



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 VÝROBY VNĚJŠÍCH A VNITŘNÍCH ROTAČNÍCH TVAROVÝCH PLOCH.

NEW METHODS FOR OUTER AND INNER ROTARY SURFACES PRODUCTION.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN URBAN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Urban

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 výroby vnějších a vnitřních rotačních tvarových ploch.

v anglickém jazyce:

New methods for outer and inner rotary surfaces production.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Rešerše literatury k danému tématu.
2. Technologie a metody výroby (stroje, zařízení, nástroje a řezné podmínky).
3. Porovnání jednotlivých metod.
4. Závěr a doporučení využití v praxi.

Cíle bakalářské práce:

Studie zaměřená na progresivní technologie výroby tvarových rotačních součástí, jejich jednotlivých metod obrábění. Po porovnání jednotlivých způsobů výroby, doporučení využití v praxi.

Seznam odborné literatury:

1. ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2002. 153 s. ISBN 80-214-2219-X.
2. ZEMČÍK, O. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2003. 198 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 2009/2010.

V Brně, dne 13.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato rešeršní práce obsahuje přehled některých metod výroby vnějších a vnitřních rotačních tvarových ploch jako jsou soustružení, broušení, honování, superfinišování, lapování, vrtání, vyhrubování a vystružování. Porovnání přesnosti rozměrů a dosažitelných drsností povrchů jednotlivých metod.

Klíčová slova

Výroba vnějších a vnitřních rotačních ploch, soustružení, broušení, honování, superfinišování, lapování, vrtání, vyhrubování a vystružování.

ABSTRACT

This research contains a survey of some methods for outer and inner rotary surfaces production such as turning, grinding, honing, finishing, lapping, drilling, core-drillings and reaming. Comparison of dimensional accuracy and the achievable surface roughness of different methods.

Key words

Outer and inner rotary surfaces production, turning, grinding, honing, finishing, lapping, drilling, core-drillings and reaming.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

URBAN, Jan. *Název: Nové metody výroby vnějších a vnitřních rotačních tvarových ploch.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. s.46. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, Csc

Prohlášení

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

Datum

.....
Jan Urban

Poděkování

Děkuji tímto zaměstnanci VUT FSI Brno panu Ing. Oskaru Zemčikovi za vedení, za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat za cenné rady a poskytnutí podkladů k bakalářské práci firmě Vydoná s.r.o. a panu Ing. Rostislavu Urbanovi.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	9
1 Metody obrábění rotačních ploch.....	10
1.1 Soustružení.....	10
1.1.1 Charakteristika soustružení.....	10
1.1.2 Dosažitelné drsnosti povrchů při soustružení.....	10
1.1.3 Řezné podmínky.....	11
1.1.4 Stroje.....	12
1.1.5 Nástroje.....	12
1.2 Broušení.....	14
1.2.1 Charakteristika broušení.....	14
1.2.2 Dosažitelné drsnosti povrchů při broušení.....	15
1.2.3 Řezné podmínky.....	15
1.2.4 Stroje.....	17
1.2.5 Nástroje.....	17
1.3 Honování.....	18
1.3.1 Charakteristika honování.....	18
1.3.2 Dosažitelná drsnost povrchů při honování.....	18
1.3.3 Řezné podmínky.....	19
1.3.4 Stroje.....	20
1.3.5 Nástroje.....	21
1.4 Superfinašování.....	22
1.4.1 Charakteristika superfinašování.....	22
1.4.2 Dosažitelné drsnosti povrchů při superfinašování.....	23
1.4.3 Řezné podmínky.....	23
1.4.4 Stroje.....	24
1.4.5 Nástroje.....	24
1.5 Lapování.....	25
1.5.1 Charakteristika Lapování.....	25
1.5.2 Dosažitelné drsnosti povrchů lapování.....	25
1.5.3 Řezné podmínky.....	26
1.5.4 Stroje.....	26
1.5.5 Nástroje.....	28
1.6 Vrtání.....	29
1.6.1 Charakteristika vrtání.....	29
1.6.2 Dosažitelné drsnosti povrchů při vrtání.....	30
1.6.3 Řezné podmínky.....	30
1.6.4 Stroje.....	34
1.6.5 Nástroje.....	38
1.7 Vyhrubování a vystružování.....	41
1.7.1 Charakteristika vyhrubování a vystružování.....	41
1.7.2 Dosažitelné drsnosti povrchů při vyhrubování a vystružování.....	41
1.7.3 Řezné podmínky.....	41

Tab. 7.2 Řezné podmínky a přídavky vyhrubování a vystružování ^[11]	42
1.7.4 Stroje	42
1.7.5 Nástroje.....	42
2 Porovnání jednotlivých metod	44
Závěr	45
Seznam použitých zdrojů	47
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	48

ÚVOD

V bakalářské práci se budu zabývat problematikou výroby vnějších a vnitřních rotačních tvarových ploch. V práci si podrobně rozeberu nejčastěji používané technologie výroby těchto rotačních ploch, stroje, na kterých se technologie aplikují a popíšu používané řezné materiály.

Obrábění můžeme rozdělit na tzv. hrubovací a dokončovací. Mezi hrubovací metody obrábění, kterými se v práci zabývám můžeme zařadit soustružení a vrtání. Mezi dokončovací metody obrábění můžeme zahrnout technologii dokončovacího soustružení, broušení, honování, superfinišování, lapování, vyhrubování a vystružování.

Při hrubovacím obrábění odebereme z polotovaru většinu materiálu. Necháme jen určitou část – přídavek, který bude odebrán při následné dokončovací operaci. Velikost přídavku se liší u každé dokončovací operace, pohybuje se ale v desetinách milimetru. Při hrubování nedosahujeme potřebné jakosti a potřebných vlastností - průměrná aritmetická odchylka profilu – Ra, potřebných rozměrů s danou přesností při dodržení geometrických tolerancí. Proto po hrubovacím obrábění přichází dokončovací operace. Při dokončování dosahujeme potřebných Ra, potřebných rozměrů při dodržení předepsaných geometrických tolerancí.

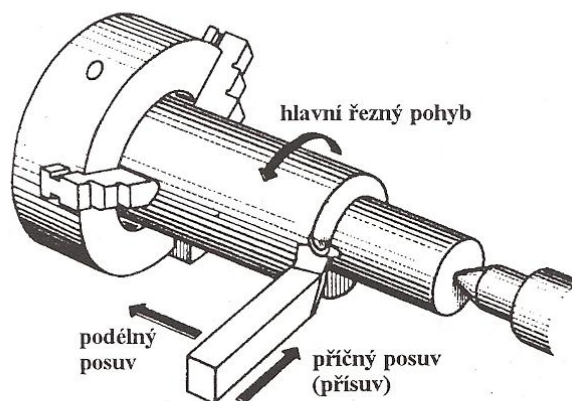
1 METODY OBRÁBĚNÍ ROTAČNÍCH PLOCH

1.1 Soustružení

1.1.1 Charakteristika soustružení

Soustružením lze vyrábět jak vnější tak, vnitřní válcové plochy, kuželové i tvarové plochy. Na soustruzích lze také vrtat, vyvrtávat, vystružovat, atd. Vnější rotační plochy lze soustružením jak hrubovat, tak dokončovat. Vnitřní plochy se buď předvrtají, vyhrubují a dokončují. Nebo můžeme dokončovací operaci použít do převrtaných, předlitých a předkovaných děr.

Soustružení je kombinace dvou pohybů: rotace obrobku a posuv nástroje. Hlavní pohyb je rotační - koná jej obrobek, vedlejší pohyb je posuvný - koná jej nástroj.



Obr 1.1 Soustružení ^[5]

1.1.2 Dosažitelné drsnosti povrchů při soustružení

Soustružením načisto dosahujeme drsnosti povrchu Ra 1,6 až 12,5 ^[5].

Tab. 1.1 Dosahované přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu při soustružení ^[5]

Metoda		Přesnost rozměrů	Drsnost povrchu
		IT	Ra [μm]
		rozsah	rozsah
Soustružení	hrubovací	12	6,3 - 12,5
	dokončovací	5	1,6 - 6,3

1.1.4 Stroje

Soustruhy se vyrábí v různých velikostech a mají různá technická řešení podle požadavků. Rozdělují se na hrotové, čelní, revolverové, svislé, poloautomatické, automatické.

Hrotové soustruhy

Jedná se o univerzální stroje, které se používají k obrábění obrobků upnutých ve sklíčidle, v hrotech, na trnech apod. Mají široký rozsah otáček a posuvů, jejich velikost je dána oběžným průměrem nad ložem a největší vzdáleností hrotů. Hlavní části hrotového soustruhu jsou: lože, vřeteník, vřeten, pohon, převodovka, suport, koník. Hrotové soustruhy jsou nejpoužívanější soustruhy v kusové výrobě. V sériové a hromadné výrobě se využívají CNC stroje.

1.1.5 Nástroje

Soustružnické nože dělíme dle několika hledisek. Z technologického hlediska nože dělíme na radiální, prizmatické, kotoučové a tangenciální.

Nejčastěji používané jsou nože radiální.

Podle druhu nástrojového materiálu:

- Rychlořezná ocel – RO
- Slinuté karbidy – SK
- Keramické materiály – KM a diamanty

Radiální nože dle konstrukce dělíme na:

- Celistvé – těleso i řezná část je z NO
- S pájenými břitovými destičkami – břitová destička je připájena na těleso z konstrukční oceli
- s VBD – břitová destička je mechanicky upnuta v nožovém držáku z konstrukční oceli

Podle polohy hlavního ostří na:

- pravé
- levé
- souměrné

Podle způsobu obrábění jsou radiální nože pro:

- pro obrábění vnějších ploch
- pro obrábění vnitřních ploch

Vyměnitelné břitové destičky jsou vyráběny ze SK, řezné keramiky, polykrystalického kubického nitridu boru a polykrystalického diamantu. Čela destiček jsou buď hladká nebo jsou na nich vylisovány utvařeče třísek. Destičky jsou vícebřité, aby se po otupení jednoho břitu destička otočila tak, aby byl využit jiný břit.

1		2		3						4												
Způsob upínání Způsob upínania		Tvar destičky Tvar doštičky		Tvar nože - úhel nastavení Tvar noža - uhol nastavenia						Úhel hřbetu Uhol chrčta												
C		S		C		A		B		C		D		D		α_n		α_n				
P		T		D		E		F		G		H		J		N	$\alpha_n=0^\circ$	C	$\alpha_n=7^\circ$	P	$\alpha_n=11^\circ$	
M		R		K		K		L		M		N		P		5						
S		W		V		Q		R		S		S		T		Směr řezu Směr rezu						
X		L		X	Speciál Speciál	U		V		W		X	SPECIAL SPECIAL	Y		R		L		N		
G				Z																		

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

6						8		9																		
Výška držáku (mm) Výška držiaka (mm)						Celková délka Celková dĺžka		Velikost destičky Veľkosť doštičky																		
								l ₁ [mm]																		
								d [mm]																		
								S C D V K W T R																		
08	10	12	16	20	25			D	60																	
32	38	40	45	50				E	70															06		
								F	80																	
								H	100																	
								J	110																	
								K	125																08	
								L	140																	
								M	150																	10
								N	160																	12
								P	170																	
								Q	180																	12
								R	200																	15
								S	250																	16
								T	300																	16
								U	350																	19
								V	400																	20
								W	450																	25
								X	Spec.																	25
								Y	500																	25

Obr. 1.3 Označování nožových držáků s vyměnitelnými břitovými destičkami ze SK [1]

1.2 Broušení

1.2.1 Charakteristika broušení

Broušení je jedno z nejčastěji používaných operací nejen u dokončování vnějších a vnitřních rotačních ploch, ale i rovinných a tvarových ploch. Brousit se dají jak kovové, tak i nekovové materiály.

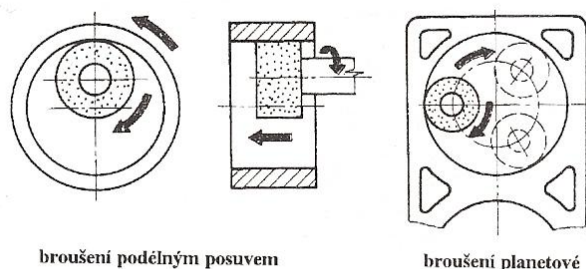
Broušení patří mezi abrazivní metody obrábění a jsou charakteristické použitím nástrojů s nedefinovanou geometrií břitu. Broušení lze charakterizovat jako obrábění mnohobřitým nástrojem - brousící kotouč vytvořeným jednotlivými zrn brusiva spojených pojivem. Zrna jsou v kotouči rozmístěna náhodně a mají náhodný tvar. Při broušení je v záběru mnoho zrn, které odebírají třísky malých průřezů. Kromě brousících kotoučů se k broušení používají brusné segmenty, kameny, pásy nebo brusná pasta, kde je brusivo volné.

U broušení vnějších rotačních ploch se používá broušení podélným způsobem, hloubkové broušení, zapichovací broušení, bezhroté broušení. U broušení vnitřních rotačních ploch se používá broušení podélným způsobem a planetové broušení.

Hlavní pohyb u broušení koná nástroj, posuv koná obrobek, přísuv buď obrobek nebo nástroj - brousící kotouč.

K hlavním znakům broušení patří:

- a) nepravidelná geometrie zrn brusiva
- b) nepravidelnost rozmístění zrn brusiva
- c) záporné úhly čel zrn brusiva
- d) samoostření
- e) malé průřezy třísek
- f) velké měrné řezné síly
- g) vysoké hodnoty řezné rychlosti, atd.



Obr. 2.1 Broušení vnitřních rotačních ploch podélným způsobem a planetové broušení [5]

1.2.2 Dosažitelné drsnosti povrchů při broušení

Tab. 2.1 Dosahované přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu při broušení ^[3]

Obráběné plochy	Metoda obrábění		Přesnost rozměrů IT	Drsnost povrchu Ra
			rozsah	rozsah
vnější rotační	Broušení	hrubovací	10	0,80 - 3,20
		dokončovací	5	0,020 - 0,60
		jemné	4	0,05 - 0,40
vnitřní rotační	Broušení	hrubovací	10	1,60 - 3,20
		dokončovací	6	0,40 - 1,60
		jemné	5	0,05 - 0,40

1.2.3 Řezné podmínky

Důležitým parametrem je velikost řezných sil, která nám ovlivňuje volbu tvrdosti kotouče. Při větších silách volíme tvrdší brusné kotouče a při menších silách měkčí brusné kotouče.

Průřez třísky při broušení je velmi malý (kolísá od 0,001 do 0,002mm^{2[3]}, to má za následek vysoké obvodové rychlosti. Obvodová rychlost kotouče je mnohem vyšší než obvodová rychlost obrobku. Proto obvodovou rychlost kotouče považujeme za řeznou rychlost. Řezná rychlost (obvodová rychlost kotouče) se volí podle způsobu broušení a podle druhu pojiva. U běžného keramického pojiva se pro vnější broušení používá řezných rychlostí 10 - 80m/s^[5], u moderních kotoučů do 100m/s^[5].

Posuvy při broušení se pohybují okolo 0,3 až 0,75 šířky brusného kotouče, délka přeběhu bývá polovina šířky brusného kotouče a přídavky se pohybují od 0,1 do 0,7 mm^[5] dle průměru kotouče a délky broušené součásti.

Výpočty pro obvodové vnější broušení do kulata radiálním nebo axiálním způsobem:

Řezná rychlost v_c vyjádří vztahem ^[3]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} [m / s] \quad [3]$$

Kde: d_s [mm] je průměr brousícího kotouče

n_s [min⁻¹] je frekvence otáčení brousícího kotouče

Řezná rychlost při běžném broušení dosahuje hodnot 30 až 35 m/s, se speciálním druhem pojiva až 80m/s, ve zvláštních případech až 180m/s.

Obvodová rychlost obrobku v_w [3] :

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{1000} [m / \text{min}] \quad [3]$$

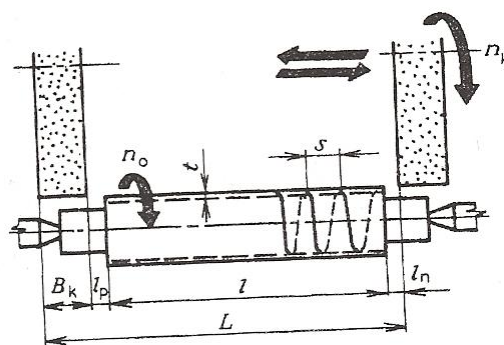
Kde: d_w [mm] je průměr obrobku
 n_w [min^{-1}] je frekvence otáčení obrobku

Strojní čas dle vztahu:

$$t_s = \frac{2 \cdot L \cdot i}{s \cdot n_0} [\text{min}] \quad [5]$$

Délka broušení dle vztahu:

$$L + l_n + l + l_p + B_k \quad [5]$$



Obr. 2.2 Broušení vnějších rotačních plochy [5]

1.2.4 Stroje

Hrotové brusky:

Využívají se k broušení rotačních ploch na obrobkách upnutých mezi hroty. Nejrozšířenější jsou univerzální hrotové brusky, pro broušení válcových ploch a pro broušení děr^[3].

Bezhruté brusky

Nepotřebují zařízení pro upínání obrobku. Jsou nejčastěji konstruovány pro vnější broušení, ale také v menším rozsahu pro vnitřní broušení rotačních ploch. Mají dva vřeteníky- brousící, na němž je brousící kotouč a vřeteník podávacího kotouče. Každý vřeteník má vlastní náhon. Podávací vřeteník lze přestavovat po vedení lože a nastavit tak požadovaný průměr broušení. Natáčením podávacího vřeteníku se nastavuje velikost posuvu obrobku při průběžném nezhrutím broušení. Bezhruté brusky se používají v sériové výrobě.

Brusky na díry

Brusky na díry jsou buď sklíčidlové, planetové nebo bezhruté. U sklíčidlové brusky se obrobek upíná do sklíčidla pracovního vřeteníku uloženého na příčných saních, to umožní nastavení obrobku na požadovaný průměr. Brousící vřetení má vlastní elektromotor a vykonává axiální posunový pohyb. Brousící vřeteník je umístěn na příčných saních a vykonává pohyb v radiálním směru..

1.2.5 Nástroje

Brousící jsou tvořeny zrnny brusiva, která jsou spojena pojivem v tuhá tělesa vhodného tvaru, tvrdosti a struktury.

Charakteristické vlastnosti kotouče:

- Zrnitost – udává velikost zrn. Hrubá zrna pro hrubování, menší zrno pro dokončování
- Tvrdost – charakterizuje soudržnost zrn brusiva s pojivem
- Struktura – vyjadřuje poměr mezi zrnny brusiva, pojivem a póry
- Pojivo – slouží k vázání jednotlivých zrn brusiva

Materiály brusných zrn:

- Karbid křemíku SiC – pro broušení Tvrdých a křehkých materiálů
- Umělý korund AL_2O_3
- Karbid boru B_4C – používán jako náhrada za diamant
- Kubický nitrid boru KNB, Borazon – podobné vlastnosti jako diamant
- Diamant – používá se přírodní i syntetické, pro broušení SK

1.3 Honování

1.3.1 Charakteristika honování

Honování je dokončovací operace vnitřních a vnějších rotačních ploch, u které dosahujeme vysokého stupně přesnosti, vysoké kvality povrchu a částečně lze honováním zlepšit geometrii tvaru obráběné plochy.

Materiál je odebírán abrazivním účinkem brusiva honovacích kamenů upevněných v honovací hlavě. Honovat můžeme díry neprůchozí i díry průchozí různých průměru od 1mm až do 750mm^[3] a různých délek až 24m. S přídatným zařízením můžeme honovat i kuželové díry.

Honováním je vlastně broušení jemným brusivem při malých řezných rychlostech. Honovací kameny, na kterých je brusivo jsou přitlačovány na obráběnou plochu silou 0,35 až 1,4 Mpa^[3]. Tyto kameny jsou uloženy v honovací hlavě. Honovací hlava může mít různý průměr, záleží na průměru obráběné díry. Podle velikosti honovací hlavy se po obvodu hlavy umísťují honovací kameny, od 3 do 12 brusných kamenů. Při obrábění konají kameny sdružený pohyb složený z rotačního pohybu s obvodovou rychlostí v_c a posuvného vratného pohybu s posuvovou rychlostí v_f , oba vykonává honovací hlava. Tento sdružený pohyb je pohybem šroubovitým. Díky šroubovitému vratnému pohybu se trajektorie brusných kamenů překrývají. Díky tomu se dosahuje lepšího Ra a lepší válcovitosti povrchu. Pro dosažení správných vlastností povrchu a tvaru je důležité správné nastavení velikosti náběhu a přeběhu honovacích kamenů. Délka přeběhu a náběhu musí být 1/4 až 1/3 délky honovacího kamene přes okraje obráběné díry. Při špatném nastavení nám vznikne díra vypouklého, soudkovitého nebo kuželovitého tvaru. Při honování nám vzniká teplo, proto je třeba chladit a odvádět třísky. K chlazení se používá emulzí.

Honováním se vyrábí hydraulické, pneumatické a brzdové válce, válce spalovacích motorů, ojnice, bubny, atd. Honovat můžeme kalené i nekalené oceli, litiny, hliníkové slitiny, neželezné kovy, slinuté karbidy, tvrdé povlaky a další.

Při honování vnějších rotačních ploch je rozdíl v tom že rotační a posuvný pohyb koná obrobek.

1.3.2 Dosažitelná drsnost povrchů při honování

Tab. 3.1 Dosahované přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu při honování^[3]

Honování	Přesnost rozměrů IT	Drsnost povrchu RA
	rozsah	rozsah
hrubovací	6 - 8	0,2 - 0,8
jemné	5 - 7	0,1 - 0,2
dokončovací	3 - 5	0,05 - 0,10

1.3.3 Řezné podmínky

Tab. 3.2 Řezné podmínky honování [3]

Materiál	Operace	Brusivo					
		KNB			AL ₂ O ₃		
		v _c [mmin ⁻¹]	v _f [mmin ⁻¹]	p _k [MPa]	v _c [m min ⁻¹]	v _f [m min ⁻¹]	p _k [MPa]
Nekalené 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 honování	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	---		

Výsledná řezná rychlost:

$$v_c = \sqrt{v_0^2 + v_a^2} \quad [8]$$

Obvodová rychlost součástky:

$$v_0 = \frac{\pi D(n_1 + n_2)}{1000} \quad [8]$$

D – průměr otvoru (mm)

n₁- otáčky honovací hlavice (min⁻¹)

n₂- otáčky součástky (min⁻¹)

Osová rychlost:

$$v_a = \frac{2z \cdot L_z}{1000} \quad [8]$$

z – je počet dvojzdvihů (min⁻¹)

L_z – délka zdvihu honovací hlavice (mm)

Délka zdvihu honovací hlavice:

$$L_z = L + l_1 + l_2 - l \quad [8]$$

L – délka otvoru (mm)

l_1 – dolní přeběh (mm)

l_2 – dolní přeběh (mm)

l – je délka kamene

Úhel křížení stop 2α se určuje ze vztahu:

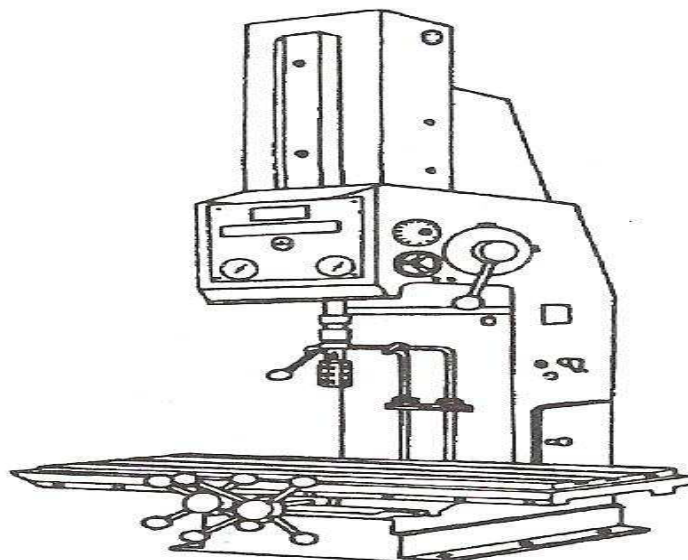
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_a}{v_0} = \frac{2z \cdot L_z}{\pi D(n_1 + n_2)} \quad [8]$$

Jeho střední hodnota je $\alpha = 45^\circ$. A tehdy má nejlepší úběr.

1.3.4 Stroje

- vrtačky – v kusové výrobě
- vertikální honovačka
- horizontální honovačka

Honovat lze ručně nebo strojově. K ručnímu honování se používá vrtaček, kde je rotační pohyb zajištěn vrtačkou a posuvný pohyb je buď ruční pohyb obrobku nebo vřetena. Na honovacích strojích dosahujeme lepších výsledků než u ručního honování. Vertikální honovačky jsou do průměru $d=400\text{mm}$ a délky $L=500\text{mm}$. Horizontální honovačky se používají pro dlouhé součástky.

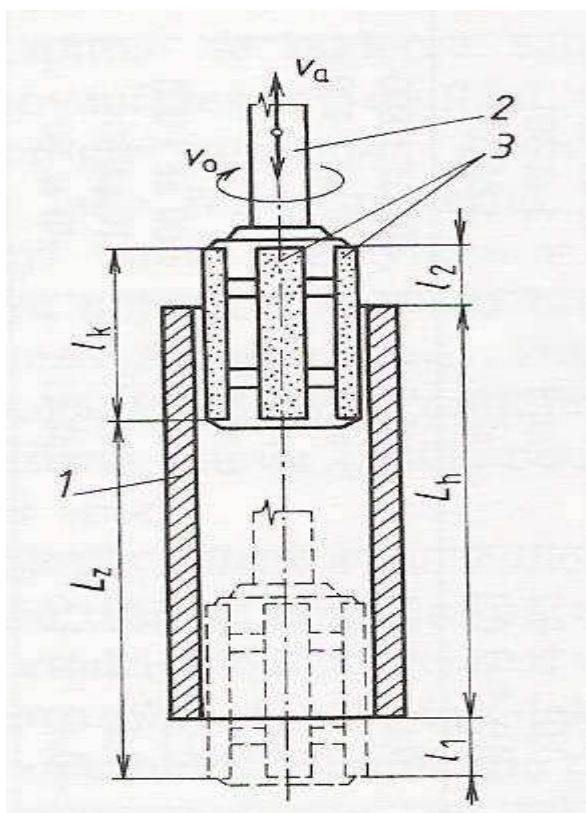


Obr 3.1 Honovací stroj [8]

1.3.5 Nástroje

Honovací hlava má sadu stavitelných honovacích kamenů. Průměr honovací hlavy je dán průměrem obráběné díry. Po obvodu může být 3 až 12 honovacích kamenů. Do průměru hlavy $D=50$ mm 2 až 3 kameny, pro $D=100$ až 300 mm je to 6 až 10 kamenů a pro $D>300$ je to 12 kamenů^[3]. Kameny jsou k povrchu honované díry tlačeny tlakem p_k [MPa]. Stavitelný mechanismus v honovací hlavě umožňuje regulovat přítláčný tlak p_k mezi kameny a honovacím povrchem.

Kameny jsou z materiálu Al_2O_3 nebo SiC. Pojivem je obvykle keramika nebo pryskyřice. Pro vysoké požadavky bývají kameny ze syntetického diamantu nebo kubického nitridu boru. Pojivo diamantových kamenů je kovové.



Obr. 3.2 Honovací nástroj a obrobek^[8]

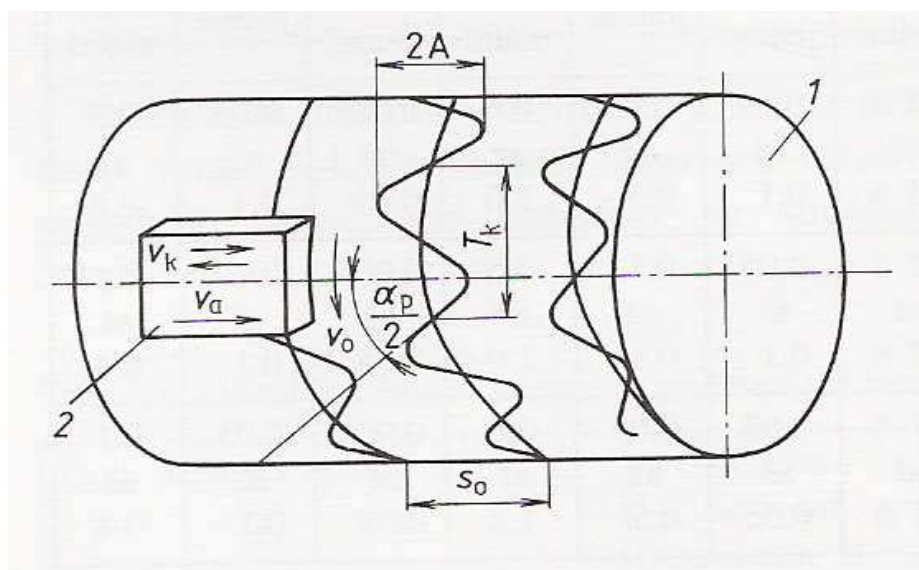
1.4 Superfinašování

1.4.1 Charakteristika superfinašování

Superfinašování je vysoce produktivní metoda dokončovacího obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch s vysokou přesností a nízkou drsností povrchu. Nejčastěji se uplatňuje při dokončování valivých ložisek a součástí v automobilovém průmyslu. Superfinašovat lze součásti z kalených i nekalených ocelí, slitin, těžkých kovů, litin a plastů.

Superfinašování je zvláštní druh broušení, při němž se z dokončovaného povrchu odřezávají vrcholky nerovností abrazivním účinkem velmi jemných zrn superfinašovacího kamenu. Superfinašování je charakterizováno malými řeznými rychlostmi a kmitavým (oscilačním) pohybem superfinašovacího nástroje, přitlačovaného silou F na obráběnou plochu. Řezný pohyb při superfinašování vzniká superpozicí rotačního pohybu součásti s obvodovou rychlostí v_c a kmitavého přímočarého posunového pohybu superfinašovacího nástroje. Ten je zpravidla kolmý na směr rotačního pohybu součásti. Superfinašovací kameny jsou na obráběnou plochu přitlačovány tlakem p_k , který během superfinašování neustále klesá tak, že kameny začnou „plavat“ na vrstvě procesní kapaliny a řezný proces se tak v určitém okamžiku automaticky zastaví, přestože pracovní pohyby neustanou. Pokud by v této fázi nedosáhl obrobený povrch požadovaných parametrů, může superfinašovací proces pokračovat, je ale nutné zvýšit přitlačnou sílu F , aby tlak p_k znovu zvýšil hodnotu, při které jsou zrna brusiva schopna odebírat třísky z obráběného materiálu.

Superfinašování obvykle předchází broušení, případně jemné soustružení nebo vyvrtávání. Výchozí parametry plochy, která má být obráběna superfinašováním, jsou rozhodující pro volbu řezných podmínek.^[3]



Obr 4.1 Pohyby superfinašování^[8]

1.4.2 Dosažitelné drsnosti povrchů při superfinišování

Superfinišováním dosahujeme povrchu s vysokou přesností a s nízkou drsností povrchu Ra.

Tab. 4.1 Dosahované přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu při superfinišování ^[3]

Superfinišování	Přesnost rozměrů IT	Drsnost povrchu Ra[μm]
	rozsah	rozsah
dokončování	3 - 5	0,05 - 0,40
jemné	2 - 4	0,025 - 0,100

1.4.3 Řezné podmínky

Charakteristické jsou malé řezné rychlosti a kmitavý pohyb superfinišovacího nástroje. Řezný pohyb superfinišování se skládá z rotačního pohybu součásti s obvodovou rychlostí $v_c = 10 - 80 \text{ m min}^{-1}$ a z kmitavého přímočarého posunového pohybu nástroje s frekvencí $\omega_k = 500 - 3000 \text{ min}^{-1}$. Amplituda zdvihu $H = 0,1 - 10 \text{ mm}$. Rychlost posunového zdvihu $v_f = H \cdot \omega_k / 1000$. v_f bývá v rozsahu $2 - 15 \text{ m min}^{-1}$. Superfinišovací kameny jsou na obráběnou plochu přitlačovány tlakem $p_k = 0,1 - 0,4 \text{ MPa}$. ^[3]

„Průběh superfinišování ovlivňuje rychlost posunového pohybu v_f obvodová rychlost v_c , velikost tlaku p_k a viskozita procesní kapaliny. Superfinišování má hrubovací a leštící fázi, pro které je důležitý poměr rychlosti kmitavého pohybu nástroje a obvodové rychlosti obrobku, který určuje úhel křížení drah zrn brusiva 2α .“

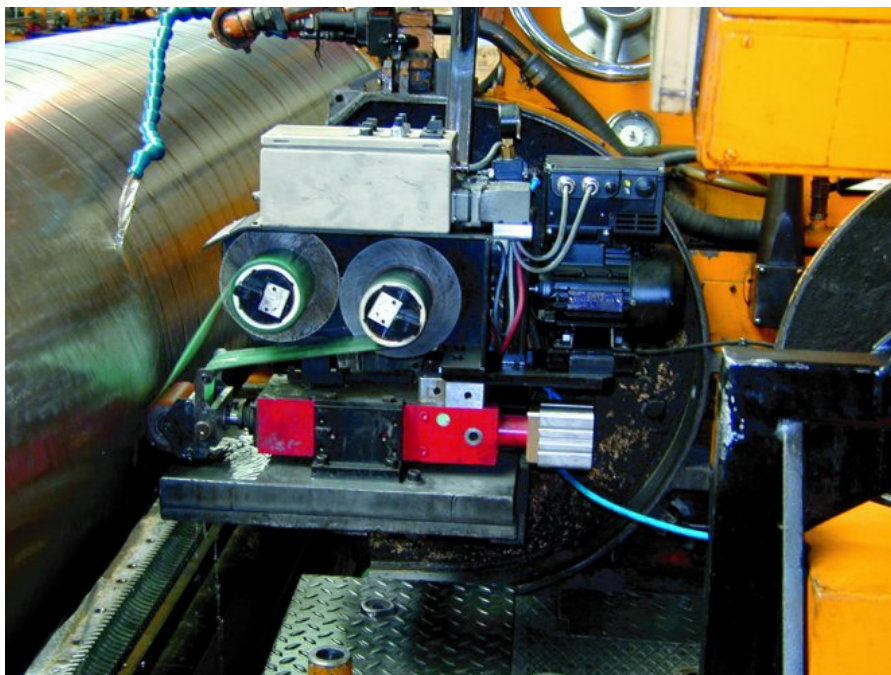
Tab. 4.2 Řezné podmínky a přídavky a přídavky pro superfinišování ^[3]

Drsnost povrchu Ra[μm]		Přídavek[μm]	Operace	Úhel křížení stop 2α [$^\circ$]	Poměr vw/vk
požadovaná	výchozí				
0,16	1,6	10 - 12	1	80 - 110	0,8 - 1,2
0,08	0,8	5 - 8	2	40 - 70	1,5 - 2,5
0,04	0,4	4 - 5	3	20 - 40	3 - 12
0,02	0,2	2 - 3	4	<20	12 - 28
1,2 - hrubovací fáze superfinišování, 3,4- jemné superfinišování					

1.4.4 Stroje

Stroje bývají jednovřetenové nebo vícevřetenové. Jsou určeny pro výrobu součástí hlavně v hromadné výrobě. V kusové výrobě se používají speciální přídavná zařízení se samostatným pohonem, které zajišťují přímočarý oscilační pohyb nástroje. Tyto zařízení se upínají na suporty hrotových soustruhů nebo na hrotové brusky.

- Souhrn:
- a) soustruh, bruska, vyvrtávačka + přídavná zařízení
 - b) speciální poloautomaty a automaty – sériová výroba



Obr. 4.2 Použití pásového finišovacího zařízení Supina 204 na velké válcové brusce^[12]

1.4.5 Nástroje

Superfinišovací kameny jsou vyráběny:

- a) Al_2O_3 - obrábění ocelí
- b) SiC - obrábění litin a ocelí nižších pevností, korozivzdorných ocelí, neželezných kovů a slitin
- c) Kubický nitrid boru – vysoce legované oceli
- d) Syntetický diamant – obrábění SK

Kameny bývají v superfinišovacích hlavách upevňovány mechanicky nebo jsou nalepeny na ocelové podložky.

1.5 Lapování

1.5.1 Charakteristika Lapování

Lapování je dokončovací metoda obrábění, kterou se dosahuje nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti povrchu obrobené plochy. Používá se pro dokončování vnějších i vnitřních rovinných ploch, válcových ploch a tvarových ploch. Lapují se funkční plochy měřidel (např. koncové měřky, kalibry), důležitá závitová spojení, ozubení, součásti motorů automobilů apod. Lapováním lze dokončovat měkké i Tvrdé materiály, ručně v kusové výrobě (s použitím lapovacích past) nebo strojně v sériové výrobě a hromadné výrobě. ^[3]

Lapování je zvláštní druh velmi jemného broušení, při němž k úběru materiálu dochází volným brusivem, které se přivádí mezi vzájemně se pohybující lapovací nástroj a obrobek. ^[3]

Lapování můžeme rozdělit na hrubovací lapování, jemné lapování a velmi jemné lapování. „Při hrubovacím lapování dochází k odřezávání nerovností a výstupků obráběného povrchu velkým počtem zrn brusiva. Při velmi jemném lapování dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy lapované plochy.

Nevýhodou lapování je náročnost, dlouhá doba lapovacího cyklu, velká pracnost, vysoké náklady na jednotku plochy v porovnání s ostatními dokončovacími metodami a nutnost očištění (např. petrolejem) obrobku po lapování.

1.5.2 Dosažitelné drsnosti povrchů lapování

Lapováním dosahujeme nejlepších rozměrových přesností a nejnižších drsností povrchů, ale za cenu dlouhého pracovního času a vysoké ceny.

Tab. 5.1 Dosahované přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu při lapování ^[3]

Lapování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra[μ 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

1.5.3 Řezné podmínky

Řezné podmínky lapování, jako je přídavek, přitlačný tlak a řezná rychlost je v příložené tabulce.

Tab. 5.2 Řezné podmínky a přídavky lapování ^[3]

Typ plochy a lapovaný materiál	Operace	Brusivo		Přídavek	Tlak	Řezná rychlost
		Druh	Zrnitost	[μm]	$p_k[\text{Mpa}]$	$v_c[\text{m min}^{-1}]$
Rovinné plochy, kalené oceli	1	Al_2O_3	25	30 - 60	0,13 - 0,15	30 - 60
	2		8	10 - 15	0,12 - 0,12	15 - 30
	3		4	5 - 7	0,10 - 0,12	10 - 15
			3	1 - 3	0,08 - 0,10	7 - 10
Vnější válcové plochy, bronz	1	Cr_2O_3	40	20 - 30	0,02 - 0,03	20 - 30
	2		8	10 - 15	0,010 - 0,015	10 - 15
	3		4	3 - 5	0,010 - 0,015	

1-hrubovací lapování ,2 -jemné lapování, 3 - velmi jemné lapování

1.5.4 Stroje

Existují buď lapovací stroje univerzální, na kterých se dají lapovat jak rovinné, tak i válcové plochy nebo speciální lapovací stroje pro lapování určitého druhu ploch - boky zubů kol, čepy klikových hřídelí, valivá tělíska valivých ložisek apod.

Pro lapování vnějších válcových ploch a rovinných ploch se používají dvoukotoučové lapovací stroje se svislými osami lapovacích kotoučů. U typického představitele těchto strojů jsou otáčky obou kotoučů různé. Hnací kotouč je výkyvný, takže jeho funkční plocha se může ustavit do roviny rovnoběžné s plochou dolního kotouče. Mezi oběma kotouči jsou vloženy unášecí desky s otvory přizpůsobenými tvaru lapovaných součástí. Unášecí desky jsou poháněny, aby se lapované součásti pohybovaly po takových drahách, které pokrývají celý povrch lapovacího kotouče, kvůli rovnoměrnému opotřebením kotouče. Pro lapování děr se používají stroje se svislým pracovním vřetenem, pro dlouhé otvory stroje s pracovním vřetenem vodorovným. ^[3]



Obr 5.1 Lapovací stroj AC 530 [7]



Obr 5.2 Lapovací stroj MDF 750 S [10]

1.5.5 Nástroje

Lapovací nástroje mají negativní tvar lapovaných ploch, nosným médiem pro brusivo je buď kapalina (nejčastěji petrolej s přísadou oleje a 3 - 5% oleinu) nebo pasta. Vyrábějí se z jemnozrnné perlitické nebo feritické litiny, z mědi, měkké oceli, olova, plastických hmot apod. Pro velmi jemné lapování se používají také nástroje z kalené oceli nebo tvrdě chromované nástroje. Při ručním lapování se používají lapovací trny pro lapování děr a lapovací prstence pro lapování vnějších válcových ploch.

Pro vnější rotační plochy se používá bezhrotý zapichovací nebo průběžný způsob, kdy nástrojem je kotouč s brusivem v keramické vazbě.^[3]

Tab. 5.2 Brusiva pro lapování^[3]

Lapovaný materiál	Brusivo
Oceli	umělý korund - Al_2O_3
Litiny, keramika, sklo	karbid křemíku - SiC
Zvlášť tvrdé materiály (SK, RO)	Karbid boru - B_4C , kubický nitrid boru, diamant
Měkké materiály	oxid železitý - Fe_2O_3 oxid chromitý - Cr_2O_3 vídeňské vápni - $CaMgCO_3$ Dydroxid železitý - $Fe(OH)_3$

Tab. 5.3 Složení lapovacích past^[3]

Druh brusiva		Al_2O_3		SiC	Cr_2O_3		
Zrnitost		1200 - 70	150 - 36	180 - 150	36	100	220
Obsah složek [%]	brusivo	70	50 - 70	60	81	76	74
	kyselina olejová	20	20 - 27				
	kyselina stearová	8	8 - 17		10		
	tuhá kyselina křemičitá				2		1,8
	zmýdelněný tuk			38	5		10
	bikarbonát sodný						0,2
	petrolej	2	2 - 6		2		

1.6 Vrtání

1.6.1 Charakteristika vrtání

Vrtání je jedna z nejpoužívanějších metod výroby vnitřních rotačních ploch, tj. děr. Vrtáním se zhotovují díry z plného materiálu, nebo se zvětšují díry předvrtané, předlité, předlisované, předkované, atd.

Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho obvykle nástroj – vrták, méně často obrobek. Osa vrtáku je zpravidla kolmá k obráběné ploše, na které vrták vstupuje do obráběného materiálu. Vedlejší, posunový pohyb koná vrták, a to ve směru své osy. Zvláštností vrtání i dalších, tzv. osových operací (mezi něž patří i vyhrubování, vystružování apod.), je to, že řezná rychlost je na obvodě nástroje nejvyšší a směrem k ose nástroje klesá k nule. Z toho plynou některé technologické problémy. Například příčný břit v ose vrtáku vzhledem k nepříznivé geometrii v podstatě neodebírá třísku, ale materiál jen plasticky deformuje.

Vrtáním obvykle nedosahujeme vysoké geometrické přesnosti a požadované drsnosti povrchu, proto vrtání často nebývá konečnou metodou výroby vnitřních rotačních ploch. Může po něm následovat např. vyhrubování a vystružování.

Podle technologie vrtání, druhu, konstrukce a geometrie použitého vrtáku lze vrtání rozdělit na:

- Navrtávání začátku díry středícím vrtákem do plného materiálu
- Vrtání krátkých děr (poměr $D/L=1/5 - 1/10$, kde D je průměr díry, L je délka díry) do plného materiálu; používají se vrtáky šroubovitě, kopinaté, s vyměnitelnými špičkami a s vyměnitelnými břitovými destičkami,
- Vrtání krátkých děr do předpracovaných děr; používají se stejné vrtáky jako v předchozím případě, výjimečně i vrtáky dělové a hlavňové
- Vrtání hlubokých děr (poměr $D/L > 1/10$) do plného materiálu nebo předpracovaných děr; používají se vrtáky dělové hlavňové, ejektorové, BTA, STS, u děr malých průměrů i vrtáky šroubovitě,
- Vrtání průchozích děr, zejména větších průměrů, „na jádro“, tj. odřezáváním obráběného materiálu ve tvaru mezikruží jednobřitým nebo vícebřitým korunkovým (trepanačním) vrtákem
- Speciální případy vrtání, např. vrtání děr v plechu, vrtání odstupňovaných děr, vrtání díry se současným vystružováním, závitováním, zahlubováním nebo hlazením
- Vrtání děr v těžkoobrobitelných kompozitních a nekovových materiálech (plastické hmoty, pryže, beton, kámen, cihly) pomocí vrtáků se speciální konstrukcí nebo geometrií ^[6]

1.6.2 Dosažitelné drsnosti povrchů při vrtání

Drsnost a dosahovaná přesnost je závislá na typu použitého nástroje. Požadujeme-li větší přesnost a lepší drsnost díry, musí se vyhrubovat, případně vystružovat.

Tab. 6.1 Dosahované přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu při vrtání^[2]

Nástroj	Přesnost rozměrů IT	Drsnost obrobeného povrchu Ra[μ m]
šroubovitý vrták	11 - 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 - 10	3,2 - 12,5

1.6.3 Řezné podmínky

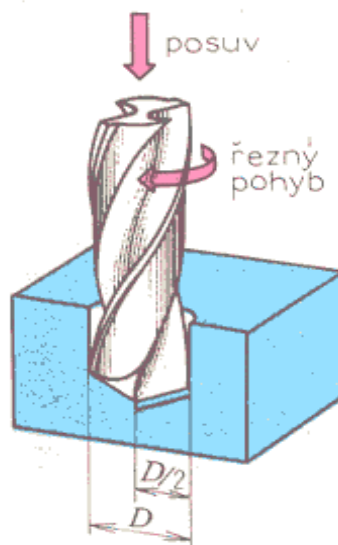
Hlavní řezný pohyb vykonává nástroj, jde o pohyb rotační, vedlejší pohyb přímočarý ve směru osy otáčení vykonává rovněž nástroj.

Řezná rychlost je u vrtacích nástrojů na obvodě, směrem ke středu nástroje se zmenšuje, až na špičce nástroje je obvodová rychlost nulová. Řeznou rychlostí je obvodová rychlost na největším průměru vrtáku.

Řezné podmínky se pohybují při vrtání v širokém rozsahu v závislosti na druhu nástroje. Řezné rychlosti jsou oproti soustružení a frézování nižší vzhledem k nepříznivým podmínkám, za kterých vrták pracuje. Břit je značně tepelně namáhán a odvod tepla z místa řezu v díře je špatný. Proto se při vrtání používá chlazení chladicí kapalinou, obvykle emulzí. Při vrtání hlubokých děr se používá speciálních olejů.^[6]

Tab. 6.2 Dosahované přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu při vrtání^[2]

Obráběný materiál	Třída obrobitelnosti	Materiál nástroje	šroubovité vrtáky		dělové vrtáky		vrtáky s VBD	
			v (m/min)	f _o (mm/ot)	v (m/min)	f _o (mm/ot)	v (m/min)	f _o (mm/ot)
ocel 500 800MPa	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	200 - 300	0,04 - 0,1
ocel 800 1000MPa	11 - 12b	RO	10 - 20	0,1 - 0,3	15 - 25	0,05 - 0,3		
		SK	40 - 60	0,05 - 0,1	60 - 100	0,07 - 0,5	170 - 250	0,06 - 0,2
šedá lit 200HB	11a	RO	10 - 25	0,1 - 0,8				
		SK	40 - 100	0,1 - 0,5			210 - 280	0,1 - 0,2
slitiny Cu 90HB		RO	40 - 70	0,12 - 0,4				
		SK	80 - 100	0,08 - 0,3			250 - 350	0,05 - 0,2
slitiny Al 100HB		RO	120 - 200	0,15 - 0,5				
		SK	200 - 300	0,15 - 0,4			250 - 400	0,05 - 0,2

Obr 6.1 Hlavní a vedlejší pohyb vrtání^[6]

Řezná rychlost:

$$v = \pi \cdot D \cdot n / 1000 (m / \text{min}) \quad [6]$$

Kde: D je max. průměr vrtáku [mm]
n otáčky nástroje [min^{-1}]

Jmenovitý průřez třísky, odebíraný jedním břitem šroubovitého vrtáku je vyjádřen vztahem:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2} [mm^2] \quad [6]$$

Kde: b_D [mm] je jmenovitá šířka třísky
 h_D [mm] je jmenovitá tloušťka třísky
 a_p [mm] je šířka záběru ostří
 f [mm] je posuv na otáčku

Pro vrtání do plného materiálu je šířka záběru ostří $a_p = D/2$, pro vrtání do předpracované díry $a_p = (D-d)/2$. Pak je rovnice pro výpočet průřezu třísky, odebírané jedním břitem nástroje při vrtání do plného materiálu ve tvaru:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4} [mm^2] \quad [2]$$

Při vrtání do předpracované díry ve tvaru:

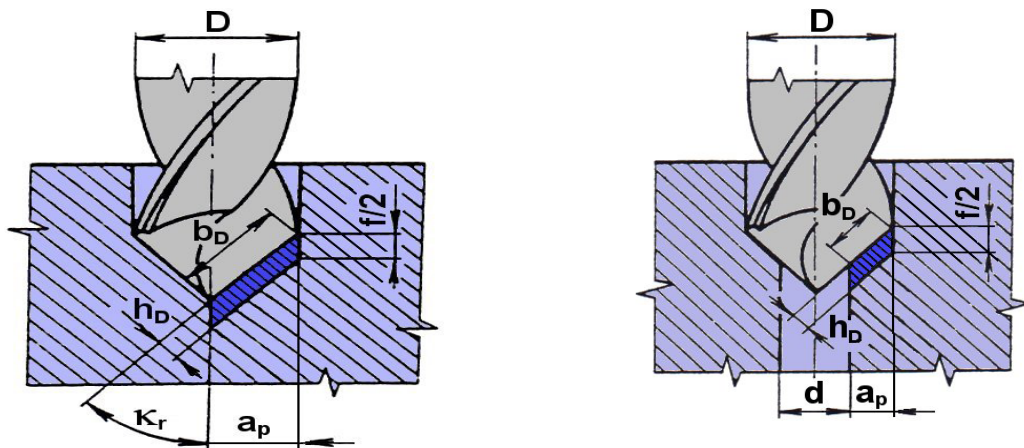
$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{4} [mm^2] \quad [2]$$

Při vrtní dvoubřítým nástrojem do plného materiálu ve tvaru:

$$A_D = \frac{D \cdot f}{2} [\text{mm}^2] \quad [2]$$

Při vrtní do předpracované díry ve tvaru:

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{2} [\text{mm}^2] \quad [2]$$



Obr 6.2 Průřez třísky při vrtní dvoubřítým vrtákem do plného materiálu a do předvrtané díry ^[2]

Výpočet síly, výkonu a strojního času:

Kroučící moment:

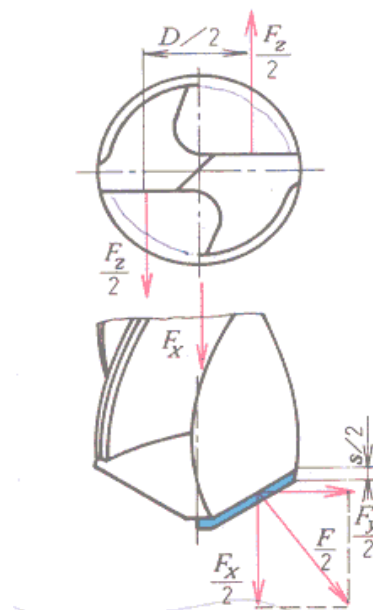
$$M_k = \frac{F_z}{2} \cdot \frac{D}{2} = \frac{F_z \cdot D}{4} \quad [6]$$

$$\frac{F_z}{2} = S \cdot p = \frac{f \cdot D \cdot p}{4} \quad [6]$$

$$S = \frac{f \cdot D}{4} \quad [6]$$

$$M_k = \frac{p \cdot f \cdot D}{4} \cdot \frac{D}{2} = \frac{p \cdot f \cdot D^2}{8} \quad [6]$$

Kde: p - řezný odpor
f - posuv na otáčku



Obr. 165. Řezné síly při vrtání

Obr 6.3 Řezné síly při vrtání ^[6]

Výkon:

$$P_h = 2 \cdot \pi \cdot M_k \cdot n \quad [6]$$

Příkon elektromotoru:

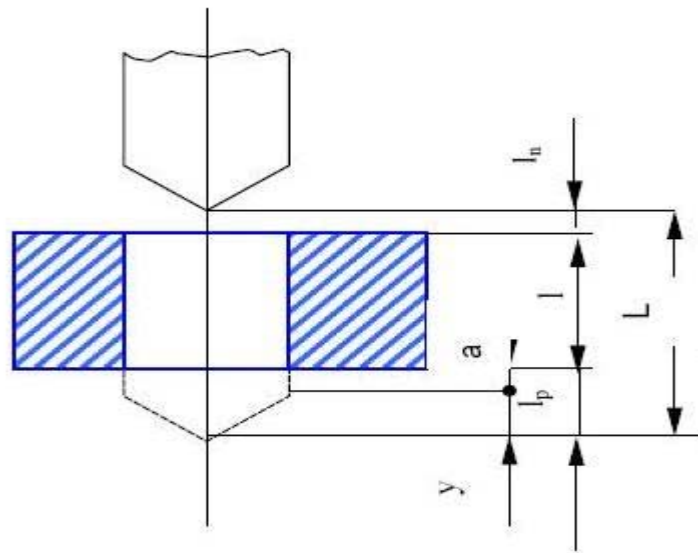
$$P_e = \frac{P_{už}}{\eta} \quad [6]$$

η se pohybuje okolo $\eta=0,7$

Výpočet strojního času:

$$t_{as} = \frac{L}{n \cdot f_o} (\text{min}) \quad [6]$$

$$L = l_n + l + l_p (\text{mm}) \quad [6]$$



Obr. 6.4 Výpočet délky vrtání [6]

$l_n = 1$ až 3 mm

$l_p = a + y$

$a = 1$ až 2 mm

$y = 0,3 \cdot D$

1.6.4 Stroje

Vrtání, stejně jako vyhrubování a vystružování se provádí na vrtačkách. Je možné tyto metody realizovat i na soustruzích, vodorovných vyvrtávačkách a obráběcích centrech.

Vrtačky se dělí na:

- Ruční
- Stolní
- Sloupové
- Stojanové
- Otočné
- Vodorovné na hluboké díry
- Speciální

Ruční vrtačky jsou velmi jednoduché a jsou přenosné a používají se všude tam, kde není možno použít jiné vrtačky, používají se při montážních pracech, v domácnostech, pro vrtání ve všech polohách různých materiálů. Mohou být upínány do stojanu.

Stolní vrtačky mají jednoduchou konstrukci. Má krátký sloup, po kterém jezdí vřeteník s motorem. Otáčky vřetena se mění pomocí stupňovité řemenice s klínovým řemenem. Stolní vrtačky se vyrábí v různých velikostech a jako jednovřetenové nebo řadové.

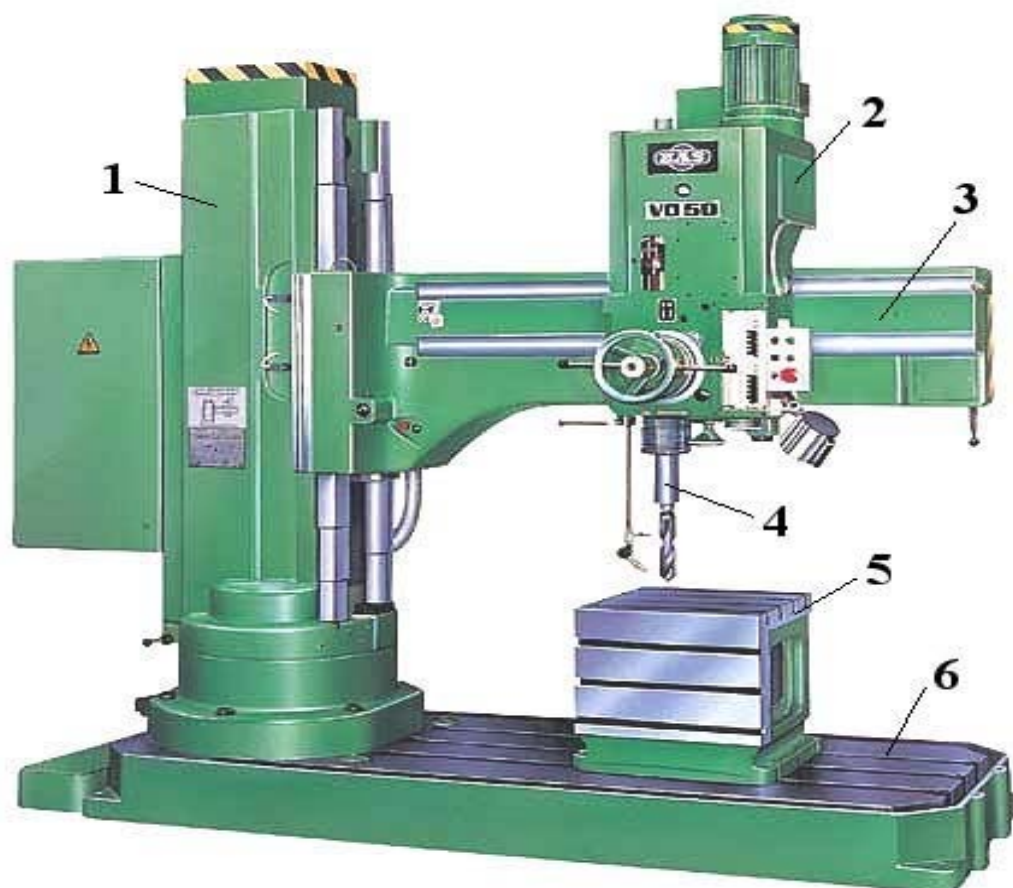
Sloupové vrtačky umožňují vertikální posuv vřeteníku i pracovního stolu po sloupu, který je jejím základním konstrukčním prvkem. Otáčky vřetena lze stupňovitě regulovat pomocí vestavěné převodovky, posuv vřetena je mechanický.

Stojanové vrtačky se od sloupových vrtaček liší tím, že pracovní stůl i vřeteník se výškově přesouvají po vedení stojanu, který má skříňovitý průřez.

Otočné vrtačky se používají pro vrtání děr do těžších a rozměrnějších obrobků. Jejich charakteristickou součástí je rameno, na němž se po vedení pohybuje ve vodorovném směru pracovní vřeteník. Rameno se u většiny otočných vrtaček pohybuje svisle a po vedení stojanu skříňovitého průřezu, který je otočně uložen na vnitřním sloupu.“ Mezi otočné vrtačky můžeme zařadit vrtačky montážní, které jsou přenosné a používají se v montážních dílnách. Rameno montážních vrtaček je možné otáčet o 360° a tak umožňuje provádět vrtací operace ve velkém prostoru kolem vrtačky.

Speciální vrtačky se používají na speciální vrtací operace. Patří mezi ně vrtačky na hluboké díry, vícevřetenové vrtačky, stavebnicové vrtačky s vrtacími hlavami, atd.

Obr 6.5 Ruční vrtačka ^[9]Obr 6.6 Stolní vrtačka ^[9]Obr 6.7 Sloupová vrtačka ^[9]



Obr 6.8 Otočná vrtačka 1-Stojan, 2-Vřeteník, 3-Rameno, 4-Vřeteno, 5-Upínací kostka, 6-Základová deska ^[2]

1.6.5 Nástroje

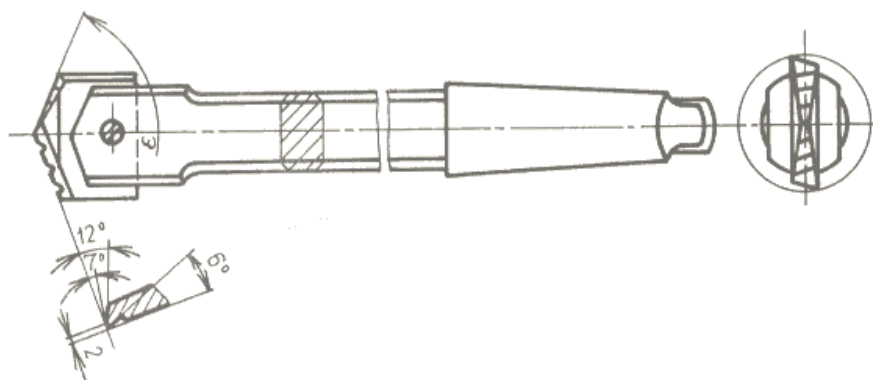
Vrtáků existuje mnoho druhů. Vrtáky rozdělujeme do několika hlavních skupin, z nichž některé jsou např.:

- a) Kopinaté
- b) Šroubovité
- c) Dělové (hlavňové)
- d) Vrtací hlavy
- e) Vrtáky s VBD

a) Kopinaté vrtáky

Nejjednodušší druh vrtacích nástrojů. Řezná část je tvořena dvěma hlavními břity a příčným ostřím. Obě hlavní ostří svírají navzájem úhel $\epsilon = 2K_r$, čím je tvrdší vrtaný materiál, tím se volí tento úhel větší (90 až 146°)^[6]. Řezná část je z vyměnitelné břítové destičky z RO nebo SK. Jejich nevýhodou je špatný odvod třísek a lze je zlepšit přívodem dostatečného množství chladicí kapaliny, která třísky odplavuje.

Kopinaté vrtáky se často používají u CNC strojů pro vrtání krátkých děr větších průměrů.



Obr. 6.9 Kopinatý vrták ^[6]

b) Šroubovité vrtáky

Jsou to nejčastěji dvoubřité nástroje se šroubovicí pro odvod třísek a přívod chladicí kapaliny. Tělo vrtáku je kuželové, aby se snížilo tření. Průměr jádra se směrem ke stopce rovnoměrně zvětšuje, čímž se zvyšuje tuhost vrtáku. Šroubovitým vrtáky se vrtají kratší díry do poměru $l/D=10$, dlouhé díry o poměru $l/D > 10$ vrtáme speciálními vrtáky.

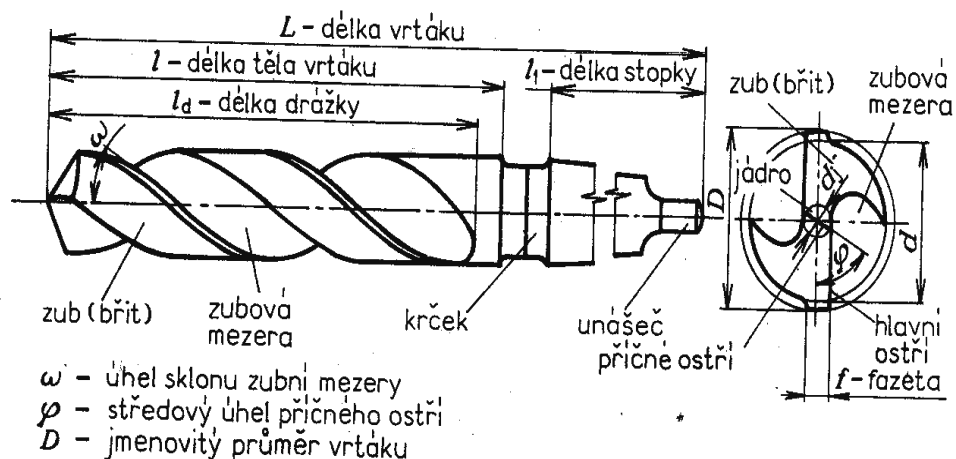
Vedení vrtáku a snížení tření zajišťuje tzv. fazetka. Fazetka je úzká válcová ploška na vedlejších ostřích. Vrták má dvě hlavní ostří položená symetricky k ose vrtáku, která jsou na hrotu vrtáku spojena příčným ostřím.

Šroubovité vrtáky se rozdělují podle:

- Tvaru stopky: s válcovou nebo kuželovou stopkou – Morse
- Směru otáčení: pravořezné, levořezné
- Délky: krátké a dlouhé

Vrtáky se nejčastěji vyrábějí z vysocevýkonných RO, vrtáky ze SK pro obrábění litin. Menší průměry vrtáků ze SK jsou celistvé, ale většinou se jedná jen o větší připájenou destičku ze SK.

Zvýšení řezivosti vrtáku lze docílit povlakem s vysokou tvrdostí a otěruvzdorností např. nitridu titanu (TiN).



Obr 6.10 Šroubovitý vrták [6]

c) Dělové vrtáky

Jsou určeny pro vrtání hlubokých děr o délce několika desítek až stovek průměrů vrtáku, aniž by došlo k vybočení vrtáku. Při vrtání je nutné chladit a odvádět třísky. Dělový vrták koná obvykle jen posuvný pohyb, otáčivý pohyb koná obrobek.

Dělové vrtáky mají na obvodu vodící lišty. Řezná část je z RO nebo SK. Vnitřkem vrtáku je chladicí kapalina pod tlakem 2 až 4 MPa^[6], která vyplavuje třísky.

d) Vrtací hlavy

Obvykle se používají pro vrtání děr velkého průměru, ale lze jimi vrtat díry od průměru 20mm. Jsou osazeny pájenými nebo mechanicky upínanými břitovými destičkami. Chladicí kapalina se přivádí prostorem mezi vrtákem a dírou (metoda BTA) nebo mezi vnějším pláštěm vrtací tyče a vnitřní trubkou, kterou se odvádí třísky (ejektorová metoda).

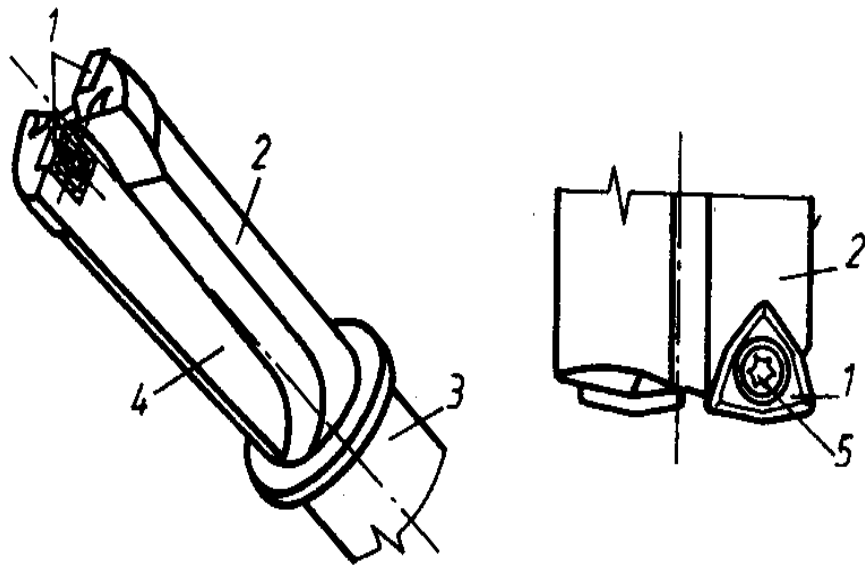
e) Vrtáky s VBD

Jsou vysoce výkonné nástroje. Držák je vyroben z konstrukční oceli vyšší pevnosti, řeznou část tvoří dvě nebo více mechanicky upínané vyměnitelné břitové destičky, nejčastěji povlakované SK.

K zajištění odvodu třísek se používají destičky s dírou, upnuté šroubem. V tělese držáku jsou vyfrézovány dvě drážky k odvodu třísek.

Vrtáky s VBD se používají pro vrtání děr doplna od průměru 12 do 100mm^[6].

Díky vysokým rezným rychlostem je výkon vrtáků s VBD 5 až 10 krát vyšší než u šroubových vrtáků z RO.



Obr 6.11 Vrták s vyměnitelnou břitovou destičkou^[6]

1.7 Vyhrubování a vystružování

1.7.1 Charakteristika vyhrubování a vystružování

Po operaci vrtání obvykle následují operace vyhrubování a vystružování, protože vyvrtaná díra má obvykle špatné geometrické tolerance a vysokou drsnost obrobeného povrchu. Proto následují operace vyhrubování a vystružování, které mají tyto vlastnosti vylepšit. Vyhrubování není nikdy konečnou operací, vždy následuje vystružování (do průměru 10 mm je pouze vystružuje). Úkolem vyhrubování je zpřesnění geometrických parametrů obráběné díry, úkolem vystružování je komplexní výroba přesné díry s požadovanými geometrickými parametry a drsností obrobené plochy.

Vyhrubování by se dalo charakterizovat jako obrábění vícebřítým nástrojem, obvykle 4 až 5 břitým. Vystružování by se dalo charakterizovat jako obrábění mnohabřítým nástrojem.

1.7.2 Dosažitelné drsnosti povrchů při vyhrubování a vystružování

Tab. 7.1 Dosažované přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu při vyhrubování a vystružování ^[6]

Operace	Přesnost rozměrů IT	Drsnost povrchu Ra
vyhrubování	10 - 12	3,2 - 12,5
vystružování strojní	6 - 8	0,4 - 1,6
vystružování ruční	7 - 9	0,4 - 1,6
vystruž. jednobřítým výstružníkem ze SK	5 - 6	0,15 - 0,2

1.7.3 Řezné podmínky

Přídavek na vystružování nesmí být příliš malý, protože nástroj by v tomto případě obráběný materiál neodřezával, ale pouze vytlačoval a vytvořená díra by neměla požadovaný tvar ani požadovanou drsnost povrchu. Velikost přídavku závisí na průměru obráběné díry a bývá většinou okolo 0,1 až 0,4 mm ^[6]. Při vystružování je nutné použít chladicí kapalinu, kvůli odvodu třísek, které by mohly poškodit obráběný povrch.

Tab. 7.2 Řezné podmínky a přídavky vyhrubování a vystružování ^[11]

Obráběný materiál		v_c [m/min]	f_o [mm]
Šedá litina	vyhrubování	6 až 10	0,2 až 0,7
	vystružování	10 až 30	0,1 až 1
Ocel Rm=600 Mpa	vyhrubování	15 až 18	0,2 až 0,7
	vystružování	7 až 15	0,1 až 0,8
Ocel Rm=1000 Mpa	vyhrubování	6 až 8	0,2 až 0,7
	vystružování	2 až 6	0,2 až 6
Al slitiny	vyhrubování	30 až 50	0,5 až 2
	vystružování	30 až 60	0,5 až 2

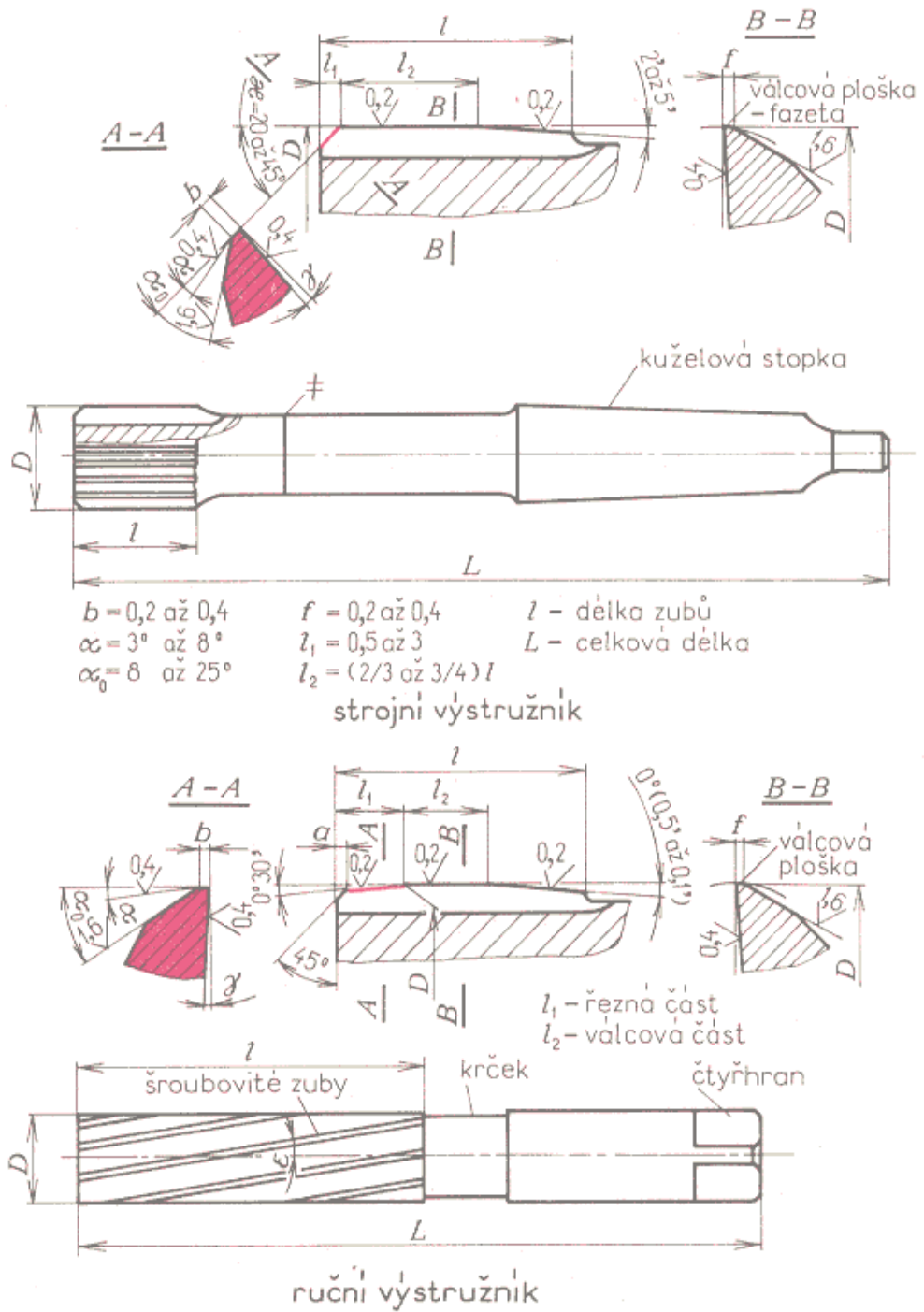
1.7.4 Stroje

Stroje pro vyhrubování a vystružování jsou stejné jako u vrtání. Pomocí stopek je také možné upnout do vyvrtávacích a frézovacích centrech.

1.7.5 Nástroje

Výhrubníky jsou čtyř nebo pětibřité nástroje, vyráběné buď jako stopkové (do průměru $D=32\text{mm}$) s kuželovou stopkou nebo jako nástrčné (od průměru $D=24\text{mm}$). Tělo výhrubníku bývá z kvalitní konstrukční oceli. Řezná část je vyrobena buď z RO nebo z břitových destiček SK. Pracovní část se skládá z řezného kužele a válcové části.

Výstružníky jsou mnohobřité nástroje s přímými zuby nebo zuby ve šroubovici, s úhlem stoupání $\omega=5$ až 20° ^[6]. Výstružníky mají stejnou pracovní část jako výhrubníky (řezný kužel a válcová část). Břity výstružníků se lapují, aby měly poloměr zaoblení menší než $r_n=10\mu\text{m}$ ^[6]. Výstružníky můžeme rozdělit na ruční a strojní podle způsobu práce a na stopkové a nástrčné podle způsobu upínání.



Obr 7.1 Strojní a ruční výstružník [6]

2 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH METOD

Tab. 2.2.1. Tabulka porovnání jednotlivých metod z hlediska přesnosti rozměrů a dosažené drsnosti povrchu ^{[1][2][3][6]}

Metoda		Přesnost rozměrů IT	Drsnost povrchu Ra
		rozsah	rozsah
Soustružení	hrubovací	12	6,3 - 12,5
	dokončovací	5	1,6 - 6,3
Broušení	vnější broušení	hrubovací	10
		dokončovací	5
		jemné	4
	vnitřní broušení	hrubovací	10
		dokončovací	6
		jemné	5
Honování	hrubovací	6 - 8	
	jemné	5 - 7	
	dokončovací	3 - 5	
Superfinašování	dokončovací	3 - 5	
	jemné	2 - 4	
Vrtání	šroubovový vrták	11 - 13	
	šroub.vrták s vodícím pouzdem	10	
	kopinatý vrták	10	
	dělový vrták	8	
	vrták s VBD	8 - 10	
Vystružování	vyhrubování	10 - 12	
	vystružování strojní	6 - 8	
	vystružování ruční	7 - 9	
	vystruž. jednobřitým výstružníkem ze SK	5 - 6	

ZÁVĚR

V bakalářské zabývající se problematikou výroby vnějších a vnitřních rotačních ploch jsem si podle dostupných materiálů prostudoval jednotlivé technologie výroby a snažil se je seřadit do přehledných celků.

V první kapitole jsem jednotlivé metody rozdělil do odstavců, kde jsem každou technologii obrábění charakterizoval, sepsal jakých přesností a drsností povrchů je tou možné dosáhnout, vypsals jaké jsou řezné podmínky dané metody a vypsals používané stroje a nástroje pro danou metodu.

V druhé kapitole bylo cílem porovnat jednotlivé metody výroby z hlediska přesnosti rozměrů a dosahované drsnosti povrchu. Dle poznatků z předchozí kapitoly jsem sestavil přehlednou tabulku dosahovaných přesností rozměrů IT a dosahovaných drsností povrchů Ra. Podle tabulky poznáme, že nejlepší drsností povrchů dosáhneme při použití metody jemného broušení a superfinišování při stupni přesnosti IT5.

Dle mého názoru nejpoužívanějšími metodami jsou soustružení, broušení, vrtání, vyhrubování a vystružování. Metody honování, superfinišování a lapování se používají pro přesné dokončování rotačních ploch, často je ale zapotřebí speciálních strojů a nástrojů, které by se nemusely v kusové výrobě cenově nebo časově vyplatit. I proto se obvyklé technologie dále vyvíjí a dosahované přesnosti a drsnosti např. při soustružení se pomalu blíží metodám určeným pouze k dokončování. Nevvíjí se jen technologie ale i řezné materiály a stroje.

Obrábění rotačních ploch je neodmyslitelnou součástí strojírenské výroby. Je uplatňováno snad ve všech směrech strojírenství. Proto se dané technologie výroby stále vyvíjí, kvůli snížení strojních časů, zlepšení vlastností obrobků, drsností povrchů atd.

Osobně si myslím, že technologie obrábění vnějších a vnitřních rotačních tvarových ploch mají i do budoucna co nabídnout z hlediska vylepšení technologii nebo zcela nových technologií.

Vývoj lze očekávat jak v oblasti pořízení nových strojů, technologií (zlepšení tuhosti strojů, použití nových druhů upínacích přípravků), tak především v oblasti používaných nástrojů k obrábění (nové druhy materiálů, povlaků).

Tím je možné dosáhnout kratších výrobních časů, při dosažení kvalitnějších povrchů obrobků. např. při použití nových druhů keramických destiček na soustružení, můžeme použít tak vysokých otáček a řezných rychlostí, že dosáhneme Ra povrchu jako při broušení.

Dochází tak ke sloučení dvou operací do jedné a tím nemalé časové a finanční úspore.

Jednou z dalších mnoha možností nových trendů při obrábění rotačních ploch, lze pozorovat při uplatnění velkých soustružnicko-frézovacích center. Na těchto, je možné provádět operace soustružení, frézování, vrtání a broušení na jedno upnutí obrobku, při dosažení požadované kvality,

přesnosti a drsnosti povrchu. Tady je časový a ekonomický efekt ještě markantnější, oproti klasickým formám obrábění.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Doc. Ing. Anton Humár, Csc. TECHNOLOGIE I, Technologie obrábění – 1.část, Studijní opory pro magisterskou formu studia
2. Doc. Ing. Anton Humár, Csc. TECHNOLOGIE I, Technologie obrábění – 2.část, Studijní opory pro magisterskou formu studia
3. Doc. Ing. Anton Humár, Csc. TECHNOLOGIE I, Technologie obrábění – 3.část, Studijní opory pro magisterskou formu studia
4. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění – kniha pro praktiky. Přeložil M.Kudela. 1.vyd.Praha: Scientia s.r.o.,1997. 857 s Přel. Z: Modern metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91 – 972299-4-6.
5. Maturitní témata ze strojírenské technologie, Střední průmyslová škola Zlín, tř. Tomáše Bati 4187 Zlín
6. Vrtání, vyhrubování, vystružování, zahlubování
Dostupné z < <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep22.pdf>>
7. Lapping machine
Dostupné z < <http://www.directindustry.com/prod/peter-wolters/lapping-machine-24664-60460.html>>
8. Dokončovací metody obrábění
Dostupné z < jirijosifko.blog.cz/1002/dokoncovacicimetyobrabeni>
9. Vrtání a jeho následné operace
Dostupné z < <http://www.modding.cz/?p=53>>
10. Machines, Systéme and Technologies for critical surfaces
Dostupné z < <http://www.somos.fr/>>
11. KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění.Brno: Akademické vydavatelství CERM,s.r.o., 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2
12. <http://www.mmspektrum.com>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/symbol	Jednotka	Popis
Ra	μm	Drsnost povrchu
IT		Stupeň přesnosti
v, v_c	mmin^{-1}	Řezná rychlost
D	mm	Obráběný průměr
n	min^{-1}	Otáčky obrobku
F	N	Síly
S_t, A_d	mm^2	Průřez třísky
t	mm	Hloubka třísky
p	MPa	Řezný odpor, tlak
P	W	Výkon
CNC		Computer Numerical Kontrol
RO		Rychlořezná ocel
SK		Slinuté karbidy
KM		Keramické materiály
VBD		Vyměnitelné břitové destičky
NO		Nástrojová ocel
d_s	mm	Průměr brousícího kotouče
n_s	min^{-1}	Frekvence otáčení kotouče
v_w, v_o	m min^{-1}	Obvodová rychlost obrobku
d_w	mm	Průměr obrobku
n_w	min^{-1}	Frekvence otáčení obrobku
t_s	min	Strojní čas
L	mm	Délka obrábění
l	mm	Délka obrobku
l_n	mm	Délka náběhu
l_p	mm	Délka přeběhu
B_k	mm	Šířka brousícího kotouče
v_f	m min^{-1}	Posuvová rychlost
f	mm	Šířka fazetky
Mk	Nm	Kroutící moment