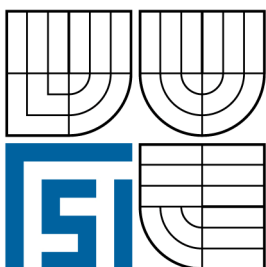


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NOVÉ METODY DOKONČOVÁNÍ VNITŘNÍCH ROTAČNÍCH PLOCH

NEW METHODS FOR INNER ROTARY SURFACES FINISHING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

KAZDERA TOMÁŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

ING. OSKAR ZEMČÍK, CSC.

SUPERVISOR

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Kazdera

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Nové metody dokončování vnitřních rotačních ploch**

v anglickém jazyce:

### **New methods for inner rotary surfaces finishing**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rešerše literatury k danému tématu.
2. Technologie a metody dokončování vnitřních rotačních ploch.
3. Porovnání jednotlivých metod.
4. Závěr s doporučením pro strojírenskou praxi.

Cíle bakalářské práce:

Studie zaměřená na technologie a metody dokončování vnitřních rotačních ploch s doporučením využití pro strojírenskou praxi.

Seznam odborné literatury:

1. ZEMČÍK,O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno:Akademické nakladatelství CERM,2002.158 s. ISBN 80-214-2219-X.
2. ZEMČÍK,O. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM,2003.193 s. ISBN 80-214-2336-6
3. KÖNIG,W. Fertigungsverfahren band 1,2,3,4,5,6. 4.Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH,1999. 416 s. ISBN 3-18-401054-6
4. Firemní podklady dle dalšího zpřesnění a určení (Sandvik Coromant, Gühring, Fette, Pramet, Mitsubishi, Iscar, Seco, apod.
5. REICHARD,A. Fertigungstechnik 1,2. 10.Aufl. Hamburg: Handwerk und technik,1993.420 s. ISBN 3-582-02311-7

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 25.10.2010

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Obsah textu se zabývá metodami dokončování vnitřních rotačních ploch. V práci jsou po teoretické stránce rozebrány nejpoužívanější způsoby obrábění, které se běžně používá ve strojírenské praxi. U jednotlivých metod, jsou uvedeny nástroje, dosahované drsnosti povrchu a geometrické tolerance. K nástrojům jsou přiřazeny stroje, na kterých se dokončovací operace realizují.

**Klíčová slova**

Dokončování, broušení, honování, leštění, lapování, válečkování, vystružování, vyvrtávání.

**ABSTRACT**

Content of the text deals with the methods of finalizing the internal surfaces of revolution. The paper discussed the theory most widely used machining methods that are commonly used in engineering practice. For each methods, are given the tools achieved surface roughness and geometric tolerances. The instruments are assigned to the machine on which the finishing operations are undertaken.

**Key words**

Finishing, grinding, honing, polishing, lapping, roller burnished, reaming, boring

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KAZDERA, T. *Nové metody dokončování vnitřních rotačních ploch..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Nové metody dokončování vnitřních rotačních ploch, vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 27.5.2011

.....  
Jméno a příjmení bakaláře

**Poděkování**

Děkuji tímto vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Oskaru Zemčíkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

Abstrakt .....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah .....	7
Úvod .....	8
DOKONČOVACÍ METODY .....	9
1 Broušení .....	9
1.1 Axiální broušení.....	10
1.2 Planetové broušení.....	11
1.3 Bezhraté broušení.....	12
1.4 Brousící nástroje .....	13
1.5 Brousící stroje – brusky .....	14
1.5.1 Sklíčidlové brusky.....	14
1.5.2 Bezhraté brusky.....	15
2 Jemné soustružení .....	16
2.1 Nástroje .....	16
2.2 Stroje.....	18
2.3 Výpočet řezných sil a strojních časů.....	19
3 Honování.....	20
3.1 Princip honování .....	20
3.2 Nástroje .....	21
3.3 Stroje.....	22
4 Vystružování.....	24
4.1 Výstružníky.....	26
5 Lapování .....	28
5.1 Lapovací nástroje.....	29
5.2 Mechanické lapování.....	29
5.3 Chemicko – mechanické lapování .....	29
5.4 Elektro-chemicko-mechanické lapování.....	30
6 Válečkování .....	31
6.1 Statické válečkování.....	31
6.2 Dynamické válečkování .....	32
7 Leštění.....	34
7.1 Mechanické leštění .....	34
7.2 Chemické leštění.....	36
7.3 Elektro-chemické leštění.....	38
8 Vyvtávání .....	40
8.1 Vyvtávací nástroje .....	40
8.2 Vyvtávací stroje.....	41
Závěr .....	43
Seznam použitých zdrojů .....	44
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	46

## ÚVOD

Dokončovací metody jsou charakteristické používáním nástrojů s nedefinovanou geometrií břitu. Což zle nejlépe ukázat na broušení, lapování, honování. Pokud je kladen velký důraz na výsledný povrch hotové součásti a jeho rozměry, musíme použít způsob dokončování, který tyto požadavky splňuje. Výsledkem jsou dokonalé jakostní plochy jak vzhledové tak i tvarové. Musí být dodrženy předepsané geometrické a tvarové tolerance.

Dokončování je náročný proces, proto se používá jenom na plochy funkční popřípadě na plochy, kde je kladen důraz na vzhled. První dokončovací práce se prováděly na materiálech s velmi dobrou obrobiteľností, jako například měď nebo hliník. Postupně jak se s novými technologiemi zlepšovaly řezné nástroje (řezné destičky), tak se dokončovaly i materiály s horší obrobiteľností. Nástroje popřípadě řezné destičky jsou vyráběny z tvrdých, super tvrdých materiálů. Představitelem těchto skupin materiálů je slinutý karbid (SK), diamant, kubický nitrid bóru (KNB). Tyto materiály jsou velmi pevné a tvrdé, proto můžeme volit vyšší řezné rychlosti a malé posuvy, čímž je docíleno jakostních ploch. Optimální volbou řezných podmínek zajistíme požadovaně hladkou plochu s nízkou drsností povrchu.

Se zlepšením řezných nástrojů se zlepšují i obráběcí stroje, i když jejich zlepšení ještě nedosahuje možností řezných nástrojů. Vylepšily se především obráběcí části, abychom byli schopni dosáhnout vysokých řezných rychlostí. Pro přesný přísuv nástroje do řezu se zavedlo číslicové řízení. Řízení je realizováno pomocí NC nebo CNC. Při dosažení vysokých řezných rychlostí musí být stroj dokonale tuhý, aby pohltil případné rázy, chvění. To lze zaručit masivní konstrukcí s příslušného materiálu.

V práci jsou popsány metody dokončování, které se nejčastěji používají v praxi, broušení, jemné soustružení, honování, vystružování, lapování, válečkování, leštění a vyvrtávání. U některých metod jsou uvedeny i moderní inovace těchto způsobů dokončování.

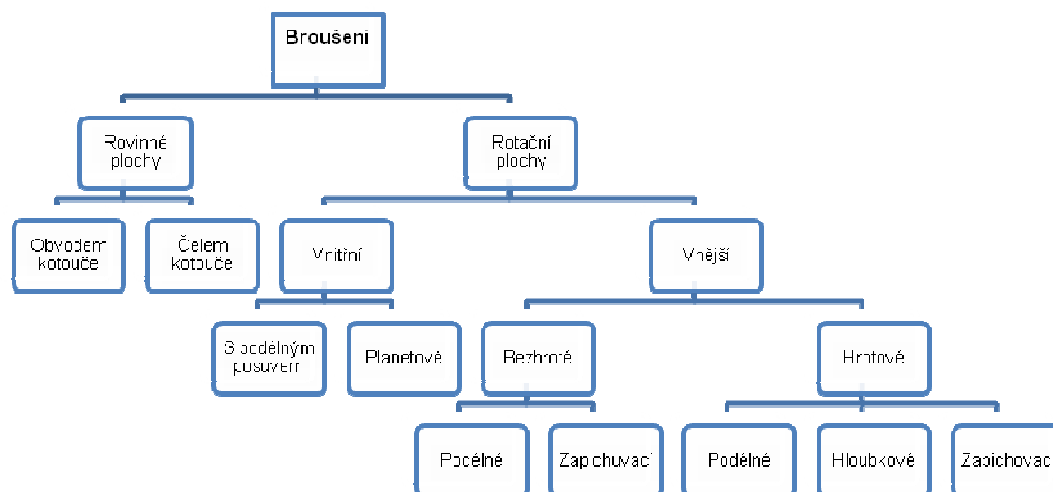


## DOKONČOVACÍ METODY

Dokončování vnitřních rotačních ploch se provádí za dosažením předepsaných rozměrových a tvarových tolerancí na výrobním výkrese. Dokončovacími metodami se zvýší jakost povrchu, zlepší se mechanické a fyzikální vlastnosti povrchu (tvrdost, pevnost, odolnost vůči korozi, otěru). Dokončují se převážně funkční plochy obrobku. Dokončování se provádí na strojích, které může obsluhovat člověk nebo mohou být stroje řízeny pomocí počítačového programu (jedná se o NC a CNC stroje). Dále budeme rozebírat jednotlivé metody dokončování vnitřních válcových ploch. Patří sem broušení, jemné soustružení, lapování, válečkování, vystružování, vyvrtávání, leštění.

### 1 BROUŠENÍ

Broušení patří k historicky nejstaršímu způsobu obrábění. Broušení můžeme charakterizovat jako obrábění mnohobřítým nástrojem. Jednotlivá zrna jsou k sobě pojena příslušným pojivem. V dnešní době tvoří broušení nedílnou a převážnou součást dokončovacích prací pro strojírenství. Broušení je univerzální metoda dokončování, která se dá použít na téměř všechny plochy. Pro dokončování vnitřních ploch jsou dva způsoby dokončování, s podélným posuvem a planetové broušení. Těmito způsoby se budu zabývat v rámci zadání.



Obr. 1 Rozdělení způsobů broušení

Broušením lze dosahovat vysokých přesností, až IT 3. Lze vyrobit plochu o drsnosti povrchu  $Ra\ 0,05\ \mu\text{m}^1$  do drsnosti povrchu  $Ra\ 3,2\ \mu\text{m}^1$ . Příkladky na broušení bývají malé a jejich velikost se pohybuje v rozmezí

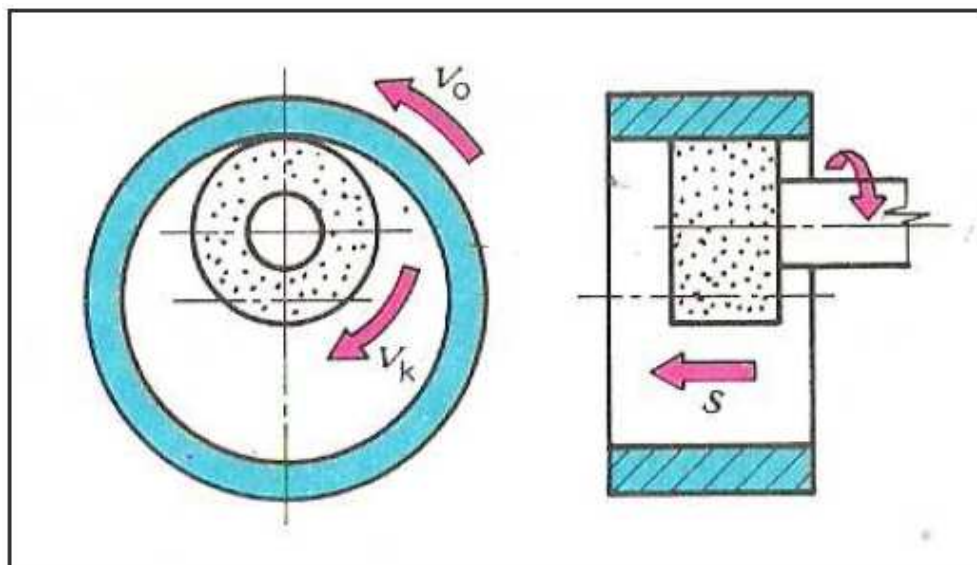
0,2 – 0,5 mm<sup>1</sup>. Hladký povrch lze vyrobit za použití vysokých řezných rychlostmi, vhodnou volbou brusného kotouče a řezných podmínek.

### 1.1 Axiální broušení

Brusný kotouč se otáčí uvnitř broušené díry. Kotouč se otáčí rychlostí  $v_c$  a pohybuje se ve směru osy axiální rychlostí. Hlavní pohyb je řezný a koná ho nástroj. Vedlejší pohyb posuvný koná nástroj, rotační posuv koná obrobek. Příklad na dokončování se odbrousí vzájemným posunutím obráběné součásti a brousícího kotouče. Broušení ovlivňuje geometrické rozměry obráběné díry. Průměr brusného kotouče musí mít velikost 0,7 až 0,9 násobku obráběné díry, abychom byli schopni díru obrábět. Při broušení děr je obtížné odvádět vzniklé třísky, což má za následek zanášení brusného kotouče a nutnost jeho častého orovnávání. Při broušení malých děr je potřeba malé vřeteno abychom mohly brousit hlubší díry. Při velkém vyložení vřetene se snižuje jeho tuhost. Když je malá tuhost tak se snáze přenesou nepřesnosti a geometrické úchytky na obráběný materiál, obrobená díra poté nemusí mít požadované rozměry. Proto se používají nižší řezné parametry. Čím je materiál tvrdší tím by měla být řezná rychlost vyšší. Podmínky pro broušení jsou rozdílné pro dokončování i pro hrubování. Posuv brusného kotouče je závislý na jeho šířce  $b_s$ .

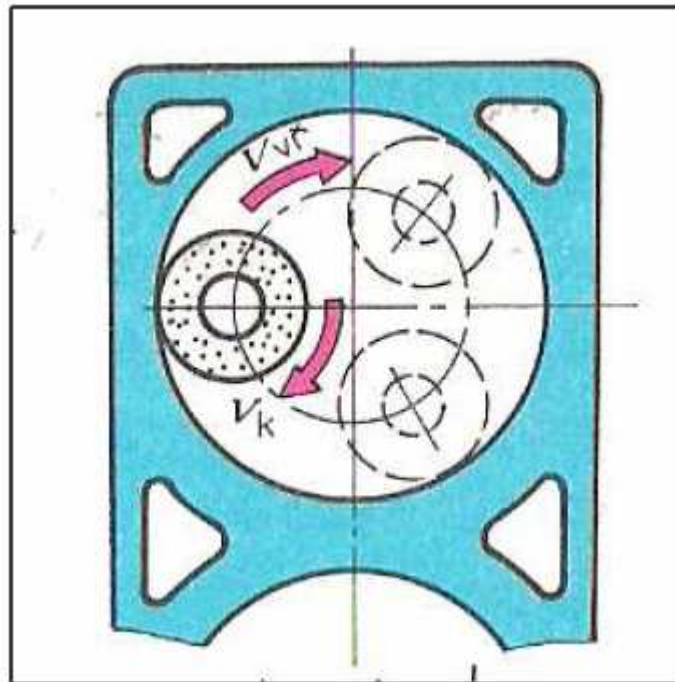
Tab. 1.1 Pracovní podmínky pro axiální broušení<sup>1</sup>

Druh práce		$f_a$ [mm]	$a_e$ [mm]	$v_w$ [m min <sup>-1</sup> ]
Jednoduché brusky	hrubování	(0,4 - 0,7). $b_s$	0,005 - 0,020	20 - 40
	na čisto	(0,25 - 0,40). $b_s$	0,0025 - 0,0100	
Poloautomatické brusky	hrubování	(0,40 - 0,75). $b_s$	0,0025 - 0,0050	50 - 150
	na čisto	(0,25 - 0,40). $b_s$	0,0015 - 0,0025	
$f_a$ - axiální posuv na jednu otáčku, $a_e$ - pracovní záběr, $v_w$ - obvodová rychlost obrobku				

Obr. 1.1 Schéma axiálního broušení<sup>2</sup> $v_k$  – obvodová rychlost kotouče $v_0$  – obvodová rychlost obrobku $s$  – axiální posuv

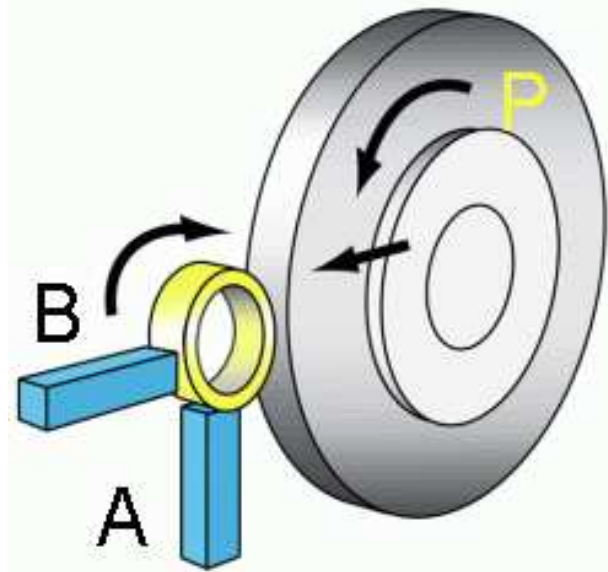
## 1.2 Planetové broušení

Oproti axiálnímu broušení můžeme brousit součástky s dírami větších průměrů a délek. Tímto způsobem se brousí součástky, které nemůžeme upnout na brusku na díry do sklíčidla nebo do čelistí. Stroj na toto broušení je planetová bruska. Součást se upne na stůl brusky a vřeteno s brousícím kotoučem se otáčí obvodovou rychlostí  $v_k$  a zároveň obíhá kolem osy broušené díry rychlostí  $v_{vř}$ . A zároveň koná i pohyb posuvný v axiálním směru podél osy díry rychlostí  $v_{fa}$ . Ve výjimečných případech může axiální pohyb vykonávat obrobek. Přesnost planetových brusek vzhledem k axiálnímu broušení je menší, protože vyložení vřetene je větší, čímž je méně tuhé.

Obr. 1.2 Planetové broušení<sup>2</sup>

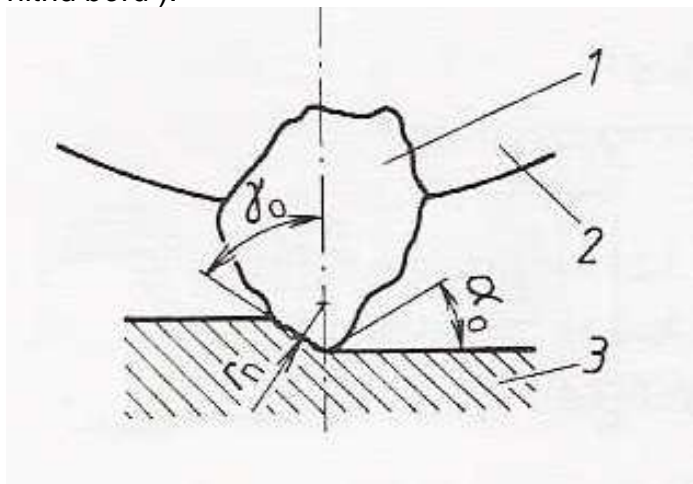
### 1.3 Bezhraté broušení

Bezhraté broušení se používá v hromadné a sériové výrobě. Tento způsob broušení se nejčastěji používá při dokončování v ložiskářském průmyslu. Dokončují se vnitřní kroužky ložisek. Broušená součást je otáčena pomocí kotouče P a je vedena dvěma lištami A a B. Vodící lišty se mohou nahradit vodícími kotouči. Schéma broušení je znázorněno na obrázku 1.3.

Obr. 1.3 Bezhraté broušení<sup>3</sup>

### 1.4 Brousící nástroje

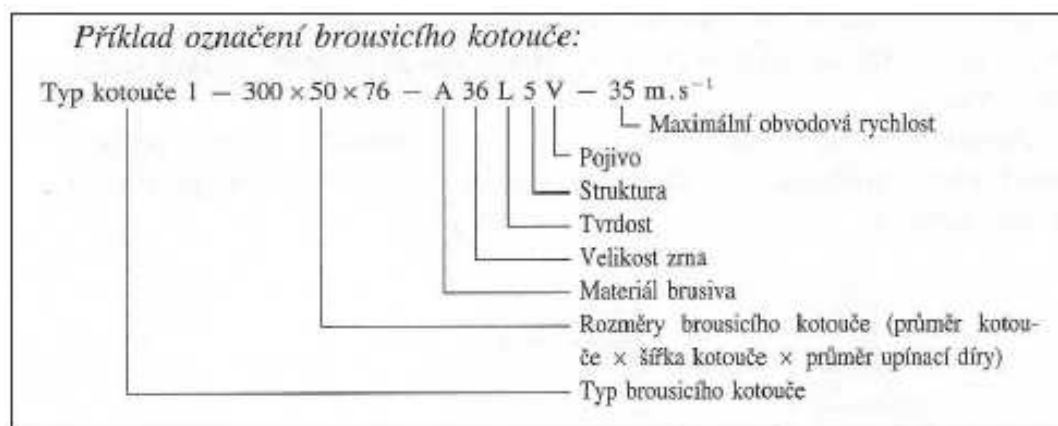
Nástrojem je brousící kotouč, který se skládá z brusiva a pojiva. Brusné zrno má záporný úhel čela. Vyrábí se z tvrdých materiálů (  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiC}$ , diamant, kubický nitrid bóru ).



Obr. 1.4 Zrno brusného kotouče<sup>4</sup>

- 1 – zrno brusného kotouče
- 2 – brusný kotouč
- 3 – obráběný materiál
- $\gamma_0$  - záporný úhel čela
- $r_n$  – poloměr špičky zrna

Díky nestejnému tvaru brusných zrn a jejich nepravidelnému uspořádání se z materiálu obrábí třísky malých průřezů ( řádově  $10^{-3} \text{ mm}^2$  ). Vysoké řezné rychlosti a vysoké tření způsobí, že některé třísky se ohřejí a roztaví se. Vznikají kapky kovu vyletující z místa řezu, tyto kapky následně shoří („jiskření“). Řezné rychlosti jsou vysoké a pohybují se od 30 až do  $100 \text{ m/s}$ <sup>1</sup>. Vzniká zde velké teplo, které je nutno odvést chladicí kapalinou. V zásadě se na tvrdé materiály používají kotouče s měkkým pojivem a opačně, aby byl zajištěn odvod otupeného brusného zrna. Brusné kotouče pro strojní broušení mají své označení dle ČSN. Značení se skládá z číslic, písmen. Dohromady se jedná o osm znaků.

Obr. 1.5 Značení brusného kotouče<sup>4</sup>

Brousící kotouče se vyrábí i ze supertvrdých materiálů. Základní těleso těchto kotoučů je z oceli, nebo kvůli snížení hmotnosti z hliníkové slitiny. Tvrdá vrstva má obvykle malou tloušťku a je na funkční ploše kotouče, místo se liší dle typů brusných kotoučů. Jednotlivá zrna jsou nejčastěji pojena kovovým pojivem (bronz, litina, galvanicky). Nejdůležitější u těchto kotoučů je tvar, jeho základní rozměry, typ pojiva, druh a velikost zrna. Příklad značení dle českého výrobce Urdiamant s.r.o., Šumperk.

1	2	3	4	5	6	7
1	150-10/2	B - VIII	D	107	K 100	10000/min

Obr. 1.6 Značení brusných kotoučů dle firmy Urdiamant s.r.o., Šumperk<sup>1</sup>  
 1 – typ kotouče, 2 – rozměr kotouče, 3 – pojivo, 4 – druh brusiva,  
 5 – zrnitost brusiva, 6 – koncentrace brusiva

## 1.5 Brousící stroje – brusky

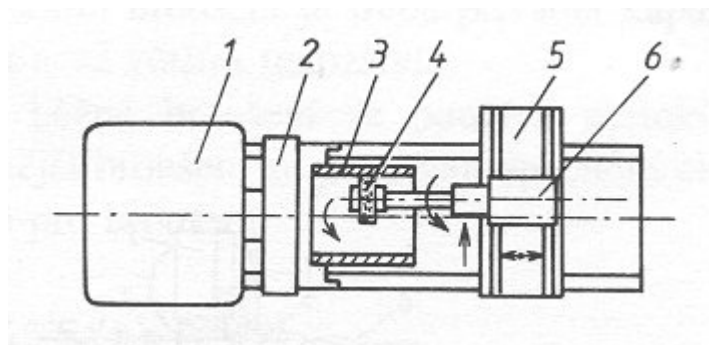
Brusky na díry jsou speciální jednoúčelové stroje určené jen na broušení děr. Tyto stroje jsou dodávány v provedení – sklíčidlové, bezhroté a planetové.

### 1.5.1 Sklíčidlové brusky

Obrobek je upnut do sklíčidla, které je umístěno na příčných saních. Příčné saně jsou pohyblivé, tudíž můžeme nastavit obrobek vůči brousícímu kotouči. Vřeteno, ve kterém je upnut brousící kotouč, má vlastní pohon pomocí elektromotoru. Pomocí něhož může vykonávat axiální pohyb. Když, brousíme větší výrobky, musíme mít velkou brusku, uspořádání je jiné. Pracovní vřeteník je umístěn na podélném stole, který umožňuje axiální posuv obrobku vůči brousícímu kotouči. Brousící vřeteník je umístěn na saních příčných a koná pohyb v radiálním směru.

### 1.5.2 Bezhroté brusky

Tyto brusky mají dva vřeteníky. Brousící vřeteník, na kterém je umístěn brousící kotouč, a vřeteník podávacího kotouče. Každé vřeteno má svůj vlastní pohon a na podávajícím vřeteně je možno měnit otáčky. Lze také nastavovat libovolný broušený průměr. Také je možno nastavit mimoběžnost os a tím zaručíme axiální posuv.



Obr. 1.7 Bruska na díry<sup>6</sup>

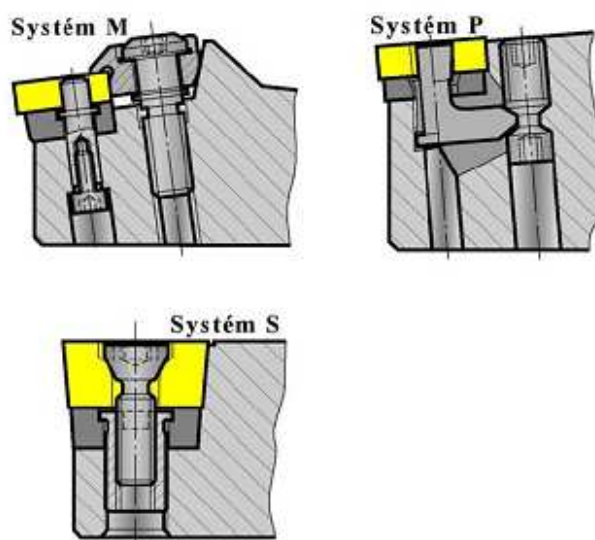
- 1 – pracovní vřeteník
- 2 - sklíčidlo
- 3 - obrobek
- 4 – brousící kotouč
- 5 – suport
- 6 – brousící vřeteník

## 2 JEMNÉ SOUSTRUŽENÍ

Hlavní řezný pohyb koná obrobek a je to pohyb rotační. Vedlejší pohyb koná nástroj v našem případě je to posuv rovnoběžný s osou otáčení, protože se jedná o dokončování vnitřních rotačních ploch. Výsledný pohyb je spirála nebo šroubovice. Soustružení se provádí na soustruhu a nástroj je soustružnický nůž. Nástroj je jednobřítý a má různé provedení. Jedná se o metodu nejjednodušší a ve strojírenské praxi nejpoužívanější. Dokončování se provádí při vysokých řezných rychlostech a malých posuvech, aby bylo dosaženo kvalitních ploch. Při vysokých řezných rychlostech vzniká velké teplo v místě řezu. Aby bylo dosaženo kvalitních ploch, musí být zajištěno dostatečné chlazení v místě řezu, tím zamezíme ovlivnění dokončované plochy. Chladicí kapalina také odvádí vzniklé třísky z místa řezu. Jemným soustružením dosahujeme přesností IT6, IT7<sup>5</sup> a drsností Ra = 0,1 až 1,5 μm<sup>5</sup>. Jemného povrchu dosáhneme opakovaným soustružením s hloubkami řezu s = 0,1 až 0,25 mm<sup>5</sup> a s = 0,003 až 0,005 mm<sup>5</sup>. Řezné rychlosti se pohybují od 150 do 1200 m/min, tyto hodnoty závisí na použité řezné destičce a zvolených řezných podmínkách.

### 2.1 Nástroje

Nástrojem jsou soustružnické nože různého provedení. Provedení nožů se odvíjí od jejich použití. Nože se dělí na radiální, prizmatické, kotoučové a tangenciální. Nejčastěji používané jsou nože radiální. Mohou být celistvé (málo užívané) s připájenými břitovými destičkami nebo s vyměnitelnými břitovými destičkami. Některé způsoby upínání břitových destiček dle norem ISO, můžeme vidět na obrázku 2.1. Dále se nože dělí podle směru přísuvu do řezu na pravé a levé. Břitové destičky mají různé tvary dle jejich výrobců. Vybrání na destičkách má vliv na odvod a lámání třísky v místa řezu.



Obr. 2.1 Upínání břitových destiček<sup>5</sup>



Při dokončování se pohybujeme v přesnostech IT6 a IT7<sup>5</sup>. Drsnosti povrchu se pohybují v rozmezích Ra 0,4  $\mu\text{m}^5$  až Ra 0,8  $\mu\text{m}^5$ . Těchto hodnot můžeme dosahovat díky dobrým řezným destičkám z tvrdých řezných materiálů a vhodně zvolených řezných podmínek. Řezné destičky se vyrábí ze slinutých karbidů (SK), cermetů, polykrystalického nitridu boru (PKNB) a polykrystalického diamantu (PD). V dnešní době se destičky vyrábí jako vícebřité, po otupení jednoho řezného břitu se destička otočí. Břitové destičky mají své označení dle ISO viz. obr 2.2.

ISO kód	1	2	3	4
	T	N	U	N
	T	N	M	M

Obr. 2.2 Značení destiček dle ISO<sup>5</sup>

- 1 – tvar destičky
- 2 – úhel hřbetu
- 3 - tolerance
- 4 - provedení

Značení nožů pro vyměnitelné břitové destičky dle ISO je na obrázku 2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	K	J	N	R	- 32	25	L	19	-
									S

Obr. 2.3 Značení držáků nožů dle ISO<sup>5</sup>

- 1 – způsob upínání
- 2 – tvar destičky
- 3 – tvar nože
- 4 – úhel hřbetu
- 5 – směr řezu
- 6 – výška držáku
- 7 – šířka držáku
- 8 – celková délka
- 9 – velikost destičky
- 10 – údaje výrobce

## 2.2 Stroje

Stroje se nazývají soustruhy. Mohou být manuální, poloautomatické a nebo automatické (NC, CNC). Na dokončování vnitřních rotačních ploch je používán například soustruh CNC zobrazený na obrázku 2.4. Obrobek je upnut do sklíčidla obrázek 2.5. Na soustruzích lze provádět i jiné operace kromě dokončování. Nelze soustružit díry, které jsou malých průměrů a velkých délek. Nedostali bychom se tam nástrojem.



Obr. 2.4 CNC soustruh<sup>8</sup>



Obr 2.5 Univerzální sklíčidlo<sup>5</sup>

Obr. 2.6 CNC soustruh 32<sup>8</sup>

### 2.3 Výpočet řezných sil a strojních časů

Celková řezná síla se skládá z řezné síly  $F_C$ , posuvové síly  $F_f$  a pasivní síly  $F_p$ . Stanoví se dle vztahů<sup>5</sup>.

$$F_C = C_{F_C} \cdot a_p^{x_{F_C}} \cdot f^{y_{F_C}} \quad [N] \quad (2.1)$$

$$F_f = C_{F_f} \cdot a_p^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} \quad [N] \quad (2.2)$$

$$F_p = C_{F_p} \cdot a_p^{x_{F_p}} \cdot f^{y_{F_p}} \quad [N] \quad (2.3)$$

Kde :  $C_{F_C}$ ,  $C_{F_f}$ ,  $C_{F_p}$  materiálové konstanty [ - ]

$x_{F_C}$ ,  $x_{F_f}$ ,  $x_{F_p}$  exponenty vlivu  $a_p$  [ - ]

$y_{F_C}$ ,  $y_{F_f}$ ,  $y_{F_p}$  exponenty vlivu  $f$  [ - ]

$a_p$  šířka záběru ostří [ mm ]

$f$  posuv na otáčku [ mm ]

Celková řezná síla se spočítá jako kvadrát těchto dílčích sil<sup>5</sup>.

$$F = \sqrt{F_C^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad [N] \quad (2.4)$$

Výpočet jednotkového strojního času vychází z otáček, posuvu a z dráhy nástroje<sup>5</sup>.

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (2.5)$$

Kde :  $L$  – dráha nástroje [ mm ],  $n$  – otáčky [  $\text{min}^{-1}$  ],  $f$  posuv na otáčku [ mm ]

Dráha nástroje se skládá z náběhu a délky soustružené plochy. U vnitřních ploch není délka přeběhu.

### 3 HONOVÁNÍ

Je dokončovací operace obrábění nejčastěji vnitřních válcových ploch. Obráběný materiál se odebrává abrazivním účinkem brusiva honovacích kamenů (lišť, kartáčů). Tímto způsobem se dokončují válcové díry průchozí i neprůchozí. V dírách mohou být drážky různých tvarů a velikostí. Honovat můžeme díry průměrů 1 až 750 mm a délek do 25 m. Honováním lze dokončovat hydraulické, pneumatické a brzdové válce, válce spalovacích motorů, ojnice, bubny, pouzdra, ložiska vřeten atd. Výhodou této metody je, že lze honovat kalené i nekalené oceli, litiny, hliníkové slitiny, neželezné kovy, slinuté karbidy, tvrdé povlaky. Honování lze rozdělit podle požadované přesnosti povrchu na jednostupňové a dvoustupňové. Pro jednostupňové honování je jeden nástroj pro hrubování i pro dokončování. Pro dvoustupňové honování máme drsnější nástroj pro hrubování a jemnější pro dokončování.

#### 3.1 Princip honování

Jde o broušení jemným brusivem při malých otáčkách a intenzivním přívodem řezné kapaliny. V díře má proces honování šroubovitý tvar, který je způsoben rotačním pohybem honovací hlavy rychlostí  $v_c$  a jejího přímočarého vratného pohybu ve směru osy rychlostí  $v_f$ . Jednotlivé dráhy se překrývají o hodnotu  $2\alpha$ . Hodnota úhlu  $\alpha$  je doporučena v rozsahu  $20^\circ$  až  $55^\circ$ <sup>1</sup>. Volbu řezných podmínek ovlivňuje výchozí a požadovaná drsnost povrchu, obráběný materiál, průměr díry, přesnosti tvaru. Honováním lze dosáhnout i vysokých přesností geometrického tvaru jako například kruhovitost, válcovitost, kuželovitost. Honování je proces velmi citlivý na nastavení přeběhů a náběhu, aby nevznikla díra kuželovitá nebo soudkovitá. Při honování slepých děr je zapotřebí zvolit kameny s vyšší tvrdostí na konci. Přidávky na honování se dávají v setinách milimetrů, závisí na průměru díry.

Tab. 3.1 Doporučené řezné podmínky pro honování<sup>1</sup>

Materiál	Operace	Brusivo					
		diamant, KNB			Al2O3, SiC		
		$v_c$ [mmin-1]	$v_f$ [mmin-1]	$pk$ [MPa]	$v_c$ [mmin-1]	$v_f$ [mmin-1]	$pk$ [MPa]
Nekalné oceli	hrubování	25 - 35	6 - 12	0,4 - 0,6	15 - 30	8 - 12	0,4 - 0,8
	dokončování		3 - 8	0,2 - 0,4	10 - 30	5 - 7	0,2 - 0,4
Kalené oceli	hrubování	40 - 50	5 - 8	0,8 - 1,4	20 - 40	5 - 8	1,0 - 1,5
	dokončování	40 - 55	4 - 6	0,4 - 0,8	20 - 30	4 - 7	0,6 - 1,0
Šedé litiny	hrubování	50 - 80	15 - 18	0,8 - 1,2	40 - 80	17 - 22	0,8 - 1,0
	dokončování	40 - 70	8 - 12	0,4 - 0,6	30 - 50	8 - 15	0,3 - 0,5
Kalené šedé litiny	hrubování	50 - 80	16 - 18	1,3 - 1,5	50 - 80	15 - 20	0,8 - 1,4
	jemné hon.	45 - 70			50 - 60	12 - 16	0,8 - 1,2
	dokončování	40 - 50	12 - 16	0,5 - 0,9	40 - 50	8 - 12	0,6 - 0,8
Bronzy	dokončování		-		40 - 70	4 - 8	0,3 - 0,5
Al slitiny s tvrdými povlaky	dokončování	20 - 25	10 - 12	0,3 - 0,4		-	

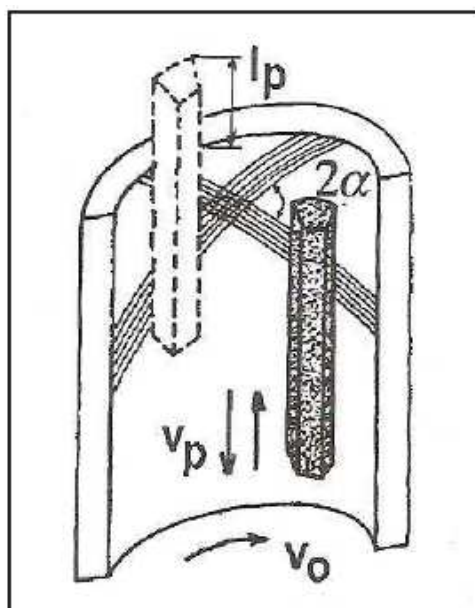
Tab. 3.1 Dosahované přesnosti honování vnitřních rotačních ploch<sup>1</sup>

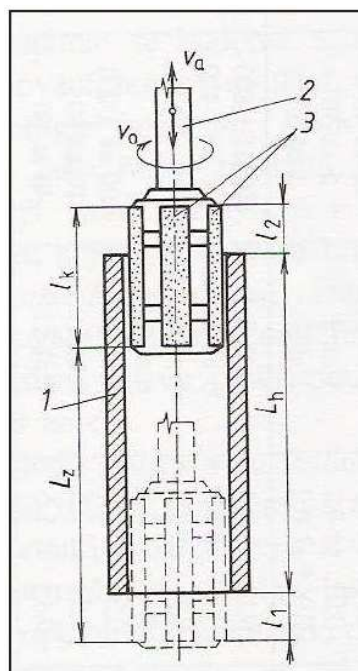
Honování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra [ $\mu\text{m}$ ]	
	střední	rozsah	střední	rozsah
hrubovámí	7	6 - 8	0,4	0,2 - 0,8
jemné	6	5 - 7	0,2	0,1 - 0,2
dokončování	4	3 - 5	0,1	0,05 - 0,10

Řezná kapalina má důležitý vliv. Odebírá teplo, snižuje řezné odpory a odvádí vzniklou třísku z řezu. Jako řezné kapaliny se používají, petrolej + přídavek, organické oleje, voda a emulze.

### 3.2 Nástroje

Nástrojem je honovací hlava, na které jsou po obvodu rozmístěny honovací kameny. Počet kamenů je 2 až 12 podle průměru honovací hlavy. Při honování díry s drážkami musí kameny být širší než šířka dvou drážek. Kameny jsou k obvodu součásti přitlačovány tlakem  $p_k$  0,05 MPa až 0,4 MPa<sup>1</sup>. Tento tlak může být vyvinut mechanicky, hydraulicky nebo pneumaticky. Kameny jsou vyráběny z  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na kalené oceli, nebo z SiC na dokončování měkkých ocelí, litin, slitin Al slitin Cu. Pro velmi přesné díry se používají kameny vyrobené z kubického nitridu boru nebo diamantu. Pojivem bývá pryskyřice, kovové nebo keramické pojivo.

Obr. 3.1 Schéma honování<sup>9</sup>

Obr. 3.2 Honovací hlava<sup>9</sup>

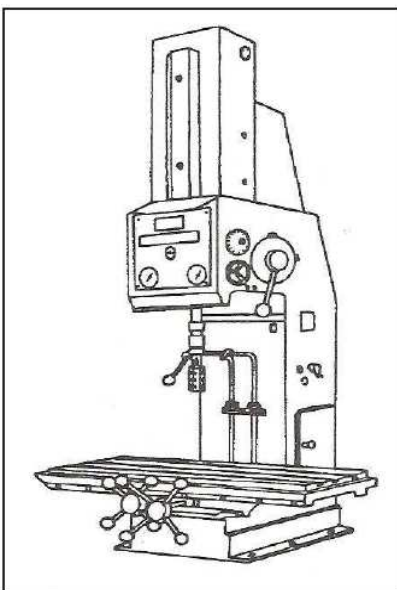
1 – součást

2 – honovací hlava

3 – honovací kameny

### 3.3 Stroje

Stroje se vyrábí v širokém provedení. Rozlišujeme na svislé a vodorovné dle uložení vřetene. Dle počtu vřeten na jedno a více vřetenové. Při ustanovení obrobku musíme zajistit vzájemné ustavení obrobku a honovacích kamenů. Tohoto lze dosáhnout čtyřmi stupni volnosti.

Obr. 3.3 Honovací stroj<sup>9</sup>Obr. 3.4 Honovací vřeteno<sup>10</sup>

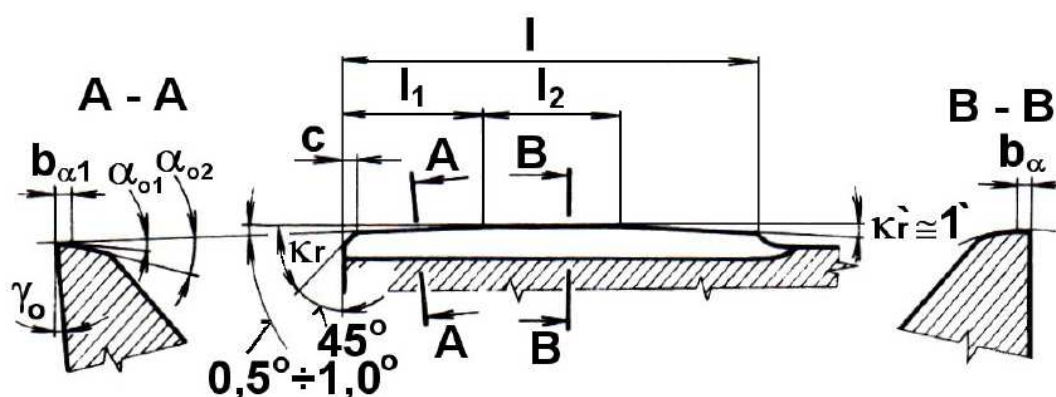
## 4 VYSTRUŽOVÁNÍ

Jedná se o metodu dokončování přesných děr s předepsanými geometrickými tolerancemi a drsností povrchu. Přídavky na vystružování jsou malé, aby byl výstružník schopen přídavek odřezat. Přídavky se pohybují od 0,1 mm do 0,4 mm<sup>11</sup>. Kdyby byl přídavek příliš velký tak by ho nástroj neobrobil a jen by ho vtláčil do stěn a vznikl by mnohohran. Díra by neměla předepsaný kruhový průřez a požadovanou drsnost. V praxi se přídavek na vystružované díry určí dle vzorce<sup>11</sup>.

$$p = 0,1 + 0,005 \cdot D \quad [mm] \quad (4.1)$$

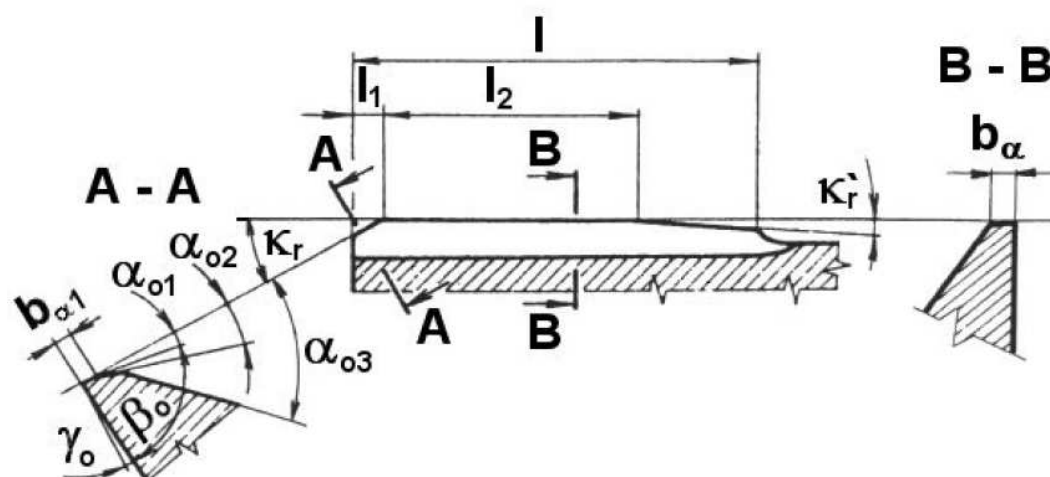
Kde : D – je průměr vystružované díry [ mm ]

Přídavek na vystružování je malý, proto jsou velké nároky na obráběcí nástroj. Zejména na broušení výstružníků, jejich ostření. Poloměr zaoblení ostří je menší než  $r_n = 10 \mu m$ <sup>11</sup>. Této přesnosti dosáhneme pečlivým broušením a lapováním břitů. Zuby na výstružníku jsou rovné nebo ve šroubovici. Šroubovice může mít stoupání  $\omega = 5^\circ$  až  $20^\circ$ <sup>11</sup>. Vystružování se dělí podle způsobu práce na strojní a ruční. Další rozdělení je podle způsobu upínání na stopkové (válnová, kuželová stopka) a nástrčné. Podle použití se liší i tvar řezné části výstružníku. U výstružníků s přímými zuby se používá nerovnoměrná rozteč zubů, to nám zajistí dobrou kruhovitost a kvalitu dokončované díry. Počet zubů na výstružníku se liší podle jeho průměru a pohybuje se v rozmezí od 4 do 18 zubů. Vystružováním je dosahováno tolerancí IT5 – IT6<sup>11</sup>. Drsnost dokončené plochy bývá  $R_a = 0,4$  až  $0,8 \mu m$ <sup>11</sup>.



Obr. 4.1 Tvar a geometrie zubu ručního výstružníku<sup>11</sup>



Obr. 4.2 Tvar a geometrie zubu strojního výstružníku<sup>11</sup>Tab. 4.1 Doporučené hodnoty úhlů hřbetu a čela pro strojní výstružníky z RO<sup>11</sup>

Obráběný materiál	$\alpha$ [°]	$\gamma$ [°]	
Oceli $R_m = 700$ MPa	5 - 7	0	přímé zuby
Oceli $R_m = 1000$ MPa	5 - 6	3 - 5	levá šroubovic, $\omega = 6^\circ$
Austenické oceli		5 - 6	pravá šroubovice, $\omega = 6^\circ$
Slitiny hliníku, tvářené	8 - 10	8 - 10	levá šroubovice, $\omega = 10^\circ$
Slitiny hliníku, slévárenské	10 - 12	0	přímé zuby

Tab. 4.2 Doporučené hodnoty parametrů zubů strojních výstružníků z RO<sup>11</sup>

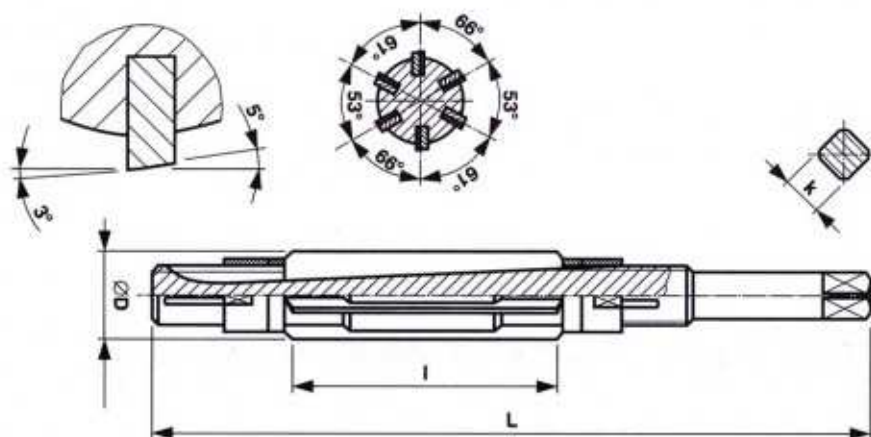
Průměr výstružníku	Rozměry [ mm ]				Úhly		
	$l_1$	$l_2$	$b_\alpha$	$b_{\alpha 1}$	$\alpha_{o1}$ [°]	$\alpha_{o2}$ [°]	$\kappa_r'$ [']
2 - 3	0,3	0,75 x 1	0,1	0,15	8	25	1 - 3
3,0 - 5,5	0,5		0,2	0,25			
5,5 - 8,0	0,8		0,3	0,35	7	16	
8 - 30	1,0				6	12	
30 - 60	1,5				5	10	
60 - 125	2		0,4	0,4	4	8	
124 - 200	2,5				3		

#### 4.1 Výstružníky

Výstružníky jsou vyráběny pro ruční vystružování s čtyřhranem na konci a mají delší řeznou část než výstružníky strojní. Strojní výstružníky mají válcovou nebo kuželovou stopku. Výstružníky mohou být zhotoveny i jako rozpínací. Mají duté těleso a mezi jednotlivými zuby jsou rozříznuté. Vtlačováním kužele do kuželové díry se výstružník rozpíná a zvětšuje se tak jeho průměr. Tohoto se využívá při renovaci a opravách strojních dílů. Dále mohou být výstružníky stavitelné. Tyto výstružníky mají posuvné zuby v drážkách na kuželové ploše tělesa. Posouváním zubů se obalová kružnice zmenšuje nebo zvětšuje jeho průměr.



Obr. 4.3 Výstružník strojní s kuželovou stopkou 7H8<sup>13</sup>



Obr. 4.4 Stavitelný ruční výstružník<sup>12</sup>

Obr. 4.5 Výstružníky<sup>11</sup>

## 5 LAPOVÁNÍ

Je dokončovací metoda, kterou se dosahuje nejvyšší rozměrové přesnosti. Jsou zde i nejmenší drsnosti povrchu obrobené plochy. Tato metoda je užívána na dokončování vnějších i vnitřních rovinných, válcových a tvarových ploch. Obsahem mé práce jsou jen plochy vnitřní válcové, těmi se budu zabývat. Lapují se jen funkční části součástí. Lapováním se dokončují měkké i tvrdé materiály. Lze provádět ručně i strojně.

Tab. 5.1 Dosahovaná přesnost lapování rovinných a vnitřních rotačních ploch<sup>1</sup>

Lapování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra [ $\mu\text{m}$ ]	
	střední	rozsah	střední	rozsah
hrubovací	4	3 - 5	0,2	0,16 - 0,40
jemné	2	1 - 3	0,1	0,08 - 0,16
velmi jemné			0,03	0,01 - 0,04

Tab. 5.2 Brusivo pro lapování<sup>1</sup>

Lapovaný materiál	Brusivo
Oceli	umělý korund - $\text{Al}_2\text{O}_3$
Litiny, keramika, sklo	karbid křemíku - $\text{SiC}$
Zvláště tvrdé materiály (SK, RO)	karbid bóru - $\text{B}_4\text{C}$ , kubický nitrid bóru, diamant
Měkké materiály	Oxid železitý - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ oxid chromitý - $\text{Cr}_2\text{O}_3$ vídeňské vápno - $\text{CaMgCO}_3$ hydroxid železitý $\text{Fe}(\text{OH})_3$

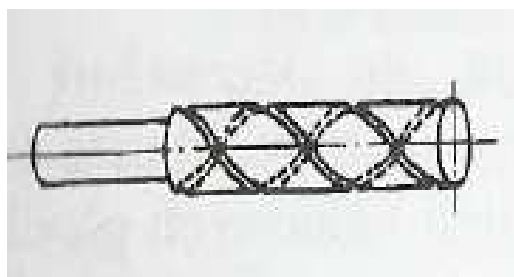
Lapování je v podstatě druh velmi jemného broušení. K úběru materiálu dochází volným brusivem, který je mezi vzájemně se pohybujícím lapovacím nástrojem a obrobkem. Lapování dělíme na hrubovací, jemné a velmi jemné. Při hrubovacím cyklu se lapováním odřezávají nerovnosti a výstupky obráběného povrchu velkým počtem brusiva. Při velmi jemném lapování se už jenom upravuje geometrický tvar součástí. Lapování je drahá dokončovací operace. Protože je důležité důkladné opracování předchozí operací. Dají se obrábět měkké i tvrdé materiály. Běžná hodnota přídavků na lapování bývá 5

až 20  $\mu\text{m}$  na průměr. Při jemném leštícím lapování jsou přídavky ještě menší do 10  $\mu\text{m}$  na průměr. Lapovací nástroj není nástroj řezný.

Lapují se součástky, které na sebe musí přesně dosedat, aby těsnily proti pronikání plynů nebo kapalin. Lapují se díry kluzných ložisek, válce vstřikovacích čerpadel.

### 5.1 *Lapovací nástroje*

Nástroje mají negativní tvar lapovaných ploch. Brusivo je vedeno nejčastěji petrolejem s malou příměsí oleje, nebo pastou. Pro velmi jemné lapování se používají nástroje z kalené oceli. Pro lapování děr se používají lapovací trny.



Obr. 5.1 Lapovací trn<sup>9</sup>

### 5.2 *Mechanické lapování*

Materiál je odebírán ve formě jemných třísek mechanicky působením řezných hran brusiva. Brusné zrna je z běžných brusných materiálů nebo to může být diamantový prášek. Tento prášek je velice efektivní díky svým dobrým řezným vlastnostem.

Zvláštní způsob mechanického lapování je lapování ve střídavém magnetickém poli, ultrazvukové lapování, lapování proudem kapaliny.

### 5.3 *Chemicko – mechanické lapování*

Princip tohoto způsobu je působení aktivní látky lapovacího prostředku na povrch lapované součásti. Vzniklá méně odolná vrstva je poté odstraněna lapovacím nástrojem. Tento proces se neustále opakuje, dokud není dosaženo požadovaného rozměru. Chemická látka působí na čistý kov a opět vzniká tenká méně odolná vrstvička, která je následně odstraněna lapovacím nástrojem. Lapovací nástroj musí být odolný vůči aktivní chemické látce. Nejčastěji se jako aktivní chemická látka používá oxid chromitý, oxid železitý, vídeňské vápno, silikagel. Tento způsob se používá na dokončování ocelových, měděných a hliníkových slitin.

#### ***5.4 Elektro-chemicko-mechanické lapování***

U tohoto způsobu dokončování se využívá elektrolytického obrábění. Jedná se o anodické rozpouštění povrchových vrstev materiálu, působením elektrického proudu, chemickým působením elektrolytu a poté se mechanicky odstraní takto narušená vrstva lapovacím nástrojem. Tento způsob dokončování zaručuje vysokou kvalitu obrobené plochy. Tento způsob se uplatňuje při lapování velmi tvrdých a těžkoobrobitelných materiálů, spékaných karbidů, tvrdokovových řezných nástrojů. Lapovací nástroj musí být z nevodivého materiálu. Poté co nástroj obrobí anodicky narušenou vrstvu se proces opakuje, dokud nedosáhneme požadovaného rozměru. U řezných nástrojů tvoří lapování poslední fázi jejich ostření.

## 6 VÁLEČKOVÁNÍ

Válečkováním se dají dokončovat vnitřní i vnější rotační plochy. Tento způsob dokončování zahlazuje povrchové nerovnosti po předchozím obrábění, působením plastických deformací. Vyvolá se zpevnění povrchových vrstev (zvysuje pevnost, tvrdost a mez únavy), které mají příznivý vliv na funkční vlastnosti součásti. Válečkování se provádí rotujícími válečky, kuličkami nebo někdy i soudečky. Tyto tělíska jsou k povrchu součásti přitlačovány silou statickou, dynamickou.

### 6.1 Statické válečkování

V tomto případě jsou válečky k povrchu součásti přitlačovány konstantní silou. Výsledný povrch závisí na tom, jaký průměr válečku použijeme. Malé průměry zvětšují rozměr, válečky větších průměrů zarovnávají vrcholky nerovností, což má za následek zlepšení drsnosti povrch. Přítlačná síla závisí na materiálu válečkované součásti a pohybuje se od 500 N do 5000 N<sup>1</sup>. Rychlosti při válečkování se ohybuje od 20 m/min do 100 m/min. Posuv při válečkování by neměl být stejný jako posuv při předchozím obrábění. Při válečkování se musí součást mazat, používá se nejčastěji vřetenový olej nebo emulze. Válečkováním se dá dosáhnout změny rozměru o 0,01 mm až 0,03 mm. Přesnost součásti se pohybuje v rozsahu IT6 – IT8<sup>1</sup>. Lze dosáhnout drsnosti povrch  $R_a = 0,05$  až  $0,40 \mu\text{m}$ <sup>1</sup>.

Tab. 6.1 Pracovní podmínky válečkování<sup>1</sup>

Válečkováný průměr [mm]	Vnější válečkování		Vnitřní válečkování	
	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Posuv na otáčku [mm]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Posuv na otáčku [mm]
5	1500	0,12	1000	0,15
12	1000	0,32	700	0,3
40	600	1,3	400	1
65	300	1,5	250	1,8
95	250	1,8	200	2,7
165	200	3,4		

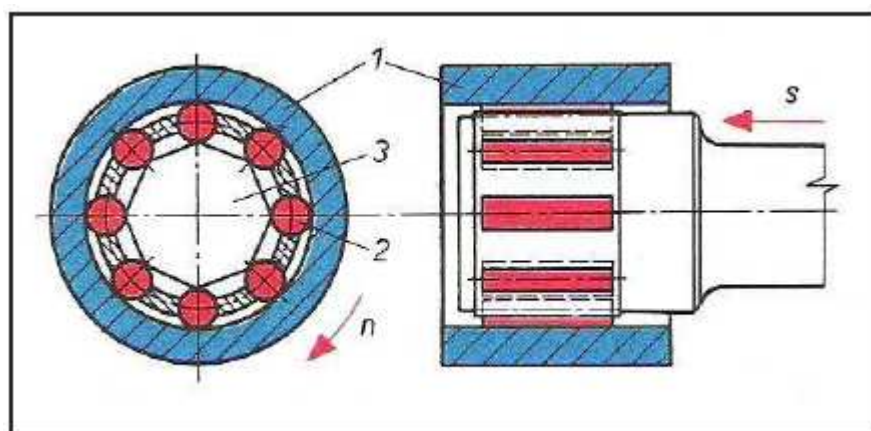
Doporučené otáčky lze v případě speciálních požadavků snížit nebo zvýšit o 50%, posuv na otáčku zvýšit o 30%.

Tab. 6.2 Přídavky na válečkování a drsnost válečkových ploch<sup>1</sup>

Válečkováná součást		Vnitřní povrchy			Vnější povrchy					
Materiál	Průměr D [mm]	Přídavek [mm]	Ra [μm]		Přídavek [mm]	Ra [μm]				
			Obro - bený	Váleč - kovaný		Obro - bený	Váleč - kovaný			
Materiály s vysokou houževnatostí, A>18%, tvrdostí <25 HRC, žíhané oceli, tvárné litiny, slitiny Al, bronz, mosaz	3 - 12	0,010	2,0	0,2	0,010	2,0	0,2			
		0,017	3,1		0,015	2,5				
	12 - 25	0,017	1,5		0,012	2,0				
		0,040	3,1		0,025	4,5				
	25 - 50	0,025	1,5		0,017	2,5				
		0,050	3,1		0,025	4,5				
	50 - 165	0,040	1,5		0,025	3,1				
		0,075	5,0		0,050	10,1				
	Materiály s nízkou houževnatostí, A<18%, tvrdost <40 HRC, zušlechťené oceli, šedé litiny, slitiny Mg, tvrdé slitiny Cu	3 - 12	0,010		2,0	0,4		0,008	1,5	0,4
			0,017		2,5			0,012	2,3	
		12 - 25	0,017		2,2			0,012	2,5	
			0,025		3,1			0,018	3,5	
25 - 50		0,025	3,1	0,012	2,5					
		0,040	4,5	0,025	4,5					
50 - 165		0,040	3,0	0,020	3,1					
		0,050	5,0	0,035	5,0					

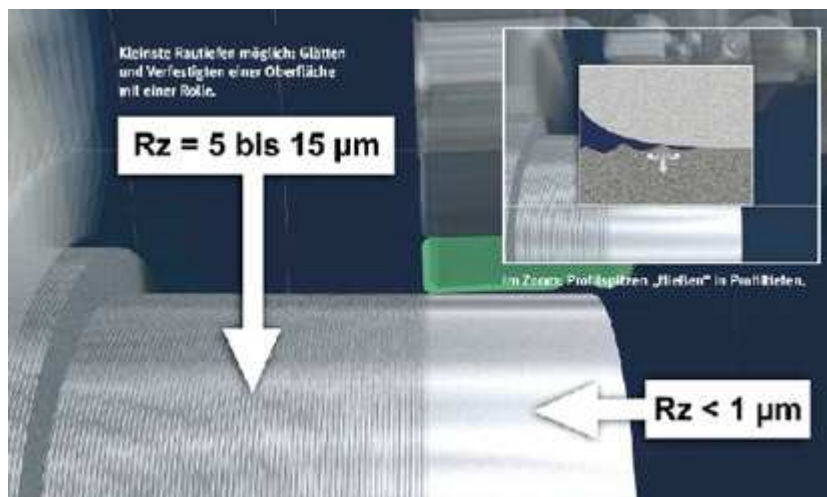
## 6.2 Dynamické válečkování

Princip je stejný jako při statickém válečkování. Akorát je povrch součásti válečkován silovými impulzy. Tyto impulzy jsou vyvozeny plečkovacím trnem nebo kroužkem. Posuv se při této metodě válečkování ověřuje experimentálně. Výhodou je větší zpevnění povrchové vrstvy. Ale je zde horší drsnost povrchu  $R_a = 0,2$  až  $0,8 \mu\text{m}$ <sup>1</sup>.

Obr. 6.1 Schéma válečkování<sup>9</sup>

- 1 – obráběná součást
- 2 – válečky
- 3 – válečkovací trn



Obr. 6.2 Válečkovací trn firmy Ecoroll<sup>21</sup>Obr 6.3 Výsledný povrch po válečkování<sup>22</sup>

## 7 LEŠTĚNÍ

Jedná se o dokončovací operaci, kterou se odstraní drobné nerovnosti povrchu. Docílíme vysokého lesku a vysoké jakosti povrchu  $R_a = 1,6$  až  $0,1 \mu\text{m}$ <sup>15</sup>. Volba vhodného způsobu leštění závisí na materiálu součásti, stavu povrchu před leštěním, tvaru, rozměrech, požadavků na kvalitu vyleštěného povrchu.

Leštění provádíme za účelem zlepšení vzhledu povrchu součásti, nebo jako před přípravu před další povrchovou úpravou například pokovení. Leštit se dají i galvanické povlaky, které se vylučují v matné formě. Při leštění používáme jemné lešticí, brusné pasty, kyslíčnick chromitý nebo vídeňské vápno. Při vysokých nárocích na vyleštěný povrch, nejprve povrch před leštíme a poté ho dokončíme doleštěním. Při leštění je nepatrný úběr materiálu na rozdíl od broušení, dobře se tedy zahladí stopy od předcházejícího opracování.

Leštění se provádí buď na univerzálních leštičkách pomocí různých podavačů, nebo na jednoúčelových lešticích strojích. Lešticí nástroje se většinou vyrábí z plsti, látky, gumy, dřeva, korku, papíru apod. Rychlost nástroje bývá 30 až 35 m/s<sup>15</sup>. Při mechanickém leštění vzniká tenká tvrdá povrchová vrstva.

### 7.1 Mechanické leštění

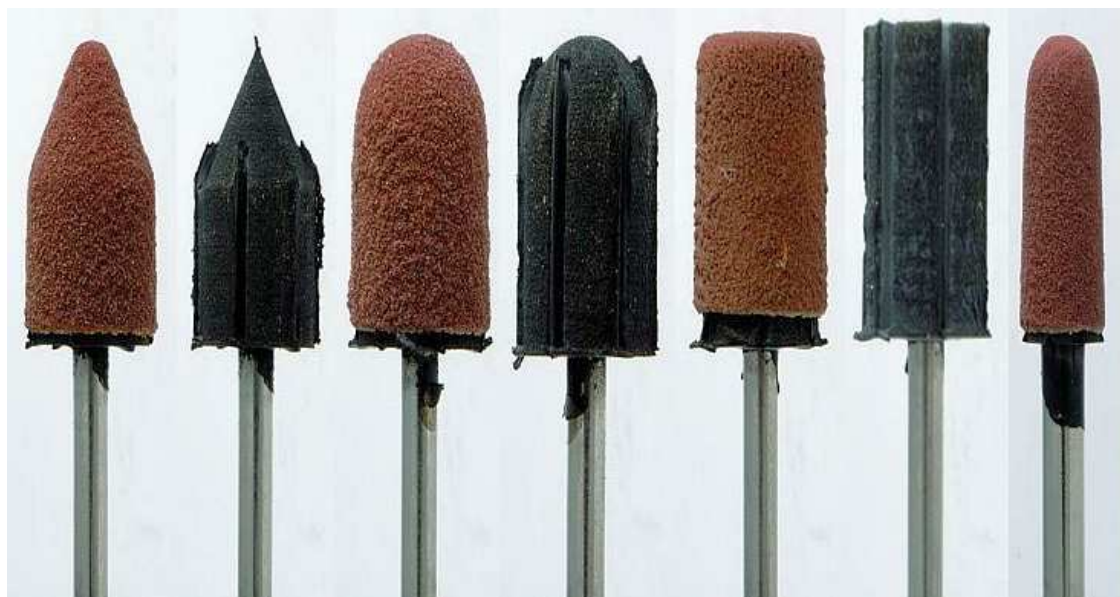
Mechanickým leštěním dosahujeme povrchu s vysokou jakostí a zrcadlovým leskem. Princip mechanického leštění spočívá v mechanickém působení lešticího nástroje na obráběný povrch. Leštit lze kefami, pásy, kotouči, speciálními brousícími nástroji. Nejrozšířenější způsob leštění je kotouči. Kotouči lze leštit ručně i strojně s částečnou nebo plnou automatizací. Princip je v přitlačování rotujícího lešticího nástroje na obráběnou plochu. Na nástroj je nejdříve nanesena lešticí pasta nebo prášek. Po styku lešticího nástroje s povrchem a rychlým pohybem se začnou vyrovnávat mikronerovnosti a tím docílíme kvalitních ploch a zrcadlového lesku.

Při leštění musí být zajištěn přísun lešticího média, nejvhodnější způsob je nanesení brusného zrna do olejové vrstvy nebo mazání brusnou olejovou směsí. Tyto kotouče téměř nešpiní leštěnou plochu a není potřeba dodatečně čisti. Lešticí prášek se vyrábí z umělého korundu a karbidu křemíku se zrnitostí 8, 6, 5 a 3 a mikroprášky M 14, M 10 a M 7<sup>15</sup>. Tyto materiály jsou i v lešticích pastách.

Tab. 7.1 Složení leštících past<sup>15</sup>

Název složky	Na hliníkové slitiny				Na mosaze				Na uhlíkové oceli				Na nerez oceli			
	číslo pasty															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Elektrokorund	-	80	-	-	-	-	-	70	-	-	70	-	-	-	-	72
Oxid chromitý	-	-	-	74	-	70	-	-	64	-	-	35	37	46	60	-
Vídeňské vápno	68	-	-	-	-	-	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anglická červeň	-	-	-	-	71	-	-	-	-	-	-	36	-	-	-	-
Tripolit	-	-	68	-	-	-	-	-	-	65	-	-	-	-	-	-
Vazelína	26	2	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-
Stearan	2	5	-	2	18	25	23	-	16	2	-	23	13	17	30	-
Vosk	4	-	10	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-
Parafin	-	8	18	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	33	-	-
Lůj	-	5	-	-	9	5	2	-	5	-	-	-	-	-	-	-
Kyselina olejnová	-	-	4	4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4	10	-
Oxid olovnatý	-	-	-	-	2	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-
Cerezin	-	-	-	-	-	-	2	-	-	33	-	-	-	-	-	-
Syntetické mastné kyseliny	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	30	-	-	-	-	28
Kaolín	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	-	-	-

Obr. 7.1 Plstěné nosiče diamantových past<sup>14</sup>

Obr. 7.2 Gumové nosiče s brusnými čepičkami<sup>14</sup>

## 7.2 Chemické leštění

Chemické leštění je nový způsob dokončování kovových povrchů. Tento způsob je odlišný od leštění mechanického. Kvalitního a zrcadlově lesklého povrchu je dosahováno za působení aktivních chemických látek. Proces leštění je jednoduchý. Spočívá v ponoření součásti do nádoby s chemicky aktivním roztokem. Po ponoření začnou probíhat chemické reakce a povrch součásti se začne rozpouštět a kvalita povrchu se postupně zlepšuje. Při tomto procesu získá součást i vysoký lesk.

Při chemickém leštění získáme lesklý povrch rozrušováním krystalické mřížky. Proces je jednoduchá, součástku ponoříme na několik minut do chemického roztoku a okamžitě začne působit na povrch. Začne rozpouštění kovu tím se snižuje drsnost povrchu. Chemická látka působí aktivněji na vrcholcích mikrovyvýšenin a později v mikroprohlubních. Výhoda této metody spočívá v její jednoduchosti. Nejčastěji se používá při leštění tvarově složitých součástí, které by se mechanicky těžce leštily.

Typový technologický postup chemického leštění se skládá z :

- odmaštění povrchu
- promývání v tekoucí chladné vodě
- chemické leštění v příslušném roztoku
- promývání v tekoucí chladné vodě
- promývání v teplé vodě ( 60 až 90 °C )
- sušení

Lešticí chemické roztoky jsou různých typů v závislosti na leštěné součásti. Většinou jsou na bázi kyselin nebo zásaditých roztoků.

Tab. 7.2 Složení roztoků pro chemické leštění<sup>15</sup>

Složky roztoku a režim práce	Jednotka koncentrace	Leštěné kovy a slitiny								
		uhlíková ocel		chromniklová			mosaz	nikl	měď	
		číslo roztoku								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kyselina sírová	g/l	-	230	230	90	790	-	-	100	250-270
Kyselina dusičná	g/l	15-30	40	40	180	20	100	180	300	250-270
Kyselina chlorovodíková	ml/l	16-40	70	70	725	1	-	5	-	-
Kyselina octová	ml/l	-	-	-	56	-	400	230	500	-
Kyselina fosforečná	ml/l	90-150	-	-	-	-	500	585	100	400
Peroxid vodíku 30%	ml/l	-	-	-	-	190	-	-	-	-
Chlorid sodný	g/l	-	6	6	-	20-40	-	-	-	-
Kostní olej	g/l	-	-	10-12	-	-	-	-	-	-
Nitrid sodný	g/l	-	-	-	-	-	-	-	-	10-12
Teplota roztoku	°C	80	50-80	70-75	80-150	20-40	20-40	55-80	85-95	30-40
Čas leštění	min	1-10	3-30	5-30	3-20	1-2	3-10	5	1	1-3

Lešticí roztok se připravuje naléváním tenkého proudu kyseliny do daného množství vody za stálého míchání. Poté musíme vzniklý roztok ohřát. Po ohřátí je roztok připraven na leštění. U hliníkových slitin lze dosáhnout drsnosti povrchu  $R_a = 0,2$  až  $0,4 \mu\text{m}^{15}$ . Tato metoda se používá pro její rychlost a levné náklady. Používá se na leštění obrobků z oceli, neželezných kovů a slitin.

Obr. 7.3 Zařízení na chemické leštění<sup>20</sup>

### 7.3 Elektro-chemické leštění

Jde o dokončovací metodu, při které se materiál součásti odebírá elektromechanicky. Metodou se dosahuje vysokých jakostí povrchů a zrcadlového lesku. Povrchové vrstvy leštěné součásti se elektrochemicky rozpouští přechodem jednosměrného proudu. Nejrychlejší je rozpouštění na vrcholcích mikrovyvýšenin a pomaleji v místech mikroprohlubní. Tímto se srovnají mikronerovnosti na povrchu součásti a získá se hladký a lesklý povrch.

Po skončení leštění se součásti promývají v tekoucí studené a teplé vodě. Když, budeme součást po leštění galvanicky pokovovávat, musíme ještě součást omýt v kyselém nebo alkalickém roztoku poté znovu promýt vodou s přídavkem antikoroziční sloučeniny. Drsnost dosaženého povrchu po leštění je  $R_a = 0,4$  až  $0,2 \mu\text{m}^{15}$ . Při vysokých nárocích na konečnou plochu lze při speciálním leštění dosáhnout drsnosti leštěného povrchu  $R_a = 0,05 \mu\text{m}^{15}$ .

Tab. 7.3 Složení nejpoužívanějších elektrolytů<sup>15</sup>

Složky elektrolytu a režimy leštění	Číslo elektrolytu																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Kyselina ortofosforečná	70	76	76	70	90	80	50	80	42	40	70	50	60	-	40	10	60
Kyselina sírová	15	5	10	-	-	12	50	11	45	40	-	-	15	-	-	60	-
Oxid chromový	12	12	8	14	10	6	-	-	4	-	16	-	10	-	-	-	-
Glycerol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	-	35	-	-
Uhličitan sodný	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-
Trinatriumfosfát	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-
Kyselina dusičná	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Kyselina boritá	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Kyselina šřavelová	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Voda	3	7	6	16	-	2	-	9	9	20	14	7	15	80	25	29	32
Proudová hustota [A dm <sup>-2</sup> ]	30	40	45	50	40	40	80	40	35	50	2	10	25	30	10	50	50
Teplota elektrolytu [°C]	75	80	80	75	85	80	35	75	70	80	70	95	80	70	90	70	80
Čas leštění [min]	15	6	6	7	6	7	6	7	10	5	2	7	6	15	12	8	10

Typový technologický postup při elektro-chemickém leštění je :

- odmaštění součásti ( benzín, aceton )
- elektroodmaštění
- promytí v teplé a studené vodě
- proces leštění
- promytí v chladné tekoucí vodě
- neutralizace v alkalickém roztoku
- promytí v chladné a teplé vodě
- sušení

- kontrola jakosti
- konzervace



Obr. 7.4 Lešticí zařízení<sup>4</sup>

## 8 VYVRTÁVÁNÍ

Při vyvrtávání se rozšiřuje předlitá, předkovaná, předvrtaná nebo jiným způsobem přichystaná díra. Před chystanou dírou dokončíme vyvrtáváním na požadovaný rozměr. Vyvrtáváním lze hrubovat i dokončovat díry. Vyvrtávání se provádí pomocí vyvrtávacích nožů, které jsou upnuty na vyvrtávacích tyčích nebo na hlavách. Vyvrtávat lze vnitřní rotační, kuželové i tvarové plochy. Je možné vyrábět i vnitřní zápichy, nebo řezat vnitřní závity. Podle toho jakého výsledného tvaru chceme dosáhnout tak se musí nástroj musí pohybovat. Pokud nástroj vykonává pouze podélný posuv a radiální posuv je nulový, poté je konstantní šířka záběru a vyvrtáváme válcovou plochu.

Když nástroj koná jenom radiální posuv a podélný posuv je nulový tak se jedná o výrobu zápichů. Radiální posuv může být plynulý nebo skokový, na jednu otáčku.

Pokud nástroj koná podélný posuv a zároveň se posouvá i radiálně, tak vyrábíme tvarovou rotační plochu. Radiální posuv může být opět plynulý nebo ve skocích na jednu otáčku.

### 8.1 Vyvrtávací nástroje

Nástroje se musí před samotnou operací nejdříve seřadit na požadovaný rozměr. To se provádí pomocí dílenského úchylkoměru nebo na jedno souřadnicovém seřizovacím přístroji. Nástroj můžeme upnout letmo, pomocí jednoho vodícího pouzdra, dvou vodících pouzder. Dále nástroje dělíme na vyvrtávací hlavy a tyče. Vyměňovat nástroj můžeme ručně nebo automaticky. Nástroj mají jeden nebo více břitů. Vyvrtáváním můžeme dosahovat drsností povrch  $R_a = 0,6 \mu\text{m}$ , za použití vysokých řezných rychlostí a kvalitních nástrojů.



Obr. 8.1 Vyvrtávací hlava s příslušenstvím<sup>17</sup>



Obr. 8.2 Vyvrtávací hlava<sup>18</sup>

## 8.2 Vyvrtávací stroje

Vyvrtávání lze provádět na soustruzích, vrtačkách, jednoúčelových strojích nebo číslicově řízených vyvrtávacích jednotkách. Nejčastěji se na vyvrtávání používají vodorovné vyvrtávačky. Tyto zařízení jsou jednoúčelové. Jejich velikost se určuje dle průměru vřetene v rozmezí 63 až 300 mm.

Vyvrtávačky můžeme rozdělit na stolové, deskové, jemné a souřadnicové.

U stolových vyvrtávaček je pracovní stůl, který se pohybuje po příčných saních. Stůl se dá otáčet o 360°. Na jednom konci lože je stojan s nastavitelným vřeteníkem, na druhé straně je opěrný stojan. U této vyvrtávačky se vřeteno otáčí a zároveň vysouvá z vřeteníku.

Desková vyvrtávačka je charakteristická, tím že nemá pracovní stůl. Obrobek je upínán na upínací desku. Jinak je princip stejný jako u předchozího typu.

U jemných vyvrtávaček můžeme mít více vřeteníků. Obrobek je upnut na pracovním stole, který koná podélný posuv. Pohon u tohoto typu je hydraulický s plynulou regulací otáček. Vyvrtávací tyče jsou krátké a tudíž velmi tuhé. Jsou uloženy letmo.

Souřadnicové vyvrtávačky se používají pro vyvrtávání velmi přesných děr s přesností až IT4. Tyto díry mají i přesnou rozteč. U moderních strojů se používá CNC systém, u starších strojů se používá optický systém k odměřování souřadnic.



Obr. 8.3 Vodorovná vyvrtávačka stolová WRFT 160 CNC<sup>19</sup>



Obr. 8.4 Desková vyvrtávačka WRF 130 CNC<sup>19</sup>

## ZÁVĚR

Dokončování vnitřních rotačních ploch je celosvětově rozšířené. A běžně se používá ve strojírenské praxi. Nejčastější využití dokončovací metod je na plochy funkční. Tyto metody se v praxi využívají v automobilovém, ložiskářském, strojním průmyslu. Lze říci, že kde potřebujeme přesnou funkční plochu tak musíme použít příslušnou dokončovací metodu. Také se dokončují plochy vzhledové. Tyto povrchy se nejčastěji leští a lapují, jedná se o litá kola automobilů, příslušenství motocyklů nebo dekorační předměty. S rostoucím technologickým vývojem a výrobou břitových destiček ze supertvrdých materiálů, jsme schopni dosahovat dokonalejších a přesnějších ploch. Těchto ploch jsme schopni dosáhnout i proto, že se současně s nástroji zdokonalují a inovují stroje a jejich řízení posuvů a přísuvů do místa řezu. Stroje ještě nedosahují takových parametrů, aby plně využily možnosti řezných nástrojů.

Vhodnou dokončovací metodu volíme v závislosti na obráběném materiálu, technologických, řezných podmínkách a na požadavcích na konečnou plochu.

Bakalářská práce je zaměřena na charakteristiku dokončovací metod vnitřních rotačních ploch. V práci jsou názorně popsány stávající metody obrábění, jejich použití z hlediska materiálů a řezných podmínek. Jsou zde uvedeny i moderní způsoby dokončování ploch a jejich využití na výrobcích ve strojírenské praxi.

V tabulce níže bylo provedeno srovnání dokončovací metod. Jsou zde uvedeny mezní hodnoty drsností povrchu a přesnosti rozměru IT. Těchto hodnot lze dosáhnout při optimálních řezných podmínkách. Hodnoty závisí i na obráběném materiálu.

<i>Metoda obrábění</i>		Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra [μm]	
		střední	rozsah	střední	rozsah
Broušení	hrubovací	10	9 - 11	2,40	1,6 - 3,2
	dokončovací	6	5 - 7	0,80	0,4 - 1,6
	jemné	5	3 - 6	0,20	0,05 - 0,04
Honování	hrubovací	7	6 - 8	0,40	0,2 - 0,8
	dokončovací	6	5 - 7	0,15	0,1 - 0,2
	jemné	4	3 - 5	0,07	0,05 - 0,1
Lapování	dokončovací	4	3 - 5	0,20	0,01 - 0,4
	jemné	2	1 - 3	0,03	0,012 - 0,05
Jemné soustružení		4	3 - 5	0,3	0,2 - 0,8
Válečkování		7	6 - 8	0,2	0,05 - 0,4
Vystružování	ruční	7	6 - 8	0,6	0,4 - 1,6
	strojní	8	7 - 9	0,6	0,4 - 1,6
	SK	5	5 - 6	0,18	0,15 - 0,2
Vyvrtávání				0,5	0,6 - 1,6
Leštění				0,3	0,2 - 0,4

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Humár A., Technologie I Technologie obrábění – 3. část, Studijní opory pro magisterskou formu studia, VUT Brno, Ústav strojírenské technologie, 2003
2. Škola-auto. [online]. [cit. 16.4.2011]. Strojírenská technologie – podklady. Dostupné z WWW: < [http://skola-auto.cz/html\\_hlavni\\_data/maturita\\_dospelych/strojirenska\\_technologie/st\\_podklady.pdf](http://skola-auto.cz/html_hlavni_data/maturita_dospelych/strojirenska_technologie/st_podklady.pdf)>
3. Dráb V., a kolektiv, Technologie I, Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1985
4. SPS-ko.cz. [online]. [cit. 16.4.2011]. Broušení. Dostupné z WWW: [http://www.sps-ko.cz/documents/STT\\_obeslova/Broušení.pdf](http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Broušení.pdf)
5. Humár A., Technologie I Technologie obrábění – 1. část, Studijní opory pro magisterskou formu studia, VUT Brno, Ústav strojírenské technologie, 2003
6. Jirijosifko. [online]. [cit. 16.4.2011]. Broušení. Dostupné z WWW: <http://jirijosifko.blog.cz/1002>
7. Consorta [online]. [cit. 25.4.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.consorta.cz/img/produkty/Colchester/detail/tornadonew.jpg>
8. Oblíbené.biz [online]. [cit. 6.4.2011]. Soustružení. Dostupné z WWW: <http://www.oblibene.biz/userdata/shopimg/formtool/image/gener/big/CNCsoustruh32.JPG>
9. SPS-ko.cz. [online]. [cit. 16.4.2011]. Broušení. Dostupné z WWW: [http://www.sps-ko.cz/documents/STT\\_obeslova/Dokončovací%20metody%20obrábění.pdf](http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Dokončovací%20metody%20obrábění.pdf)
10. MMS spektrum.com [online]. [cit. 30.4.2011]. Dostupné z WWW: [http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/81/8100\\_big.jpg](http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/81/8100_big.jpg)
11. Humár A., Technologie I Technologie obrábění – 2. část, Studijní opory pro magisterskou formu studia, VUT Brno, Ústav strojírenské technologie, 2003
12. ESchop.lutoma. [online]. [cit. 30.4.2011]. Dostupné z WWW: <http://eshop.lutoma.cz/nastroje-a-naradi-221/nastroje-na-obrabeni-otvoru-226/vystruzniky-stav-bez-pouzdra-272/vystruznik-rucni-stavitelny-3250-3650-s-411146243650.html>
13. ESchop.lutoma. [online]. [cit. 30.4.2011]. Dostupné z WWW: <http://eshop.lutoma.cz/nastroje-a-naradi-221/nastroje-na-obrabeni-otvoru-226/vystruzniky-strojni-227/vystruznik-strojni-s-kuzelovou-stopkou-7h8-dl-s-411142310708.html>
14. Novapaxcz. ESchop.lutoma. [online]. [cit. 30.4.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.novapaxcz.eu/?idk=4&id=29>
15. Cink L., Vliv technologických podmínek dokončovacích metod na jakost funkčních ploch zrcadel, UTB Zlín, Fakulta technologická, diplomová práce, 2005

16. Aco-povrchové upravy.cz. [online]. [cit. 2.5.2011]. Dostupné z WWW: [http://www.aco-povrchoveupravy.cz/elektr\\_lesteni.html](http://www.aco-povrchoveupravy.cz/elektr_lesteni.html)
17. Uni-max. [online]. [cit. 30.4.2011]. Dostupné z WWW: [http://www.uni-max.cz/fotocache/dt\\_small/171140\\_010\\_psd.jpg](http://www.uni-max.cz/fotocache/dt_small/171140_010_psd.jpg)
18. MMS spektrum.com [online]. [cit. 30.4.2011]. Dostupné z WWW: [http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/31/3179\\_big.jpg](http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/31/3179_big.jpg)
19. Fematmachineri.com [online]. [cit. 30.4.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.fematmachinery.com/cs/765-vodorovne-vyvtavacky/>
20. Povrchovauprava.cz [online]. [cit. 30.4.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/obrazky-zapisy/bild.jpg>
21. Winter-servis. [online]. [cit. 30.4.2011]. Dostupné z WWW: [http://www.winter-servis.cz/index.php?page=ecoroll/nastroje\\_ecoroll](http://www.winter-servis.cz/index.php?page=ecoroll/nastroje_ecoroll)
22. Albaprecision.cz [online]. [cit. 30.4.2011]. Dostupné z WWW: <http://www.albaprecision.cz/images/produkty/baublies/popisvaleckovani.jpg>
23. ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CNC	-	Computer numerical control
IT	-	Stupeň přesnosti
NC	-	Numerical control
PD	-	Polykrystalický diamant
PKNB	-	Polykrystalický nitrid bóru
$P_k$	MPa	Přítlačný tlak
Ra	$\mu\text{m}$	Drsnost povrchu
$R_m$	MPa	Mez pevnosti
SK	-	Slinutý karbid
$r_n$	$\mu\text{m}$	Poloměr zaoblení ostří
$v_c$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	Řezná rychlost
$v_f$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	Posuvová rychlost
$\omega$	$^\circ$	Úhel stoupání šroubovice