot]	97
Tabulka 14. Naměřené hodnoty ČSN 42 4201; $f=0,2$ [mm/ot]	101