

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ANALÝZA TECHNOLOGIE VÝROBY TVAROVÝCH ROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ.

ANALYSSIS OF SHAPED ROTARY PARTS TECHNOLOGY.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

FRANTIŠEK SEIDLMAN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OSKAR ZEMČÍK, CSc.

BRNO 2008

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou výroby tvarových rotačních součástí. Je zde provedeno základní rozdělení rotačních součástí. Dále pak popis a charakteristika jednotlivých technologií a metod výroby, základní řezné parametry, jednotlivé stroje a nástroje. V závěru práce je zhodnocení výroby a vývoj do budoucna.

Klíčová slova

Rotační součást, hřídel, čep, pouzdro, náboj, kotouč, soustružení, frézování, broušení.

ABSTRACT

Bachelor thesis is concerned in questions of producing rotary parts. It includes primary partition of rotary parts. Furthermore description and characteristic separate technologies and methods of production, basic cutting parameters, machinery and tools. The Bachelor thesis concludes with a assessment of producing and future development.

Key words

Rotary part, shaft, tap, chuck, hub, reel, turning, milling, sanding.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SEIDLMAN, František. *Analýza technologie výroby tvarových rotačních součástí: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Analýza technologie výroby tvarových rotačních součástí vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 19.5.2008

.....
František Seidlman

Poděkování

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

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Obsah	6
Úvod	7
1 ROZDĚLENÍ TVAROVÝCH ROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ.....	8
1.1 Součásti typu hřídel	9
1.2 Součásti typu čep.....	9
1.3 Součásti typu pouzder a nábojů	10
1.4 Součásti typu kotoučů	11
2 DĚLENÍ MATERIÁLU	12
2.1 Nejčastěji používané stroje	12
3 SOUSTRUŽENÍ	14
3.1 Obecné zásady při výrobě součástí typu hřídelů, čepů, pouzder a nábojů, kotoučů	16
3.2 Soustružení pomocí nárazkového systému a kopírovacího zařízení	17
3.3 Soustružení rotačních součástí číslicově řízenými obráběcími stroji	18
3.4 Soustružení závitů	19
3.5 Nejčastěji používané stroje	19
3.6 Nejčastěji používané nástroje	22
4 OBRÁBĚNÍ VÍCEDRÁŽKOVÝCH PROFILŮ FRÉZOVÁNÍM, OBRÁŽENÍM, PROTAHOVÁNÍM A PROTlačOVÁNÍM.....	24
4.1 Frézování	24
4.1.1 Nejčastěji používané stroje a zařízení	24
4.2 Obrážení.....	24
4.2.1 Nejčastěji používané stroje a nástroje	24
4.3 Protahování a protlačování	25
4.3.1 Nejčastěji používané stroje a nástroje	25
5 VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ A ZAHLUBOVÁNÍ	26
5.1 Nejčastěji používané stroje	26
5.2 Nejčastěji používané nástroje	27
6 FRÉZOVÁNÍ	29
6.1 Frézování rovinných ploch u rotačních součástí.....	29
6.2 Frézování tvarových ploch u rotačních součástí.....	30
6.2.1 Výroba čelního ozubení dělicím způsobem	30
6.2.2 Výroba čelního ozubení odvalovacím způsobem	31
6.3 Nejčastěji používané stroje a zařízení.....	31
6.4 Nejčastěji používané nástroje	32
7 BROUŠENÍ	33
7.1 Obvodové broušení do kulata vnějších ploch.....	33
7.2 Tvarové broušení	34
7.3 Nejčastěji používané stroje	35
7.4 Brousící nástroje	35
ZÁVĚR	36
Seznam použitých zdrojů	37
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	38

ÚVOD

Tvarové rotační součásti jsou hojně zastoupeny ve všech strojírenských odvětvích. Mají značný význam pro správnou funkci celé řady strojů a průmyslových zařízení.

Úkolem zadané práce bylo analyzovat problematiku výroby tvarových rotačních součástí, používané technologie, stroje, nástroje a zařízení při výrobě. Tvarové rotační součásti mohou být velmi různorodé. Jsou to například několikastupňové hřídele, nebo jen jednoduché hřídele s vnějším tvarem. Mívají závit, otvory souosé či nesouosé, rovinou či tvarovou plochou popřípadě ozubení. Z toho vyplývá, že pro výrobu těchto součástí, volbu stroje a nástroje má zejména vliv jejich konstrukčně technologická podobnost z hlediska tvarů, rozměrů, materiálu a v neposlední řadě také sériovost výroby. Rozdělení rotačních součástí lze provést na hřídele, čepy, pouzdra a kotouče.

Při výrobě má zpravidla zásadní význam soustružení, může se jednat o finální nebo o průběžnou operaci, jejíž pomocí lze zhotovit různé tvarové prvky. Dále se zde často uplatňují technologie broušení, frézování, protlačování, vrtání atd.

1 ROZDĚLENÍ TVAROVÝCH ROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ

Rotační součásti tvoří ve strojírenství přibližně 70% četnosti výskytu z celkového objemu strojních součástí.

Důležitým faktorem při rozdělení rotačních součástí je štíhlostní poměr. Štíhlostní poměr (13):

$$\lambda = \frac{L}{D} \quad (1.1)$$

kde: L (mm) – délka rotační součásti,
D (mm) – průměr rotační součásti.

Základní rozdělení z hlediska tvaru a funkce je možné vytvořit takto:

- ***hřídele***
- ***čepy a pouzdra***
- ***kotouče***

Pro přehlednost je v tab. 1.1 uvedeno dané rozdělení dle tvaru a funkce s přihlédnutím k četnosti výskytu a pracnosti.

Tab. 1.1 Základní rozdělení rotačních součástí s uvedením štíhlosti, četnosti a pracnosti (13)

Součástkový soubor	Štíhlost (-)	Rozptyl četnosti (%)	Průměrná pracnost (%)	Poznámka
hřídele	$3 < \lambda \leq 6(10)$	10-30	26,3	Údaje jsou stanoveny podle deseti výrobních oborů, např. obráběcí stroje, stavební stroje, zemědělské stroje, automobily.
čepy a pouzdra	$1 < \lambda \leq 3$	10-25	16,8	
kotouče	$\lambda \leq 1$	50-75	56,9	

Je zřejmé, že např. pro soustružení vyžaduje každý soubor jiný typ soustruhu. Výrobní zařízení se určuje s přihlédnutím na další údaje, např. rozměry, sériovost a opakovatelnost výroby atd.

Rozměrovou charakteristiku rotačních součástí uvádí tab. 1.2

Tab. 1.2 Rozměrová charakteristika rotačních součástí (13)

Charakteristika součástí	Průměr obrobku (mm)
malé	<50
střední	50-320
velké	>320

1.1 Součásti typu hřídel

Součásti typu hřídel se objevují v celé řadě mechanismů a strojů. Patří sem tyto hřídele:

- **hladké**
- **jednostranně osazené**
- **oboustranně osazené**
- **ostatní**

Pro zpřehlednění je v tab. 1.3 uvedeno rozdělení hřídelů s četností a pracností jednotlivých typů.

Tab. 1.3 Rozdělení hřídelů s uvedením četnosti a pracnosti (13)

Tvarová skupina	Četnost (%)	Pracnost (%)
Hladké hřídele	14,3	10,3
Jednostranně osazené hřídele	33,8	30,8
Oboustranně osazené hřídele	46,4	53,3
Ostatní hřídele	5,5	5,6

Největší zastoupení mají hřídele osazené. Tato skutečnost má při výrobě zásadní význam při volbě polotovárů, nástrojů i obráběcích strojů. (14)

Složitost osazených hřídelů je určena:

- počtem osazení
- přesností obráběných rozměrů
- strukturou povrchu obráběných ploch
- počtem broušených čepů

Tab. 1.4 Podíl pracnosti základních technologií u osazených hřídelů (13)

Technologie	Podíl pracnosti (%)
Soustružení	40-50
Frézování	15-20
Vrtání	3-6
Broušení	12-25

1.2 Součásti typu čep

Štíhlostní poměr λ u těchto součástí je 1 až 3. Podíl této skupiny tvoří přibližně 10 až 25% z celkové pracnosti výroby rotačních součástí.

Základní tvarové rozdělení součástí typu čep:

- **hladké**
- **jednostranně osazené**
- **oboustranně osazené**
- **ostatní**

Pro přehlednost je v tab. 1.5 uvedeno rozdělení čepů dle tvaru, četnosti a pracnosti.

Tab.1.5 Rozdělení čepů s uvedením četnosti a pracnosti (13)

Tvarová skupina	Četnost (%)	Pracnost (%)
Hladké čepy	20	14
Jednostranně osazené čepy	56	57
Oboustranně osazené čepy	23	27
Ostatní čepy	1	2

Nejčastější skupinou jsou čepy jednostranně a oboustranně osazené, jejich výskyt je přibližně v 79 %. Tyto čepy mají zpravidla jedno až tři osazení a minimálně jedno bývá dokončeno broušením. Nároky na jakost obrobených ploch bývají nejčastěji IT 7 a $R_a = 0,8 \mu\text{m}$. Mimo základních tvarových prvků jsou na čepu zpravidla zhotoveny zápichy, vnější závity, zkosení hran, díry pro závlačku apod. (14)

Tab.1.6 Podíl pracnosti základních technologií u osazených čepů (13)

Technologie	Podíl pracnosti (%)
Soustružení	70-56
Broušení	16-26
Frézování	10-13
Vrtání	4-5

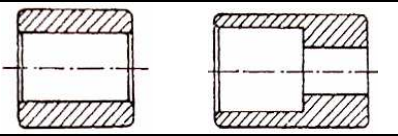
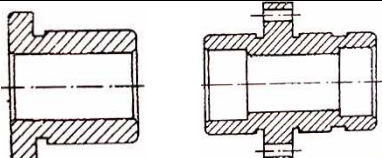
1.3 Součásti typu pouzder a nábojů

Štíhlostní poměr λ se u těchto součástí pohybuje mezi 1 až 3. Základní rozdělení je možné vytvořit takto:

- **hladké**
- **stupňové**

Grafické znázornění je uvedeno v tab. 1.7.

Tab.1.7 Nejčastější tvary součástí typu pouzder a nábojů (13)

poměr štíhlosti	tvar	nejběžnější typy
L / D $\cong$ 1 až 3	hladký	
	stupňovitý	

Rozhodující pro výrobu je soustružení a broušení (14)

1.4 Součásti typu kotoučů

Podíl výskytu součástí typu kotoučů je 50 až 75 % a pracnost činí 50 až 60 %. Tvary jsou vícedruhové a proto lze provést pouze základní rozdělení na:

- ***ploché s dírami hladkými nebo osazenými***
- ***jednostranně osazené s dírami hladkými nebo osazenými***
- ***oboustranně osazené s dírami hladkými nebo osazenými***
- ***stupňovité s dírami hladkými nebo osazenými***

Pro přehlednost je v tab.1.8 uvedeno rozdělení kotoučů dle tvaru, četnosti a pracnosti.

Tab.1.8 Rozdělení kotoučů s uvedením četnosti a pracnosti (13)

Tvarová skupina		Četnost (%)	Pracnost (%)
ploché	s dírami hladkými nebo osazenými	25	>50
jednostranně osazené		39,5	>21
oboustranně osazené		22,5	12
stupňovité		12,5	7

Do součástí typu kotouč patří např. víka, příruby, řemenice, ozubená kola, řetězová kola. Z uvedeného je zřejmé že tato tvarová skupina je velmi rozsáhlá. Tato skutečnost má značný vliv na výrobní zařízení. S přihlédnutím na pracovní možnosti strojů dělíme tento soubor součástí na kotouče s největším průměrem do 500 mm a na kotouče s průměrem nad 500 mm. Podíl jednotlivých technologií na pracnosti je odvislý na tvaru a funkci dané součásti. (13)

Tab.1.9 Podíl pracnosti technologií při výrobě součástí typu kotouč (14)

Technologie	Podíl pracnosti (%)
Soustružení	40-50
Frézování	12-20
Vrtání a vyvrtávání	15-20
Broušení	10-20
Výroba ozubení (frézování, obrážení, ševingování, broušení)	50-60

2 DĚLENÍ MATERIÁLU

Jako výchozí materiál při výrobě rotačních součástí lze použít polotovary lité, tvářené a tyčové válcované i tažené.

Při výrobě rotačních součástí se nejčastěji používá tyčový materiál válcovaný případně tažený, který je nutno před vlastním obráběním rozřezávat na potřebné délky. Dělit obráběné materiály či součásti je však třeba i u litých nebo tvářených polotovarů, např. při oddělování více součástí vyrobených těmito metodami najednou.

Mezi často používané metody patří dělení rozřezáváním a upichování nožem na soustruhu. (2)

2.1 Nejčastěji používané stroje

Rámové pily

Používají se zejména v kusové a malosériové výrobě. Výhodou je nízká cena stroje a nástroje. Nevýhoda těchto pil je nízká produktivita řezání a špatná přesnost řezu.

Kotoučové pily

Hlavní předností těchto pil je poměrně vysoká univerzálnost použití, produktivita a vysoká kvalita řezné spáry.

Pásové pily

Dělení na pásových pilách patří k nejproduktivnějším metodám dělení materiálu. Výhodou je malá ztráta prořezem a vysoká kvalita řezné plochy, naopak nevýhodou je vyšší cena pilového pásu. Využívají se při sériové výrobě, např. pásová pila ARG 500 PLUS S.A.F. od firmy Pilous.



Obr. 2.1 Pásová pila ARG 500 PLUS S.A.F. od firmy Pilous (10)

V tab. 2.1 je uvedeno porovnání řezných výkonů jednotlivých metod dělení pro běžně používaná zařízení.

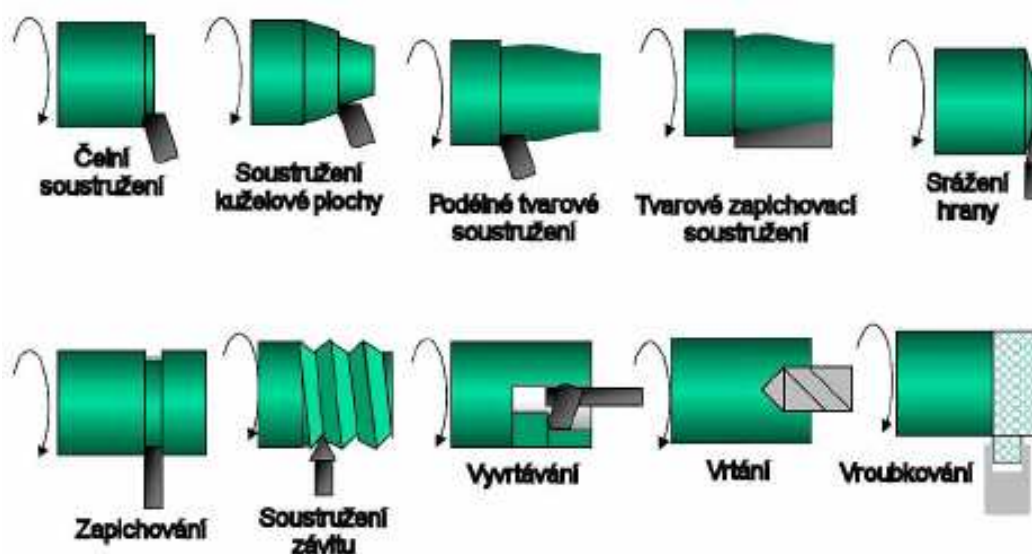
Tab. 2.1 Porovnání řezných výkonů metod dělení (12)

Metoda dělení	Plocha řezu při dělení ocelí střední pevnosti (cm ² . min ⁻¹)
Rámové pily	5 až 15
Pásové pily	10 až 45
Kotoučové pily	10 až 60

3 SOUSTRUŽENÍ

Soustružení je třísková metoda obrábění která se používá pro vytvoření rotačních tvarů, zpravidla pomocí jednobřítých nástrojů. Tato technologie je nejdůležitější při výrobě tvarových rotačních součástí. Lze obrábět vnější i vnitřní, válcové, kuželové i tvarové plochy, ale také rovinné čelní plochy a zápichy.

Na soustruzích lze také vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit, vytvořit hřbetní plochy tvarových fréz podsoustružováním.



Obr. 3.1 Základní práce na soustruhu (1)

Hlavní pohyb je rotační a koná ho obrobek, rychlost hlavního pohybu je řezná rychlost v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$). Posuvový pohyb přímočarý vykonává obvykle nástroj a jeho rychlost je označována jako v_f ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$). Řezný pohyb se při soustružení válcové plochy realizuje po šroubovici a při soustružení čelní plochy po Archimédově spirále, rychlost řezného pohybu se označuje jako v_e ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$). (1,7)

Hodnoty rychlostí vypočítáme ze vztahů (5):

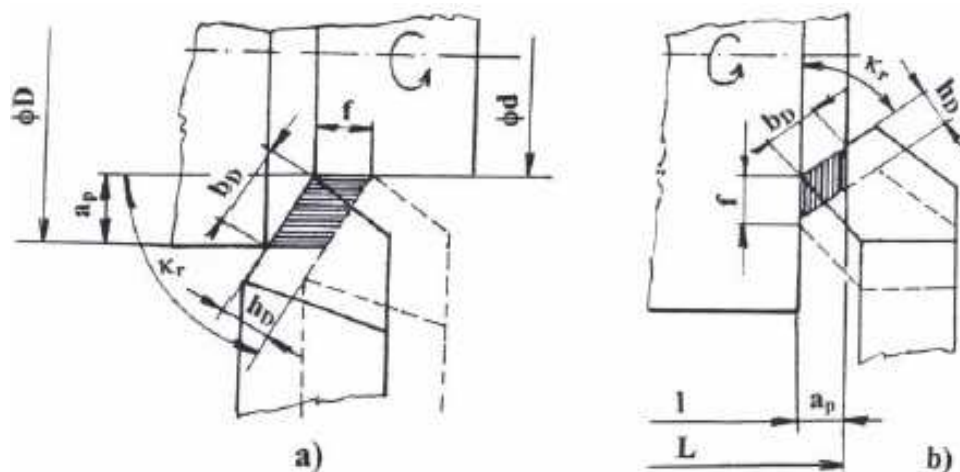
$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (3.1)$$

$$v_f = f \cdot n \quad (3.2)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (3.3)$$

kde: D (mm) – průměr obráběné plochy,
 n (min^{-1}) – otáčky obrobku,
 f (mm) – posuv na otáčku obrobku.

Zobrazení rozměrů třísky pro základní případy soustružení je na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Zobrazení průřezu třísky při soustružení (5)

a) válcová plocha b) čelní plocha

a_p – šířka záběru ostří, b_d – jmenovitá šířka třísky, h_d – jmenovitá tloušťka třísky, κ_r – nástrojový úhel nastavení hlavního ostří, D – průměr obráběné plochy, d – průměr obrobené plochy, L – délka obráběné plochy, l – délka obrobené plochy

Šířku záběru ostří a_p (mm) lze vyjádřit:

$$\text{pro podélné soustružení: } a_p = 0,5 \cdot (D - d) \quad (3.4)$$

$$\text{pro čelní soustružení: } a_p = L - l \quad (3.5)$$

Jmenovitá šířka třísky b_d (mm) a jmenovitá tloušťka třísky h_d (mm) se určí dle vztahů:

$$b_d = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (3.6)$$

$$h_d = f \cdot \sin \kappa_r \quad (3.7)$$

Jmenovitý průřez třísky A_d (mm²) se stanoví ze vztahu:

$$A_d = b_d \cdot h_d = a_p \cdot f \quad (3.8)$$

Při soustružení je také důležitá volba řezných podmínek. Rozsah řezné rychlosti v_c používané při soustružení uvádí tab. 3.1. Řezná rychlost závisí zejména na vlastnostech obráběného materiálu, řezných vlastnostech nástroje, jmenovitém průřezu třísky a na zvolené trvanlivosti bříty. Posuv na otáčku obrobku se volí co největší v závislosti na tuhosti obrobku a na požadované struktuře povrchu. Při hrubování se volí posuv $f = 0,4$ až $0,7$ mm, případně i více, při obrábění na čisto se $f = 0,06$ až $0,3$ mm a při jemném soustružení je $f = 0,005$ až $0,05$ mm. (1,7)

Tab. 3.1 Rozsah řezných rychlostí používaných při soustružení (7)

Materiál obrobku	Hrubování $f > 0,3$ mm		Soustružení na čisto $f = 0,3$ až $0,05$ mm	
	materiál nástroje		materiál nástroje	
	RO	SK	RO	SK
Nelegované oceli	12 až 45	45 až 155	25 až 70	80 až 200
Legované oceli	10 až 40	40 až 120	20 až 55	50 až 180
Litina	17 až 35	35 až 100	25 až 55	70 až 110
Slitiny hliníku	25 až 90	90 až 220	45 až 120	140 až 350

3.1 Obecné zásady při výrobě součástí typu hřídelů, čepů, pouzder a nábojů, kotoučů

▪ *Hřídele, kde $3 < \lambda \leq 6(10)$*

Součásti typu hřídel soustružíme nejdříve nahrubo a následně načisto. Nejčtenější skupinu tvoří hřídele stupňové, které soustružíme zpravidla na dvě ustavení.

Důležitá je také volba počátku obrábění na daném hřídeli:

- hřídele souměrné s malým rozdílem průměrů čepů na obou koncích můžeme obrábět z libovolného konce
- při velkém rozdílu v průměrech čepů protilehlých stran hřídele začínáme obrábět na straně s většími průměry čepů. Zmenšíme tím riziko deformace hřídele při obrábění jeho druhého konce
- V případě, že jsou oba konce hřídele tenké, mají se obrábět až po obrábění ostatních průměrů hřídele

U stupňových hřídelů vycházíme z těchto zásad:

- zkracování vedlejších časů na minimum (počet ustavení hřídele, výměny nástrojů, apod.)
- dodržení podmínky minimální délky pracovních a vedlejších pohybů nástroje
- určování optimálních řezných podmínek

▪ *Čepy, kde $\lambda = 1$ až 3*

Při výrobě součástí typu čepů je technologickou základnou pro soustružení zpravidla vnější válcový povrch a čelo součásti. K upnutí obrobku se nejčastěji používá kleština nebo rychloupínací sklíčidlo.

▪ *Pouzdra a náboje, kde $1 \leq \lambda \leq 3$*

Výrobu pouzder a nábojů, respektive jejich základních tvarů (vnější a vnitřní rotační plochy) můžeme provést těmito základními způsoby:

- a) Obrábění na jedno ustavení - využívá se zejména při výrobě tuhých pouzder. Souosost vnějších a vnitřních válcových ploch závisí na přesnosti stroje a seřízení nástroje

- b) Obrábění podle vnějšího povrchu - upnutí obrobku za vnější povrch je rychlé, spolehlivé a přenáší i velké kroutící momenty. Využíváme jej jen v případech, kde se nevyžaduje dobrá souosost vnějších a vnitřních ploch
- c) Obrábění podle vnitřního povrchu - využívá se při požadavku dobré souososti vnějších i vnitřních válcových ploch

▪ **Kotouče, kde $\lambda \leq 1$**

Obecné schéma výroby kotoučů soustružením probíhá následovně:

- a) hrubé soustružení vnějších a vnitřních ploch a čelních ploch z jedné strany při ustavení podle čela jedné z válcových ploch
- b) hrubé soustružení vnějších a vnitřních ploch z druhé strany při upnutí za obrobenou plochu a čelo
- c) soustružení načisto z jedné strany a z druhé strany, vnějších i vnitřních ploch, při upnutí za obrobenou plochu a ustavení za přiléhající čelo (13,14)

3.2 Soustružení pomocí nárážkového systému a kopírovacího zařízení

Při soustružení vnějších tvarů stupňových hřídelů jsou mnohdy používány univerzální soustruhy, které jsou bez speciálního vybavení málo produktivní a uplatňují se pouze v kusové výrobě, proto se často využívá nárážkového systému a kopírovacího zařízení.

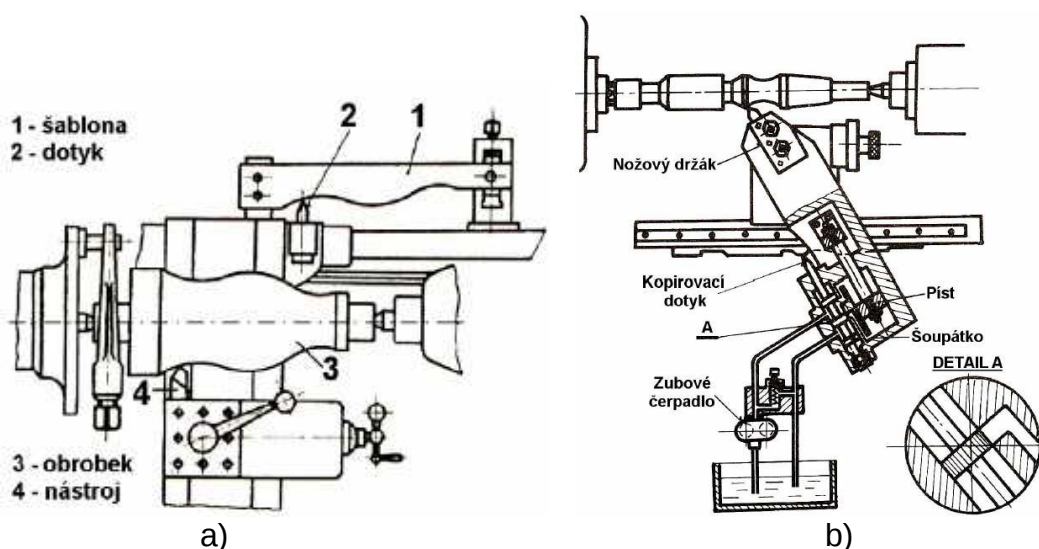
Narážkový systém

Použijeme-li nárážkový systém, je podélný a příčný posuv, čili nastavení nástroje na průměr a délku soustružení, určen nárážkami (čtyř nebo šesti polohovým nárážkovým bubínkem). Při obrábění odpadá nastavování nástrojů na rozměr a měření. Přesnost obrábění při nárážkovém systému je v rozmezí $\pm 0,1$ až $0,2$ mm. (13)

Kopírovací zařízení

Soustruhy, zejména univerzální, jsou často vybaveny kopírovacím zařízením, které umožňuje obrábět nejen válcové plochy, ale také kužele, tvarové i čelní plochy. Výhodou zařízení je zvýšení produktivity obrábění v průměru o 30 až 60% a snížení zmetkovitosti u složitějších a přesnějších výrobků. Kopírování tvaru součástí podle šablony nebo vzorku se uplatňuje u tvarově jednodušších součástí v sériové a hromadné výrobě a u tvarově složitějších součástí také v kusové výrobě.

Podle způsobu, jakým je dráha dotykového hrotu sledujícího šablonu nebo vzorek převáděna na pohyb nástroje, dělíme kopírovací zařízení na: mechanická, hydraulická, elektrohydraulická a elektrická. (1,4,13)



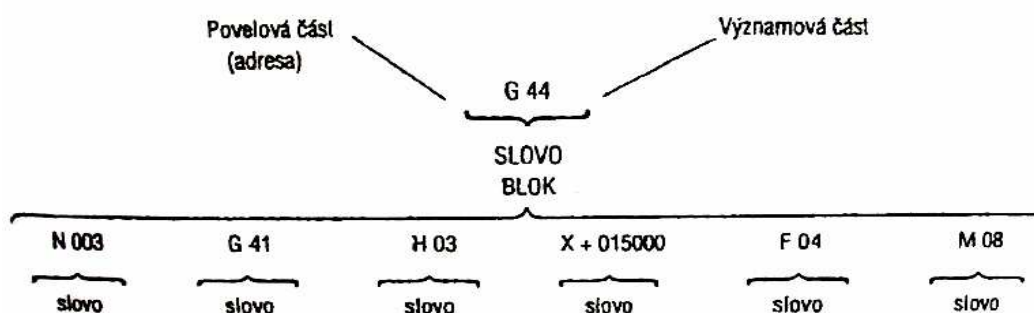
Obr. 3.3 Kopírovací zařízení (4)
a) Mechanické b) Hydraulické

3.3 Soustružení rotačních součástí číslicově řízenými obráběcími stroji

Číslicově řízené NC (Numeric Control) a CNC (Control Numeric Control) stroje umožňují dosažení libovolné polohy pracovního uzlu stroje podle programu.

Tvar a rozměr výrobku je specifikován číselným vyjádřením souřadnic, směrů a smyslů pracovních pohybů stroje a nástroje. Tyto stroje umožňují obrábět tvarově velmi složité rotační součásti, pro které se dříve musely vyrábět drahé šablony nebo přípravky. Výhodou je snadné a rychlé předávání informace, editace, opakovatelnost a možnost archivace programů. Vysoká pružnost a automatizace NC a CNC obráběcích strojů se využívá pro automatizaci v malosériové výrobě.

Program řízení NC a CNC obráběcího stroje je uspořádaný soubor informací. Základním prvkem NC programu je slovo (funkce). Slovo má dvě části, povelovou část (adresu - písmeno) a významovou část (soubor číslic). Definovaná posloupnost slov vytváří blok. Stupňovitě uspořádaná posloupnost bloků tvoří program. (1,7)



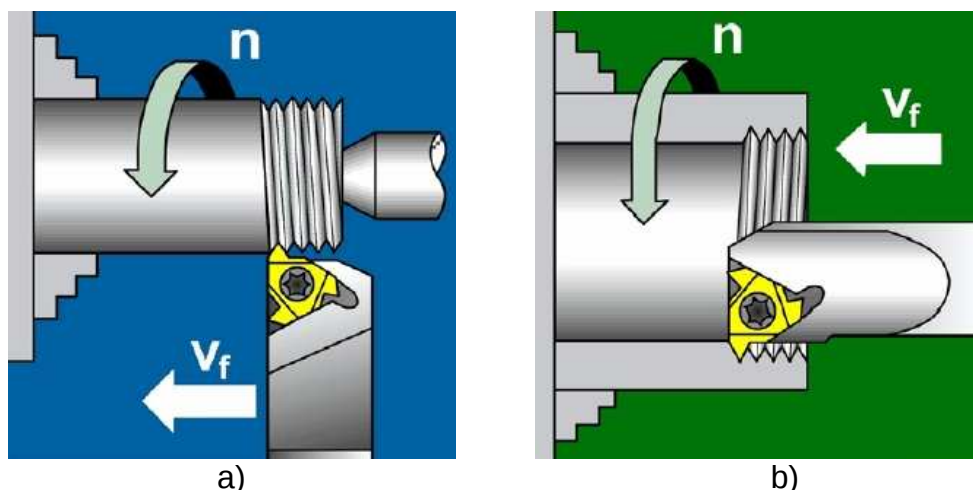
Obr. 3.4 Schéma struktury programového slova (7)

3.4 Soustružení závitů

Výroba závitů na tvarových rotačních součástích probíhá nejčastěji soustružením. V menší míře pak frézováním, tvářením, popřípadě ručně. Přesné závit se brousí. Vzhledem k rozsáhlosti problému výroby závitů na tvarových rotačních součástech se zaměřím pouze na výrobu závitů pomocí soustružení.

Závit soustružíme na univerzálních, revolverových, poloautomatických, automatických a CNC soustružnických strojích. Při soustružení je posuv nástroje za jednu otáčku obrobku roven stoupání závitu.

Profil soustružnického nože odpovídá profilu vyráběného závitu. Při použití závitového nože jednoprofilového řežeme závit postupně na více záběrů. Hřebínkové nože mají první profily zkoseny, a tím umožní řezat závit najednou. (2,7)



Obr. 3.5 Soustružení závitů radiálním nožem s vyměnitelnou břitovou destičkou (2)
a) vnější pravý závit b) vnitřní pravý závit

3.5 Nejčastěji používané stroje

Univerzální hrotové soustruhy

Univerzální hrotové soustruhy se používají pro výrobu hřídelových a přírubových součástí v kusové a malosériové výrobě. Lze na nich obrábět vnější i vnitřní rotační plochy, čelní rovinné plochy, zapichovat, řezat závitы závitovým nožem, soustružit kužele.

CNC univerzální hrotové soustruhy

Typickým představitelem této skupiny je soustruh Masturn 70/3000 CNC Roller od firmy Kovosvit MAS a.s. Jedná se o numericky řízený stroj, který je určen pro hrubovací a dokončovací práce hřídelových i přírubových součástí, pro řezání závitů, vyvrtávání, soustružení kuželů i různých tvarových rotačních ploch. Je vhodný pro kusovou popřípadě malosériovou výrobu s možností plnohodnotného CNC režimu nebo i ručního ovládání jako na konvenčním stroji.



Obr. 3.6 CNC univerzální hrotový soustruh Mastrurn 70/3000 CNC Roller (8)

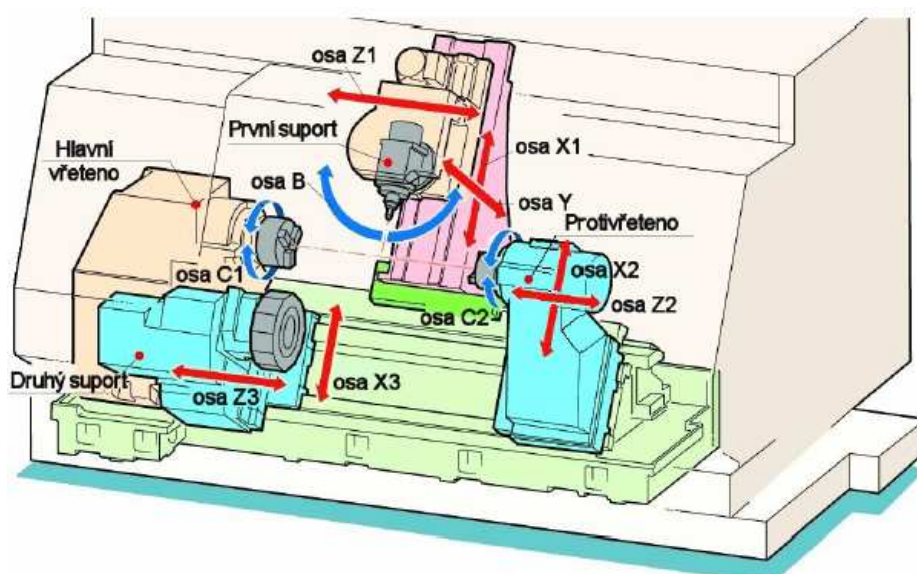
CNC soustružnické obráběcí centra

Obráběcí centrum je multiprofesní číslicově řízený stroj, který je schopen provést různé operace při jednom upnutí obrobku, vybrat a vyměnit nástroje, nastavit vzájemnou polohu obrobku a nástroje, řídit otáčky, posuvy a pomocné úkony. Pracuje v naprogramovaných cyklech bez zásahu obsluhy.

Soustružnická obráběcí centra dělíme na:

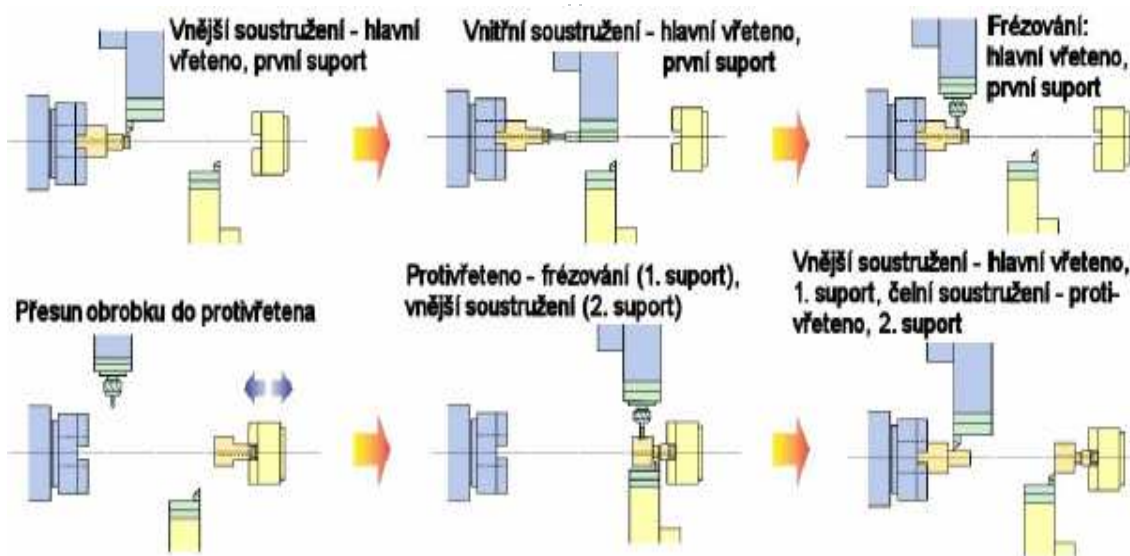
- a) Horizontální – s vodorovnou osou vřetene
- b) Vertikální – se svislou osou vřetene

Soustružnické obráběcí centrum s horizontální osou vřetene (obr.3.7) je stroj s hlavním obrobkovým vřetenem a obrobkovým protivřetenem. Má dva nástrojové suporty, pro obrábění přírubových rotačních součástí s přídatnými nerotačními nebo nesouose rotačními plochami.



Obr. 3.7 Soustružnické CNC obráběcí centrum Mori Seiki MT 2000F (1)

Příklad pracovního cyklu soustružnického CNC obráběcího centra je zobrazen na obr. 3.8



Obr. 3.8 Příklad pracovního cyklu soustružnického obráběcího centra (1)

Revolverové soustruhy

Nacházejí uplatnění při výrobě součástí menších a středních sérií. Pro součásti vyžadující k obrobení větší počet nástrojů.

Revolverové soustruhy dělíme podle polohy osy otáčení revolverové hlavy na soustruhy s vodorovnou, svislou nebo šikmou osou revolverové hlavy.

Svislé soustruhy

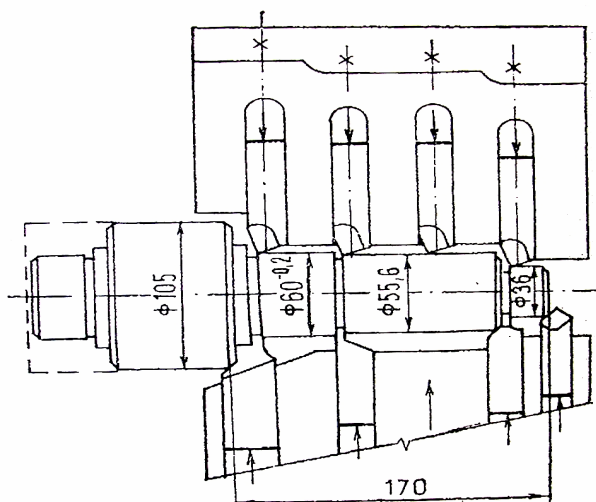
Pro výrobu součástí typu kotoučů a to zejména do průměru $D_{\max} > 500$ mm. Užití v kusové, malosériové některé typy i v sériové výrobě.

Soustružnické kopírovací poloautomaty

Poloautomatické soustruhy mají automatický pracovní cyklus, ale pro opakování cyklu je potřeba ruční obsluhy. Stroje lze použít efektivně pro středněsériovou výrobu, ale také v oblasti velkosériové výroby. Důraz je kladen na rychlou seřiditelnost a vysokou produktivitu. Stroje mají zpravidla dva nezávisle řízené suporty pro současnou práci. Jsou vybaveny revolverovými hlavami na upnutí nástrojů. Porovnáme-li kopírování na univerzálních strojích a kopírovacích automatech, lze říci, že produktivita v závislosti na složitosti tvaru je u automatů až několikanásobně vyšší.

Soustružnické vícenožové poloautomaty

Nalézají uplatnění pouze ve výrobě sériové až hromadné. V případech, kdy složitost tvaru vyráběné součásti umožňuje podstatné snížení výrobního času obráběním jednotlivých ploch obrobku více nástroji najednou. K soustružení se používá dvou suportů. Příčný suport většinou dokončí práci podélného suportu zapichováním, zarovnáním čel, soustružením zápichů, drážek.



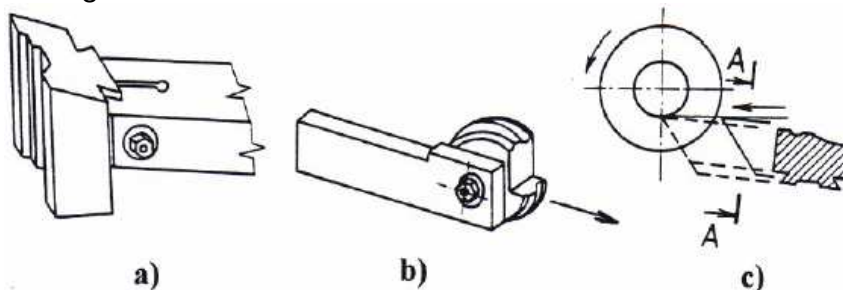
Obr. 3.9 Obrábění na vícenožovém poloautomatu (13)

Automatické soustruhy

Používají se pro obrábění složitých rotačních součástí, výchozí polotovár je nejčastěji tyčový materiál. Pracovní cyklus i případná výměna je automatická. (1,7,8,12,13)

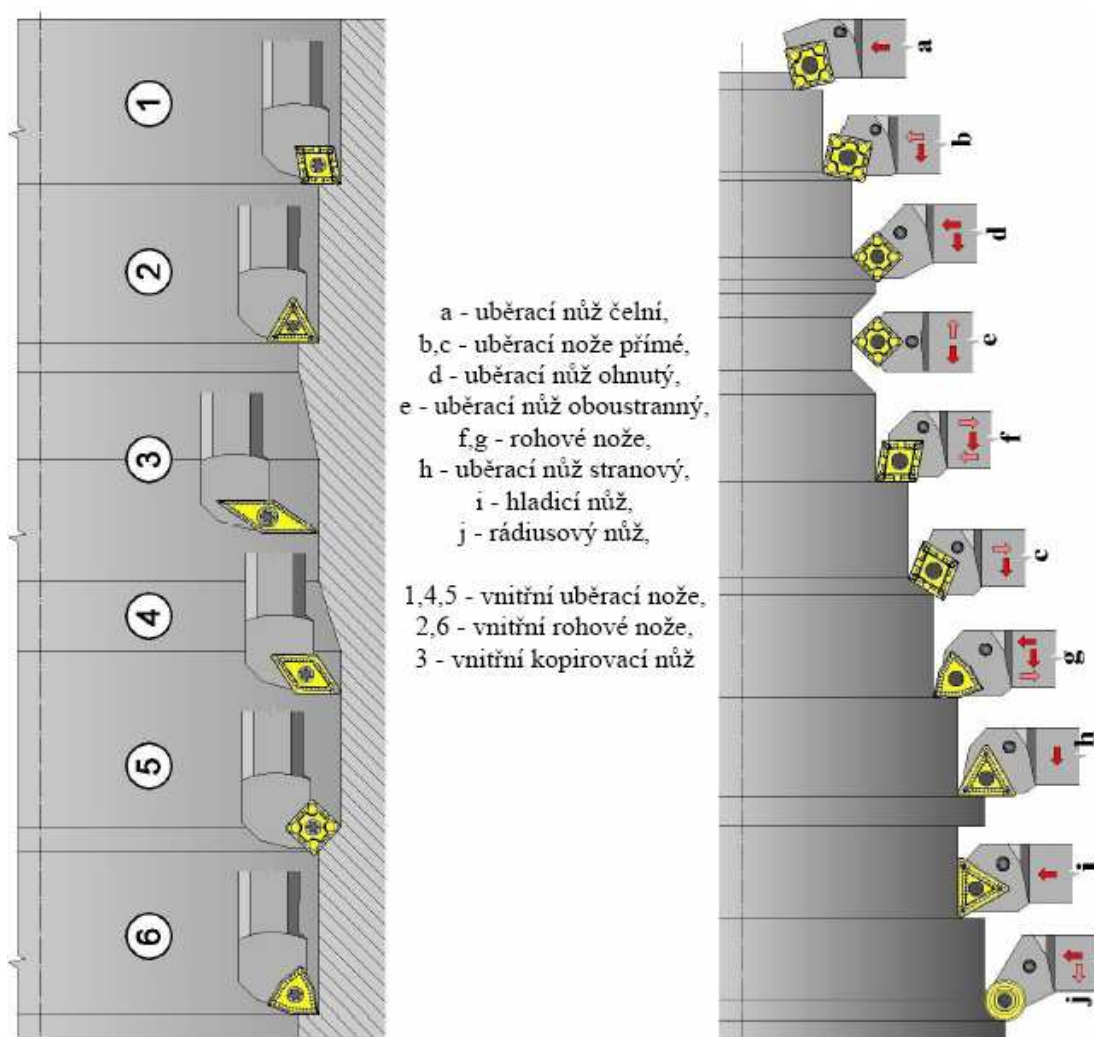
3.6 Nejčastěji používané nástroje

Z technologického hlediska rozlišujeme nože radiální, prizmatické, kotoučové, tangenciální.

Obr. 3.10 Tvarové soustružnické nože (5)
a) prizmatický b) kotoučový c) tangenciální

Radiální nože jsou nejčastěji používanou skupinou soustružnických nožů. V souvislosti s konstrukcí rozdělujeme radiální nože na:

- celistvé (těleso i řezná část nože je z nástrojového materiálu)
- s pájenými břitovými destičkami (břitová destička je pájena na těleso nože)
- s vyměnitelnými břitovými destičkami (břitová destička je mechanicky upnuta v nožovém držáku) (5)



Obr. 3.11 Základní druhy radiálních nožů s vyměnitelnými břitovými destičkami (5)

4 OBRÁBĚNÍ VÍCEDRÁŽKOVÝCH PROFILŮ FRÉZOVÁNÍM, OBRÁŽENÍM, PROTAHOVÁNÍM A PROTLAČOVÁNÍM

Výrobu vícedrážkových profilů lze realizovat frézováním, obrážením, protahováním nebo protlačováním. Jednotlivé technologie jsou při výrobě uplatněny především podle toho, kolik součástí je obráběno a jedná-li se o vnější či vnitřní tvar.

4.1 Frézování

Výroba drážkových profilů frézováním se v praxi provádí při malých sériích a to zejména u součástí typu hřídel a čep, kde jsou drážky zhotovovány na vnější ploše.

4.1.1 Nejčastěji používané stroje a zařízení

Konzolové frézky + několikavřetenové dělicí přístroje

Využití v malosériové výrobě.

Drážkovací frézky

Využívají se při sériové výrobě, např. frézka Hurt KF 32a.

Odvalovací frézky

Zpravidla pracují v automatickém cyklu. Některé jsou vybaveny CNC řídicími systémy. Využití v sériové výrobě. (7,13)

4.2 Obrázení

Obrázení je technologie, která využívá při obrábění jednobřítý nástroj zvaný obrázeční nůž. Touto metodou vyrábíme mimo jiné také vnitřní plochy (vícedrážkové profily), a to zejména u součástí typu kotouč, které lze jinak zhotovit pouze protahováním či protlačováním.

Hlavní přímočarý vratný pohyb (v_c) vykonává nástroj. Vedlejší posunový pohyb (f_{dz}) vykonává obrobek. Nevýhodou této metody je zpětný pohyb naprázdno (v_z), který vykonává nástroj. Využívá se v kusové výrobě.

4.2.1 Nejčastěji používané stroje a nástroje

Vodorovná a svislá obrázečka

Charakteristický znak těchto strojů je buď vodorovný (vodorovná obrázečka) nebo svislý (svislá obrázečka) pohyb smykadla s nástrojem. Svislá obrázečka je vhodná zejména pro obrábění vnitřních tvarových ploch a svislých rovinných ploch.

Obrázeční nůž drážkovací

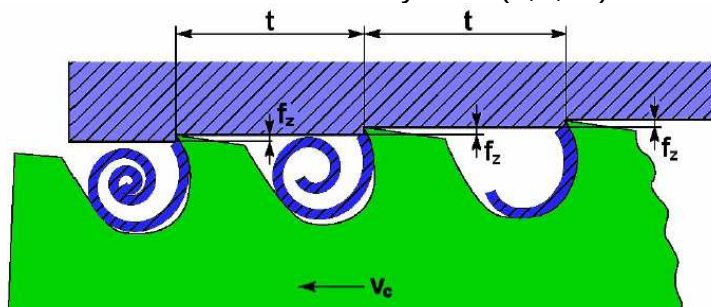
Využívá se pro obrábění vnitřního drážkování. Jsou vyráběny převážně z rychlořezných ocelí, neboť nože s řeznou částí ze slinutých karbidu by zde nebyly hospodárně využity. (2)

4.3 Protahování a protlačování

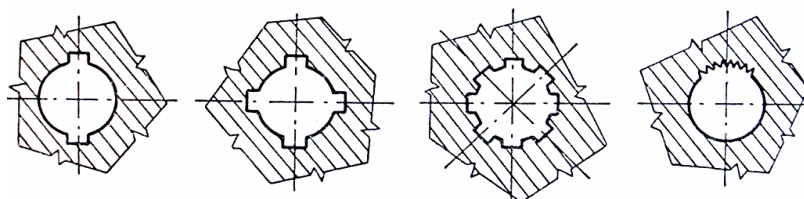
Při výrobě rotačních součástí touto technologií obrábíme vysoce produktivním způsobem tvary drážek, a to převážně u obrobků typu kotouč.

Nástroj koná přímočarý pohyb, při protahování je tažen a při protlačování je tlačén. Obrobek zpravidla je statický.

Podstatou těchto technologií je postupný úběr obráběného materiálu jednotlivými, po sobě jdoucími zuby nástroje o rozteči t (mm). Řezná rychlost nástroje je v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$), každý zub odebírá tloušťku materiálu označenou posuvem f_z (mm). Při protahování drážkového náboje (ocel) nástrojem z rychlořezné oceli je řezná rychlost 5 až 15 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuv na zub 0,02 až 0,12 mm. Cena protahovaných nástrojů je vysoká a proto se tato technologie uplatňuje zejména v sériové a hromadné výrobě. (2,7,12)



Obr. 4.1 Princip protahování a protlačování (2)



Obr. 4.2 Příklady vnitřních protahovaných tvarů (12)

4.3.1 Nejčastěji používané stroje a nástroje

Protahovací a protlačovací stroje

Jsou řešeny jako vodorovné nebo svislé, oba typy se používají pro vnitřní i vnější protahování.

Při protlačování se používají různé typy pomaluběžných lisů.

Protahovací trny

Protahovací trn má zuby řezací, kalibrovací a při požadavku vysoké struktury povrchu také zuby hladicí. Nástroje jsou namáhány zejména na tah.

Protlačovací trny

Protlačovací trny jsou kratší z důvodu namáhání na vzpěr, takže pro protlačení daného profilu je potřeba použít více nástrojů. Proto je protlačování z hlediska produktivity méně výhodné. (7)

5 VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ A ZAHLUBOVÁNÍ

Uvedené metody se využívají při obrábění děr. Realizují se rozměrovými nástroji, které svými tvary a dalšími technologickými vlastnostmi výrazně ovlivňují parametry obráběné díry.

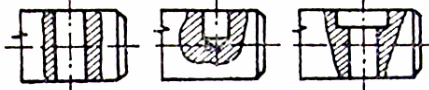
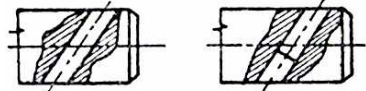
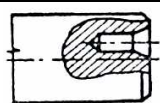
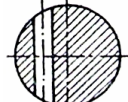
Řezná rychlost v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) je dána závislostí viz. vzorec (3.1), kde D (mm) je průměr nástroje, n (min^{-1}) jsou otáčky nástroje (někdy otáčky obrobku). Posunová rychlost v_f ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$) viz. vztah (3.2), kde f (mm) je posuv na otáčku.

Vrtáním se zhotovují díry do plného materiálu, nebo zvětšují již předpracované díry. Hlavní rotační pohyb vykonává obvykle nástroj, ale může ho konat i obrobek. Vedlejší pohyb posuvový, ve směru své osy, koná vrták. Hodnota řezné rychlosti při obrábění austenitické oceli šroubovitými vrtáky z SK se pohybuje mezi 30 až 40 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Při vyhrubování, vystružování a zahlubování se uplatňují obdobné pohyby nástroje. První dvě technologie slouží pro zhotovení vyšší kvality obrobených děr (odchylek jmenovitých průměrů, kruhovitosti, válcovitosti, struktury povrchu). Zahlubování se používá pro obrobení souosého válcového či kuželového zahloubení děr, popřípadě pro zahloubení přilehlé čelní plochy.

Využití těchto technologií při výrobě tvarových rotačních součástí je především při zhotovování tzv. druhořadých ploch. Z hlediska četnosti výskytu a podílu pracnosti nemají tyto plochy při výrobě rotačních součástí rozhodující vliv. Některé druhořadé rotační plochy jsou zobrazeny na obr. 5.1. (2,7,13)

Tab. 5.1 Příklady druhořadých rotačních ploch vyskytující se u rotačních součástích (13)

Rotační plochy		
Vnitřní válcové a kuželové plochy	kolmé na osu rotace	bez závitů nebo se závitem 
	šikmé na osu rotace	bez závitů nebo se závity 
	rovnoběžné s osou rotace	
	mimoběžné s osou rotace	

5.1 Nejčastěji používané stroje

Stolní, sloupové a stojanové vrtačky

Nachází uplatnění při malosériové výrobě (v kombinaci s přípravkem i při sériové výrobě) u součástí typu hřídelů, čepů, pouzder a kotoučů (do průměru kotouče $D < 500$ mm).

Otočné vrtačky

Používají se pro vrtání děr u rozměrnějších obrobků. Je možné s nimi také obrábět součásti typu kotoučů s průměrem $D > 500$ mm. Využití v malosériové výrobě. (13)

5.2 Nejčastěji používané nástroje

Vrtáky

Pro vrtání děr se používají různé druhy vrtáků: šroubovitě, kopinaté, s vyměnitelnou špičkou, s vyměnitelnými břitovými destičkami, korunkové, dělové a hlavňové, ejektorové a vrták BTA.

Nejpoužívanější jsou šroubovitě vrtáky vyrobené z rychlořezných ocelí, pro těžší podmínky obrábění mají buď pájené nebo výměnné destičky z SK. Mohou být také z monolitních SK s povlakem i bez povlaku.

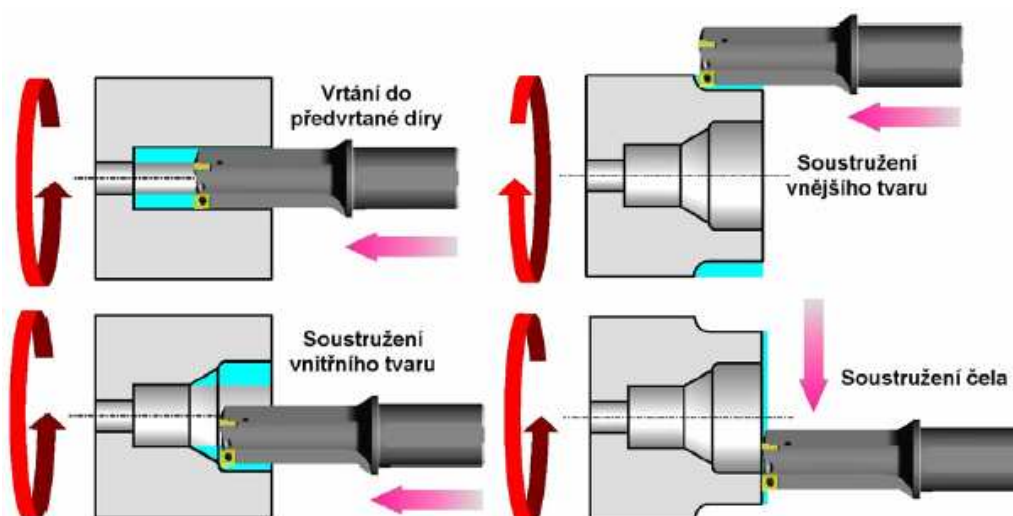


Obr. 5.1 Monolitní SK vrták s povlakem TiN (2)

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami (obr. 5.2) mají několik destiček ze slinutých karbidů mechanicky upnuté v tělese držáku pomocí šroubů. Téměř všechny jsou vybaveny otvory pro přívod řezné kapaliny, mnohé z nich mohou být mimo vrtání použity i pro soustružení vnitřních i vnějších válcových (i kuželových) ploch a čelních ploch rovinných viz. obr. 5.3. Využívají se při výrobě na CNC strojích.



Obr. 5.2 Vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami firmy Sandvik - Coromant (2)



Obr. 5.3 Pracovní možnosti vrtáku s vyměnitelnými břitovými destičkami (2)

Výhrubníky

Jsou tříbřité až čtyřbřité nástroje s břity v pravé šroubovici. Vyrábějí se s kuželovou stopkou jako celistvé, nebo jako nástrčné pro díry od průměru $D = 24$ mm. Slouží k vytvoření rovnoměrného přídavku pro vystružování.

Výstružníky

Mají přímé zuby nebo zuby do šroubovice s úhlem stoupání $\omega = 5 \div 20^\circ$. Vyrábějí se v několika provedeních: ruční, strojní, rozpínací, stavitelný, jednobřitý, loupací.

Záhlubníky

Slouží k obrobení souosého válcového nebo kuželového zahloubení, popřípadě pro zarovnání plochy či k sražení hrany vyvrtaného otvoru.

Nejběžnější jsou válcové záhlubníky pro válcové zahloubení hlav šroubu nebo kuželové pro zahloubení kuželových hlav šroubů. (2,5,7)

6 FRÉZOVÁNÍ

Je metoda obrábění, kdy otáčející se nástroj svými břity odebírá materiál obrobku. Hlavní rotační pohyb koná nástroj. Posuv, většinou přímočarý pohyb koná obrobek, zpravidla ve směru kolmém k ose nástroje. Proces řezání je přerušovaný, neboť tříska proměnné velikosti je odřezávána jednotlivými zuby frézy.

Hodnota řezné rychlosti v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) se vypočítá viz. vzorec (3.1), kde D (mm) je průměr nástroje, n (min^{-1}) jsou otáčky nástroje. Délka dráhy, kterou urazí obrobek po dobu záběru zubu, je posuv na zub f_z (mm). Dráha, kterou urazí obrobek po dobu jedné otáčky nástroje, je posuv na otáčku f_n (mm). Pomocí posuvu na zub vypočteme: $f_n = f_z \cdot z$ (mm), kde z je počet zubů nástroje. Posuvová rychlost se určí podle vztahu: $v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n$ ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$). Moderní frézovací stroje umožňují plynule měnit posuvové pohyby a jejich realizaci ve všech směrech (např. obráběcí centra, víceosé CNC frézky). (7)

Tab.6.1 Informativní řezné podmínky pro frézování s nástroji s SK (7)

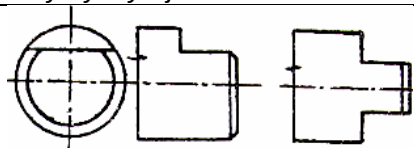
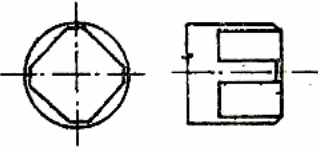
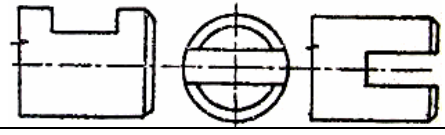
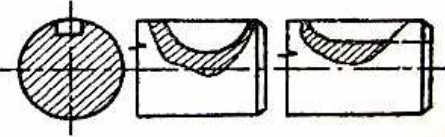
Materiál obrobku R_m	Mat. nástroje	Kotoučové a válcové frézy			Čelní válcové stopkové frézy	
		v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) hrubování	v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$) na čisto	f_z (mm)	v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	f_z (mm)
Ocel R_m 500-800 MPa	SK (P25)	175	195	0,15÷0,25	135	0,1÷0,25
Ocel R_m 800-1000 MPa	SK (P25)	145	160	0,15÷0,25	100	0,1÷0,15
Hliník střední	SK (K10)	550	650	0,1÷0,2	650	0,1÷0,2

6.1 Frézování rovinných ploch u rotačních součástí

Mezi rovinné plochy zahrnujeme např. vybrání, hrany a mnohohrany, drážky příčné a čelní, drážky pro pera a klíny. Při výrobě rotačních tvarových součástí o těchto plochách hovoříme jako o plochách druhořadých. S ohledem na četnost a pracnost tyto plochy nejsou rozhodující při výrobě rotačních součástí.

Pro zpřehlednění jsou v tab. 6.2 zobrazeny často se vyskytující druhořadé plochy.

Tab. 6.2 Některé druhořadé plochy vyskytující se u rotačních součástí (13)

vybrání	
mnohohrany	
drážky příčné a čelní	
Drážky pro pera a klíny	

6.2 Frézování tvarových ploch u rotačních součástí

Hovoříme-li o tvarových plochách u rotačních součástí, tak s ohledem na četnost výskytu a pracnost myslíme zejména ozubení. V menší míře pak např. výroba závitů a různých tvarů. Vzhledem k již zmiňované četnosti výskytu u rotačních součástí se zaměřím zejména na výrobu ozubení.

Výroba ozubení patří mezi složité obráběcí procesy, a to především z důvodu spolehlivého odvalu soukolí při jeho funkci. Přesnost vyráběného ozubení je ovlivněna kinematikou obráběcího procesu, použitým nástrojem a strojem, volbou technologické základny, způsobem upnutí obrobku a řezným prostředím.

Výrobu ozubení ve strojírenství lze podle druhu ozubeného kola dělit na obrábění čelních kol s přímými, šikmými a šípovými zuby, šneků, šnekových kol a kuželových kol s přímými, šikmými nebo zakřivenými zuby. V uvedeném řazení roste i technologická náročnost obrábění. Nejfrekventovanější je výroba čelních kol, kterou lze uskutečnit frézováním, obrážením a protahováním, pro dokončování se používá ševingování (tepelně nezpracovaná kola) nebo broušení (kalená kola). Se zřetelem na rozsáhlost problému výroby ozubených čelních kol se zaměřím pouze na výrobu kol s přímými a šikmými zuby technologii - frézováním. (2,7)

6.2.1 Výroba čelního ozubení dělicím způsobem

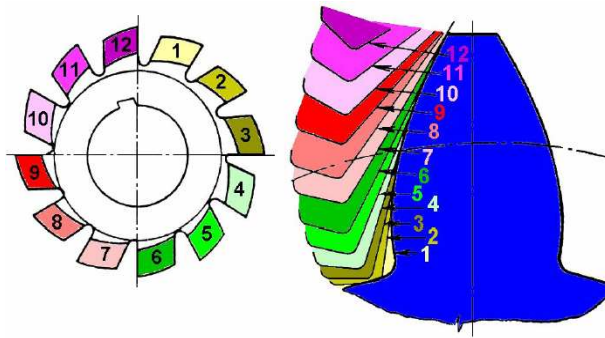
Při frézování ozubení dělicím způsobem se obrobí jedna zubová mezera, následně se s obrobkem pomocí dělicího přístroje pootočí o zubovou rozteč a frézujeme další zubovou mezeru. Takto postupujeme až do zhotovení poslední mezery. Nevýhodou je malá přesnost, naopak výhodou je jednoduchost a nízká cena nástroje. Vhodné pro kusovou výrobu. (2)

6.2.2 Výroba čelního ozubení odvalovacím způsobem

Tento způsob je založen na principu záběru válcového šneku (nástroj) s ozubeným kolem (obrobek). Řezný pohyb vzniká současným otáčením nástroje a obrobku, čímž se plynule vytvářejí zuby obrobku. Obrobek se pootočí o jednu zubovou rozteč za jednu otáčku frézy. Boky zubů se vytvoří jako obalové plochy jednotlivých poloh frézy. (2,7)



a)



b)

Obr. 6.1 Odvalovací frézování (2)

a) Frézování ozubeného kola se šikmými zuby b) Princip vytvoření evolventy

6.3 Nejčastěji používané stroje a zařízení

Konzolové frézky

Jsou určeny pro frézování rovinných i tvarových ploch. Vyrábějí se ve třech základních provedeních: vodorovné, svislé, univerzální. Univerzálnost těchto frézek rozšiřuje použití různého příslušenství, jako jsou např. různé hlavy, otočné stoly, svěráky, dělicí přístroje. Využití mají zejména při malosériové výrobě. V kombinaci s několikavřetenovými dělicími přístroji, nebo vícenásobnými přípravky jsou vhodné i pro sériovou výrobu.

CNC frézky

Číslicově řízené frézky je možné jako univerzální výrobní prostředek použít i pro výrobu rotačních součástí a to při zhotovení drobných tvarových či rovinných ploch. Používají se například u složitějších součástí v kusové nebo malosériové výrobě tam, kde je požadavek vysoké přesnosti.

Odvalovací frézky

Používají se pro výrobu ozubení. Zpravidla pracují v automatickém cyklu. Je na nich také možné obrábět drážkové hřídele, řetězová a šneková kola. Některé jsou vybaveny CNC řídicími systémy. (2,6,7,13)



a)



b)

Obr. 6.2 Stroje používané na frézování ploch u rotačních součástí

a) Konzolová frézka F2V od firmy OSO, s.r.o. (9)

b) CNC nástrojařská frézka FNGP 40 od firmy INTOS spol. s.r.o. (6)

6.4 Nejčastěji používané nástroje

Mezi základní druhy nástrojů pro frézování řadíme frézy: válcové, úhlové, kotoučové, tvarové, kopírovací, drážkovací, válcové čelní frézy a čelní frézovací hlavy.



a)



b)



c)

Obr. 6.3 Některé druhy fréz (5)

a) čelní frézovací hlava b) válcová čelní fréza c) drážkovací fréza

Modulové frézy kotoučové a čepové

Používají se pro výrobu ozubení. Tvar frézy odpovídá profilu vytvářené zubové mezery. Profil zubové mezery pro daný modul je závislý na počtu zubů obráběného kola. Pro určitý rozsah zubů se používá jeden nástroj.

Odvalovací fréza

Odvalovací fréza má tvar evolventního šneku. Používá se pro výrobu ozubení. Profil frézy v normální rovině je tvořen základním hřebenem. (2,4)



Obr. 6.4 Dvoumodulová fréza pro frézování odvalovacím způsobem (4)

7 BROUŠENÍ

Broušení řadíme mezi abrazivní metody obrábění. Mnohobřitý nástroj je tvořen zrny brusiva, která jsou navzájem spojena pojivem. Jednotlivá zrna brusiva mají různé, zejména záporné úhly čela. Broušení se uplatňuje při obrábění materiálů, které by nebylo možné jiným způsobem vyrobit, nebo je-li tato metoda hospodárnější než jiná. Brousící proces je charakteristický vysokou řeznou rychlostí (30 až 100 m.s^{-1}) a malým průřezem třísky (10^{-3} až 10^{-5} mm^2).

Při broušení se uplatňují různé metody. Podle tvaru obráběného povrchu rozlišujeme:

- broušení do kulata (výsledek je rotační povrch)
- tvarové broušení (např. ozubená kola, závity)
- kopírovací broušení (broušení s řízenou změnou posuvu, NC a CNC stroje)
- broušení tvarovými kotouči (profil kotouče určuje profil obrobku)
- rovinné broušení (výsledek je rovinná plocha)
- broušení na otáčivém stole (broušení s rotačním posuvem)

Lze říci, že při výrobě rotačních součástí se nejčastěji uplatňuje obvodové broušení do kulata vnějších ploch a tvarové broušení, proto se nadále zaměřím na tyto způsoby.

Při obvodovém broušení do kulata se řezná rychlost v_c (m.s^{-1}) vyjádří vztahem (7.1) a obvodová rychlost obrobku v_w (m.min^{-1}) závislostí (7.2). (7)

$$v_c = \frac{\pi \cdot d_s \cdot n_s}{60 \cdot 1000} \quad (7.1)$$

$$v_w = \frac{\pi \cdot d_w \cdot n_w}{1000} \quad (7.2)$$

kde: d_s (mm) - průměr brousícího kotouče

n_s (min^{-1}) - frekvence otáčení brousícího kotouče

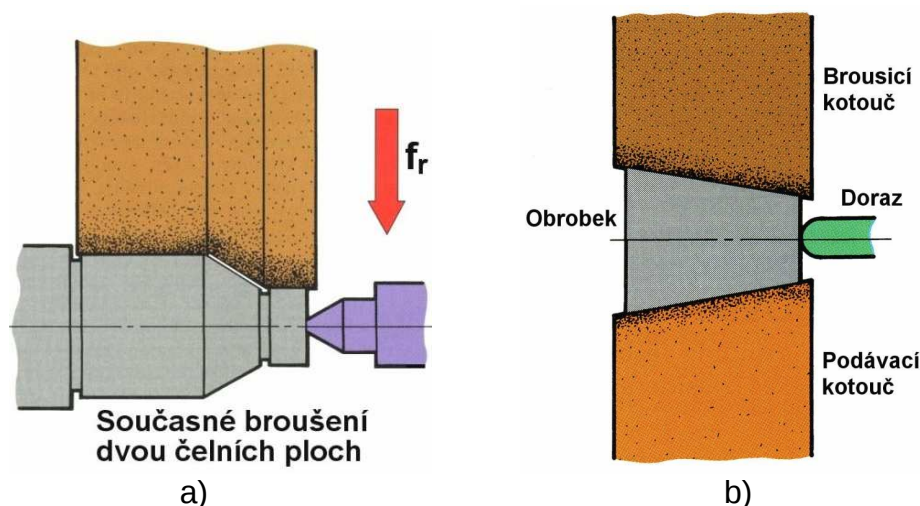
d_w (mm) - průměr obrobku

n_w (min^{-1}) - frekvence otáčení obrobku

7.1 Obvodové broušení do kulata vnějších ploch

- *Broušení axiální* – broušení s podélným (axiálním) posuvem se používá při výrobě dlouhých součástek. Obrobek je upnut mezi hroty, otáčí se a koná posuvový pohyb rovnoběžný s osou obrobku, případně obrobek koná jen pohyb otáčivý a nástroj posuvový podél osy obrobku. Obvodová rychlost brousícího kotouče (řezná rychlost) v_c se při broušení oceli pohybuje mezi 25 až 35 m.s^{-1} . Obvodová rychlost v_w obrobku pro stejný materiál se pohybuje od 15 do 20 m.min^{-1} při obrábění na hrubo a od 8 do 15 m.min^{-1} při obrábění na čisto.

- *Broušení hloubkové* - jedná se o broušení, kdy je kotoučem celý přídavek na broušení odebrán za jeden podélný zdvih stolu při malé axiální rychlosti posuvu. Tato metoda se řadí mezi nejproduktivnější. Používá se při malých přídavcích na broušení.
- *Broušení radiální* - pro aplikaci tohoto způsobu je nutný tuhý obrobek, zpravidla do maximální délky 350 mm. Šířka brousícího kotouče musí být větší než délka obrobku. Řezná a obvodová rychlost dosahuje stejných hodnot jako při axiálním broušení. Radiální posuv stolu f_r na jednu otáčku obrobku je 0,0025 až 0,0075 mm (při broušení na hrubo) a 0,001 až 0,005 mm (při broušení na čisto).
- *Broušení bezhroté* - umožňuje vysokou produktivitu práce při průchozím i zapichovacím způsobu broušení. Používá se pro přesné broušení v hromadné výrobě, např. při broušení součástí valivých ložisek. (3,7)



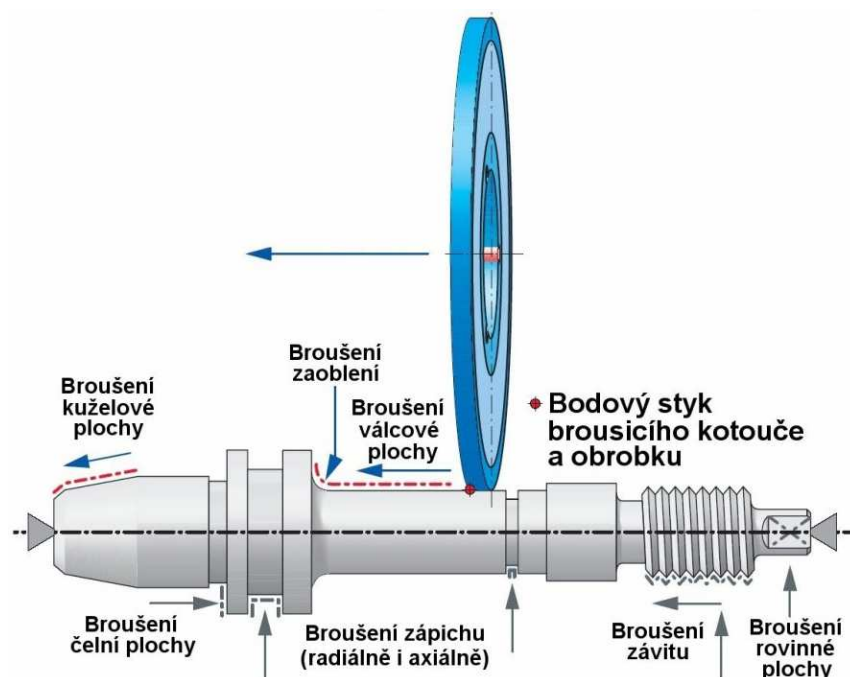
Obr. 7.1 Obvodové obroušení vnějších ploch (3)
a) broušení radiální b) broušení bezhroté

7.2 Tvarové broušení

Kromě jednoduchých válcových či kuželových tvarů je potřeba brousit i tvarově značně složité povrchy např. šablon, kotoučových nožů nebo tvarových kalibrů. Tyto složité povrchy lze brousit dvěma metodami:

- profilovými kotouči
- kotouči s obvyklým tvarem, kde pomocí kopírování nebo číslicového řízení (obr. 7.2) docílíme požadovaného tvaru součásti

Obecné tvary na obvodu brusného kotouče se vytváří orovnáváním, a to diamantem upnutým v přípravku, jehož kopírovací břit se pohybuje po šabloně. Pro méně přesné práce se kotouč profiluje ocelovými kladkami. Přesné profily, tvořené kruhovými částmi, se tvarují diamantem upevněným v otočných přípravcích.



Obr. 7.2 Využití číslicového řízení při broušení - technologie QUICKPOINT firmy Junker (3)

7.3 Nejčastěji používané stroje

Hrotové brusky

Obrobek je upnut mezi hroty. Nejrozšířenější jsou univerzální hrotové brusky používané pro broušení válcových, kuželových a čelních ploch popřípadě pro broušení děr.

Bezhraté brusky

Obrobek se neupíná. Využívané pro vnější broušení a méně často pro vnitřní broušení.

Speciální brusky

Mezi speciální brusky řadíme např. brusky pro broušení závitů, ozubení, vačkových a klikových hřídelů. (3,7)

7.4 Brousící nástroje

Brousící nástroje jsou tvořeny zrny brusiva pevně vázaných v tuhých tělesech různých velikostí a tvarů. Označují se podle ČSN ISO 0525 (224503) z hlediska tvarů, rozměrů, specifikace složení a maximální obvodové rychlosti.

Nejčastěji používaný materiál při výrobě brousících kotoučů je oxid hlinitý a karbid křemíku.

ZÁVĚR

Výrobní zařízení včetně nástrojů, strojů a softwarového vybavení prošlo v posledních letech značnými změnami. Je to důsledek snahy o zrychlení a zvýšení jakosti výrobního procesu, tento jev se projevuje ve všech strojírenských odvětvích.

V zadané práci jsem se snažil charakterizovat všechny významné metody, stroje a nástroje uplatňující se při výrobě tvarových rotačních součástí. Včetně těch, které jsou dnes již méně používané, ale mnohdy tvoří základ nových moderních technologií. Problematika výroby tvarových rotačních součástí je velmi rozsáhlá, a proto jsem se v některých případech omezil na pouhý výčet a následný popis jedné či dvou metod nejfrekventovanějších v praxi.

Při výrobě tvarových rotačních součástí se složitějšími tvary jsou moderní CNC soustruhy a CNC soustružnická centra. Tvarově složitě součásti, které je při konvenční výrobě nutno obrábět na soustruhu a následně na frézce, je možné na CNC soustruzích s hnanými nástroji zhotovit snadněji a na jedno upnutí. Jsou schopny měnit nástroje, řídit otáčky, posuvy a pomocné úkony dle prováděné operace. Dokáží pracovat s vysokou přesností a dobrou výslednou strukturou povrchu. Jejich nevýhodou oproti konvenčním strojům je někdy relativně dlouhá doba na odladění programu a vyšší cena výrobku. Nejsou vhodné pro hromadnou výrobu. Hromadná výroba je uskutečňována na automatech. Výroba na konvenčních strojích je vhodná pro obrobky na které nejsou kladeny vysoké nároky. Je relativně levnější a dostupná i pro uživatele, kteří nemohou nebo nechtějí investovat do nákladných CNC strojů a zařízení. Vhodnost použití konvenčního či číslicově řízeného stroje je odvislá od požadované rozměrové a geometrické přesnosti, struktury povrchu, tvaru součásti, ceny výrobku a od počtu vyráběných kusů. CNC stroje mají v současné době značný význam při výrobě tvarových rotačních součástí a do budoucna lze předpokládat, že jejich důležitost i nadále poroste.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, Anton. *Technologie I - technologie obrábění – 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, fakulta strojního inženýrství, 2003, 138 s. Dostupné na Word Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf>.
2. HUMÁR, Anton. *Technologie I - technologie obrábění – 2. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, fakulta strojního inženýrství, 2004, 95 s. Dostupné na Word Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf>.
3. HUMÁR, Anton. *Technologie I - technologie obrábění – 3. část* [online]. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005, 57 s. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf> .
4. HUMÁR, Anton. *Technologie I – laboratorní cvičení* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, fakulta strojního inženýrství, 2003, 64 s. Dostupné na Word Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_labor_cv.pdf>.
5. HUMÁR, Anton. *Výrobní technologie II* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru “Strojírenská technologie” BS studijního programu “Strojírenství”. VUT v Brně, fakulta strojního inženýrství, 2002, 84 s. Dostupné na Word Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobnTechnologie_II.pdf>.
6. Intos [online]. 2005 , 27.8.2007 [cit. 2008-05-06]. Dostupné na World Wide Web: <<http://intos.cz>>.
7. KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*, 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
8. Kovosvit MAS [online]. 2008 , 2008 [cit. 2008-04-20]. Dostupné na World Wide Web: < [http:// kovosvit.cz/2008/cs/index.html](http://kovosvit.cz/2008/cs/index.html) >.
9. Oso-olomouc [online]. 2001 , 2001 [cit. 2008-05-06]. Dostupné na World Wide Web: <<http://oso-olomouc.cz>>.
10. Pilous [online]. 2008 [cit. 2008-05-06]. Dostupné na World Wide Web: <<http://pilous.cz> >.
11. Tajmac-zps [online]. 2008 , 28.4.2008 [cit. 2008-05-06]. Dostupné na World Wide Web: <<http://tajmac-zps.cz>>.
12. VIGNER, M., PŘIKRYL Z. A KOL., *Obrábění*, 1. vyd. Praha: SNTL 1984. 808 s. Typ. č. L213-E1-V-41/22658.
13. VIGNER, M., ZELENKA, A., KRÁL, M. *Metodika projektování výrobních procesů*, 1. vyd. Praha: SNTL 1984. 592 s. Typ.č. L13-C3-IV-41/28784.
14. ZEMČÍK, O. *Technologická příprava výroby*, 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

λ	[-]	štíhlostní poměr
IT	[-]	stupeň přesnosti
RO	[-]	rychlořezná ocel
SK	[-]	slinutý karbid
NC	[-]	číslicové řízení
CNC	[-]	počítačové číslicové řízení
Z	[-]	počet zubů nástroje
TiN	[-]	nitrid titanu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
R_a	[μm]	parametr struktury povrchu
L	[mm]	délka rotační součásti
D	[mm]	jmenovitý průměr
V_c	[m min^{-1}]	řezná rychlost
V_f	[mm min^{-1}]	posuvová rychlost
V_e	[m min^{-1}]	rychlost řezného pohybu
V_c	[m s^{-1}]	řezná rychlost při broušení
V_w	[m min^{-1}]	obvodová rychlost obrobku
V_z	[m min^{-1}]	rychlost zpětného pohybu
n	[min^{-1}]	otáčky
n_s	[min^{-1}]	frekvence otáčení brousícího kotouče
n_w	[min^{-1}]	frekvence otáčení obrobku
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv na otáčku obrobku
b_d	[mm]	jmenovitá šířka třísky
h_d	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky
d	[mm]	průměr obrobené plochy
l	[mm]	délka obrobené plochy
d_s	[mm]	průměr brousícího kotouče
d_w	[mm]	průměr obrobku
t	[mm]	rozteč
f_z	[mm]	posuv na zub
f_n	[mm]	posuv za jednu otáčku nástroje
f_r	[mm]	radiální posuv stolu
f_{dz}	[mm]	posuv na dvojzdvih
A_d	[mm^2]	jmenovitý průřez třísky
ω	[°]	úhel stoupání šroubovice
K_r	[°]	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří