

Návrh pohonu vícevřetenového soustružnického CNC automatu

Bc. Peter MIKULA

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Peter Mikula**
Osobní číslo: **T16631**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Pohon víceřetenového soustružnického CNC automatu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Zhodnoťte stávající konstrukční uspořádání pohonu.
3. Navrhněte nové konstrukční řešení pohonu.
4. Vypracujte výkresy sestav navrženého řešení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. MM speciální vydání. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. ISBN 978-80-260-6780-1
2. BORSKÝ, Václav. Obráběcí stroje. 1. vydání. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. ISBN 80-214-0470-1
3. BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. 2. vydání. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1991. ISBN 80-214-0361-6
4. Dále dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Řezníček, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2018

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 2. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 1.5.2018



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

¹¹ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je návrh koncepce funkčního vzorku nového uspořádání pohonů vřeten vícevřetenového soustružnického CNC automatu. Teoretická část je zaměřena na problematiku obrábění, přehled soustružnických CNC strojů, přehled základních komponent použitých ve stroji, popisuje postup a způsob konstruování a počítačovou podporu v konstrukci.

Praktická část zahrnuje návrh nového uspořádání pohonu, výběr motorů pro vřeteno, pro posuv vřetene a pro přetáčení bubnu. Dále je navržen tvar a sestavení vřetene a jeho uložení v bubnu. Je zde popsán také princip přetáčení a zajištění bubnu, způsob odměřování a popis funkce celého zařízení. V závěru práce je zhodnocení celého návrhu.

Klíčová slova: soustruh, obráběcí stroj, CNC automat, vícevřetenový soustruh, dlouhotočný soustruh

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to design a concept of a functional sample of a new arrangement of spindles of multi-spindle turning CNC machines. The theoretical part focuses on machining, turning of CNC turning machines, overview of basic components used in the machine, describes the procedure and method of designing and computer support in the design.

The practical part includes the design of a new drive arrangement, a selection of motors for a spindle, a spindle feed and a revolving drum. Furthermore, the shape and assembly of the spindle and its storage in the drum are designed. It also describes the principle of rewinding and securing the drum, the method of measuring and describing the function of the whole device. The conclusion of the thesis is the evaluation of the whole design.

Keywords: lathe, machine tool, CNC machine, multi-spindle lathe, long-turning lathe

Poděkování zde patří vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Martinu Řezníkovi, Ph. D., za věcné připomínkování, spolupráci a také rady při tvorbě této diplomové práce. Další velké poděkování patří vedoucímu vývojové kanceláře f. Tajmac-ZPS, panu Ing. Jaroslavu Zemánkovi a kolegovi, panu Ing. Martinu Šmarhákovi, za praktické a odborné rady a cenné poznatky, při konstrukčním navrhování.

Na závěr patří také významné díky mé rodině a nekonečně trpělivé manželce.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 OBRÁBĚCÍ STROJE	12
1.1 HISTORIE VÝVOJE CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ	14
1.2 POŽADAVKY NA CNC STROJE	16
2 SOUSTRUH	18
2.1 CNC SOUSTRUH	20
2.1.1 CNC vícevřetenový soustruh	21
2.1.2 CNC dlouhotočný soustruh	22
2.2 HLAVNÍ MECHANICKÉ ČÁSTI CNC SOUSTRUHU	24
2.2.1 Ložiska	24
2.2.2 Vřeteno	29
2.2.3 Lineární vedení.....	33
2.2.4 Mechanizmy pro přímočarý pohyb	35
2.3 HLAVNÍ ELEKTRONICKÉ ČÁSTI CNC SOUSTRUHU.....	38
2.3.1 Pohony.....	38
2.3.2 Odměřování polohy.....	40
2.3.3 Řízení CNC obráběcích strojů	41
II PRAKTICKÁ ČÁST	43
3 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	44
4 POŽADAVKY NA NÁVRH KONSTRUKCE	45
4.1 VYPRACOVÁNÍ	45
4.2 NÁVRH STRUKTURY JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ STROJE.....	46
5 SOUČASNÝ STAV	47
5.1 POPIS OBRÁBĚCÍHO STROJE TMZ642CNC	47
5.2 POPIS OBRÁBĚCÍHO STROJE KMX816	49
5.3 PRINCIP POHONU VŘETEN VE STROJI TMZ.....	50
5.4 BUBEN VE STROJI TMZ	51
6 REALIZACE NÁVRHU	53
6.1 NÁVRH VŘETENE PMD	53
6.2 TUBUS	53
6.3 POHON VŘETENE ROTAČNÍ	56
6.4 ULOŽENÍ VŘETENE	59
6.5 SNÍMAČ ÚHLOVÝ	60
6.6 BRZDA VŘETENE	61
6.7 KLEŠTINA UPÍNACÍ	62
6.8 POHON VŘETENE POSUVNÝ.....	63
6.9 LINEÁRNÍ KULIČKOVÉ VEDENÍ S ODMĚŘOVÁNÍM.....	65
6.10 VODÍCÍ POUZDRO S VODÍCÍ KLEŠTINOU	66
6.11 VŘETENOVÝ BUBEN	68
6.11.1 Zajištění bubnu.....	68

6.11.2	Buben pro nové uspořádání PMD	69
6.12	MOTOR PŘETÁČENÍ BUBNU	73
6.13	KONZOLA BUBNU	74
6.14	CELKOVÁ SESTAVA	75
6.15	POROVNÁNÍ STARÉHO A NOVÉHO USPOŘÁDÁNÍ	78
ZÁVĚR	.....	81
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	.....	85
SEZNAM OBRÁZKŮ	.....	87
SEZNAM TABULEK	.....	90
SEZNAM PŘÍLOH	.....	91

ÚVOD

Strojírenství se řadí mezi technické obory, které staví na základech fyziky a nauce o materiálech. Zabývá se od návrhu přes výrobu až po údržbu strojů. Řadí se mezi nejstarší a nejrozšířenější technické disciplíny. Patří zde také nauka o mechanice, kinematice, dynamice, hydro a termo mechanice apod. Nejrychlejší vývoj byl zaznamenán v době průmyslové revoluce, avšak počátky lze datovat i do středověku. Nespočet záznamů můžeme dohledat ve starověkých a středověkých kulturách v různých zemích v podobě různých vynálezů, které v určité podobě a zdokonalení používáme dodnes.

Současnost ve strojírenství představuje pro výrobce obráběcích strojů silné konkurenční prostředí. Je to dáno zejména velkým počtem výrobců a také požadavky odběratelů na cenu a kvalitu výrobku a v neposlední řadě také tlakem na co nejkratší dodací termíny. Je to jakýsi hnací motor pro výrobce, aby vyvíjeli nové stroje, přicházeli s inovacemi a novými technologiemi a to jak ve funkčnosti stroje, tak v použití moderních materiálů. Tyto nové trendy každoročně představují na mezinárodních strojírenských veletrzích.

Jedním z inovativních požadavků je návrh typu stroje, který je svým technickým uspořádáním do jisté míry atypickým a v dnešní době málo rozšířený. Jedná se o návrh koncepce nového uspořádání pohonu, který je kombinací pohonu dvou typů soustruhů – dlouhotočného a víceřetenového. Z obou typů jsou použity jejich přednosti a výhody. Mezi ně se řadí velký výrobní výkon, malý zastavěný prostor, maximální automatizace, užití moderních technologií.

Výsledný stroj by měl splňovat požadavky zákazníků, které vychází z potřeby vyrábět velmi velké množství drobných součástek, ať už do automobilového, leteckého, či průmyslu obecně. Společný charakter takových součástek je kvalitní zpracování z kvalitního materiálu s velmi vysokým stupněm přesnosti obrobení. Jedním z podnětů k tomuto úkolu je také jistá produktová mezera na současném trhu v nabídce stroje tohoto provedení, kdy může mít jistou šanci pro úspěšné zařazení do výrobního programu f. Tajmac-ZPS, která je předním tuzemským výrobcem obráběcích strojů. Mělo by jít o kompaktní CNC stroj s velmi velkou výrobní kapacitou, kdy je schopen dílce díky uspořádání soustavy pohon-vřetenosuport vyrábět v rámci několika sekund, tedy srovnatelně se stroji řady TMZ, případně s lepším výrobním časem. Tímto by se řadil do kategorie strojů velkosériových, případně vhodných pro hromadnou výrobu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRÁBĚCÍ STROJE

Pod tímto pojmem se obvykle rozumí stroj pro třískové obrábění materiálu. Do této kategorie nepatří stroje tvářecí. Mezi nejrozšířenější obráběcí stroje patří stroje na obrábění kovu a dřeva. Dříve se obráběcí stroje dělily dle smyslu hlavního řezného pohybu a to na přímočaré a otáčivé. Mezi ty s otáčivým pohybem se řadily soustruhy, frézky, vrtačky, brusky. Později se od tohoto rozdělení upustilo a zavedlo se dělení, které se používá dodnes. Jedná se o obráběcí stroje universální, speciální a jednoúčelové.

- **Universální obráběcí stroj** je takový, s nímž je možné obrábět obrobky rozmanitých druhů a rozměrů a to různými operacemi.
- **Speciální obráběcí stroj** je určen k obrábění jednou operací plochy jednoho druhu na obrobkách různých tvarů a velikostí.
- **Jednoúčelový obráběcí stroj** je určen pro opakující se a stejné operace na stejném obrobku.
- **Obráběcí centra** jsou víceosé stroje určené pro výrobu produktů všemožných tvarů a rozměrů.
- **NC obráběcí stroje** jsou první programově řízené stroje řízené programem vyznačeným na děrném štítku, nebo děrné pásce. Prosadily se ve výrobě složitějších součástí s odpovídající opakovatelností. V současnosti jsou stále hojně rozšířené.
- **CNC obráběcí stroj** je takový stroj, který je číslicově (numericky) řízen a konstrukčně uzpůsoben tak, aby pracoval v automatickém cyklu. U CNC řídicích systémů je část pro zpracování informací tvořena integrovaným počítačem, který má v paměti uloženy všechny důležité funkce systému. Výhodou tohoto systému je, že pomocí softwarových bloků lze tento systém přizpůsobit strojům s různými počty řízených os a funkcí.
- **Výrobní buňka 4.0** je zařízení sestávající z výrobního stroje a měřicí stanice, umožňující po dokončení obrábění vyhodnotit kvalitu výrobku a při nalezení nedokonalosti poslat informaci zpět do stroje a ten obrobek opraví (Obr. 1). Buňka sleduje technický stav zařízení a je schopna na základě dat provádět prediktivní údržbu. Jednotné ovládací zařízení umožňuje spravovat všechna zařízení z jednoho panelu a to i přes to, že obráběcí stroj a měřicí zařízení má vlastní řídicí systém. V současné době buňka umí: adaptivní výrobu, jednotnou komunikaci a ovládání,

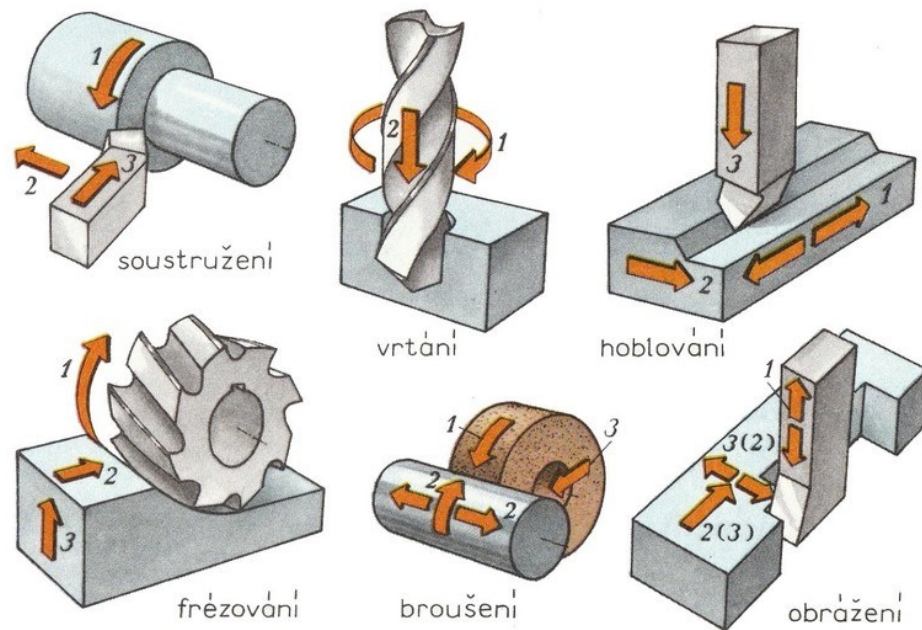
konektivitu, sledování pohybu osob, prediktivní diagnostiku, procesní diagnostiku a plánování, sledování spotřeby energie.



Obr. 1. Výrobní buňka 4.0 [1]

Druhy obráběcích strojů můžeme dále rozdělit podle:

- Způsobu obrábění (Obr. 2):
 - Vrtačky a vyvrtávačky (stolní, sloupové, stojanové, otočné, radiální, vodorovné, souřadnicové)
 - Frézky (konzolové, stolové, rovinné, speciální)
 - Soustruhy (hrotové, universální, čelní svislé, revolverové)
 - Brusky (hrotové, bezhroté, rovinné, na díry, stolní)
 - Obrážky (vodorovné, svislé)
 - Hoblovky (jednostojanové, dvoustojanové)
 - Stroje na výrobu závitů, ozubení a vaček



Obr. 2. Základní druhy obrábění [2]

- Stupně mechanizace:
 - S ručním ovládáním
 - S vyšší mechanizací
 - Poloautomatické
 - Automatické
 - Automatické výrobní systémy

1.1 Historie vývoje CNC obráběcích strojů

V této kapitole jsou uvedeny významné milníky vývoje CNC obráběcích strojů. Z historického hlediska můžeme říci, že počátky vývoje řízení a ovládání obráběcího stroje lze popisovat až od vzniku prvního mechanicky poháněného stroje. Tedy zkráceně od pohonu parním kotlem po dnešní řízené elektromotory.

Kolem roku 1800, kdy se objevily vačky, můžeme hovořit o prvním způsobu řízení. Takto ovládané stroje umožnily vývoj prvních kopírovacích a revolverových soustruhů. Vývoj vaček do velmi pokročilé úrovně trval téměř 100 let, do počátku 1. světové války. Teprve počátkem 20. století začaly do procesů třískového obrábění výrazněji vstupovat prvky řízení a automatizace. Automatizace ve výrobní sféře je v podstatě proces ve vývoji techniky, při kterém se využívá automaticky pracujících zařízení k osvobození člověka od fyzické namáhavé práce, zejména však od duševní řídicí práce. Automatizace z pohledu industrializace následuje po mechanizaci. Na rozdíl od mechanizace, která poskytuje pracov-

níkům zařízení usnadňující práci, automatizace oproti tomu snižuje potřebu přítomnosti člověka při výkonu této činnosti.

Vývoj CNC strojů probíhal paralelně ve čtyřech hlavních oblastech, a to:

1. ve stavebních komponentech
2. řídicích systémech
3. ve výrobní soustavě
4. vlastní stroj

V období let 1950 jsou jako pohony používány elektricky řízené hydromotory a postupně jsou nahrazovány elektricky řízenými motory. Odměřování se provádí opticky. Objevují se NC systémy řízené magnetickým záznamem.

V období let 1960 se objevují první obráběcí centra na součásti nerotačního typu. Objevují se první tranzistorové NC systémy, tyto postupně přecházejí na integrované obvody. Vznikají první výrobní linky s NC stroji a stanicemi.

V letech 1970 se začínají používat kuličkové šrouby a hydrostatické vedení. Zkouší se první soustružnická centra s rotačními nástroji. Do NC řídicích systému se implementují první paměťové moduly. Vznikají první CNC systémy s minipočítači.

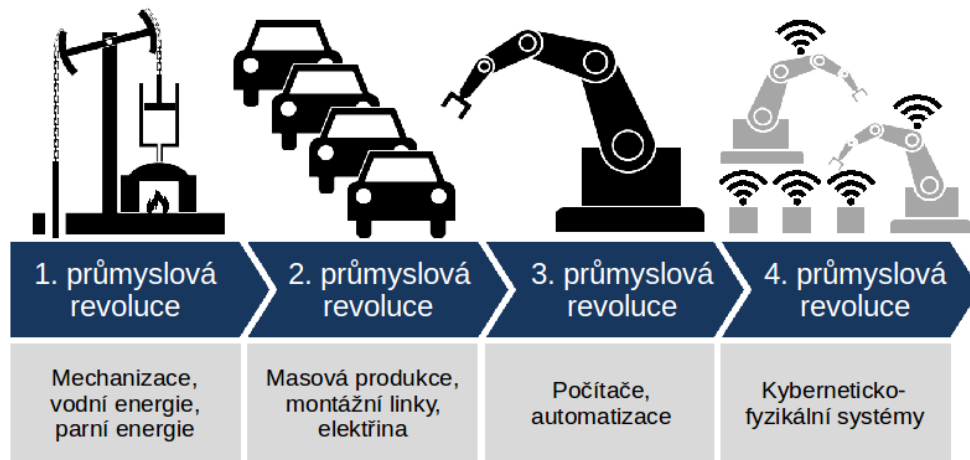
V období 1980 se implementují senzory a snímače mechanických pohybů. Stroje jsou vybavovány zásobníky nástrojů. Řídicí systémy pracují na bázi CNC/PLC multiprocesorových počítačových struktur.

V letech 1990 jsou stroje vybavovány vysoce přesnými systémy řízení, automatickou velkokapacitní zásobou nástrojů i obrobků. Velmi se zvyšuje přesnost výroby i produktivita. Začínají se implementovat CAD/CAM systémy na bázi PC. Dosahuje se velké variability dílů ve výrobě. [3]

Období let 2000 po současnost patří dalšímu významnému vývoji nových generací obráběcích strojů a center. Vyvíjí se multifunkční stroje s použitím nejmodernějších technologií.

V současnosti se do širokého povědomí dostává pojem označovaný jako Průmysl 4.0, trend nazýván též 4. průmyslovou revolucí (Obr. 3). Jedná se o zavádění takzvaných chytrých továren využívající kyberneticko-fyzikální systémy. Tyto převezmou opakující se pracovní činnosti a tím nahradí lidskou pracovní sílu. Myšlenka je založena na celkovém propojení výrobních strojů, produktů, polotovarů a dalších systémů nejen ve výrobním řetězci, ale

také napříč celým podnikem, tedy i s ekonomickým, obchodním, logistickým a dalšími úseky. Průmysl 4.0 předpokládá maximální využití internetu věcí a internetu služeb.



Obr. 3. Průmyslové revoluce [4]

1.2 Požadavky na CNC stroje

Jednotlivé uzly obráběcího stroje tvoří dohromady spolupůsobící celek, který svými vlastnostmi musí splňovat veškeré požadavky kladené na celkovou funkčnost stroje. V následujících bodech jsou shrnuty vybrané základní vlastnosti.

Rám s vodicími plochami, stůl

- vysoká statická i dynamická tuhost, což má rozhodující vliv na zachování nastavené polohy mezi nástrojem a obrobkem
- odolnost stroje proti vzniku všech forem chvění určuje využitelný výkon stroje a jakost obrobené plochy
- dobrý odvod třísek, zejména u vysokovýkonných strojů, které při jejich hromadění mají díky své vysoké teplotě nepříznivý vliv na tepelné dilatace, jež tímto způsobují nepřesnost stroje při práci
- vzhled i tvar dle výše uvedených požadavků s ohledem na ekonomiku výroby

Posuvová soustava

- dostatečně velký výkon a síla pro překonání řezných i třecích sil a pro vyvinutí zrychlení při pohybu soustavy a zajištění plynulého pohybu ve všech cyklech
- rozsah regulace pro využití potenciálu stroje
- stabilita při náhlých změnách
- minimální vůle a maximální tuhost v celém kinematickém řetězci

- diagnostika poruch, bezpečnostní prvky

Vřeteno, vřeteník

- velmi vysoká tuhost uložení
- vysoká přesnost chodu
- dosažení maximálních otáček s možností regulace při zachování výkonu
- teplotní stabilita
- možnost rychlého zastavení, případně s možností polohování
- diagnostika poruch, bezpečnostní prvky

Upínání a výměna nástrojů

- spolehlivé upnutí a uvolnění nástroje s opakovatelnou přesností
- optimalizovaný přívod chlazení s možností nastavení trysek dle potřeby
- dostatečná kapacita nástrojů
- co nejmenší zastavěná plocha zásobníku
- co nejkratší čas spojený s výměnou nástroje
- spolehlivá jednoduchá konstrukce s jednoduchým chodem

Média a ochranné kryty

- dostatečná těsnost soustavy s ohledem na ekologii
- dostatečně dimenzované průtoky a optimalizované trasy vedení
- soulad s krytováním, využití stavebnicové koncepce
- optimální umístění přípojek s ohledem na použití
- krytování v souladu s bezpečnostními předpisy
- zajištění přístupu ke všem částem stroje s ohledem na celkový vzhled stroje
- bezpečnostní prvky s diagnostikou u všech odnímatelných, či otevíracích částí

Vzhledem k tomu, že tato práce je zaměřena na typ stroje, kterým je CNC soustruh, budou další kapitoly věnovány popisu stroje tohoto typu.

2 SOUSTRUH

Soustruh je obráběcí stroj, který zpravidla vytváří výrobek rotačního symetrického tvaru. Základní části konvenčního soustruhu jsou (Obr. 4):

- lože – základní část soustruhu, na něm jsou uloženy všechny ostatní části
- vřeteník – v něm je uloženo vřeteno se sklíčidlem
- motor a převodovka – pohání vřeteno
- suport – umožňuje pohyb nástroje vůči obrobku v podélné i příčném směru
- koník – používá se pro podepření dlouhých obrobků a pro vrtání osových děr



Obr. 4. Části universálního hrotového soustruhu [5]

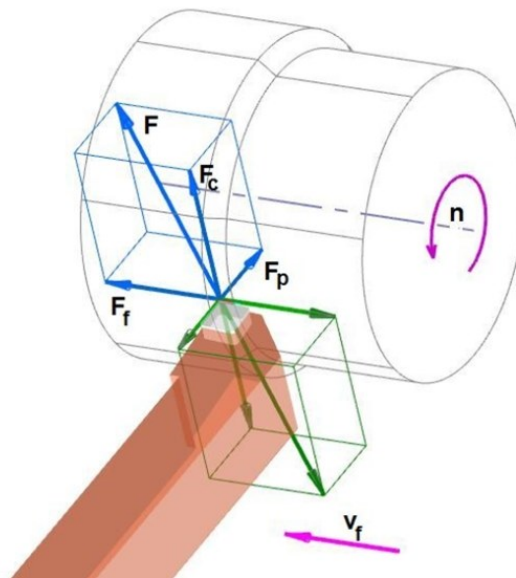
Princip výroby na soustruhu

Obrobek se upne do vřetena a to se otáčí, což je u soustružení hlavní pohyb. Vedlejší pohyb koná nástroj – nůž. Pohyb nástroje je zpravidla přímočarý a to buď ve směru osy obrobku (podélný, axiální), nebo ve směru kolmém na osu rotace obrobku (příčný, radiální). Oba tyto pohyby mohou být kombinované a prováděny současně. Pohyb pracovního nástroje může být prováděn ručně, nebo strojně. Nástroj svým posunem odebírá jednotlivé vrstvy z obrobku, čímž vzniká tříska. Při této operaci se značná část mechanické energie přenášené z pohonu stroje na obrobek mění na teplo. Toto odpadní teplo se přenáší také na

nástroj. Obrobek i nástroj musíme chladit. Soustruh patří mezi nejstarší známé stroje. Lze na nich obrábět vnější i vnitřní rotační plochy válcové, kuželové i obecné, čelní rovinné plochy, řezat závity, vrtat, vyvrtávat, vystružovat apod. S přídatným zařízením lze také kopírovat podélně i příčně, frézovat plochy i drážky, brousit vnitřní i vnější válcové plochy atd.

Z pohledu řezných sil můžeme proces soustružení definovat následovně:

Řezná síla je celková síla, kterou působí nástroj na obrobek (Obr. 5). Naopak řezný odpor je silové působení obrobku na nástroj. Celkovou řeznou sílu tvoří její složky – řezná, posuvová a pasivní síla. Složky řezných sil působí v různých směrech, na základě kterých lze určit velikost a směr výsledného silového působení.



Obr. 5. Složky řezných sil [6]

Velikost řezné síly F je tvořena následujícími složkami:

F_c – tečná složka, působí ve směru řezné rychlosti, hlavní řezná síla, která spolu s řeznou rychlostí určuje čistý výkon pohonu vřetene.

F_f – axiální složka, působí rovnoběžně s osou otáčení (ve směru pracovního posuvu), představuje posuvovou sílu, která spolu s rychlostí posuvu určuje čistý výkon pohonu posuvu.

F_p – radiální složka, působí ve směru přísuvu břitu kolmo k ose otáčení. [3]

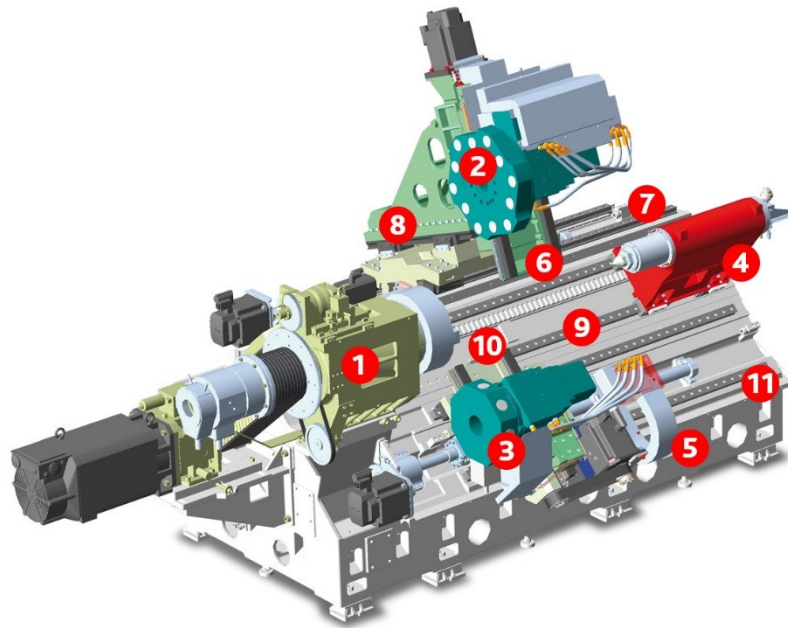
Tyto složky jsou závislé na řadě vlivů, z nichž nejvýznamnější jsou: obráběný materiál, velikost a tvar průřezu třísky, geometrie řezného břitu, velikost řezné rychlosti.

Řezná síla je dynamický jev, při kterém z počátku síla roste až po určité maximum, které je charakteristické pro moment, v němž dojde k oddělení třísky od základního materiálu. Následně síla poklesne. Ne však na nulovou hodnotu, protože před ukončením posunutí elementu začne deformace dalšího elementu třísky. [6]

Řezné síly jsou limitujícím prvkem obrobitelnosti. Ovlivňují spotřebu energie během procesu. Vysoké řezné síly znamenají vysoký výkon a použitelný výkon je vždy omezen. Vysoké řezné síly způsobí větší deformace řezných nástrojů a obrobků, což může mít za následek vibrace a deformace obrobku (ztrátu tolerance). V případě, že jsou použité řezné síly příliš vysoké, může být životnost nástroje krátká (vylomení řezné hrany). [7]

2.1 CNC soustruh

S nástupem NC a CNC, tedy číslicovým řízením, lze dále možnosti stroje rozšířit o mnoho dalších funkcí, kdy lze s výhodou využívat také rotační nástroje a polohování. To znamená, že lze vyrobit součásti téměř libovolného tvaru, omezené pouze průměrem vřetena a posuvem suportů. Došlo také ke zjednodušení konstrukce stroje na straně jedné a na straně druhé bylo zapotřebí jistá nutná konstrukční opatření. Kinematická vazba je nahrazena vazbou v řídicím počítači. Konstrukce NC strojů však vyžaduje vymezení vůlí v posuvových hnacích systémech, jejich vysokou tuhost, snížení pasivních odporů v převodech i ve vedeních a použití vhodných snímačů pro odměřování (polohy, dráhy, rychlosti, točivého momentu, proudu...) a pro uzavírání zpětněvazebních smyček. Používají se regulační hnací motory a snižuje se počet mechanických převodových cest. [3]



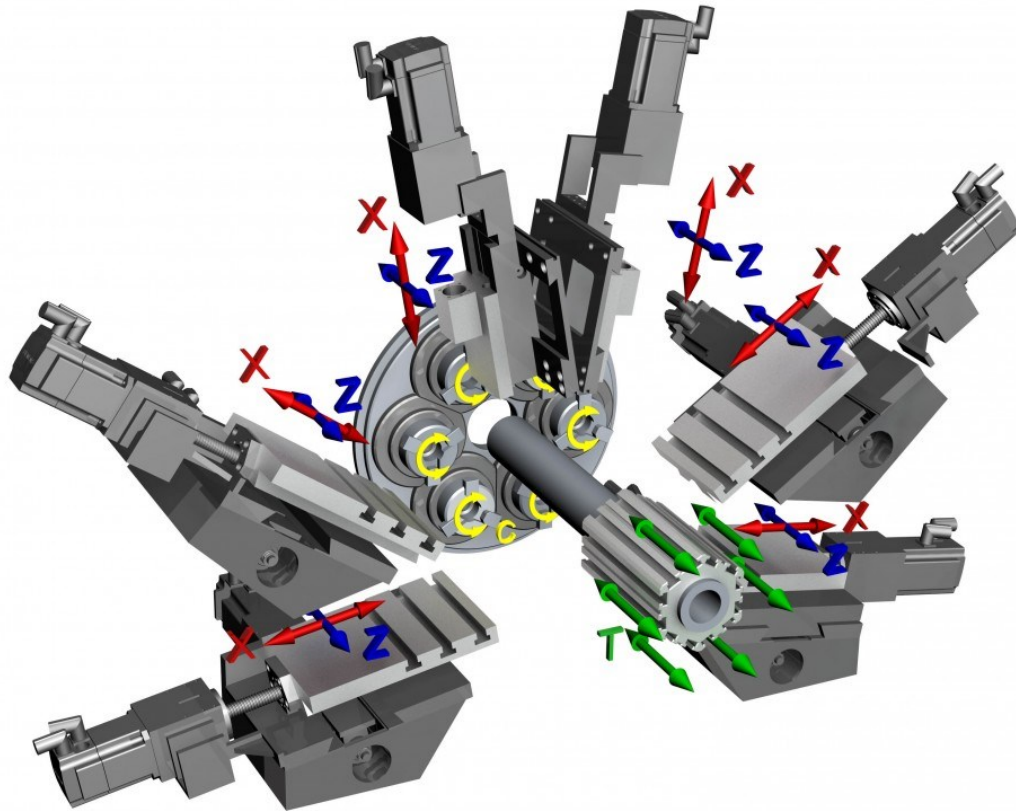
Obr. 6. Části CNC soustruhu [8]

Hlavní části CNC soustruhu (Obr. 6): 1 hlavní vřeteno, 2 horní nástrojová hlava, 3 spodní nástrojová hlava, 4 koník, 5 Lože, 6-10 valivá vedení os X/Y/Z

2.1.1 CNC vícevřetenový soustruh

Podstata zavedení do soustruhu více vřeten spočívá v potřebě maximálně zvýšit produktivitu výroby daného stroje. Jeden z prvních automatů tohoto typu se zrodil v ČR v 50. letech ve Zlínském ZPS, jako další logický krok po vývoji soustruhu revolverového typu. Postupný vývoj přinesl v roce 1964 variantu NC a o několik let později i provedení CNC. V současné době je vícevřetenový CNC soustružnický automat nasazován v hromadných a velkosériových výroбах, kde se dá čerpat z jeho výhod spočívajících zejména v ohromné produktivitě a zároveň v relativně malé zástavbové ploše. Z počátku byly tyto stroje vybaveny nezávislým motorem pro pohon vřeten a nezávislým posunovým motorem. Suporty podélné, příčné a někdy také i křížové byly ovládány výměnnými vačkami, nebo pákovým mechanismem s nastavitelným zdvihem. Stroj je nejčastěji vyráběn ve variantě s 6, nebo s 8 vřeteny. Novější generace plnohodnotného CNC automatu vznikla díky široké nabídce nástrojů, technologií a řídicích systémů s možností rychlého a pohodlného seřízení na jiný dílec ruku v ruce s lepší obsluhou, bezpečností a ekologičností. Stroj je také vybaven osovými suporty s možností montáže protivřeten s rotačním pohonem. Jednotlivé osy suportů (Obr. 7) jsou samostatně nezávisle poháněny servomotory s kuličkovým šroubem. Vřetena jsou uložena ve vřetenovém bubnu, který je přetáčen do

jednotlivých poloh pomocí vačkového mechanismu poháněném výkonným AC motorem. Takto je spřaženo na stejný pohon také odjištění bubnu, podávací a upínací cyklus vřeten a doraz materiálu. Takto optimalizovaný mechanismus s využitím vačky je výhodný zejména tam, kde hledáme zkrácení neproduktivních časů – je velmi rychlý. [9]



Obr. 7. Souřadný systém vícevřetenového soustruhu [10]

2.1.2 CNC dlouhotočný soustruh

Historie vzniku dlouhotočných soustružnických strojů se vztahuje k období osmdesátých let 19. století ve Švýcarsku.

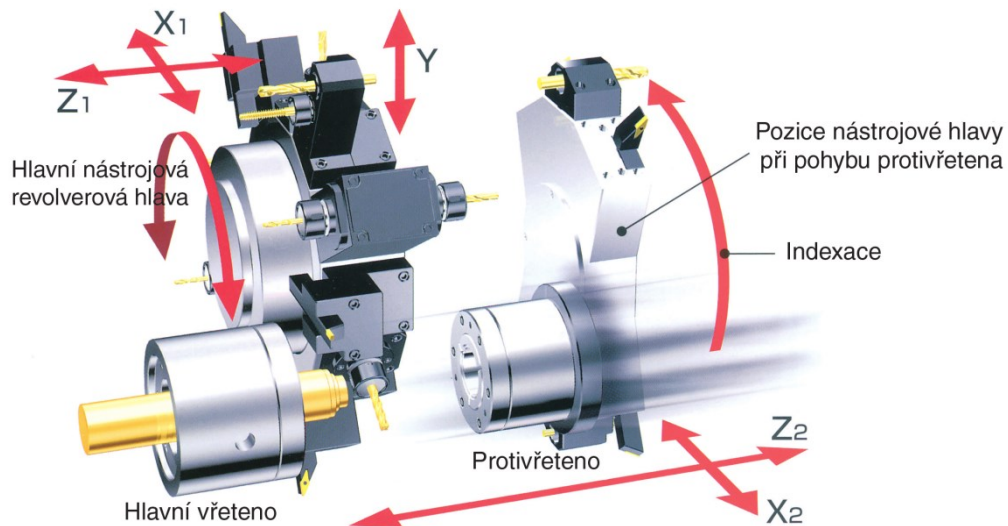
Dlouhotočný CNC soustruh - automat je určen pro obrábění součástí z tyčového materiálu, ze čtyřhranu i šestihranu. Jedná se o vysoce dynamický stroj, vynikající v porovnání s CNC revolverovými soustruhy svou bezkonkurenční produktivitou. Někdy se také označuje jako stroj s posuvným vřeteníkem, což je jeho podstatou. Používá se k obrábění dlouhých hřídel s malým průměrem. Soustruhy běžného typu jsou použitelné k obrábění součástí o délce asi trojnásobku svého průměru, tedy s relativně malou štíhlostí. U větších délek nastávají problémy, mnohdy nepomůže ani podepření obrobku hrotem, či jiným způ-

sobem. Takovou součást musíme tedy obrábět na víc operací, či více krát upnout. Takovéto operace a manipulace nám přinášejí vícenáklady a časovou prodlevu, v neposlední řadě také nedodržíme rozměrovou a geometrickou přesnost. Tyto uvedené nedostatky nám právě s úspěchem řeší použití dlouhotočného automatu. Délka obrobku je u takového stroje dána pouze limitem vysunutí tyče z kleštiny, či délkou tyče samotné.

Konstrukci takového stroje tvoří stejně, jako u klasického soustruhu, základna – skříň s vřeteníkem, vřeteno, upínač, kleština, případně proti vřeteno. Celý vřeteník se v průběhu obrábění pohybuje v ose vřetena na lineárním vedení (Obr. 8). Tomuto pohybu říkáme zdvih vřeteníku. Čelo skříně je opatřeno vodicím pouzdem s kleštinou, které slouží jako podepření konce tyče. Pouzdro, resp. Vodicí kleština musí těsně obepínat tyč, tím je daná v jisté míře také přesnost obrábění. Tato vodicí pouzdra rotují buď pomocí tření o tyč, nebo mohou mít mechanický náhon, který je přesně synchronizovaný s polohou vřetena. Takto poháněné vodicí pouzdro má hned další výhodu v tom, že není nutné při dalším zdvihu vřeteno zastavovat. Jednoduše se otevře kleština, vřeteník zajede zpět a opět kleštinu zavře. Tyč je při tom udržována v konstantních otáčkách poháněným pouzdem. Vodicí kleštinu lze použít i pneumaticky seřiditelnou, kdy je schopna se průběžně přizpůsobovat průměru, či tvaru tyče, zejména u nestandardních průřezech. Z vnější strany skříně jsou umístěny nástrojové suporty, jejich počet závisí na velikosti a vybavenosti stroje.

Nástroje jsou upnuty v konstantní vzdálenosti od čela vodicího pouzdra. Pohyb nástroje se uskutečňuje v několika osách, vzdálenost nástroje od pouzdra se však nijak v ose zdvihu vřetene nezvětšuje, což je charakterem a předností tohoto stroje. Nástroj takto obrábí neustále u čela vodicího pouzdra, čímž je umožněno dosahovat přesnějšího, kvalitnějšího a také rychlejšího obrábění. Běžně dosahuje obrobený povrch součásti, vyrobené tímto strojem, přesnosti 0,01mm s dosažitelnou drsností povrchu $Ra=0,4$. Další výhodou je upnutí nástrojů v přesuvné desce oproti revolverové nástrojové hlavě. Nástroje jsou střídány pouhým krátkým rychlým přesunutím do jiné polohy. Revolverová hlava musí popojet do bezpečné vzdálenosti, pootočit a přijet zpět k místu obrábění. Opět i zde je nemalá časová úspora. Čím více se používá nástrojů, tím zřetelnější je časový rozdíl oproti klasickým soustruhům. Další zajímavostí dlouhotočného automatu je využití většího zdvihu vřeteníku. Příkladem je obrobek dlouhý 40mm, který je vyráběn soustruhem se zdvihem 400mm. Takových dílců jsme schopny vyrobit na jedno upnutí a zdvih hned 10. U běžného CNC soustruhu by to znamenalo 10x zastavit vřeteno, otevřít kleštinu, posunout tyč, zavřít

kleštinu, roztočit vřeteno. Nemalá je také energetická úspora, zejména při mnohonásobném roztáčení vřetena. [11]



Obr. 8. Souřadný systém dlouhotočného soustruhu [12]

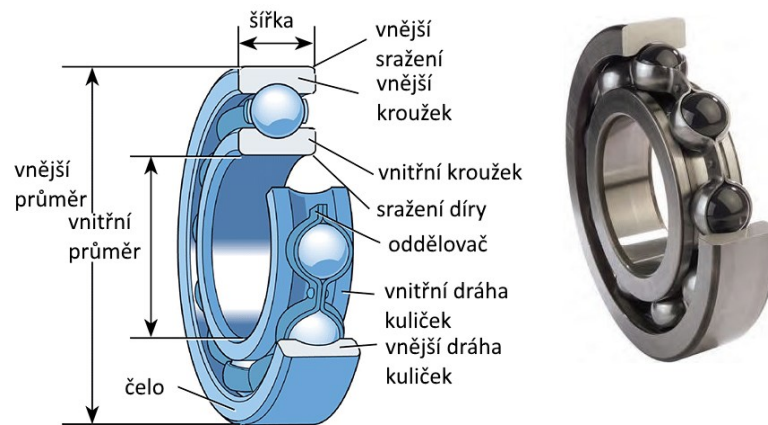
2.2 Hlavní mechanické části CNC soustruhu

Každý stroj, zejména obráběcí, je složen ze stovek, neřídka několika tisíců dílů a součástí. Jejich vzájemné sestavení, přesnost vyrobení, sestavení a spolupůsobení je velmi důležité pro správnou funkci stroje. Dále budou popsány nejběžnější prvky, které nalezneme téměř v každém obráběcím stroji.

2.2.1 Ložiska

Patří k nejmenším součástem, avšak svojí důležitostí s velkým významem jsou ve stroji ložiska. Tyto slouží k uložení rotačních součástí. Valivé ložisko se skládá z následujících základních částí: vnější kroužek, vnitřní kroužek, valivé tělísko, klec (oddělovač valivých těles).

Nejpoužívanější typy v obráběcím stroji jsou standardní valivé kuličkové ložisko radiální a vřetenové ložisko s kosoúhlým stykem pro kombinované zatížení. Každý typ valivého ložiska se vyznačuje charakteristickými vlastnostmi danými konstrukcí, a tedy se více či méně hodí pro daný způsob použití.



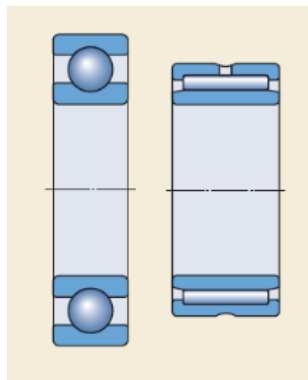
Obr. 9. Valivé kuličkové ložisko [13]

V mnoha případech je nutno brát v úvahu více různých vlivů a při volbě ložiska je vzájemně porovnávat z hlediska důležitosti, např.: prostorové nároky, zatížení, nesouosost, přesnost, otáčky, tichý chod, tuhost, axiální posuvnost, montáž a demontáž, těsnění.

Jinými dalšími důležitými kritérii, na něž se musí brát zřetel při navrhování uložení, jsou také: únosnost, trvanlivost, tření, přípustné otáčky, ložisková vůle či předpětí, mazání, způsob utěsnění, apod.

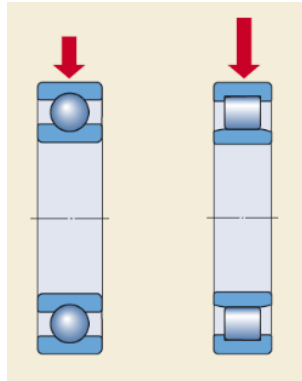
Prostorové a zástavbové nároky na ložiska

Pro uložení hřídelí malých průměrů jsou nejvíce používána kuličková ložiska, ale neméně vhodná jsou i jehlová ložiska.



Obr. 10. Kuličkové a jehlové ložisko [14]

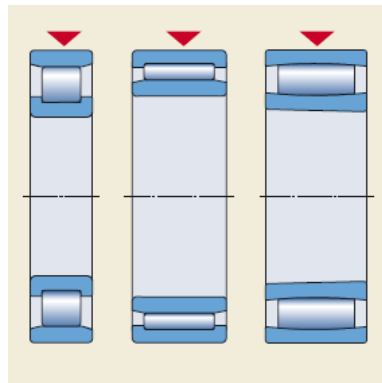
Kuličková ložiska jsou většinou určena pro malá a středně velká zatížení. Pro velká zatížení a hřídele velkých průměrů jsou zpravidla vhodnější ložiska s čárovým stykem.



Obr. 11. Ložisko s bodovým a čárovým stykem [14]

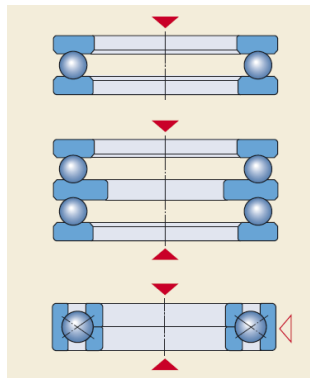
Směr zatížení působící na ložisko

Rozlišujeme dva základní směry – axiální, kdy síla působí ve směru rotace a radiální zatížení, kdy síla působí kolmo na směr rotace. Dále nejdeme ještě ložiska pro kombinované působení sil.



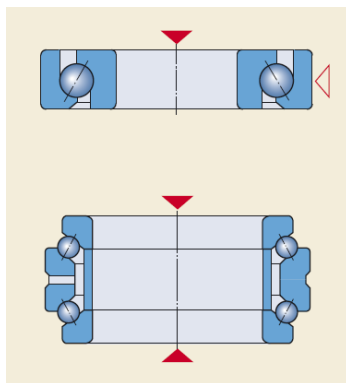
Obr. 12. Ložiska radiální [14]

Axiální kuličková ložiska a ložiska se čtyřbodovým stykem jsou vhodná pro přenášení malých a středně velkých čistě axiálních zatížení.



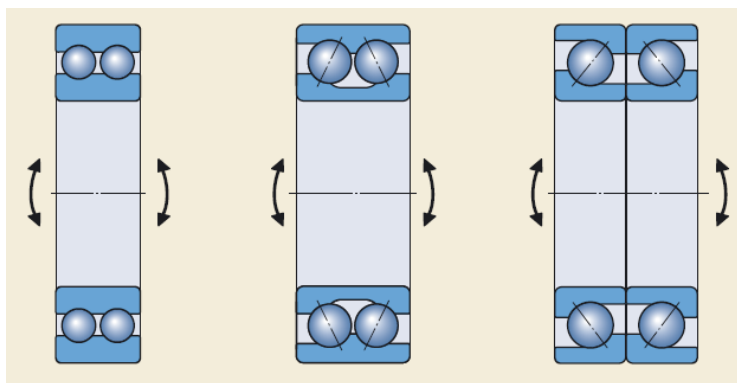
Obr. 13. Ložiska axiální [14]

Jednosměrná axiální kuličková ložiska mohou být zatěžována pouze v jednom směru, zatímco pro zatížení působící v obou směrech jsou určena obousměrná ložiska. Axiální kuličková ložiska s kosoúhlým stykem mohou přenášet středně velká axiální zatížení při vysokých otáčkách.



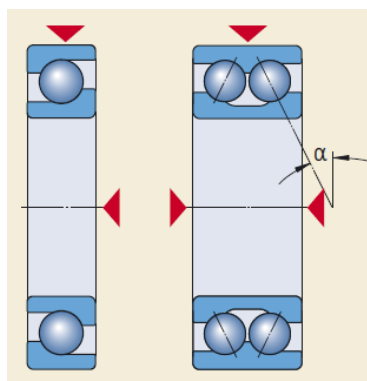
Obr. 14. Ložiska axiální s kosoúhlým stykem [14]

Jestliže se mění orientace působícího zatížení, je třeba použít ještě další ložisko. K tomuto účelu jsou dodávána jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem pro univerzální párování nebo jednořadá kuželíková ložiska v sadách po dvou.



Obr. 15. Ložiska dvouřadá a párované pro zachycení klopného momentu [14]

Pokud působíště zatížení leží mimo osu ložiska, vzniká klopný moment. Dvouřadá ložiska, jako např. kuličková nebo kuličková s kosoúhlým stykem mohou přenášet klopné momenty, avšak vhodnější jsou jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem montovaná ve dvojici anebo kuželíková ložiska párovaná čely k sobě (do “X”), či ještě lépe zády k sobě (do “O”).



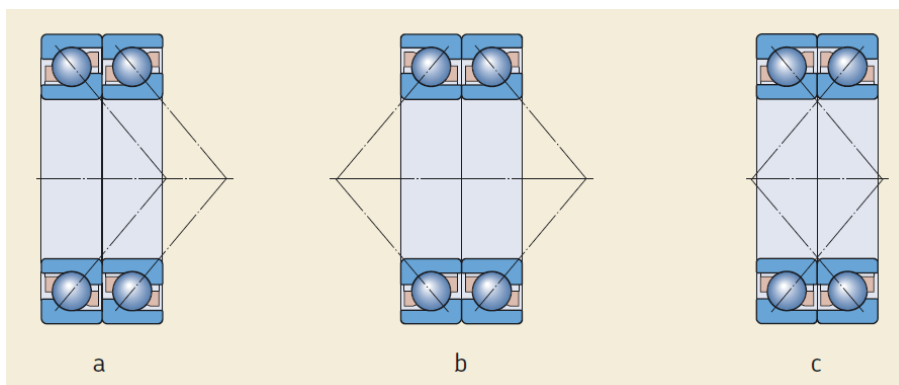
Obr. 16. Ložisko jednořadé a dvouřadé s kosoúhlým stykem [14]

Otáčky, při nichž mohou ložiska pracovat, jsou omezeny přípustnou provozní teplotou. Tuhost valivého ložiska je charakterizována velikostí pružné deformace ložiska při zatížení. Z hlediska styku mezi valivými tělesy a oběžnými dráhami mají ložiska s čárovým stykem, jako např. válečková a kuželíková ložiska, vyšší tuhost, než kuličková ložiska. Tuhost ložisek lze zvýšit předpětím.

Vřetenová ložiska

Vřetenová ložiska jsou jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem ve vysoce přesném provedení. Jejich speciální kontaktní geometrie, provedení povrchových ploch a ostatní vlastnosti zajišťují vysokou přesnost a tuhost, excelentní způsobilost pro vysoké otáčky, dobré chování v oblasti kmitání apod.

K dispozici jsou různá provedení vřetenových ložisek v normalizovaných velikostech, což je důležitý předpoklad pro vyměnitelnost, která umožňuje optimální řešení specifických požadavků. Na Obr. 17 je znázorněn způsob montáže: a) do tandemu, b) zády k sobě do „O“, c) čelem k sobě do „X“.



Obr. 17. Způsob montáže vřetenových ložisek [14]

2.2.2 Vřeteno

Vřeteno soustruhu je jeden z nejdůležitějších prvků stroje. Na rozdíl od jiných obráběcích strojů se u soustruhu do vřetene upíná místo nástroje obrobek. Svou rotací takto vykoná spolu s obrobkem hlavní pohyb. Vřetena u CNC obráběcích strojů musí zaručit prostorovou stabilitu osy a přenášet zatížení při velmi vysokých otáčkách. Ložiska, ve kterých je vřeteno uloženo, musí přenášet kombinovaná radiálně-axiální zatížení. Uložení vřetena s vyobrazením ložisek dle koncepce SKF (Obr. 18). Hlavní ložisko je v přední části vřetena a má podstatný vliv na správný a přesný chod vřetena. U koncepce uložení vřetena pro velmi vysoké otáčky je nutná regulace síly předpětí ložiska v závislosti na pracovních podmínkách stroje. Vřeteno je uloženo ve vřeteníku (tubus, nebo skříň). U vícevřetenového soustruhu je vřeteníkem otáčející se část skříně zvaná buben. Vřetenový buben svojí rotací vřetena postupně přemísťuje do další pracovní polohy. Přední část vřetena slouží k upnutí obrobku a je normalizována.

Požadavky na vřetena, které je potřeba při návrhu koncepce zohlednit:

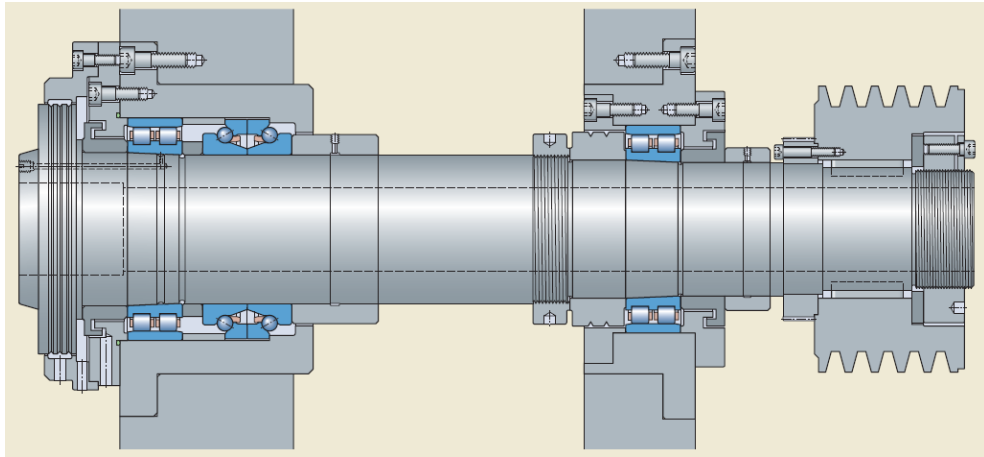
- vysoká přesnost chodu, maximální otáčky, nejvyšší tuhost
- uspořádání, zahřívání a mazání ložisek
- pracovní teplota vřetena, hlučnost
- spolehlivost, životnost

Vzhledem k tomu, že některé z výše uvedených požadavků jsou protichůdné, je potřeba zaměřit se na oblast, která je pro daný typ stroje a jeho uplatnění důležitá.

Náhon vřeten

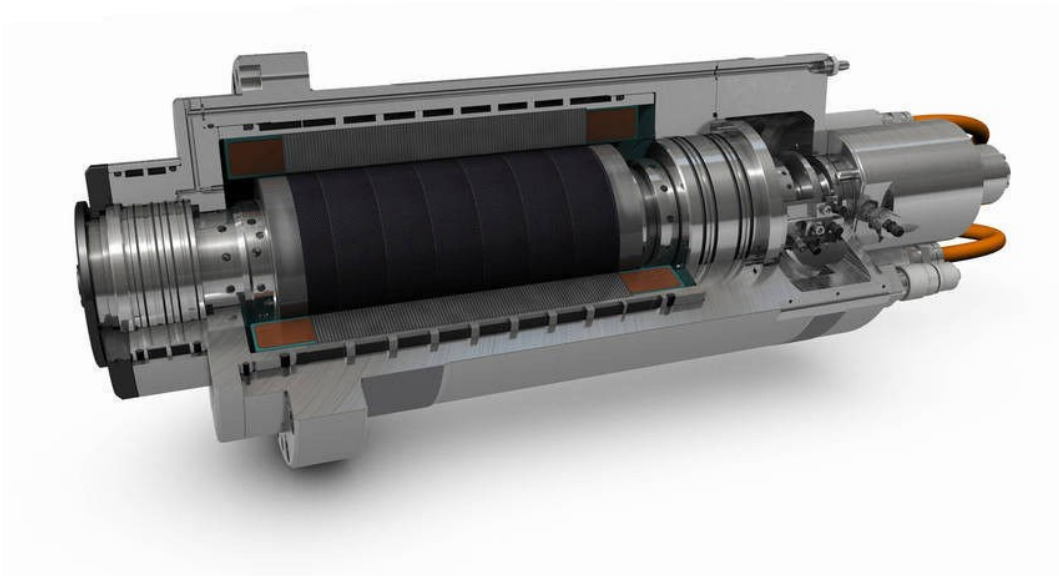
Náhon vřeten dělíme na 2 hlavní způsoby:

- **vloženým převodem** (řemen, ozubená kola) – výhodou je přenos větší krouticích momentů, v případě použití převodovky lze získat velký převodový poměr. Nevýhodou je větší hlučnost, vyšší hmotnost, vibrace, pro stroje univerzálního použití. V případě použití řemene je chod tichý, tlumí kmity i rázy, avšak přenáší menší krouticí moment.



Obr. 18. Vřeteno poháněné řemenem [14]

- **přímý náhon** (servomotor, elektrovřeteno) – výhodou je zde zejména menší zastavěný prostor, minimální chvění, pružná změna otáček. Nevýhodou je např. nutnost chlazení elektrovřetena (vzduchové, či kapalinové).



Obr. 19. Vřeteno poháněné přímo – elektrovřeteno [15]

Pohon vřetene

Ozubený převod přenáší otáčivý pohyb a mechanickou energii z jedné hřídele na druhou nuceně a bez skluzu. Používá se především pro převody se stálým převodovým poměrem a s malou osovou vzdáleností hřídelů. Ozubené převody se vyznačují velkou účinností, spolehlivou funkcí, velkou životností, kompaktním uspořádáním a jednoduchou obsluhou. Oproti tomu výroba ozubených kol vyžaduje speciální nástroje a stroje. Různé pochybení při výrobě mohou být příčinou chvění, hluku a nepřesnosti chodu stroje za provozu. Pře-

vod ozubeným řemenem slučuje výhody řemenových a řetězových pohonů a s úspěchem je poslední dobou hojně využíván. [16]

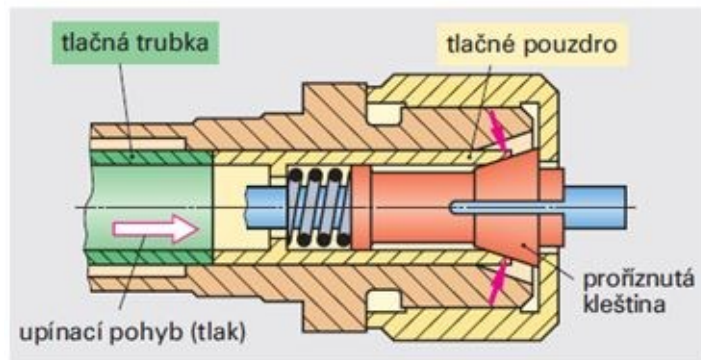
Kleštiny

Kleštiny se používají pro upínání součástí menších průměrů a kratších délek, obvykle v sériové výrobě. Umožňují rychlé, přesné a spolehlivé upnutí a minimalizují deformaci povrchu obrobku. Kleština je kalené ocelové pouzdro, které má na svém obvodu několik podélných zářezů. U menších průměrů polotovarů jsou odstupňovány po 0,5 mm u větších průměrů po 1 mm.



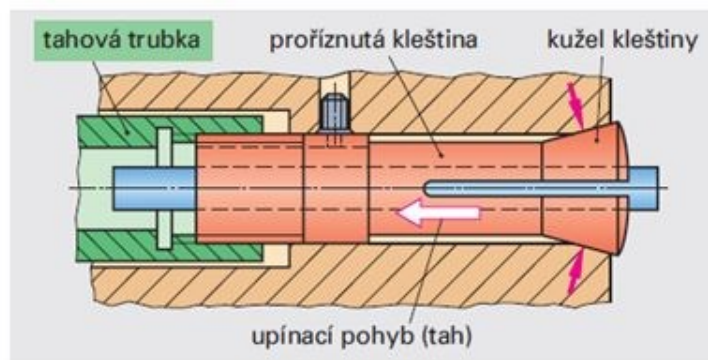
Obr. 20. Kleštiny [17]

Kleštiny upínají pomocí kleštinových upínačů, které se ovládají axiálním pohybem trubky v ose upínače. Pro upínání tyčových materiálů a přírubových součástí se využívá kleštinových upínačů se dvěma způsoby upínání. První způsob, kdy trubka upíná směrem dopředu (tlakem), upíná obrobek při pohybu trubky dopředu, materiál se při upínání neposune.



Obr. 21. Tlakový upínač kleštiny [2]

Druhý způsob, kdy trubka upíná směrem dozadu (tahem), upíná obrobek při pohybu trubky dozadu, dojde při upínání posunu kleštiny i s obrobkem dozadu. Výhodou však je, že při upnutí přírubových obrobků se opře polotovar o vřeteno, a tím dochází k velice tuhému upnutí.



Obr. 22. Tahový upínač kleštiny [2]

Dokonalé upnutí obrobku u numerických soustruhů znamená možnost využívání všech optimálních řezných podmínek daného obráběcího stroje. Dokonalé upnutí obrobku má i podstatný vliv na konečnou přesnost obrobku.

Základní požadavky na upnutí obrobku jsou:

- upnutí pevné a přesné
- upnutí nesmí kolidovat s nástroji
- upínací prvky jednoduše přístupné
- upnutí a uvolnění v co nejkratším čase
- dynamicky vyvážené
- plochy upínacích prvků kalené pro větší mechanickou odolnost
- s výhodou využívat samosvornost

- dostatečně dimenzovaná upínací síla

Upínače musí spolehlivě zachytit síly vznikající při obrábění, zrychlení, gravitaci apod.

Nejběžněji jsou používané Kleštiny pro vícevřetenové automaty typu Gildemeister, Schütte, Schaublin, Wickman, Mori SAY, Tornos aj.

Provedení otvorů kleštin dále můžeme rozdělit dle používaného polotovaru, opět nejběžněji kruhové hladké, vroubkované, drážkované, čtyř a šestihřanné a speciální.

Dlouhé hřídelové součásti při soustružení podepíráme pohyblivými nebo pevnými opěrkami - lunetami, čímž zamezíme jejich průhybu a chvění. Lunety máme pevné (nepohyblivé, nebo pohyblivé, kdy se pohybují současně s nástrojem. Toto je výhodné při soustružení dlouhých hřídelů, řezání dlouhých závitů apod.

2.2.3 Lineární vedení

Lineární ložiska jsou prvky uložení pro převodní pohyby. Podobně jako u rotačních ložisek se i zde rozlišuje, zda vznikající síly přenášejí valivé nebo kluzné prvky. Požadavky na lineární komponenty jsou stejně rozdílné, jako aplikace, ve kterých se používají. Například u přepravních a podávacích systémů je žádoucí především rychlost a přesnost, zatímco u měřicích strojů například přesnost a tuhost. Každý druh konstrukce lineárního vedení má charakteristické vlastnosti, které jsou zvláště vhodné pro některé případy uložení. Všeobecná pravidla výběru druhu vedení však lze definovat jen obecně, protože téměř vždy je třeba zohlednit a navzájem zvažovat mnohem více faktorů:

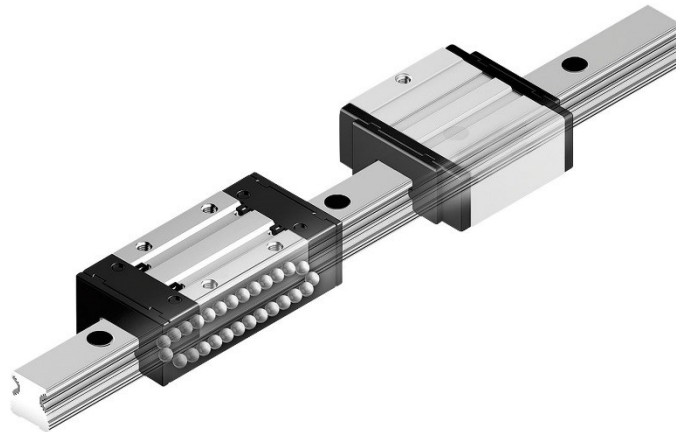
- | | |
|-------------|-----------------|
| • zatížení | • vliv teploty |
| • zrychlení | • mazání |
| • rychlost | • vibrace |
| • zdvih | • způsob montáž |

Lineární valivá ložiska

Lineární valivá ložiska existují jako vedení:

- | | |
|--|---|
| • s profilovými lištami | • s opěrkami |
| • s vodícími kladkami | • s oběhem valivých prvků a kuliček |
| • hřídelů s lineárními kuličkovými ložisky | • poháněné lineární jednotky (moduly a stoly) |
| • s plochými klecemi | |

Ložiska zachycují síly ze všech směrů, kromě sil ve směru pohybu, a momenty ve všech osách. Vedení hřídelů s lineárními kuličkovými ložisky jsou vhodné pro zatížení ze dvou směrů. K dosažení tuhosti a přesnosti, která bývá v provozu potřeba, je většina jednotek již z výroby předpjatá, nebo ji lze předpínat během montáže. Díky různým třídám přesnosti a předpětí lze bez problémů realizovat také aplikace s vysokými požadavky na vedení a polohování.



Obr. 23. Lineární valivé vedení [18]

K určení velikosti vedení se v první řadě zvažuje velikost a druh zatěžování a požadavky na dobu životnosti a provozní bezpečnost uložení. Všeobecně lze při srovnatelných vnějších rozměrech zatěžovat válečková ložiska více, než ložiska s kuličkami. Při menších až středních zatíženích a vysoce dynamických pohybech se proto většinou používají kuličková vedení, při vysokých zátěžích válečková vedení. Je-li třeba zachytit zvláště vysoké zátěže, jsou mimořádně vhodná ložiska s oběhem válečků a plochou klecí.

Lineární kluzná ložiska

Zatímco u valivých ložisek jsou prvky uložení navzájem odděleny rotujícími díly (valivými tělesy), u kluzných ložisek se pohyblivý díl pohybuje po pevně stojící liště, nebo hřídeli. Podle konstrukce vedení je kluzná vrstva nanášena na pohyblivém nebo tuhém dílu. Mazání se děje pomocí maziv, která jsou uložena do kluzné vrstvy. Lineární kluzná ložiska jsou lineární pevná ložiska pro neomezené zdvihy. Tato podélná vedení existují jako miniaturní kluzná vedení, jako lineární kluzná ložiska a jednotky kluzných ložisek a jako plochá vedení. Plochá vedení jsou systémy lišt, u kterých je kluzná plocha na nosné liště opatřena kluzným obložením s nízkou potřebou údržby. Vedení s kluznými ložisky mají nízké

opotřebení, lze je staticky silně zatěžovat, nejsou citlivá vůči rázům a znečištění, pracují s nízkou hlučností a plynule.

Doba životnosti lineárního kluzného ložiska závisí v podstatě na zatížení, na rychlosti pohybu, teplotě apod. K tomu přistupují další omezující faktory – například nečistoty, koroze při chodu nasucho, nebo možné stárnutí maziv při nedostatečném mazání. Jmenovitá životnost je proto vždy jen orientační.

2.2.4 Mechanizmy pro přímočarý pohyb

Přímocharý pohyb u obráběcích strojů je buď:

- hlavní řezný pohyb nástroje nebo obrobku (ve směru řezné rychlosti)
- posuv nebo přísuv (ve směru kolmém k řezné rychlosti)
- pomocný pohyb (přiblížení nástroje k obrobku před započatím práce, od obrobku po ukončení práce)

Základním pohybem v tuhých mechanismech je vždy pohyb otáčivý.

Kluzný pohybový šroub a matice

Pohybový šroub a matice se používá tehdy, je-li rychlost přímočarého pohybu poměrně malá a s výhodou se využije jeho velkého převodového poměru. Oproti tomu nevýhodou je malá účinnost a velké opotřebení. Profil závitu pohybového šroubu a matice se používá lichoběžníkový (souměrný / nesouměrný) a plochý. Nejčastěji používané jsou lichoběžníkové závity pro jejich snadnou výrobu a snadné vymezování vůle sevřením obou polovin matice, která je rozříznuta v rovině procházející osou. Tam, kde je zapotřebí přesné odměření dráhy, volíme závit plochý, nebo lichoběžníkový souměrný.

U pohybového šroubu kluzného je nutno vždy analyzovat vliv vůle na přesnost polohování. Vůle v pohybovém mechanismu, vzniklá nepřesností výroby a opotřebením, ovlivňuje v některých případech nepříznivě funkci mechanismu. [19]

V provedení posuvového systému pomocí pohybového šroubu a matice se vyskytnou dva základní případy:

- šroub se otáčí, matice stojí
- matice se otáčí, šroub stojí

Někdy bývá s výhodou využito i sdružené provedení, kdy otáčivý pohyb vykonávají šroub i matice.

Důležitým parametrem pohybového mechanismu pomocí šroubu a matice je jeho statická tuhost, kterou ovlivňuje způsob axiálního uložení. Při jednostranném axiálním uložení dochází během zdvihu k poklesu tuhosti. Při oboustranném axiálním uložení a předeprnutí je výsledný průběh statické tuhosti podstatně příznivější.

Všeobecně lze pro uložení pohybového šroubu stanovit některé hlavní konstrukční zásady:

- přednostně volit ložiska s přímkovým stykem (válečkové, jehlové)
- minimalizovat počet opěrných, vložených kroužků (styková plocha snižuje tuhost)
- přípojovací a dosedací plochy mají být opracovány s vysokou jakostí povrchu
- všechny prvky uložení mají mít maximální tuhost
- jednotlivá ložiska je vhodné předeprnout

Je také vhodné uvést hlavní nevýhody kluzných pohybových šroubů a matic, mezi které patří:

- špatná účinnost (30-40%)
- trhavé pohyby
- výraznější oteplování

Z těchto důvodů se pro náročnější aplikace stále častěji prosazuje využití kuličkových šroubů a matic.

Kuličkový šroub a matice

V poslední době se čím dál častěji používají pohybové šrouby a matice s valivým třením a to z důvodu menšího opotřebení závitů, lepšího vymezení vůle a využití větší účinnosti.

V závitech mezi šroubem a maticí obíhají kuličky. Účinnost toho provedení pohybového šroubu se pohybuje běžně 90% i více. Šroub i matice bývají ocelové, povrchy závitů se brousí a kalí, jsou vyrobeny s velkou přesností. Mezi další významné výhody patří malé oteplování během provozu, možnost úplného odstranění vůle a možnost vytvoření předpětí, což vede k dalšímu zvýšení přesnosti chodu, zvýšení životnosti a eliminaci vzniku trhavého pohybu při chodu.



Obr. 24. Kuličkový šroub a matice Hiwin [20]

Závit se vyrábí ve dvou základních profilech:

- gotický profil – častěji používaný, velká přesnost, vymezení vůle, předepnutí
- kruhový profil – výrobně jednodušší, horší účinnost, menší přesnost, levná výroba



Obr. 25. Řez kuličkovou maticí [20]

Rotační pohon se ke kuličkovému šroubu připojuje pomocí spojky a to buď napřímo, nebo přes vložený převod. Pro uložení konců šroubu se používají kuličková ložiska. Statickou tuhost je ovlivněna způsobem uložení. Při jednostranném axiálním uložení dochází k poklesu tuhosti, kdežto oboustranné axiální uložení s předepnutím je výsledná tuhost příznivější. Nutno však brát v potaz teplotní dilataci díky zahřívání v provozu, kdy mohou vzniknout a působit přídavné síly a vést k zadření.

2.3 Hlavní elektronické části CNC soustruhu

2.3.1 Pohony

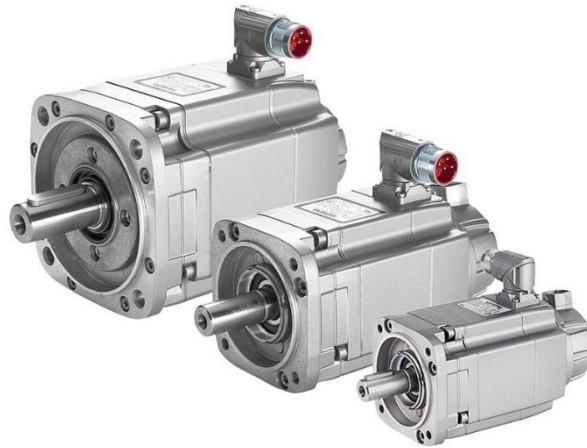
Pohony můžeme definovat jako zařízení sloužící k přeměně určitého druhu energie na potřebný výkon, ke změně smyslu pohybu, či přizpůsobení sil a momentů k potřebám obrábění. Hnací jednotkou bývá motor, mechanismem je např. hřídel, nebo ozubené kolo. Hlavním pohonem přivádíme energii do řezu, vedlejším pohonem vykonáváme vedlejší pohyby potřebné pro tvoření průřezu třísky. Nejběžnější jsou v obráběcích strojích používané elektrické hnací jednotky – elektromotory a to střídavé i stejnosměrné. Střídavé motory jsou dále rozděleny na asynchronní a synchronní. Stejnosměrné motory představují moderní typ pohonů s vynikající možností regulace.

Asynchronní motory (AC motory) se vyznačují jednoduchou konstrukcí, vysokou životností i spolehlivostí. Jsou v provedení jedno, nebo třífázové. Tyto motory mají při jmenovitých otáčkách n_n jmenovitý moment M_n , který při dosažení synchronních otáček klesne na 0 a při dalším zvýšení otáček změni znaménko, přechází pak do generátorového chodu. Motor zpravidla pracuje při n_n a M_n a při zvýšeném zatížení dochází k poklesu otáček a nárůstu M_k , krátkodobě je schopen snášet přetížení. Změnu otáček lze dosáhnout změnou: počtu pólů, frekvence napájecího proudu, skluzu. [21]

Stejnosměrné motory (DC motory) jsou často používané díky svému jednoduchému řízení, bezpečnému napájení a také relativně vysoké účinnosti a rozběhovému krouticímu momentu. S výhodou lze využít jejich stejnosměrného napájení, které zejména v mobilních aplikacích představuje jediný způsob, jak elektromotor napájet (např. z baterie).

Pro pohon strojů vyžadující otáčky nezávislé na zatížení se používají **synchronní motory**. Jejich otáčky jsou dané konstantní frekvencí sítě. Jeho maximální M_k je asi 1.8 násobek M_n . Motor se spouští pomocným motorem, nebo spouštěcím vinutím s charakteristikou asynchronního motoru, toto se po dosažení synchronních otáček odpojí. Při přetížení dojde k zastavení motoru.

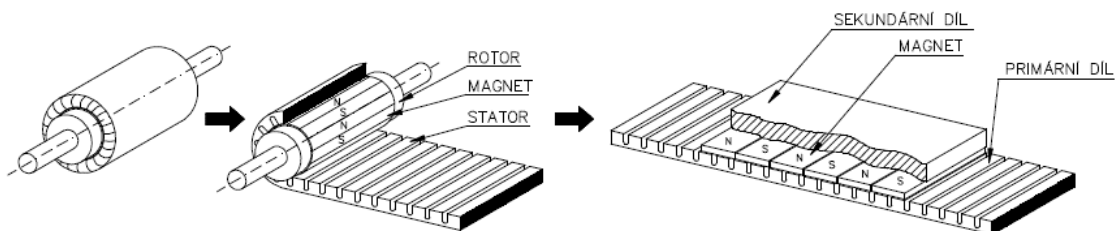
Servomotory jsou používané především pro polohovací aplikace. U servomotorů se dá velmi dobře řídit přesná poloha natočení výstupní hřídele, moment či rychlost. Jsou tedy nejčastěji využívány pro všechny stroje a CNC aplikace. Servomotory mají velmi plochou křivku výkonu v závislosti na otáčkách.



Obr. 26. Servomotory Siemens SIFK [22]

Krokové motory umožňují jednoduché řízení rychlosti pohybu změnou frekvence impulsů, při jejich zvyšování však klesá moment. Rotor se otáčí přetržitě, tedy krocuje s velmi jemným rozlišením. Přesnost polohování a rychlost pohybu závisí na počtu kroků na otáčku a pracovní frekvenci. Běžně jsou v provedení 200 kroků/otáčku a 10000 kroků/sekundu. Velmi zajímavou alternativou k servomotorům jsou krokové motory s enkodérem, kterými lze nahradit servomotor. Tyto motory jsou výhodné pro aplikace kde je třeba velkého rozběhového momentu.

Lineární motory pracují na indukčním principu. Jde v podstatě o klasický rotační servomotor rozvinutý do roviny, který umožňuje přímočarý pohyb bez zprostředkujícího převodu. Lineární motor se často využívá u moderních přesných obráběcích strojů a tam, kde je kladen důraz na vysokou dynamiku pohybu.



Obr. 27. Lineární motor, princip [23]

Momentové motory patří mezi nové technologie přímých pohonů. Poskytují velký krouticí moment v přídržné poloze nebo nízkých otáčkách a tím částečně nebo zcela eliminují použití mechanických převodů. Mimo jiné je tímto řešením zajištěna vysoká přesnost, bezvúlové spojení s poháněnou částí a velká torzní tuhost. Momentové motory jsou navrženy pro přímou zástavbu do konstrukce zařízení, čímž výrazně redukuje zástavbové roz-

měry a celkovou hmotnost systému v porovnání s konvenčními motory. Tyto vestavné motory používají modulární koncepci a jsou dodávány se statorem a rotorem zvlášť. [24]



Obr. 28. Momentový motor [25]

2.3.2 Odměrování polohy

Pro odměrování polohy používáme snímače polohy. Na těchto snímačích závisí přesnost a kvalita polohování celého stroje. Základním parametrem odměrování je jeho nejmenší rozlišitelná délková míra nazývaná inkrement. V Tab. 1 je vyobrazeno základní rozdělení a typy odměrovacích zařízení při lineárním odměrování v CNC obráběcích stroji.

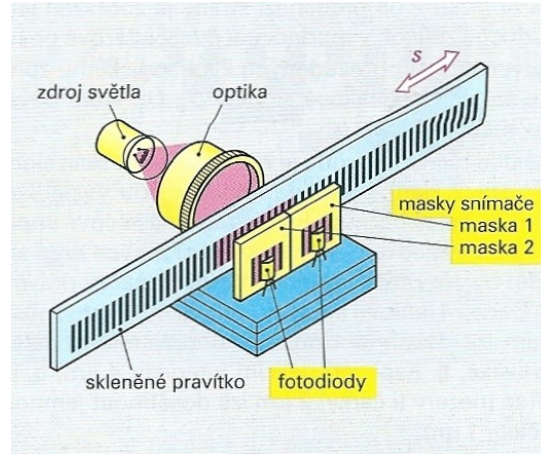
Tab. 1. Lineární odměrování polohy

Lineární odměrování polohy			
Odměrovací signál	Způsob odměrování	Získaná informace	Provedení
<ul style="list-style-type: none"> • fotoelektrické • indukční • magnetické • laserové 	<ul style="list-style-type: none"> • přímé • nepřímé 	<ul style="list-style-type: none"> • inkrementální • absolutní 	<ul style="list-style-type: none"> • rotační • přímočaré

U přímého odměrování je jezdec pravítka spojen s pohybující se částí posuvové souřadnice. U nepřímého odměrování se využívá rotační odměrování polohy snímačem napojeným na kuličkový šroub, nebo snímačem integrovaným přímo v AC motoru.

Při užití inkrementálního (přírůstkového) odměrování je zapotřebí po opětovném zapnutí stroje najet na referenční body a to z důvodu nemožnosti uchování informace o aktuální

poloze. Absolutní způsob odměřování tuto informaci uchovává a není potřeba při vypnutí stroje opět referovat. Toto se provádí pouze při případné výměně některé části pohonu. [26]



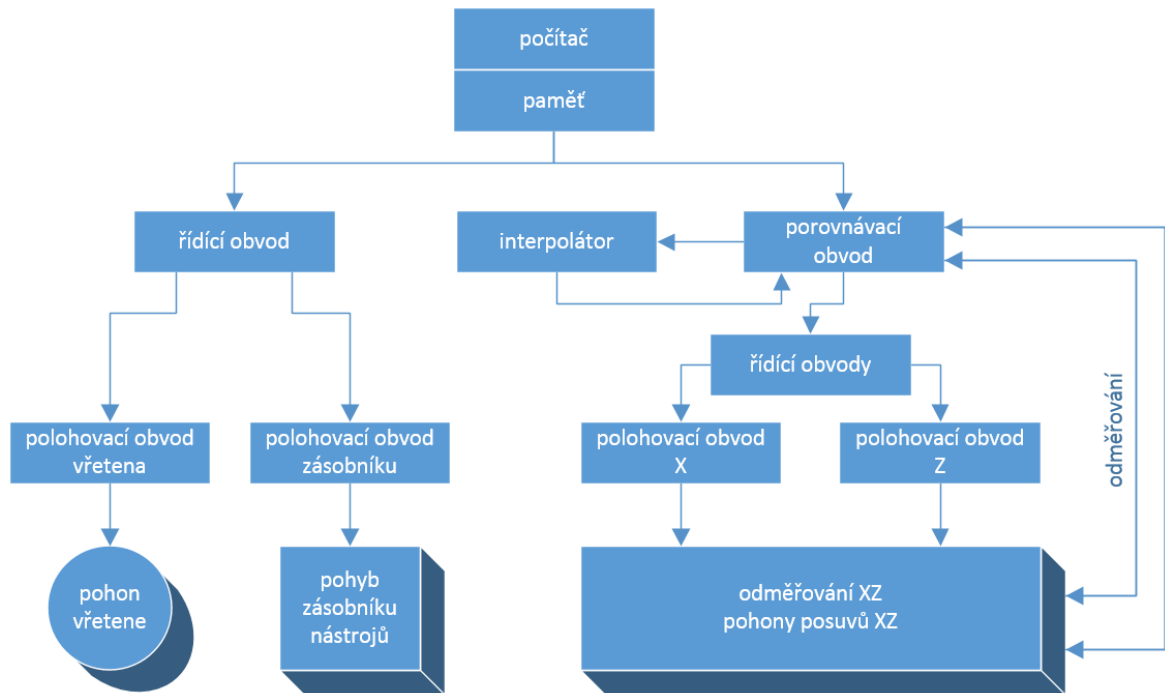
Obr. 29. Inkrementální snímání [27]

2.3.3 Řízení CNC obráběcích strojů

V tomto systému provádí řízení stroje řídicí počítač. Nejprve je systémem stroje načten program do paměti z přenosného média či sítě. Poté jej lze opětovně vyvolat a spouštět. Protože je interpolátor na rozdíl od NC řízení softwarový, umožňuje změnu systému, či jeho funkcí bez dalšího zásahu do hardware zařízení. Ke generování dráhy obrobku a nástroje se využívá přímý matematický popis tvaru dráhy. To umožňuje programovat složité křivky (paraboly, hyperboly, cykloidy, spline, provádění kruhových prostorových interpolací atd.). Jako výhody tohoto systému řízení lze uvést: snadné editování programu, možnost použití podprogramu, grafická simulace, diagnostika, výroba složitých součástí, spolupráce s CAD/CAM systémy, efektivnější výroba, vyšší úroveň řídicí práce, apod.

Informace, které program obsahuje, můžeme rozdělit na:

- geometrické – dráha nástroje / obrobku při obrábění (XZ soustruh, XYZ frézka)
- technologické – řezné podmínky obrábění (otáčky, posuv, hloubka třísky)
- pomocné – ovládání čerpadel, směr otáček atd.



Obr. 30. Blokové schéma CNC stroje

Komentář k Obr. 30:

Počítač – jedná se o průmyslový počítač s řídicím systémem (obrazovka a ovládací panel).

Řídící obvody – v těchto obvodech se logické signály převádějí na silnoproudé elektrické signály, kterými se přímo ovládají části stroje (motory, ventily).

Interpolátor – řeší dráhu stroje, která je zadaná geometrií, výpočty délkových a rádiusových korekcí nástroje, zaručuje geometrickou přesnost výrobku.

Porovnávací obvod – zpětná vazba stroje pro přenos informací o geometrických hodnotách suportů v souřadných osách v jednotlivých bodech dráhy pohybu. Tyto hodnoty se porovnávají s hodnotami zadanými programem a v případě rozdílu hodnot se provede pohyb k jejich dosažení. Ke zjišťování souřadnic se používá namontovaného odměřování na suportu. [28]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je navrhnout nové uspořádání části pohonu vícevřetenového soustružnického CNC automatu, spolu se zhodnocením stávajícího uspořádání pohonu. Součástí práce bude také návrh nového konstrukčního řešení a to s ohledem na:

- zmenšení velikosti stroje,
- zvýšení jeho produktivity,
- použití moderních komponent,
- rozšíření technologických možností,
- ekonomičtější provoz v porovnání s obdobnými stroji,
- ekologii - snížení spotřeby energie a provozních kapalin při provozu.

Jedná se o návrh uspořádání vřetenové části šesti vřetenového soustružnického CNC automatu, s využitím pohyblivých vřeten ve směru osy Z. Konceptně návrh nového typu stroje vychází ze sériového TMZ642CNC s využitím některých prvků a technologií dlouhotočného automatu KMX816.

4 POŽADAVKY NA NÁVRH KONSTRUKCE

Provedení návrhu vychází z několika požadavků, které má stroj nově navrženého provedení splňovat. Jsou to:

- a) vřetena integrovaná v bubnu s co nejmenší roztečí (do 300 mm)
- b) přímý pohon vřeten bez převodů
- c) nezávislé otáčky každého vřetena s možností polohování
- d) pohon os Z1 – Z6 servomotorem s kuličkovým šroubem
- e) přímý pohon os Z bez převodů
- f) krouticí moment motorů pohonu os Z1 – Z6 4 Nm
- g) zdvih os Z 80-100 mm
- h) požadovaný průměr obráběného materiálu 12-16 mm
- i) krouticí moment na vřetenu 10 Nm, při jmenovitých otáčkách motoru
- j) maximální otáčky vřeten 12000 ot.min⁻¹
- k) přetáčení bubnu momentovým motorem

Na základě těchto požadovaných parametrů bude návrh dále koncipován.

4.1 Vypracování

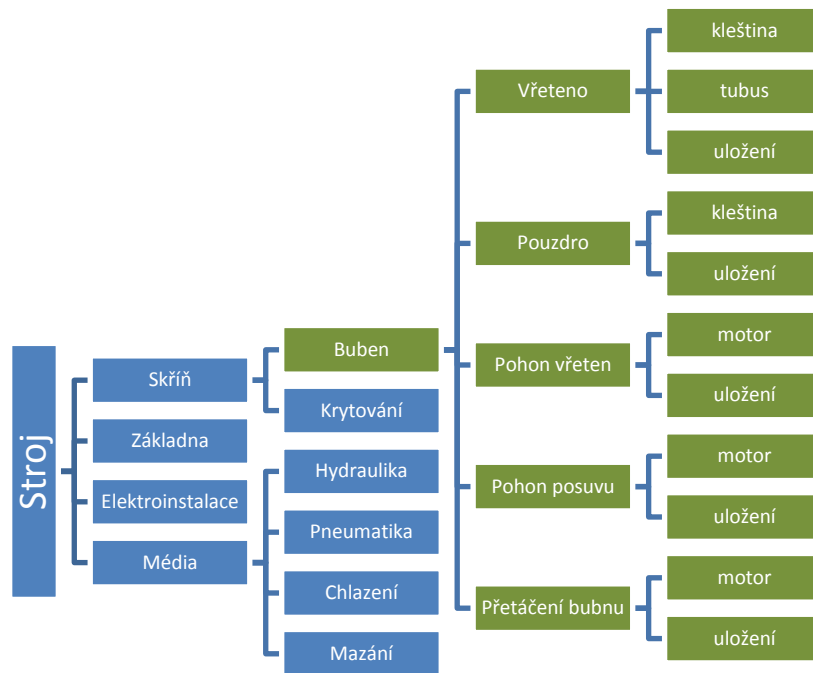
V následujících kapitolách bude presentován postupný návrh jednotlivých komponent, sestav, celků, spolu s některými výkresy. Tyto budou obsahovat:

- studie konstrukčního uspořádání části stroje
- 3D model komponent, podsestav, sestav
- návrh a zdůvodnění volby motorů
- výkres sestavy uložení vřeten v bubnu

Parametry motorů, velikost ložisek, lineárních vedení, uložení a dimenzování této soustavy vychází z dlouhodobých zkušeností a zvyklostí provedení u obdobných typů strojů. Jedná se o koncepci, tedy tvarový a rozměrový návrh a zjištění vhodnosti a dostupnosti použitých komponent, ze kterých by se měl celek sestavit. Zároveň bude koncept sloužit pro vyhodnocení po ekonomické stránce, zda je přínosné takto navržený pohon v současnosti používat.

4.2 Návrh struktury jednotlivých částí stroje

Jednotlivé komponenty v návrhu budou vstupovat do menších celků, podsestav a sestav a ty dále budou tvořit postupně celek návrhu. Závislosti těchto sestav jsou určeny logickou návazností jak výběrem komponent, ať už vyráběných, nebo nakupovaných, tak jejich postupnou montáží. Návrh takové struktury je uveden v schématu níže:



Obr. 31. Struktura návrhu nového pohonu

Zelenou barvou jsou v schématu (Obr. 31) označeny skupiny, které jsou předmětem návrhu. V další kapitole budou podrobněji popsány vybrané technické parametry a vlastnosti strojů, které jsou použity jako výchozí modely pro další zpracování. Základním předpokladem pro úspěšné navržení funkčního vzorku je řádné seznámení s teoretickou částí této práce, kde jsou popsány alespoň nejzákladnější komponenty, jejich funkce a použití.

5 SOUČASNÝ STAV

Pro srovnání a jako vzorové stroje, které jsou předmětem úpravy pro nové uspořádání pohonu, jsou:

- a) šesti vřetenový soustruh **TMZ642CNC**
- b) dlouhotočný CNC automat **KMX816**

Oba tyto stroje jsou dlouhodobě prověřeny, jejich konstrukce je tuhá, stabilní a zaručuje mimořádně přesnou výrobu při maximální produktivitě. Myšlenkou je do stroje typu TMZ implementovat částečně technologii ze stroje KMX a tím získat užité vlastnosti z obou typů, resp. nový typ stroje.

5.1 Popis obráběcího stroje TMZ642CNC

Jedná se o vícevřetenový soustružnický automat s 6 nezávisle poháněnými vřeteny. Pokrokové technické řešení dovoluje tomuto automatu nezávislé řízení otáček každého vřetena a přesné rozdělení výkonu na každý pohon vřetena v návaznosti na podmínky obrábění. Tato absolutní nezávislost každého vřetena současně umožňuje využít téměř jakýkoliv způsob obrábění, včetně operací vyžadující zastavení a orientaci vřeten, což vytváří z tohoto stroje multifunkční obráběcí centrum.



Obr. 32. Stroj TMZ642CNC

Vybrané základní charakteristiky stroje:

- vysoká přesnost při hromadné a sériové výrobě
- vysoká tepelná stabilita

- tuhost srovnatelná s vačkovými stroji
- 6 nezávislých AC pohonů vřeten
- 26 základních řízených CNC os
- 22 přídatných řízených CNC os pro zvláštní příslušenství
- 2 řídicí CNC systémy Siemens Sinumerik 840 D solution line
- pneumatické i hydraulické ovládání pomocných funkcí

Standardní provedení stroje dále obsahuje:

- 6 vřetenových motorů
- 6 podélných suportů (osa W)
- 6 rotačních os pro podélné suporty
- 1 osa pro přetáčení bubnu spolu s podáním a upnutím tyčí v 1. pracovní poloze
- 5 křížových suportů (osy XYZ)
- 1 upichovací suport (osa X)
- motory s plynulým řízením otáček

Volitelné vybavení stroje:

- pick-up (proti vřetenům) s řízenými otáčkami a hydraulickým upnutím kleštiny
- nástrojový suport pro obrábění ze strany úpichu (osa U6 a V6)
- zařízení pro radiální a osové vrtání a frézování ze strany úpichu
- poháněné nástroje s řízenými otáčkami
- poháněné nástroje pro vnitřní obrábění a tvorbu závitů
- manipulátor pro odebírání dílců
- dopravník dílců
- dopravník třísek

Tab. 2. Technické parametry stroje TMZ642CNC

Počet vřeten	6
Max. průměr tyče	48 mm
Max. vnitřní průměr upínací trubky	53 mm
Max. délka podání	180 mm
Otáčky vřeten	5000 ot.min ⁻¹

Jmenovitý výkon motoru vřetena	7 kW
Jmenovitý krouticí moment vřetena	66,8 Nm
Ztrátový čas	0,7-1 s
Počet podélných suportů	6
Počet křížových suportů	5

5.2 Popis obráběcího stroje KMX816

Jedná se o dlouhotočný soustružnický CNC automat s 8 řízenými osami určen pro obrábění součástí z tyče o maximálním průměru 16 případně 20 mm. Stroj je standardně vybaven dvěma elektrovřeteny, rotačním vodícím pouzdem, synchronizovaným s hlavním vřetenem. Osm lineárních CNC os a dvě rotační CNC osy umožňují obrábět produktivně jednodušší i složitější dílce. Díky konstrukčnímu řešení stroje lze obrábět až čtyřmi nástroji současně. Vybaven je dvěma nezávislými křížovými suporty u vodícího pouzdra, které umožňují současně soustružením hrubovat a dokončovat zároveň a současně provádět osové operace na obou vřetenech.



Obr. 33. Stroj KMX816 Clever

Na křížové desky u vodícího pouzdra lze upnout poháněné nástroje. To znamená, že může současně frézovat paralelní plochy, případně proti sobě kolmo vrtat. Křížová osová nástrojová deska je také vybavena poháněnými nástroji, umožňující mimo osové vrtání. Zdvih vřeteníku lze využít pro soustružení až 220 mm dlouhých dílců na jedno upnutí. Dílce nad

160 mm je možné volitelně vyrábět i skrze sekundární vřeteno. Délka obrobku je u tohoto typu stroje omezena v podstatě jen délkou tyče. Stroj je dodáván s automatickým podavačem minimálně třímetrových tyčí s odměřováním a se zásobníkem tyčí. Pro odebrání obrobků je určena pneumaticky ovládaná lopatka řízena M-funkcí. Její rameno je seřiditelné a umožňuje odebrání obrobků z hlavního i sekundárního vřetena podle potřeby obsluhy. Stroj je řízen CNC řídicím systémem Fanuc 31 i/B.

Tab. 3. Technické parametry stroje KMX816

Maximální průměr tyče	16 (Ø20) mm
Maximální délka obrábění na 1 zdvih	220 mm
Vrtání hlavního vřetena	21 (Ø23) mm
Výkon AC motoru hlavního vřetena (100%/30min)	3,7/5,5 kW
Maximální otáčky	12000 ot.min ⁻¹
Zdvih hlavního vřeteníku	220 mm
Rychloposuv	30 m/min
Počet nástrojových desek	2
Zdvih sekundárního vřeteníku	345 mm

5.3 Princip pohonu vřeten ve stroji TMZ

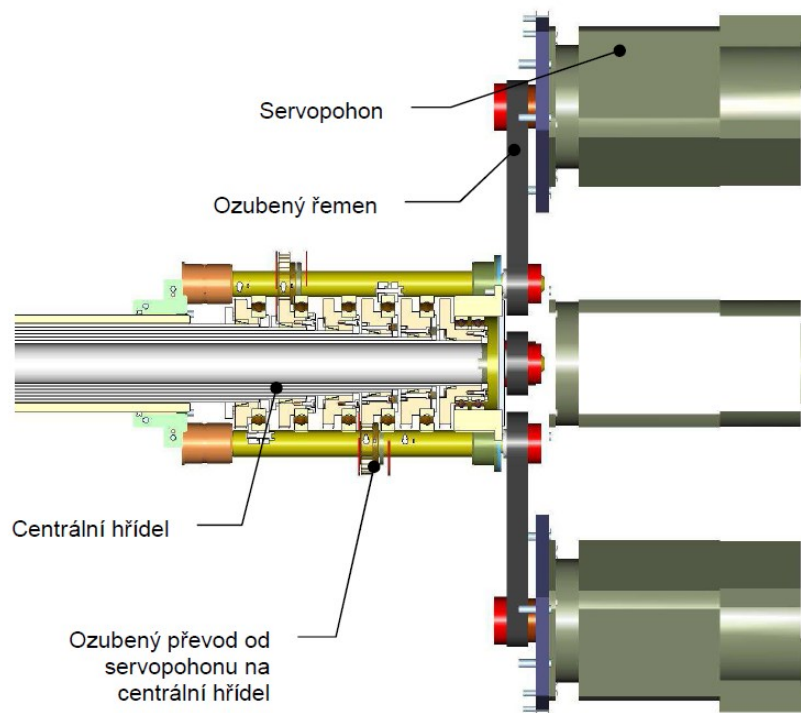
Přenos krouticího momentu motoru na vřeteno je pomocí ozubeného řemenu s šípovými zuby, který přes ozubené kolo roztáčí předlohouvou hřídel na obvodu převodového bubnu, v tomto je pomocí dalšího převodu roztáčeno 6 koaxiálních hřídelí, které vedou středem stroje do vřetenové skříně, kde se opět pomocí dalšího převodu ozubenými koly roztáčí jednotlivá vřetena (Obr. 73).

Tato část je velmi důmyslně řešena, jak nezávisle ovládat každé vřeteno zvlášť vlastním motorem a zároveň toto řeší nezávislost celého zařízení na přetáčení celého bubnu včetně vřeten do jednotlivých poloh bez nutnosti zastavovat otáčení.

Tento bezporuchový spolehlivý pohon má ovšem i své nevýhody, jednak díky členitosti a velikosti, což ovlivňuje jak zastavěný prostor, tak výrobně-ekonomickou stránku stroje. Další omezení spočívá v použití tohoto užívaného vynálezu pro stroje střední a malé veli-

kosti, kde díky rozměrovému limitu narážíme na problém miniaturizace s dodržením pevnosti, mechanických vlastností, případně teplotní odolnosti a stálosti. Jedna z cest byla nahrazení komponent tohoto ústrojí díly z moderních materiálů, např. kompozity, případně jejich kombinací s materiály tradičními. Další řešení se nabízí hledáním inovace způsobem řešení jiného způsobu pohonu vřeten, což je předmětem této práce.

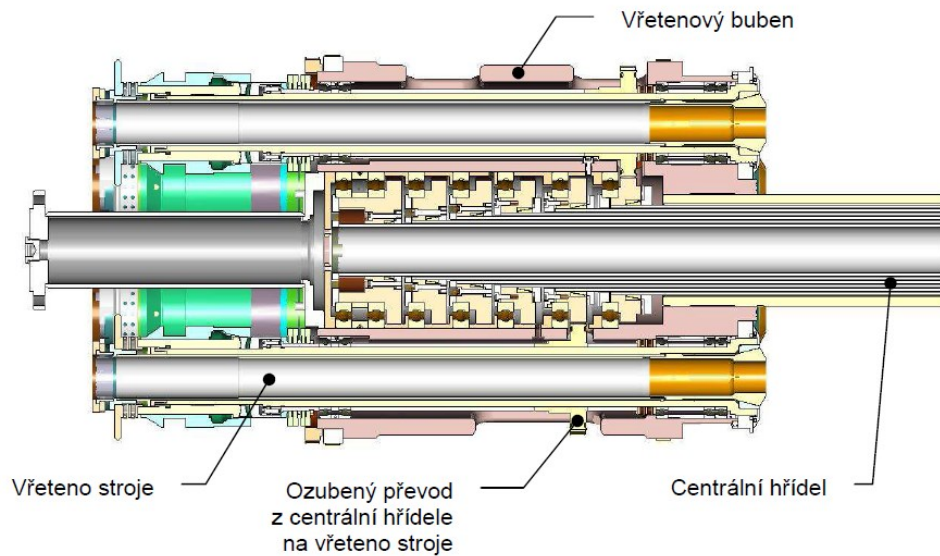
Ve stroji TMZ jsou vřetena poháněna motory umístěnými v zadní motorové skříni stroje. Tato celá část bude nyní nahrazena novým uspořádáním a tím i zjednodušena a zmenšena díky použitím modernějších komponentů. Přínosem by mělo být po mechanické stránce odstranění vůlí ze soukolí, menší hmotnost, dále přesnější snímání a polohování a také menší vývin nežádoucího tepla díky zmenšení ztrát z výkonu.



Obr. 34. Řez pohonu koaxiálních hřídelí stroje TMZ

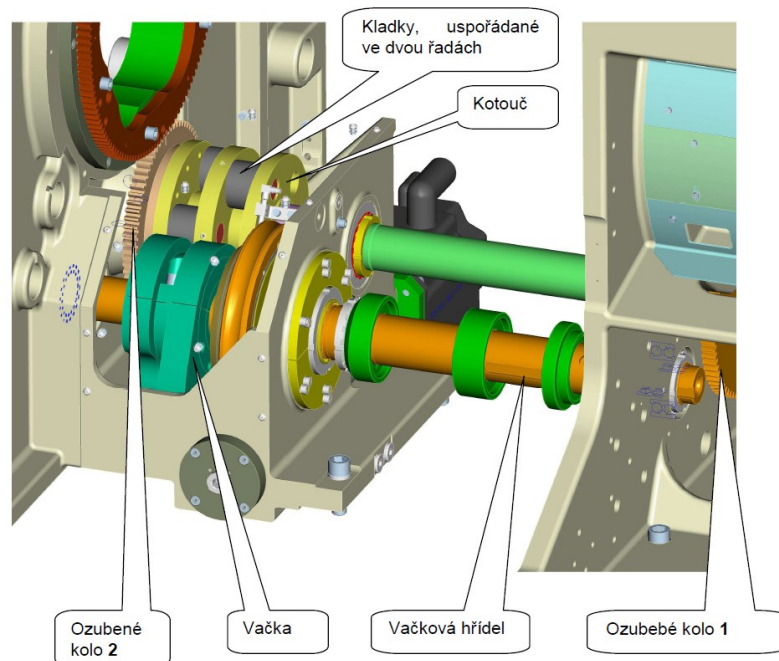
5.4 Buben ve stroji TMZ

Buben vícevřetenového soustružnického stroje TMZ slouží k uložení vřeten v horizontální poloze a umožňuje jejich přetáčení do pracovní polohy. Jsou v něm uloženy také upínač a podavač materiálu. Do středu bubnu je uložena centrální trubka, na které bývá uchycen centrální suport. Ve vnitřní části centrální trubky vedou koaxiální středové hřídele pro přenos točivého momentu k vřetenům, znázorněno na Obr. 35.



Obr. 35. Řez vřetenovým bubnem stroje TMZ

V zadní části bubnu je vnější ozubený věnec pro jeho přetáčení, který je v záběru s ozubeným kolem 1, znázorněno na Obr. 36. Mechanismus přetáčení je poháněn samostatným AC motorem. Přerušovaný pohyb pro přetáčení bubnu vytváří vačka, která má dvě dráhy.



Obr. 36. Mechanismus přetáčení bubnu

Tyto dráhy zabírají postupně do kladek na čepech uspořádaných ve dvou řadách v kotouči. Tímto je dáno, že buben lze přetáčet pouze o jednu pracovní polohu. [29]

6 REALIZACE NÁVRHU

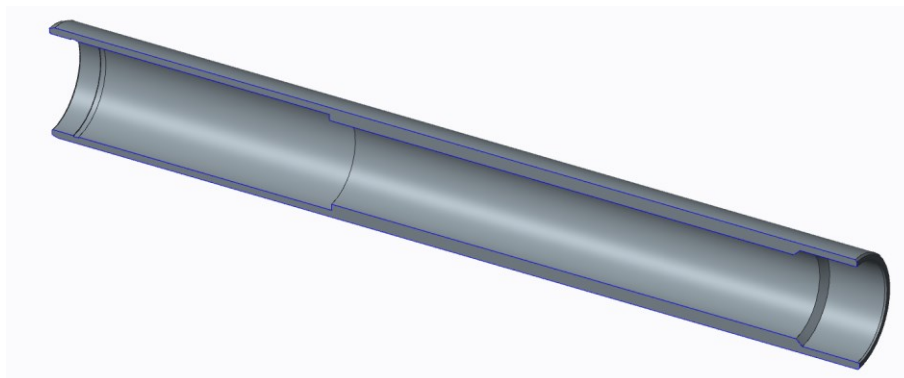
Návrh nového pohonu bude proveden postupně od malých součástí celku, až k velkým celkovým sestavám.

6.1 Návrh vřetene PMD

Základním prvkem navrhované soustavy je vřeteno. Skládá se z duté hřídele, na které je uložen vřetenový motor. Obal vřetene tvoří tubus, který slouží jako pouzdro pro posuvné uložení celé vřetenové části v bubnu.

6.2 Tubus

Tubus (Obr. 37) je válcovitého tvaru, slouží pro uložení vřetenové hřídele s ložisky uvnitř. Zároveň plní funkci posuvné pístní tyče - táhla, uložené vnější stranou v bubnu v kluzných pouzdrech. Jedná se o dutou tyč z materiálu C45, s částečným povrchovým kalením na tvrdost HV 630.



Obr. 37. Řez tubusem

Vnější rozměr tubusu je $\varnothing 63$ mm v toleranci g6, tímto rozměrem musí být sladěn s vnitřním rozměrem kluzného pouzdra, do kterého je vložen. Povrch je broušen na Ra 0,8.

Kluzná pouzdra jsou odlévána z materiálu CuAl9Fe3 (slitina mědi na odlitky) a dodatečně obrobena na požadovaný tvar. Pouzdra jsou opatřena stíracími kroužky, uloženy ve vnitřním vybrání, obepínající po obvodu povrch tubusu.



Obr. 38. Pouzdro

Pouzdro má obvodovou drážku se 4 průchozími otvory pro přívod maziva ke styčné ploše mezi pouzdem a tubusem. Vnitřní i vnější povrch pouzdra je broušen na Ra 0,8. Vnitřní průměr je vyroben v toleranci F7, vnější p6. Rozměr pro uložení stíracího kroužku je v toleranci H9 s povrchem Ra 1,6 a to dle požadavku výrobce těchto kroužků. Zvolený kroužek pro tuto instalaci je od výrobce Trelleborg typ DA17 – jedná se o elastomerový (pryž NBR N9) stírací kroužek vyráběný vstříkáním, má dva geometricky odlišné stírací bříty.

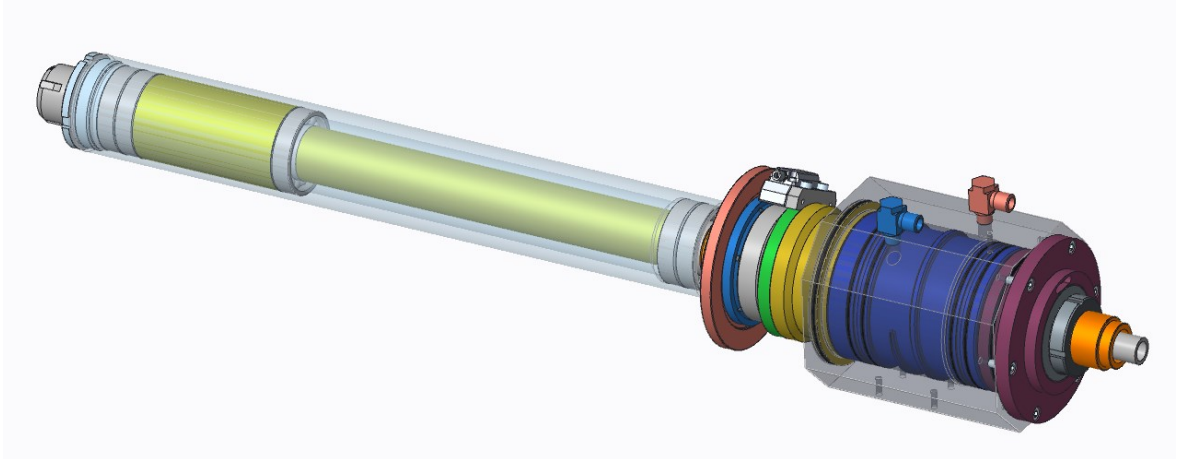


Obr. 39. Profil stíracího kroužku Trelleborg DA17

Kroužek na Obr. 39 je přednostně používán pro přímočarý vratný pohyb pístnic, zabraňuje vnikání nečistot a zadržuje zbytkový olejový film.

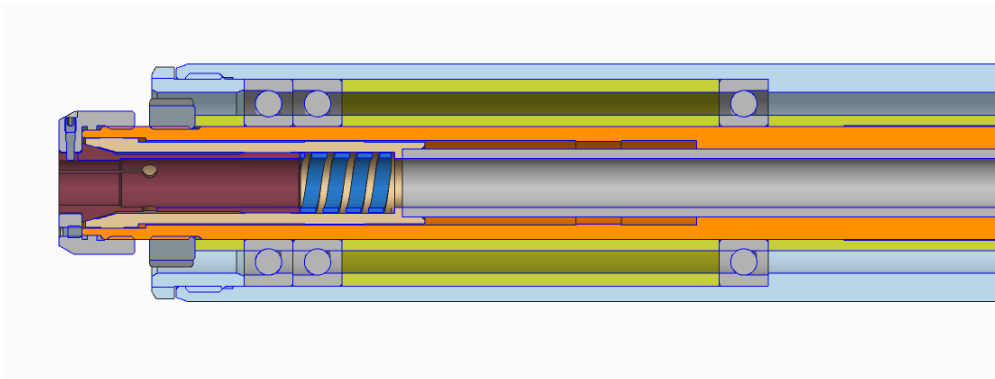
Pouzdro zajišťuje přesné vedení tubusu, resp. celého vřetena, proto je také zapotřebí jeho přesné usazení v bubnu. Vnější průměr pouzdra je vůči vnitřnímu průměru, který je základem, vyroben s geometrickou přesností tvaru házení s tolerancí 0,02 mm.

Rotační uložení vřetenové hřídele v tubusu zajišťuje soustava předepnutých ložisek s kosouhlým stykem.



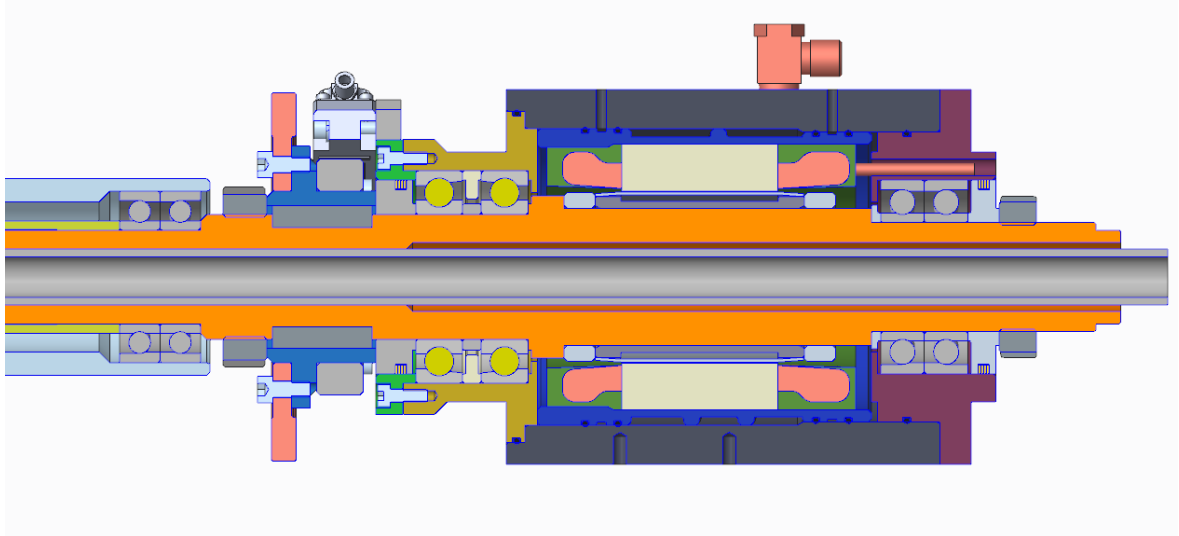
Obr. 40. Celkový pohled na vřeteno

V bubnu je tubus uložen ve dvou pouzdrech, v zadní části pod motorem je lineární kuličkové vedení s odměřováním polohy. Natočení vřetene je snímáno rotačním snímačem přímo na hřídeli, poblíž brzdového kotouče.



Obr. 41. Řez přední částí vřetene s kleštinou

Kotoučová brzda umožňuje přesné zastavení vřetene v požadovaném úhlu natočení a zajištění v této poloze. V přední části vřetene je kleština, ovládaná tlakovým upínačem ze zadní části mechanismem, zajišťujícím podávání a upínání materiálu – upínač a podavač materiálu není součástí návrhu.



Obr. 42. Řez zadní částí vřetene s motorem

6.3 Pohon vřetene rotační

Volba vřetenového motoru je výchozím bodem pro rozměrový návrh konstrukce. Jeho velikost ovlivňuje roztečný průměr uložení vřeten v bubnu, resp. rozměr bubnu samotného a tím i souvisejících prvků. Z portfolia motorů na trhu se výběr zužuje mezi motory zn. Siemens a Fanuc a to díky řídicímu systému, který má být ve stroji použit. V této variantě návrhu, kdy je modifikován stroj řady TMZ, tedy stroj se systémem Siemens Sinumerik 840 D, bude použit motor vhodný k tomuto systému. Aktuální nabídka vřetenových motorů je následující:

- Simotics S – synchronní servomotory s permanentními magnety (1FT, 1FK)
- Simotics M – synchronní a asynchronní servomotory (1PH8), vestavné (1FE)
- Simotics L – lineární motory (1FN)
- Simotics T – momentový motor (1FW)
- Motorová vřetena (2SP)

Z výše uvedené nabídky je pro nový přímý náhon vřeten vhodný synchronní vestavný motor Simotics M, s označením 1FE, tedy motor pro přímý náhon, který bude nahrazovat současný motor 1PH8.

Výhody přímého náhonu jsou:

- absence převodů, které jsou zdrojem vůlí
- eliminace opotřebení mechanických částí

- zlepšení tuhosti soustavy
- menší nárok na prostorovou zástavbu
- zachování stejné přesnosti chodu po dobu životnosti
- větší rozsah otáček

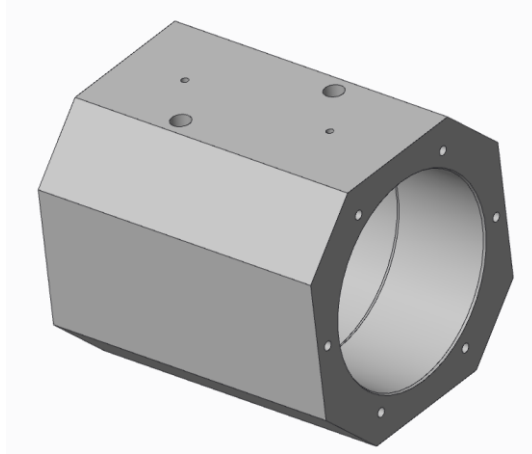
Mezi nevýhody patří nutnost intenzivního chlazení motoru a jeho vyšší pořizovací cena. Stabilní teplota, která je dle manuálu výrobcem požadována na hodnotě 25°C, je důležitá pro dosažení maximálního výkonu motoru. Se zvyšující teplotou motoru výkon klesá.

Motor svým provedením dovoluje jistou variabilitu v návrhu hřídele vřetena, kdy může být hřídel dutá, což nám dovoluje používat vřeteno v provedení, kdy je obráběný materiál (polotovar) veden středem vřetena od zásobníku materiálu. Velikost motoru (průměr a délka) má být co nejmenší a zároveň s maximálním možným výkonem.



Obr. 43. Motor Simotics M 1FE

Z katalogu motorů je vybrán konkrétní typ Simotics M 1FE1041-6WU30-1BA3, který vyhovuje svojí velikostí – vnitřní průměr rotoru má 44 mm, tento rozměr je důležitý pro uložení na hřídel vřetena. Vnější průměr statoru s chladicím pláštěm je 95 mm, délka 107 mm. Na chladicí plášť musí být ještě připevněn kryt, kterým bude vedeno chladicí médium.



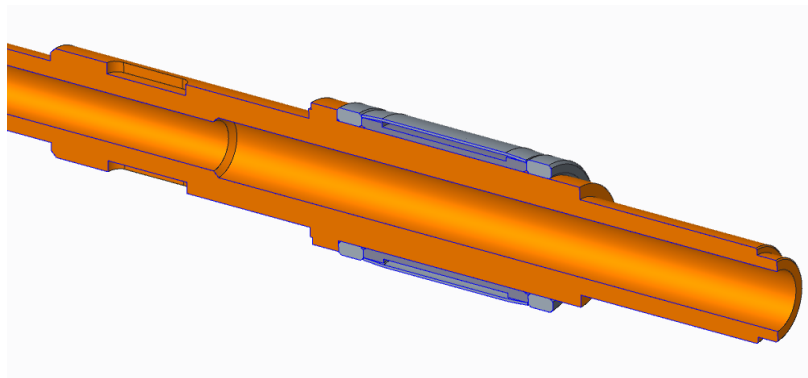
Obr. 44. Kryt motoru s otvory pro přípojky chlazení

Tento kryt bude tvořit největší vnější rozměr motoru, a tedy tímto bude dán také rozměr roztečné kružnice pro uložení 6 motorů, resp. vřeten v bubnu.

Technické parametry motoru:

- jmenovitý výkon 4,0 kW
- jmenovité otáčky 8500 ot.min⁻¹
- jmenovitý moment 4,5 Nm
- maximální otáčky 13100 ot.min⁻¹
- maximální moment 9,0 Nm

Rotor motoru je nalisován na hřídeli. Tato je vyrobena s ohledem na vysoké otáčky s maximální možnou přesností a s co nejlepším vyvážením, protože jde o základní prvek celého vřetena. Použitý materiál na hřídel vřetena je ocel tř. 15230.3, s pevností 850 MPa, která je pak zušlechťena a nitridováním zvýšena povrchová tvrdost na HV 700. Plochy pro uložení vnitřních kroužků ložisek lícovány s přesností $\pm 0,003$ mm. Válcová a čelní plocha pro uložení statoru vyrobena s házením 0,01 mm a broušena na jakost povrchu Ra 0,4.

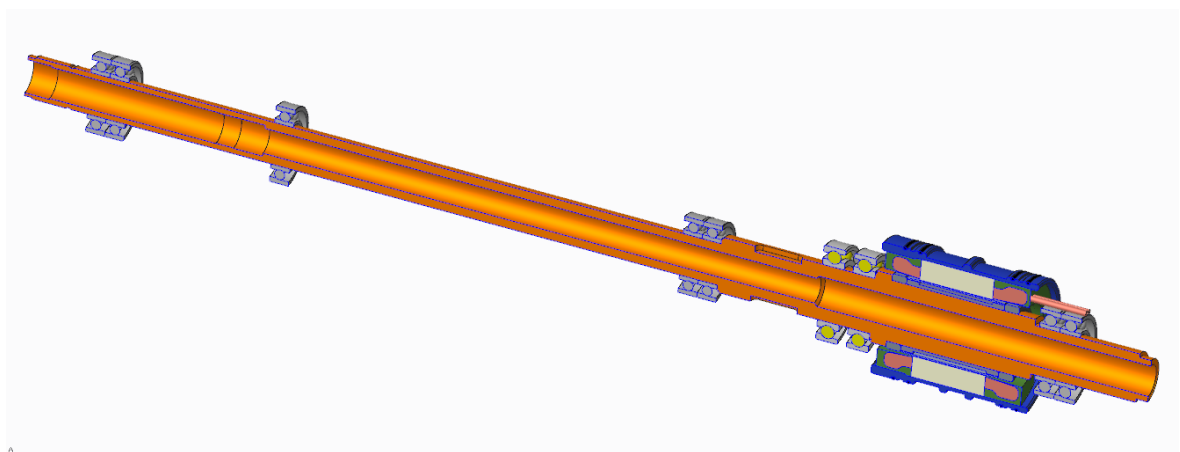


Obr. 45. Rotor motoru nalisovaný na hřídeli

Vnitřní průměr hřídele vřetena je zvolen dle velikosti upínače a podavače. Montáž samotného rotoru na vřeteno se provede při montážní teplotě (T_m) následujícím způsobem. Nejprve se vřeteno ochladí na teplotu $T_{mVR} -15^\circ\text{C}$, zároveň se ohřeje rotor s vyvažovacími kroužky na teplotu $T_{mRO} +140^\circ\text{C}$, takto vzniklé teplotní deformace dovolí vzájemné sestavení a po opětovném návratu na teplotu okolí, resp. pracovní teplotu, dojde k pevnému spojení. Po očištění se provede vyvážení při referenčních otáčkách 1000 ot/min na stupeň přesnosti vyvažování G0,4 (0,4 mm/s), odpovídající pro vřetena a pohony systémů s vysokou přesností.

6.4 Uložení vřetene

Vřetenová hřídel je z větší části uložena v tubusu, který tvoří obal vřetene a umožňuje jeho posuvný pohyb v bubnu. V tubusu vykonává vřeteno rotační pohyb. Dle uvedených technických parametrů by mělo být dimenzováno min. na 13100 ot/min. Volba ložisek tedy bude záviset na těchto otáčkách, vnitřním a vnějším průměru kroužku pro jejich uložení na hřídel a do tubusu a také na způsobu předepnutí. Vřeteno by mělo zachytávat zejména osové síly od obrábění. Síly působící kolmo na osu vřetene budou zachytávat ložiska vodícího pouzdra v předním čele bubnu.



Obr. 46. Uložení vřetene, ložiska, motor

Parametry pro volbu ložiska:

- minimální otáčky 13100 ot/min
- vnitřní průměr (A/B/C) 30 / 40 / 35 mm
- vnější průměr (A/B/C) 55 / 68 / 62 mm
- šířka ložiska (A/B/C) 13 / 15 / 14 mm
- stykový úhel α 15 °

Ložiska pro uložení vřetene:

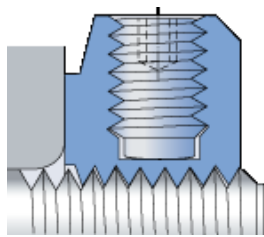
A – uložení v tubusu (5ks) – FAG B7006C.TP4SUL (26000 ot/min)

B – před motorem (2ks) – FAG B7008C.T.P4SUL (20000 ot/min)

C – za motorem (2ks) – FAG B7007C.T.P4SUL (22000 ot/min)

Uvedená ložiska jsou střední rozměrové řady, se standardní ocelovou kuličkou, s klecí s vedením na vnějším kroužku, provedení jako samostatné ložisko pro lehké předeptnutí.

Poloha ložisek je dána rozpěrnými kroužky uvnitř tubusu, dotažení a předeptnutí je zajištěno pomocí ložiskových matic M30x1,5 / M35x1,5 / M40x1,5 typ KMFE s pojistným šroubem.



Obr. 47. Detail matice KMFE s pojistným šroubem

Tyto matice s integrovaným pojištěním snižují náklady na hřídele, protože nevyžadují výrobu drážky, montáž je jednodušší a rychlejší. Navíc oproti matici KM s podložkou, má přesněji vyrobenou opěrnou styčnou plochu a vyvažování pro vysoké otáčky je také snazší.

6.5 Snímač úhlový

Natočení vřetene zajišťuje snímač, který je vhodný do prostředí s mírným znečištěním. Pro toto použití je zvolen snímač zn. Heidenhain řady ERM. Jedná se o modulární úhlový odměřovací systém bez vlastního uložení s magnetickým snímáním.



Obr. 48. Snímač Heidenhain ERM 2484

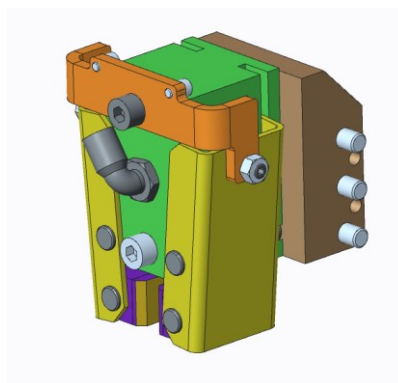
Bubínek snímače je připevněn axiálními šrouby k unášeči disku brzdy. Má 600 rysek na obvodu s rozlišovací schopností $\pm 14''$. Vnitřní průměr bubínku 55 mm, vnější 75,44 mm. Hlava snímače je přichycena k přírubě krytu motoru. Pomocí měrky se nastaví předepsaná mezera mezi snímací hlavou a bubínkem.

6.6 Brzda vřetene

Kotoučová s pneumaticky ovládanými čelistmi. Plní tyto základní funkce:

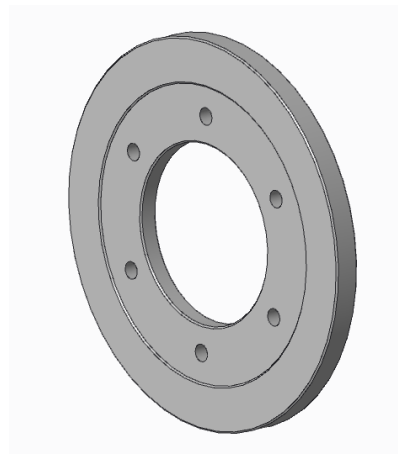
1. polohovací, kdy je zapotřebí zastavit vřeteno v přesném natočení vůči nástroji
2. bezpečnostní, kdy je zapotřebí při neočekávané situaci rychle zastavit vřeteno
3. odlehčovací, kdy při zastavení dovoluje odlehčit motor a tím jej nepřehřívat

U stroje TMZ jsou konzoly pro uchycení brzdy vřetene umístěny na skříni stroje. Varianta nového uspořádání pohonu vřeten však toto nedovoluje, protože jsou vřetena pohyblivá.



Obr. 49. Pneumaticky ovládané čelisti brzdy

Zde je nutné uchycení brzdového zařízení na pevné nerotující části vřetena tak, aby celý brzdový mechanismus jezdil spolu s vřetenem v ose Z.

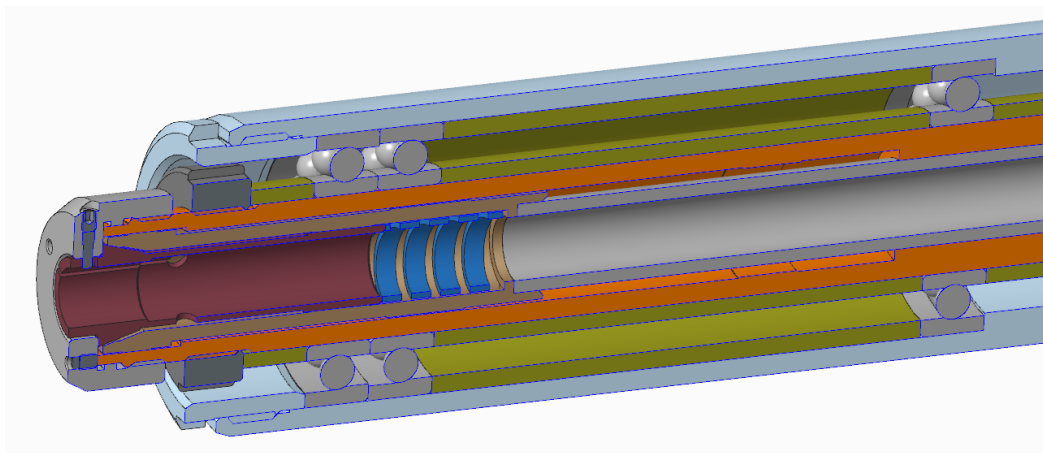


Obr. 50. Brzdový kotouč

Brzdový kotouč je uložen na hřídeli vřetena a zajištěn perem, brzdové čelisti jsou uchyceny na prodloužené části motorové příruby poblíž úhlového snímače.

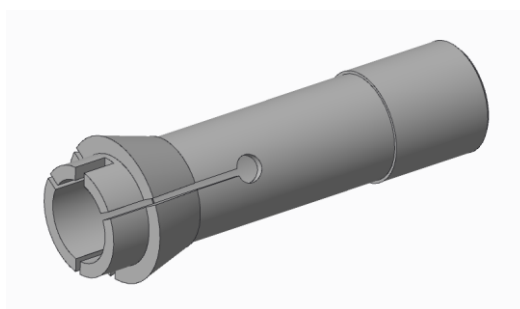
6.7 Kleština upínací

Kleština je fixně (proti posuvu) uložena v přední části vřetene. Zajištěna je z čelní strany maticí s pojistným čepem, který zároveň slouží jako unášec pro rotační pohyb kleštiny spolu s vřetenem.



Obr. 51. Přední část vřetene s kleštinou

O zadní část kleštiny se opírá tlačná plochá pružina, která vrací ovládací trubku upínače do zadní polohy. Pokud je na tuto trubku vyvinut tlak od upínacího zařízení, posune se dopředu a tím začne působit na šikmou část kleštiny, která tímto sevře obráběný materiál – dojde k upnutí.

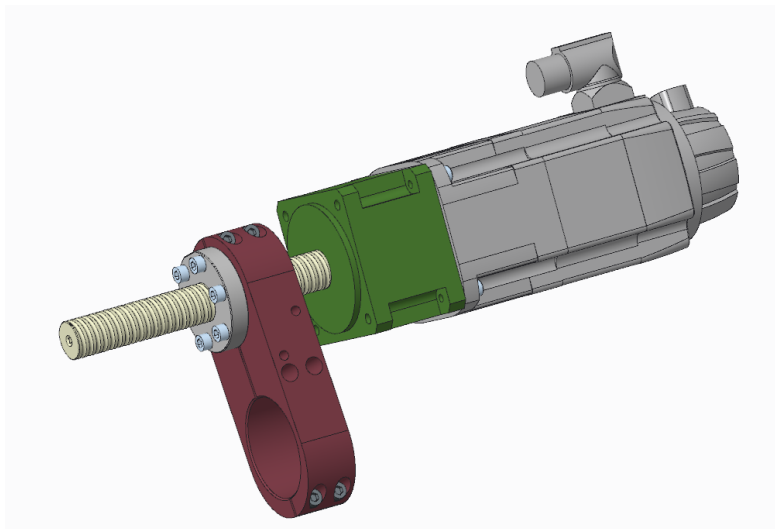


Obr. 52. Kleština Schaublin F16

Kleština je použita od výrobce Schaublin typ F, konkrétně pak F16-76-1076. Tento švýcarský tradiční výrobce zaručuje precizní provedení kleštin, které jsou zvláště vhodné pro tento typ stroje a způsob upnutí.

6.8 Pohon vřetene posuvný

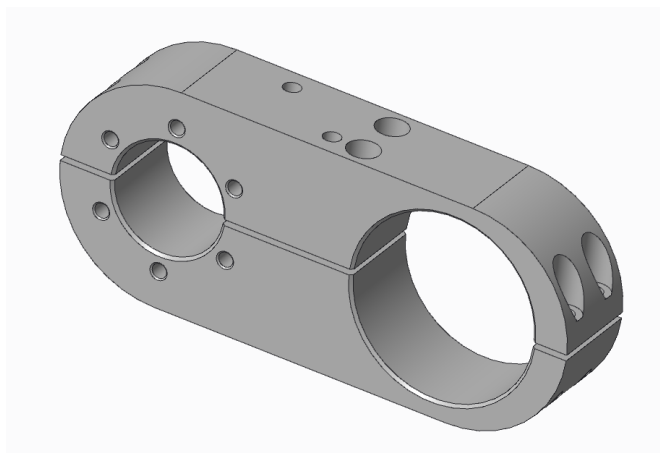
Proto, aby se mohlo vřeteno pohybovat ve směru osy Z, je zapotřebí do soustavy zakomponovat další motor. Tento motor, pomocí kuličkového šroubu, bude převádět rotační pohyb na posuvný. Opět je zde omezení na zástavbové rozměry motoru z důvodu jeho umístění v bubnu, kdy je nežádoucí, aby motor přesahoval přes obrys bubnu a to z důvodu rotace celé sestavy.



Obr. 53. Motor 1FK7 s kuličkovým šroubem a objímkou

Motor je orientován s osou rotace vřetena, s nímž je spojen přes matici kuličkového šroubu pomocí objímky, která je popsána dále.

Objímka je obrobený díl oválného tvaru, podélně rozdělena na dvě části, které se pomocí šroubů po obepnutí spojovaných částí spojí, čímž vznikne svěrný spoj.



Obr. 54. Objímka tubusu

Jeden z otvorů objímky slouží pro uchycení matice kuličkového šroubu, druhý z otvorů je pro přichycení okolo tubusu. Funkce objímky spočívá v přenášení posuvného pohybu vřetene v ose Z, tedy jde o jakési táhlo.

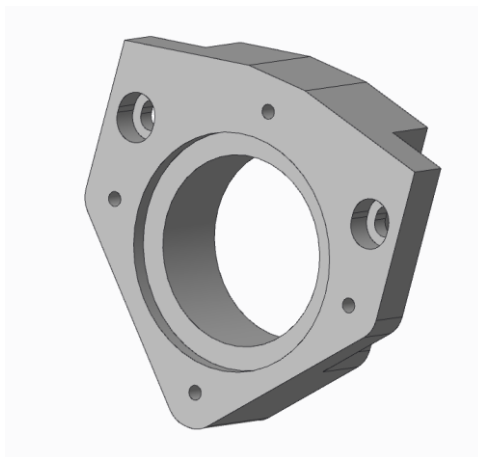
Z katalogu motorů Siemens je vhodný, dle svých parametrů, synchronní servomotor Simotics S 1FK7042-2AF71-1CH2-ZQ13. Zástavbové rozměry jsou: délka 206 mm, šířka 96x96 mm.

Technické parametry motoru:

- | | | |
|--------------------|------|--------|
| • jmenovitý výkon | 0,8 | kW |
| • jmenovité otáčky | 3000 | ot/min |
| • jmenovitý moment | 2,6 | Nm |
| • maximální otáčky | 6400 | ot/min |
| • maximální moment | 10,5 | Nm |

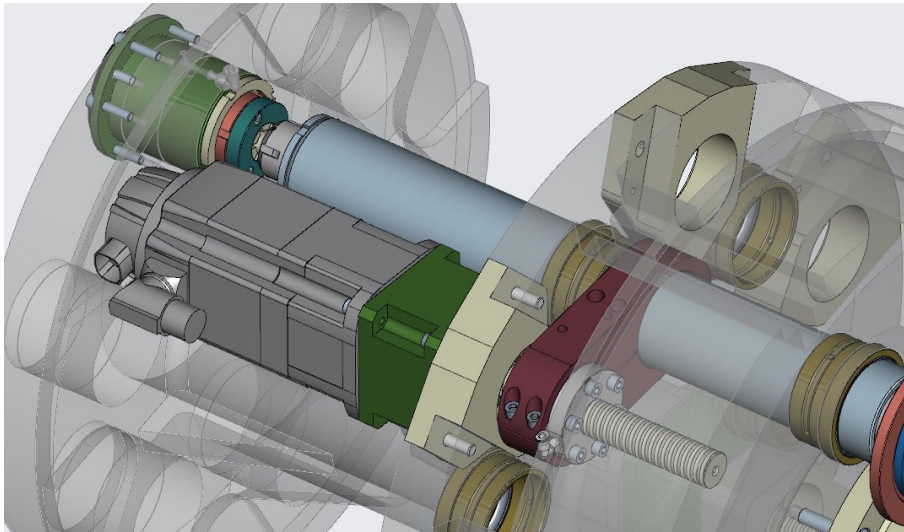
Kuličkový šroub s maticí je součástí přední nástavby motoru, která obsahuje speciální ložisko a spojku.

Pomocí příruby je uchycen motor 1FK7 s kuličkovým šroubem do výřezů po obvodu bubnu. Jedná se o plochý dílec s otvory pro šrouby, středním otvorem pro přesné usazení čela motoru.



Obr. 55. Příruba motoru

Vyrobena je z materiálu C45, navedení do místa montáže vlastním tvarem, uchycení k bubnu pomocí 2 šroubů M8x25, motor je k přírubě uchycen 4 šrouby M6x25. Na Obr. 56 je vyobrazeno sestavení a spojení posuvového motoru v bubnu uchyceného v přírubě a dále objímka, která obepíná tubus vřetena.



Obr. 56. Uložení posuvového motoru a vřetene v bubnu

Tímto způsobem je v bubnu umístěno všech 6 vřeten. Za motorem je patrné vodící pouzdro v přední části bubnu. Vřeteno je v poloze, kdy je maximálně vysunuto v ose Z k přední části bubnu.

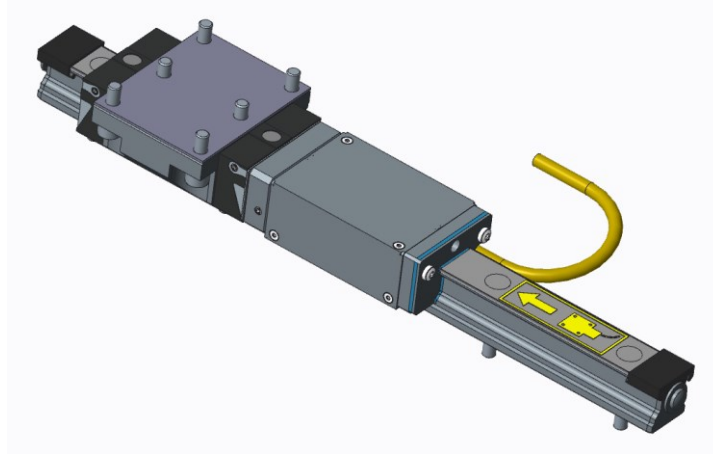
6.9 Lineární kuličkové vedení s odměřováním

Zadní část vřetene pod motorem, je uložena posuvně na lineárním kuličkovém vedení. Toto vedení nám plní následující 3 funkce:

1. podepření vřetene v zadní části mimo buben
2. zachycení krouticího momentu od setrvačných sil motoru
3. odměřování polohy vřetene ve směru osy Z

Vřeteno, resp. motor je přichycen k vozíku vedení pomocí 4 šroubů M5x16 a 2 šroubů M5x12 do krytování ze spodní strany.

Tento typ lineárního kuličkového vedení výrobce Bosch-Rexroth má integrovanou indukční inkrementální měřicí techniku, bez potřeby dalšího zařízení. Skládá se z kolejnice KSA20-SNS-MA-AB-280-20 a jezdců KWD20-FNS-L. Toto zařízení zajišťuje přesné polohování a maximální opakovatelnost.

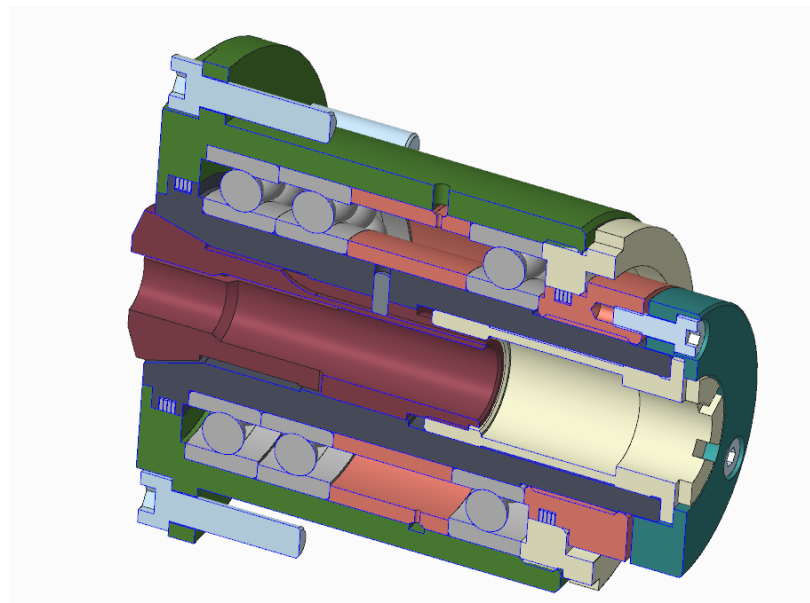


Obr. 57. Kuličkové vedení s odměřováním

Kolejnice je přichycena 5 šrouby M5x25 ke středové konzole bubnu. Přesná poloha kolejnice je nastavena a zajištěna pomocí 3 příložek z boční strany. Z horní strany je krycí lišta a na obou koncích plastové dorazy.

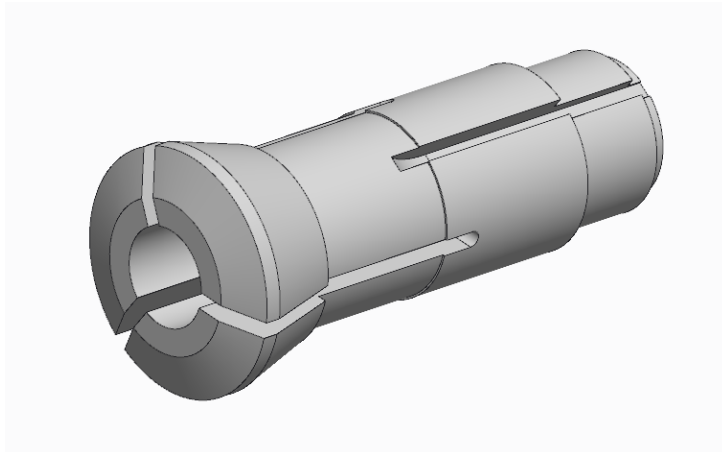
6.10 Vodící pouzdro s vodící kleštinou

Vodící pouzdro je namontováno v předním čele bubnu. Slouží, jak název napovídá, k vedení obráběného tyčového materiálu do prostoru mezi nástrojové suporty, kde dochází k samotnému obrábění. Hlavní funkcí tohoto pouzdra je podepření materiálu co nejbližší u místa obrábění tak, aby nedocházelo díky silám působícím kolmo na osu rotace, k ohybové deformaci a tím snížení geometrické přesnosti obrobku.



Obr. 58. Řez vodícím pouzdrem

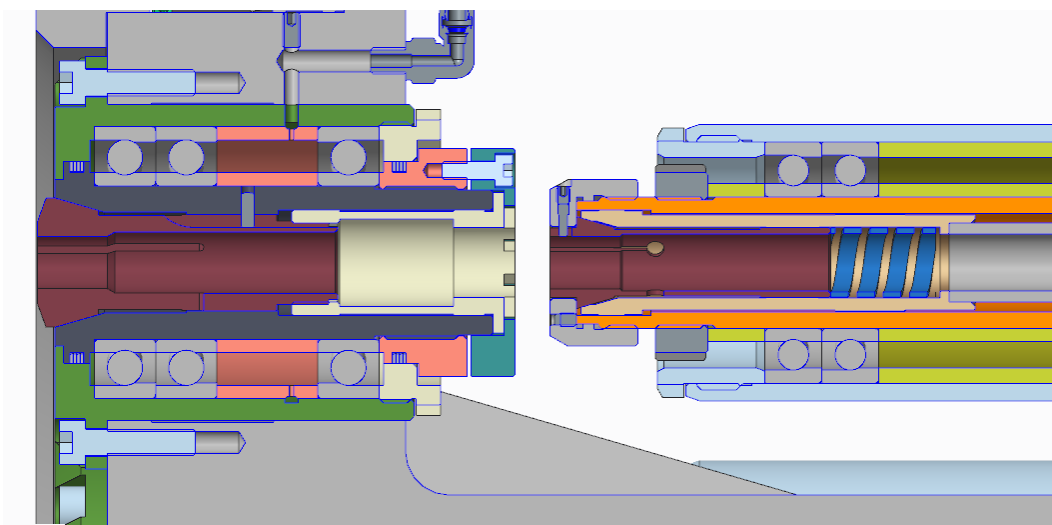
Jedná se v tomto případě v podstatě o jakési vřeteno bez napojení na vlastní pohon. Konstrukce vodícího pouzdra se skládá z předepnutých vřetenových ložisek, vodící kleštiny, seřizovacího zařízení a úložného pouzdra pro montáž do bubnu.



Obr. 59. Kleština vodícího pouzdra

Kleština musí být přesně osově uložena ve vzájemné poloze vůči vřetenu. Zajištěna je pomocí seřizovací matice v zadní části pro její přesné a jednoduché seřízení, případně vyjmutí pro rychlou výměnu. Seřízení se provede poté, co se povolí tři šrouby na zadním jisticím kroužku, ten uvolní matici trubkovitého tvaru, která vtahuje, či vysunuje kleštinu, čímž dochází k jejímu sevření na požadovaný rozměr. Uložení pouzdra v bubnu musí umožňovat snadný přístup k těmto prvkům.

Kleština je použita od výrobce Walter Dünner typ J7A. Tento typ vodící kleštiny se vyrábí pro kruhový, čtvercový i šestihranný profil tyče.



Obr. 60. Řez vodícím pouzdrem a čelem vřetena

Obráběný materiál pro použití u tohoto typu stroje s kleštinovým pouzdem musí splňovat tyto náležitosti:

- sražené konce tyčí
- tolerance průřezu tyče v toleranci IT9 a lepší
- rovinané tyče dle ČSN 4206530.13 (přímost 1 mm na délce 1000 mm)
- povrch tyče hladký, bez okují, bez mech. nečistot a příznaků koroze

6.11 Vřetenový buben

V této části bude podrobněji popsána funkce, princip přetáčení a zajištění vřetenového bubnu, který je další stěžejní komponentou celého mechanismu.

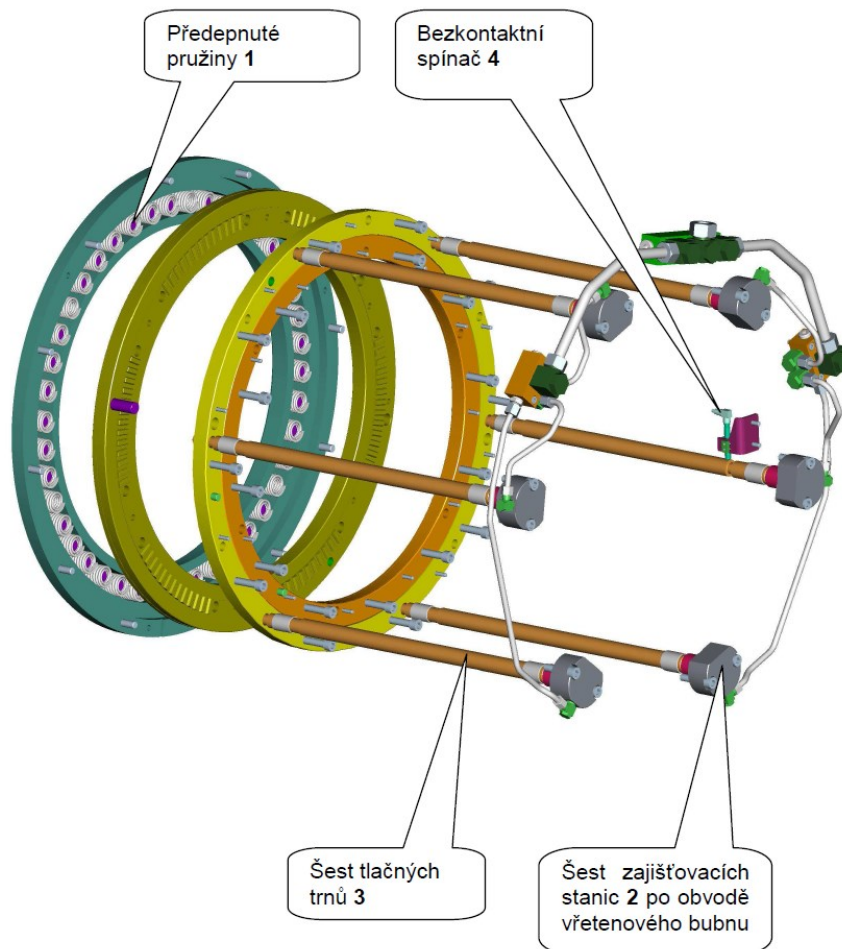
6.11.1 Zajištění bubnu

Buben je zajištěn v poloze proti pootočení do sebe zapadajícími třemi ozubenými věnci, které ve své podstatě vycházejí z principu Hirthovy spojky s čelními zuby – tyto se nachází v přední části bubnu.



Obr. 61. Skříň s uloženým zubovým věncem [30]

Jeden z těchto věnců je pomocí táhel a zajišťovacího mechanismu vysunut ze záběru, poté je provedeno pootočení bubnu a v nové poloze je opět tento věnec zasunut do polohy, kde drží buben zajištěn proti pohybu - Obr. 62.



Obr. 62. Ovládání zajištění bubnu stroje TMZ

6.11.2 Buben pro nové uspořádání PMD

Oproti bubnu používanému ve stroji TMZ bude buben v novém návrhu určité úpravy. Hlavní rozdíly ve funkci jsou:

1. přetáčení bubnu bude zajišťovat momentový motor bez dalších převodů
2. v bubnu budou integrovány motory pro posuv vřeten v ose Z
3. středem bubnu, místo koaxiálních hřídelí s ozubeným převodem, budou procházet kabely a přípojky pro média

V této verzi návrhu bude zachován stávající princip zajištění bubnu a jeho ovládací prvky.

Dle výše uvedeného plyne, že bude nahrazen celý mechanismus přetáčení bubnu s vačkami, který je na Obr. 36. Odpadá také ozubený převod pro přetáčení a místo něj v zadní části bubnu na jeho obvodě bude umístěn momentový motor. Po odjištění stanic momentový motor pootočí buben do požadované polohy, poté zajišťovací stanice opět za-

jistí polohu. Mechanické ovládání odjištění bubnu lze v případě požadavku také jednoduše nahradit hydraulickými odjišťovacími stanicemi.



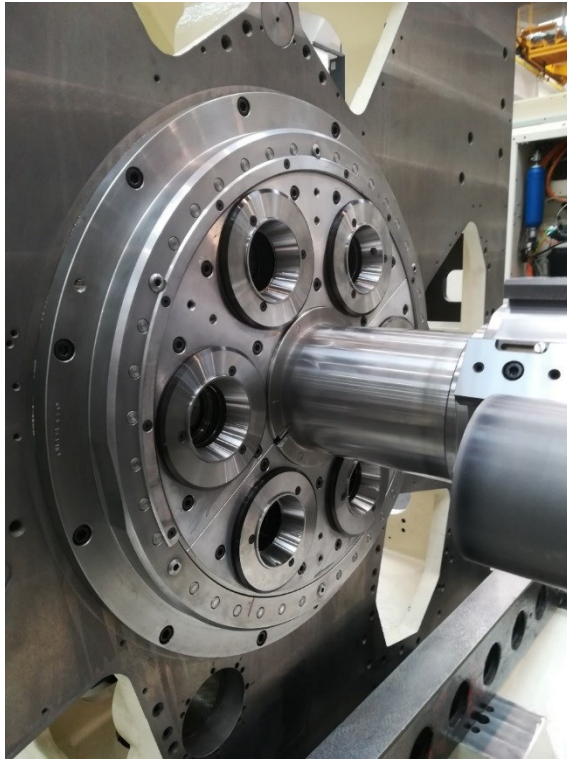
Obr. 63. Zajišťovací věnec s integrovanými pružinami

Experimentálně na zkoušeném prototypu můžeme ověřit, zda bude ztrátový čas při tomto úkonu s použitím momentového motoru výrazně větší, než při vačkovém způsobu přetáčení. Ke zvážení je, zda za cenu naměřeného nárůstu tohoto času, ke kterému s největší pravděpodobností dojde, máme na druhé straně úsporu prostoru, úsporu vyráběných komponent a celkové zjednodušení mechanismu přetáčecího zařízení. V teoretické rovině lze tuto dobu přetočení s určitou přesností spočítat, experimentem je však potřeba ověřit.

Popis bubnu PMD

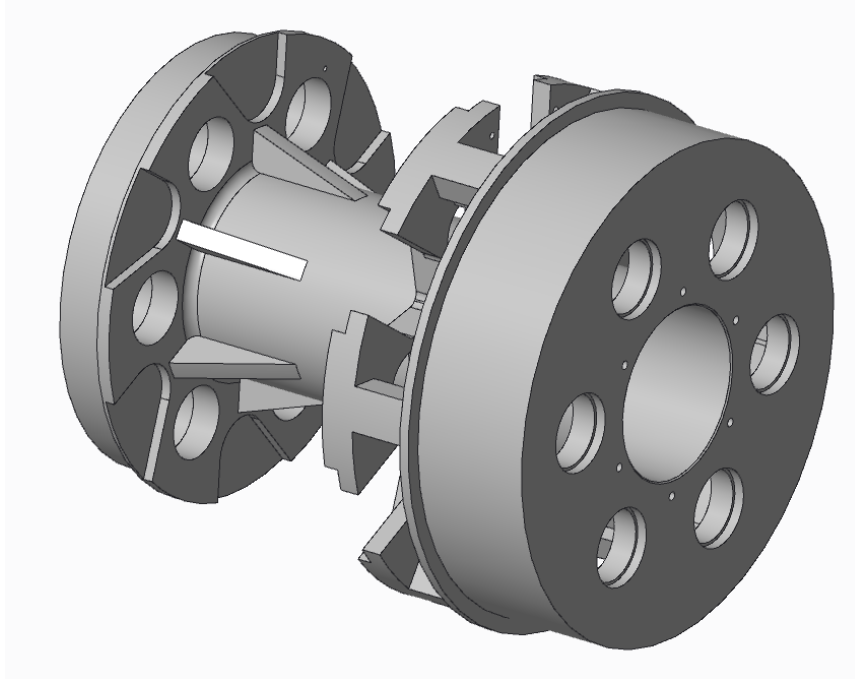
Válcovitý dílec s rovnoměrně rozloženými průchozími otvory pro uložení vřeten se nazývá vřetenový buben. Jedná se o odlitek z tvárné litiny s kuličkovým grafitem, označení EN-GJS-500-7 (nebo dle DIN 1693 GGG-50), s pevností v tahu R_m 500 MPa, smluvní mez kluzu R_p 320 MPa. Tento materiál má mimořádné mechanické vlastnosti, dobrou opracovatelnost, celkově je výroba ekonomicky výhodná. Po odlití a prvotním hrubování se provede žíhání, obrábí se s přesností dle ČSN 014470.4.

Čelo bubnu v pracovním prostoru stroje je osazeno přírubami pro montáž kleštin do vřeten (Obr. 64).



Obr. 64. Vřetenový buben šesti vřetenového soustruhu

Otvory v bubnu musí být tedy vyráběné s maximální přesností. Hodnoty souososti, házení a jiných geometrických úchylek na funkčních plochách jsou v toleranci 0,015 mm, kruhovitosť otvorů 0,002 mm. Roztečný průměr otvorů pro vřetena je 306 mm, rozdělení v úhlu $6 \times 60^\circ$, délka bubnu je 560 mm, průměr ve předu 420 mm, vzadu 490 mm, středový otvor má průměr 170 mm. Jedná se o velmi přesně obrobený dílec, který zaručuje kvalitu uložení a správnou funkci vřeten a jejich natočení do správné polohy vůči suportům stroje.

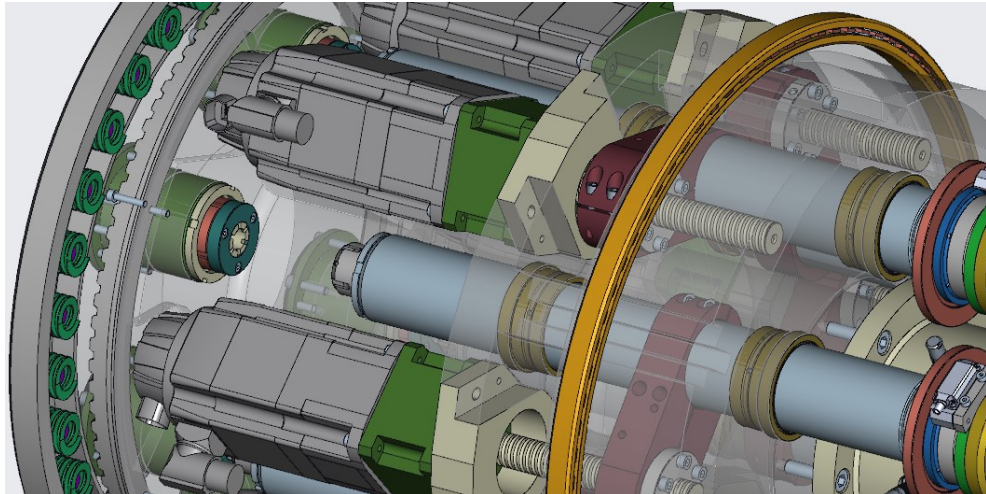


Obr. 65. Vřetenový buben PMD

Buben je ve skříni uložen pomocí ložisek. Přední čelo bubnu je určeno pro montáž vodících pouzder s kleštinou, zadní a střední část má otvory pro vodící pouzdra pro tubus. Obvodová plocha v zadní části slouží pro montáž momentového motoru za ložisko. Přední obvodová část je obrobena pro nasunutí ozubených věnců – zajišťovacího zařízení dle Obr. 62. V přední části je buben uložen ve skříni pomocí kluzného pásku z materiálu Kefloy. Funkcí tohoto pásku je zajištění přesného a hladkého pohybu posuvných částí, přičemž zabraňují kontaktu mezi kovovými povrchy a tak nedojde k poškrábání povrchu. Hlavní výhody pásku z materiálu Kefloy jsou:

- odolnost proti opotřebení,
- vysoká únosnost,
- tlumí mechanické vibrace,
- nemá stick-slip efekt (rozdílné tření v klidu a pohybu, přilepení a sklouznutí),
- snadná instalace.

Kefloy je vysoce zátěžový kompozitní materiál (PTFE), je vyroben ze syntetické tkaniny impregnovanou pryskyřicí a mazivou.

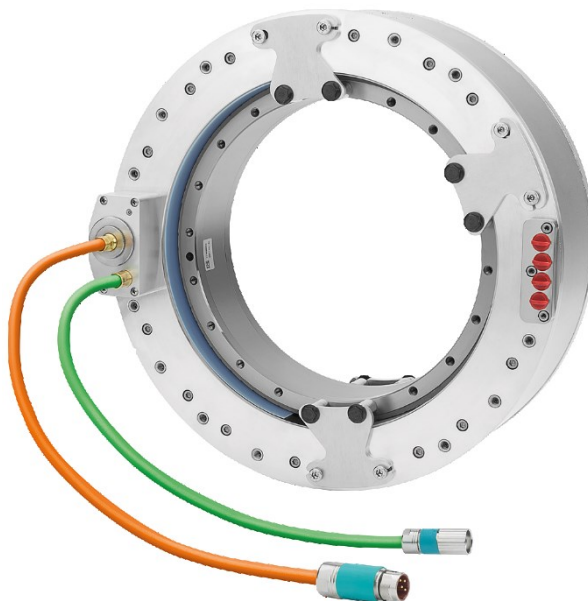


Obr. 66. Zajišťovací věnec, ložisko bubnu, vřeteno v zadní poloze

Zadní část bubnu nese velkorozměrové prstencové ložisko zn. Kaydon (SKF). Toto ložisko s označením KF200XP0 má vnitřní průměr 508 mm, vnější průměr 546,1 mm, šířku 19,05 mm. Jedná se o speciální radiální jednořadé prstencové kuličkové ložisko pro malé otáčky.

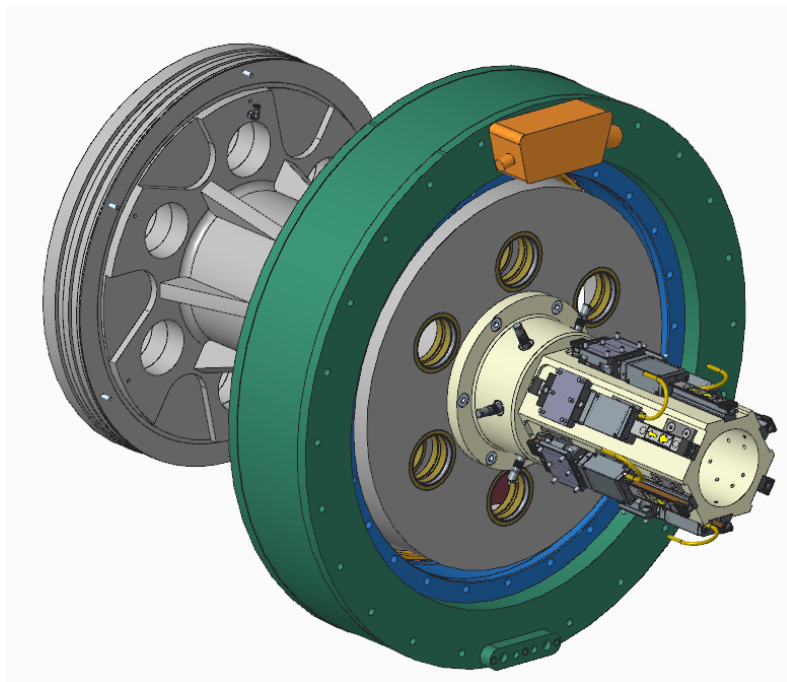
6.12 Motor přetáčení bubnu

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, k přetáčení bubnu je navržen momentový motor. Momentové motory vyvozují vysoký krouticí moment při nízkých rychlostech, zejména v klidu. Na rozdíl od tradičních pohonů jsou dimenzovány čistě podle momentu, nikoliv podle výkonu.



Obr. 67. Momentový motor 1FW6 pro přetáčení bubnu

Zvolený motor pro nový pohon bubnu je výrobce Siemens Simotics T s označením 1FW6290-0TB07-5GC2. Jedná se o třífázový synchronní motor s vnitřním montážním průměrem 522 H8 mm, vnějším průměrem 730 h8 mm, šířkou 140 mm, s hmotností 103,6 kg. Chlazení motoru je vodní, maximální proud 113 A. Maximální rychlost otáčení je 110 ot/min, maximální moment 4000 Nm.

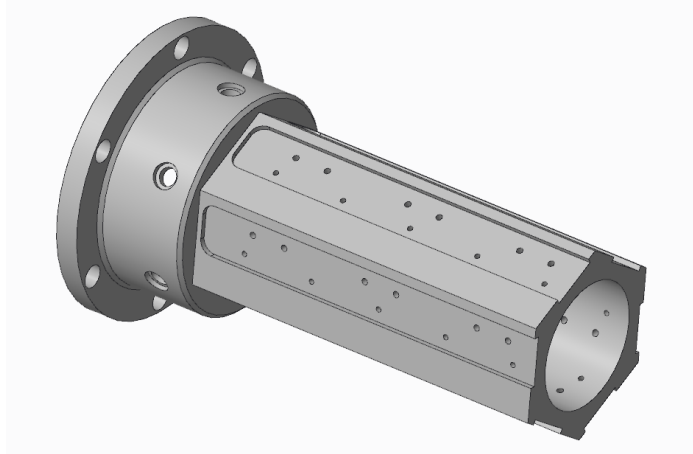


Obr. 68. Buben s momentovým motorem a zadní konzolou

Na Obr. 68 je zelenou barvou zvýrazněn stator motoru, modrou pak jeho rotor spojen s bubnem. Oranžová barva z čelní strany je montážní krabice pro elektrické připojení, v dolní části je přívod a vývod chlazení motoru.

6.13 Konzola bubnu

Středová konzola bubnu (Obr. 69) v zadní části je obrobený dílec zvonovitého tvaru s průchozím otvorem a tvoří jakési prodloužení bubnu sloužící pro uložení zadní přesahující části vřeten. Na tuto konzolu se montuje lineární kuličkové vedení pod motorem. Zároveň slouží pro uložení kabeláže a hadic pro jejich vyvedení k rotačním sběračům a převodníkům.

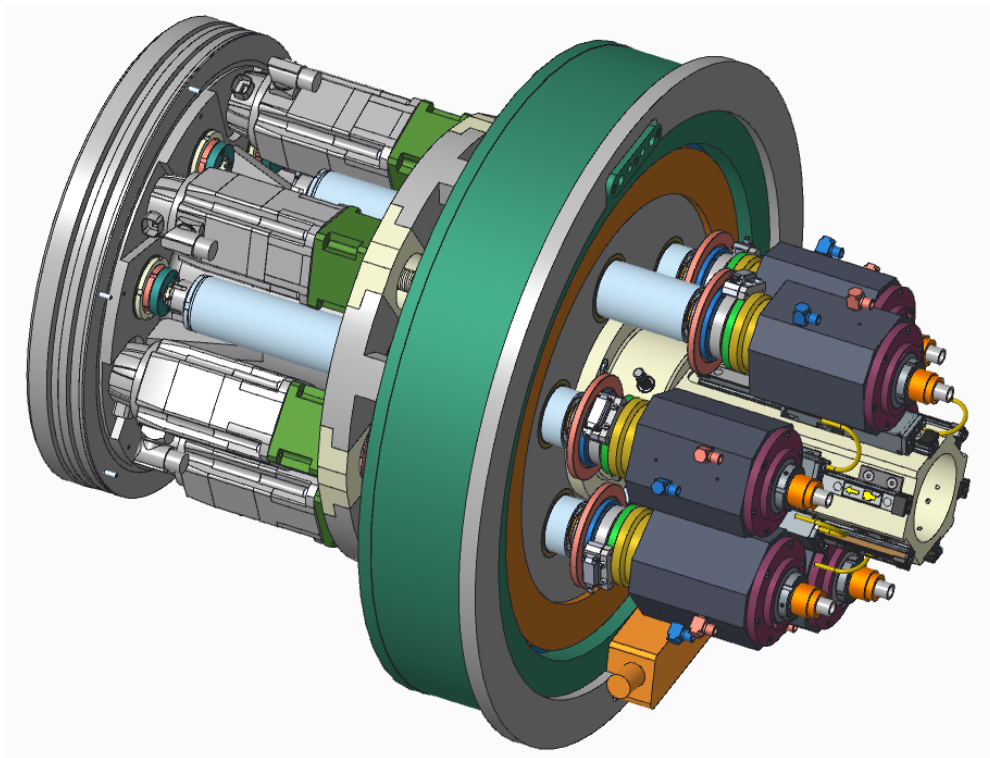


Obr. 69. Konzola bubnu

Vyrobena je ze stejného materiálu jako buben, tj. odlitek z tvárné litiny EN-GJS-500-7, po obrobení je provedeno žihání k odstranění vnitřního pnutí. Konzola je k bubnu přichycena axiálně přes přírubu pomocí 6 šroubů M10x35. Obrobené plochy pro montáž lineárního vedení včetně mají otvory se závity a otvory pro kolíky pro přesné ustavení vedení.

6.14 Celková sestava

V předchozích kapitolách byly podrobněji popsány jednotlivé komponenty a sestavy, které jsou použity v celkové sestavě návrhu. Konstrukční řešení, které je zde sestaveno a představeno, je šestou verzí návrhu. Předchozí verze průběžně dospěly k uzlu, který bylo nutno přepracovat. Sestava, která je nyní představena, je v teoretické rovině funkční a měla by i při realizaci vykazovat možnost sestavení bez větších komplikací, či nutnosti zavádění nestandardních postupů.



Obr. 70. Pohled na celou sestavu zadní

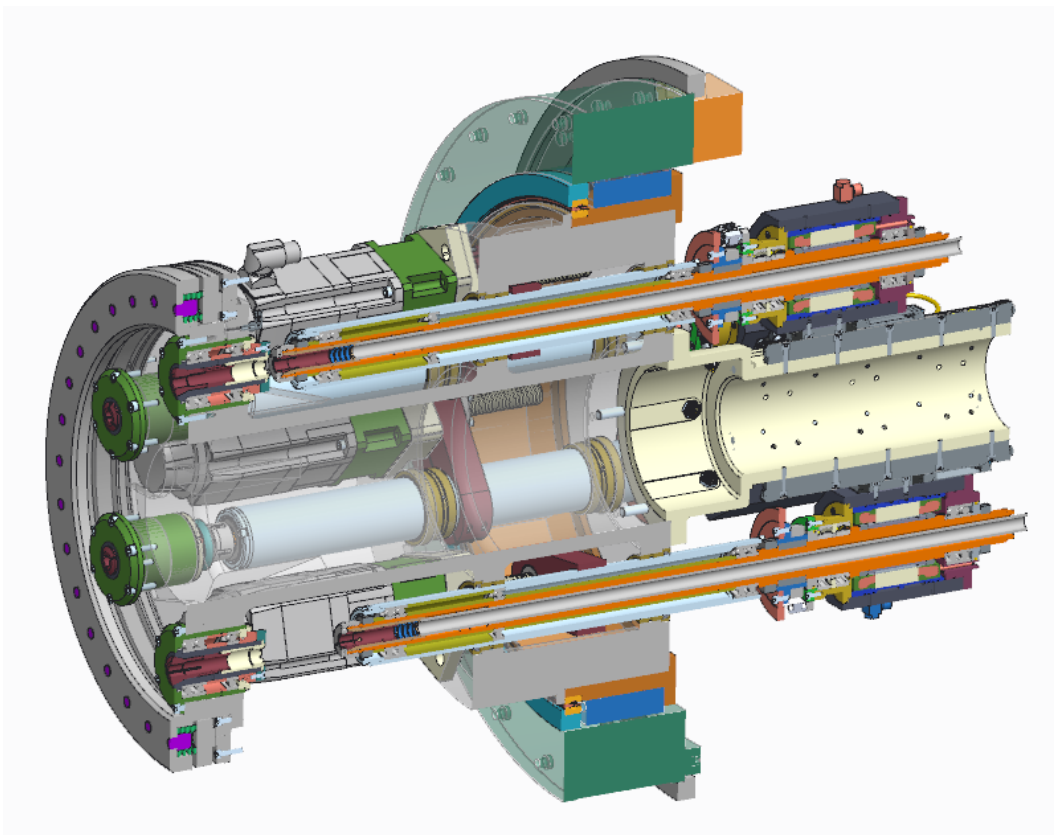
Takto sestavená část stroje s pohony bude uložena do skříně. Skříň není součástí návrhu. Jedná se o svařenec velikosti a tvaru odpovídající pro uložení sestavy pohonů obdobně jako uložení ve stroji. Bude sloužit pro zkušební účely z pohledu montážního, kdy bude ověřována možnost sestavení i demontáže jednotlivých komponent, tak aby nebylo zapotřebí obtížného vyjímání nesouvisejících komponent.

Popis funkce celého zařízení:

Navržené zařízení spojuje funkcionalitu vícevřetenového (Obr. 32) a dlouhotočného (Obr. 33) CNC soustruhu. Princip obrábění bude tedy spojením funkcí obojího.

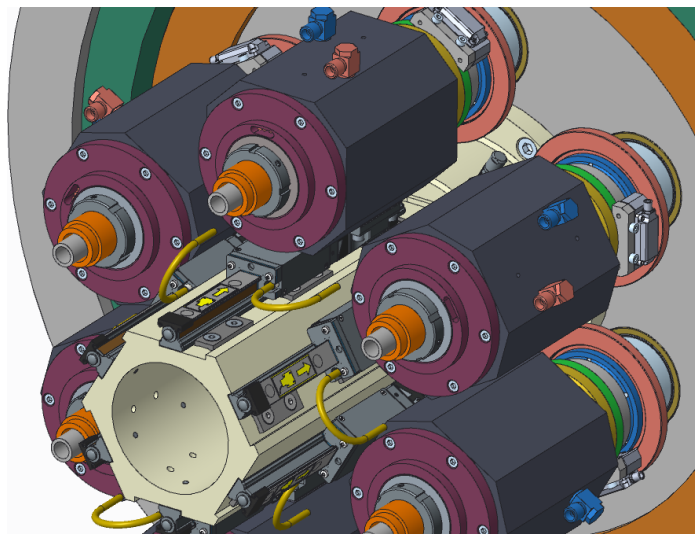
Vřeteno (Obr. 40) v poloze 1 se nabije ze zásobníku materiálem pomocí podávacího zařízení ze zadní části stroje. Materiál (tyč) se protáhne středem vřetena dále do upínací kleštiny (Obr. 41) a následně do vodící kleštiny (Obr. 58) ve vodícím pouzdře. Vodící kleština se kontrolně seřídí na daný materiál. Po podání materiálu dojde k upnutí v upínací kleštině. Jakmile započne proces obrábění, celé vřeteno uložené v tubusu je pomocí posuvového motoru (Obr. 53) uvedeno do pohybu v ose $\pm Z$ dle potřeby. Velikost zdvihu, resp. aktuální poloha je snímána snímačem na lineárním vedení (Obr. 57) v zadní části pod motorem. Otáčky a úhel natočení motoru vřetene jsou snímány úhlovým snímačem a v případě potřeby na základě obráběcí operace je vřeteno zastaveno v požadovaném úhlu natočení vůči

nástroji brzdou (Obr. 49). Toto zastavení se využívá např. při frézování rovinných ploch, nebo vrtání v ose X apod.



Obr. 71. Řez celkovou sestavou

Suporty s nástroji jsou umístěny po obvodu bubnu u každé polohy vřetene. Po skončení operace v 1. poloze dojde k odjištění zubového věnce bubnu (Obr. 63) a motor přetáčení bubnu (Obr. 67) přetočí buben o 60° proti směru hodinám do následující polohy. Tímto se posunou všechna vřetena do následující polohy a započne následné obrábění nástroji dalšího suportu. Postupně se vystřídají všechny polohy a po poslední operaci, obvykle v 6. poloze, dojde k upíchnutí obrobku. Upínací kleština v případě, že je s materiálem na maximálním zdvihu (Obr. 60), odepne a vřeteno couvne do maximální zadní polohy, kde dojde k novému upnutí tyče.



Obr. 72. Uložení vřetene v zadní části pod motorem

Veškeré přípojky, ať už elektrické, či jiných médií (chlazení, pneumatický okruh, mazání), jsou vedeny ze zadní části do konzoly bubnu (Obr. 69), kde jsou napojeny na rotační sběrače. Tímto je zajištěno, že se buben s vřeteny může otáčet stále jedním směrem bez nutnosti zpětného chodu, který by prodlužoval ztrátový čas. Na Obr. 72 je patrné uložení všech vřeten v zadní části bubnu. Na motorech jsou vyobrazeny modrou a červenou barvou přípojky chlazení.

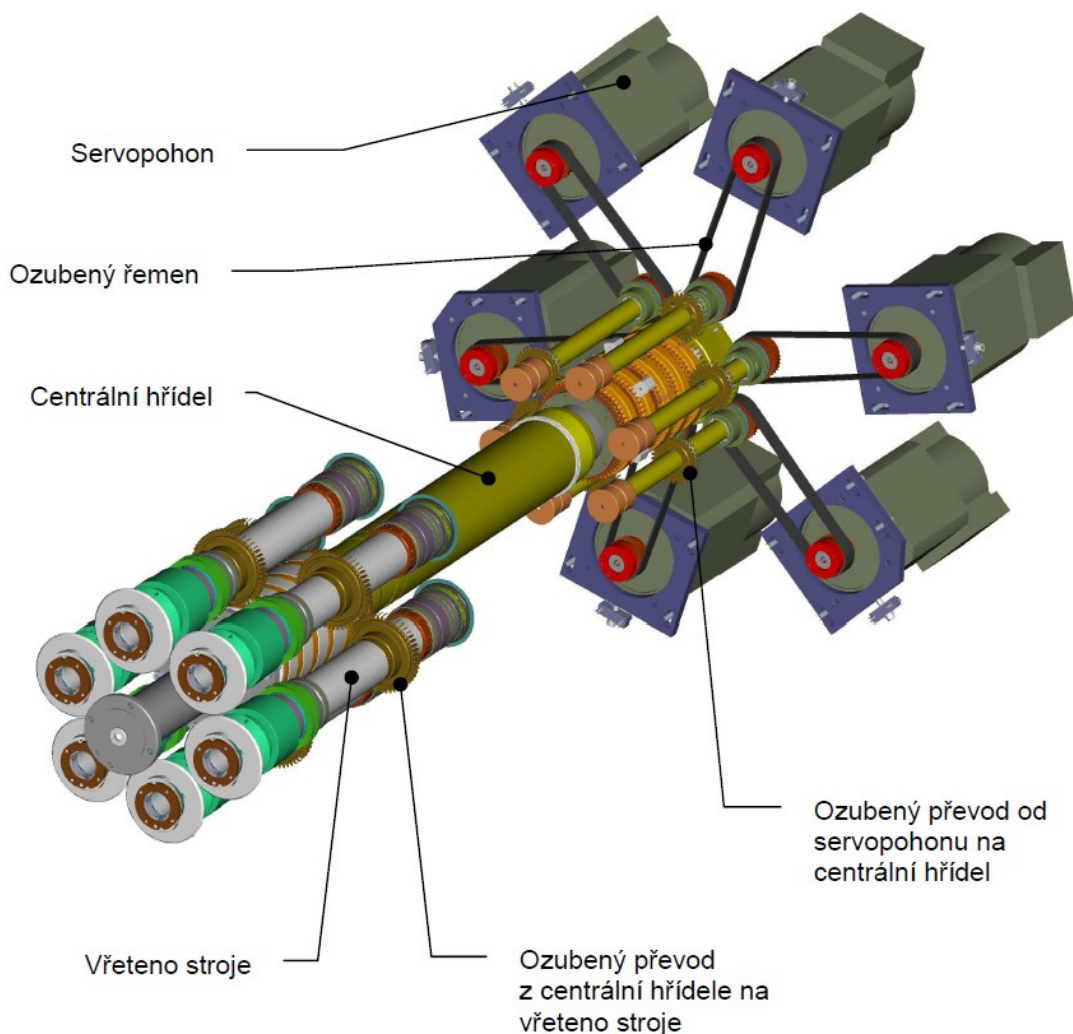
6.15 Porovnání starého a nového uspořádání

Pro názorné porovnání a zhodnocení navrženého nového pohonu PMD se stávajícím provedením TMZ je stručně shrnutí v následující tabulce:

Tab. 4. Srovnání provedení pohonu TMZ a PMD

Funkce	TMZ	PMD
pohon vřeten	3 převody a řemen	přímý náhon
pohon vřeten v ose Z	není	přímý náhon
přetáčení bubnu	2 převody a vačka	přímý náhon
způsob obrábění	posuvné suporty v osách XYZ	posuvné vřeteno v ose Z a posuvné suporty v osách XY
chlazení pohonu vřeten	vzduch	olej, voda

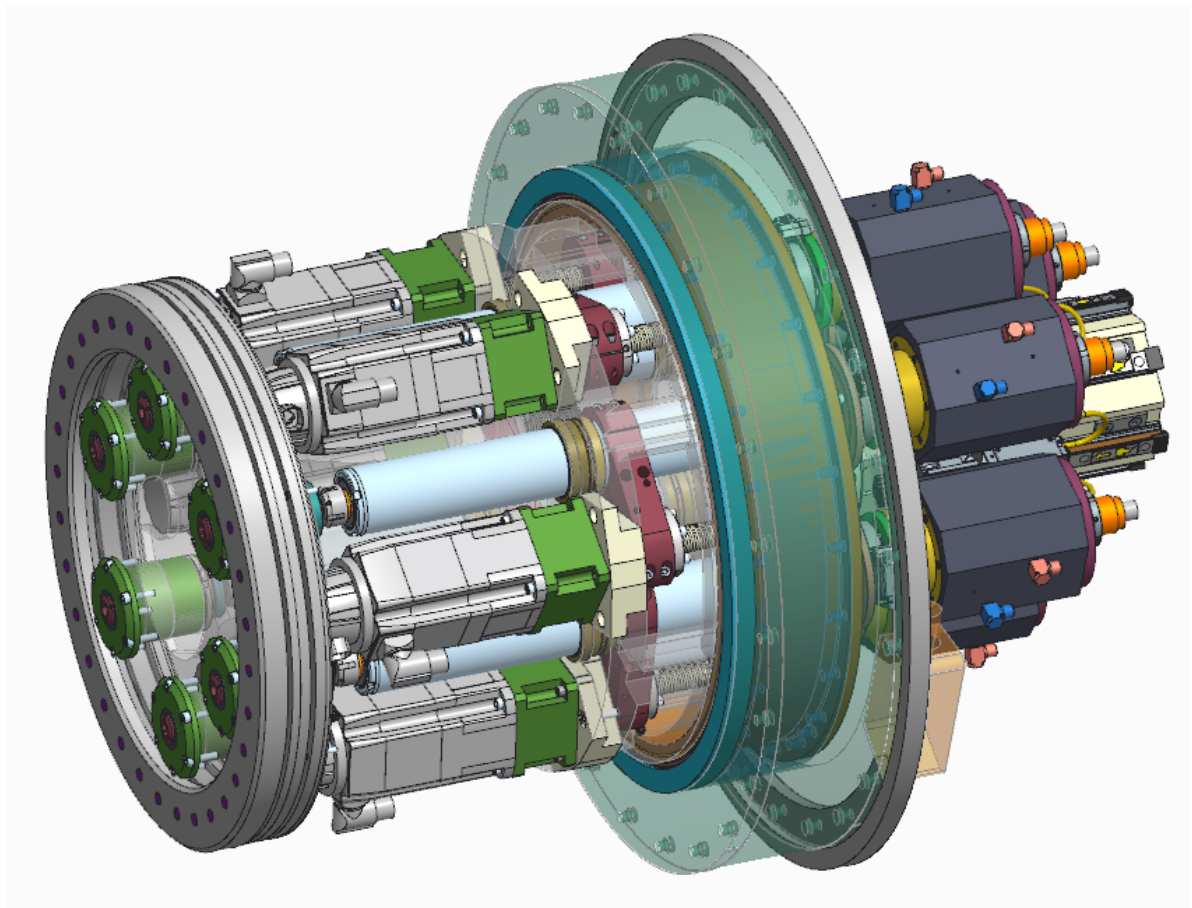
Na Obr. 73 je celkový pohled na pohon vřeten stroje TMZ, z něž je patrná rozsáhlost celého zařízení v porovnání s nově navrženým pohonem na Obr. 74, kde je provedení více kompaktní.



Obr. 73. Celkový pohled na pohon vřeten stroje TMZ

Tímto novým uspořádáním se výrazně uspoří také prostor ve skříni stroje, který lze využít např. pro zabudování prvků, které právě z nedostatku prostoru byly montovány z vnější strany stroje. Jsou to například filtrační jednotky, pneumatické zařízení, odlučovače, nebo elektrické rozvaděče apod. Dále se nabízí možnost vybavit stroj přídatnými technologiemi, které mohou z protější strany skříně vykonávat další technologické operace, např. pomocné nástrojové suporty, osové suporty s podélným posuvem v ose Z, odebírače a podavače dílců, měřící zařízení atd. Jinou variantou, jak výhodně využít kompaktnosti pohonu, je stroj samotný částečně zmenšit o tento vzniklý nevyužitý prostor.

Zjednodušeno je také mazání ložisek, pouzder a lineárního vedení, protože všechny tyto prvky jsou soustředěny v jednom celku. Rozvod mazacích cest lze tedy řešit v rámci kanálků v bubnu s minimálním množstvím přípojek a téměř bez použití rozvodných trubek, či hadic. Příkladem řešení rozvodného kanálku v bubnu je na Obr. 60, kde je v řezu vidět přípojka, od které je mazací médium vedeno dále kanálkem přes vybrání v rozpěrném kroužku k ložiskům. Odpadá také nutnost montáže rozvodů mazacích míst k jednotlivým převodům a ozubeným kolům ve dvou částech skříní, jako je řešeno u pohonu TMZ, protože tyto převody již v novém uspořádání nejsou.



Obr. 74. Celkový pohled na pohon vřeten stroje PMD

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navržení funkčního vzorku nového pohonu vícevřetenového CNC obráběcího stroje. Poznatky získané v teoretické části, která je zaměřena na seznámení s obráběcím CNC automatem, jeho komponenty, funkcí a konstrukcí, byly nutným předpokladem pro úspěšné navržení nového provedení stroje. Dalším předpokladem bylo získání zkušeností a znalostí v problematice konstruování a využití podpory, ať už v podobě konstrukčního software, či školení a vzdělávání v oboru. Při samotné realizaci návrhu je také výhodným benefitem znalost a přehled o trhu s dostupným sortimentem komponent použitých v návrhu. Sloučením všech těchto poznatků se v praktické části práci zúročilo ve zdárné provedení návrhu v teoretické rovině.

Návrh stroje představen v této diplomové práci byl presentován pracovníkům vývojové kanceláře f. Tajmac-ZPS a následně, jako koncept, byl odsouhlasen a předán k dalšímu zpracování pro následnou realizaci. Po ekonomickém zhodnocení bude sestrojen funkční vzorek pro měření a další zkoumání chování soustavy. Návrh je vytvořen tak, aby byla možná jeho snadná případná modifikace, co se týká např. výběru motoru, či změny rozměrových, nebo výkonových parametrů.

Výběr motorů byl zvolen s ohledem na rozměry, výkon a řídicí systém. Výběr typu ložisek pro uložení vřeten byl zvolen dle rozměrových a mechanických vlastností. Pohyblivá vřetena mají zdvih 100 mm v ose Z, rozsah dosažitelných otáček s ohledem na průměr obrobku je taktéž splněn. Celé zařízení svými rozměry a uspořádáním je montovatelné do skříně o velikosti srovnatelné dle požadavku s uvedeným strojem TMZ, případně menší. Charakter materiálu, z něhož jsou jednotlivé komponenty vyrobeny, je shodný s běžně používanými materiály ve f. Tajmac-ZPS a to včetně úprav povrchových i tepelných. Nakupované součásti jsou použity ze sortimentu výrobců, jejichž komponenty se běžně montují do strojů ve firmě Tajmac-ZPS. Většina těchto dodávaných komponent byla představena v inovované formě na posledních strojírenských veletrzích. Lze tedy uvést, že se jedná o návrh z běžně dostupných prvků a je tedy z větší části realizovatelný bez větších komplikací.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Intemac. Výrobní buňka 4.0. [Online] 2018. <http://www.intemac.cz/cz/sluzby/prumysl-4-0/vyrobni-bunka-4-0/>.
- [2] ELUC - Strojírenství. Elektronické učebnice - Obrábění a zpracování kovů. [Online] 2017. <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/ucebnice/23/lekce>.
- [3] Borský, Václav. Obráběcí stroje. Brno : VUT v Brně, 1992. ISBN 8021404701.
- [4] Brdička, Bořivoj. RVP Metodický portál. 4. průmyslová revoluce. [Online] 2016. <https://spomocnik.rvp.cz/clanek/20857/4-PRUMYSLOVA-REVOLUCE.html>.
- [5] Prima dílna. [Online] 2017. <https://www.primadilna.cz/Warco-WM-250V-stolni-soustruh-na-kov-variabilni-otacky-AC-motor-invertor-130kg-d2964.htm>.
- [6] Pagáč, Marek. Průběh řezných sil. Konstrukter. [Online] 2015. <https://www.konstrukter.cz/2015/05/25/zive-ukazky-obrabeni-sledovaly-prubeh-reznych-sil/>.
- [7] Příručka pro technology - Jak je to s řeznými silami. MM Spektrum. [Online] 2012. <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-je-to-s-reznymi-silami.html>.
- [8] Kovosvit MAS. [Online] 2018. <https://www.kovosvit.cz/obrabeci-stroje/soustruznicke-stroje/soustruznicka-centra-sp-line.html>.
- [9] Zemánek, Jaroslav. Komplexní řešení šestivřetenového automatu. MM Průmyslové spektrum. [Online] Tajmac-ZPS, 5 17, 2006. <http://www.mmspektrum.com/clanek/komplexni-reseni-sestivretenoveho-automatu.html>.
- [10] CNC Multi Spindle Screw Machines. Metra. [Online] 2017. <http://www.metramh.com/en/152706/MACHINES/CXZSERIESCNCMultiSpindleAutomaticLathes.htm>.
- [11] Hejník, Jiří and Dederle, Tomáš. Proč dlouhotočný automat. MM Průmyslové spektrum. [Online] Tajmac-ZPS, 12 28, 2007. <http://www.mmspektrum.com/clanek/proc-dlouhotocny-automat.html>.
- [12] CNC soustruhy a soustružnická centra. Consorta. [Online] 2017. <http://consorta.cz/obrabeci-stroje/soustruhy/cnc-soustruhy-a-soustruznicka-centra/>.

- [13] Stachura. [Online] 2017. http://stachura.cz/novy/strojni/druhy_lozisek.htm.
- [14] SKF. Ložiska, ložiskové jednotky a tělesa. [Online] [Cited: 11 1, 2017.] <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/index.html>.
- [15] CNC Spindle Electrosindle. [Online] 2017. <http://www.small-electricmotor.com/sale-8161529-brushless-motor-cnc-spindle-electrosindle-high-pretection-permanent-magnet.html>.
- [16] Kříž, Rudolf and kolektiv. Stavba a provoz strojů II - Převody. Praha : SNTL - nakladatelství technické literatury, 1978. L13-C2-V-33f/25560.
- [17] Wabeco Remscheid. [Online] 2017. https://www.wabeco-remscheid.de/catalog/product/view/id/4773/s/5c-spannzangensatz/?__store=en&__from_store=de.
- [18] Lineární vedení Alulineartechnik AG. [Online] 2017. <http://www.linearni-vedeni.com/cz/linearni-vedeni-alulineartechnik-ag-linearni-vedeni-alulineartechnik-ag>.
- [19] Borský, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. Brno : VUT v Brně, 1991. ISBN: 8021403616.
- [20] Hiwin - Kuličkové šrouby. [Online] 2017. <http://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby>.
- [21] Maňas, Miroslav, Staněk, Michal and Maňas, David. Výrobní stroje a zařízení I. Zlín : UTB ve Zlíně, 2007. ISBN 9788073185961.
- [22] Siemens - Servomotoren SIMOTICS. [Online] 2017. <https://w3.siemens.com/mcms/mc-solutions/de/motoren/motion-control-motor/servomotor-simotics-s/simotics-s-1fk7/seiten/simotics-s-1fk7.aspx>.
- [23] ELUC - Elektrické stroje. [Online] 2017. <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/746>.
- [24] RAVEO. Elektromotory. [Online] 2017. <http://www.raveo.cz/motory>.
- [25] Direct Industry. [Online] 2017. <http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/torque-motor-60895.html>.
- [26] Marek, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Praha : MM Publishing, s.r.o., 2014. ISBN 9788026067801.

- [27] ELUC - Snímače polohy. [Online] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/960>.
- [28] Štulpa, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha : BEN technická literatura, 2007. ISBN 978-80-7300-207-7.
- [29] Kříž, Rudolf and kolektiv. Stavba a provoz strojů I - Části strojů. Praha : SNTL - nakladatelství technické literatury, 1977. L13-C2-V-43f/25559.
- [30] Tajmac-ZPS. Víceřetenové soustružnické automaty. [Online] 2015. <http://www.tajmac-zps.cz/cs/vicevretenove-soustruznicke-automaty>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

m	Metr
mm	Milimetr
ot	Otáčky
min	Minuta
Nm	Newtonmetr
W	Watt
kW	kiloWatt
A	Ampér
V	Volt
PTFE	Polytetrafluorethylen (fluorovaný polymer)
R _p	Mez kluzu
R _m	Pevnost v tahu
MPa	Megapascal
R _a	Průměrná aritmetická odchylka profilu
T _m	Teplota montážní
T _{mVR}	Teplota montážní vřetene
T _{mRO}	Teplota montážní rotoru
°C	Stupeň Celsia
°	Stupeň úhlový
NC	Numerical control
CNC	Computer Numerical Control
CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing
PLM	Product Lifecycle Management

m ³	Metr krychlový, objem
kg	Kilogram, hmotnost
l	Délka (m, mm)
FT	Složka řezné síly (N)
v	Rychlost (m/min)
P	Příkon (kW)
DP	Diplomová práce
3D	3-rozměrný
Obr.	Obrázek
AC	Střídavé napětí
ČSN	Česká technická norma
DIN	Německá národní norma
X,Y,Z	Souřadný systém, osy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Výrobní buňka 4.0 [1]	13
Obr. 2. Základní druhy obrábění [2]	14
Obr. 3. Průmyslové revoluce [4].....	16
Obr. 4. Části universálního hrotového soustruhu [5].....	18
Obr. 5. Složky řezných sil [6]	19
Obr. 6. Části CNC soustruhu [8].....	21
Obr. 7. Souřadný systém vícevřetenového soustruhu [10]	22
Obr. 8. Souřadný systém dlouhotočného soustruhu [12].....	24
Obr. 9. Valivé kuličkové ložisko [13].....	25
Obr. 10. Kuličkové a jehlové ložisko [14].....	25
Obr. 11. Ložisko s bodovým a čárovým stykem [14].....	26
Obr. 12. Ložiska radiální [14].....	26
Obr. 13. Ložiska axiální [14]	26
Obr. 14. Ložiska axiální s kosoúhlým stykem [14]	27
Obr. 15. Ložiska dvouřadé a párované pro zachycení klopného momentu [14]	27
Obr. 16. Ložisko jednořadé a dvouřadé s kosoúhlým stykem [14]	28
Obr. 17. Způsob montáže vřetenových ložisek [14].....	28
Obr. 18. Vřeteno poháněné řemenem [14]	30
Obr. 19. Vřeteno poháněné přímo – elektrovřeteno [15].....	30
Obr. 20. Kleštiny [17]	31
Obr. 21. Tlakový upínač kleštiny [2].....	32
Obr. 22. Tahový upínač kleštiny [2]	32
Obr. 23. Lineární valivé vedení [18].....	34
Obr. 24. Kuličkový šroub a matice Hiwin [20]	37
Obr. 25. Řez kuličkovou maticí [20]	37
Obr. 26. Servomotory Siemens S1FK [22].....	39
Obr. 27. Lineární motor, princip [23]	39
Obr. 28. Momentový motor [25]	40
Obr. 29. Inkrementální snímání [27]	41
Obr. 30. Blokové schéma CNC stroje.....	42
Obr. 31. Struktura návrhu nového pohonu	46
Obr. 32. Stroj TMZ642CNC	47

Obr. 33. Stroj KMX816 Clever	49
Obr. 34. Řez pohonu koaxiálních hřídelí stroje TMZ.....	51
Obr. 35. Řez vřetenovým bubnem stroje TMZ.....	52
Obr. 36. Mechanismus přetáčení bubnu	52
Obr. 37. Řez tubusem	53
Obr. 38. Pouzdro	54
Obr. 39. Profil stíracího kroužku Trelleborg DA17.....	54
Obr. 40. Celkový pohled na vřeteno	55
Obr. 41. Řez přední částí vřetene s kleštinou	55
Obr. 42. Řez zadní částí vřetene s motorem	56
Obr. 43. Motor Simotics M 1FE	57
Obr. 44. Kryt motoru s otvory pro přípojky chlazení	58
Obr. 45. Rotor motoru nalisovaný na hřídeli	58
Obr. 46. Uložení vřetene, ložiska, motor	59
Obr. 47. Detail matice KMFE s pojistným šroubem	60
Obr. 48. Snímač Heidenhain ERM 2484	60
Obr. 49. Pneumaticky ovládané čelisti brzdy	61
Obr. 50. Brzdový kotouč.....	61
Obr. 51. Přední část vřetene s kleštinou.....	62
Obr. 52. Kleština Schaublin F16.....	62
Obr. 53. Motor 1FK7 s kuličkovým šroubem a objímkou.....	63
Obr. 54. Objímka tubusu.....	63
Obr. 55. Příruba motoru.....	64
Obr. 56. Uložení posuvového motoru a vřetene v bubnu	65
Obr. 57. Kuličkové vedení s odměřováním	66
Obr. 58. Řez vodícím pouzdem	66
Obr. 59. Kleština vodícího pouzdra	67
Obr. 60. Řez vodícím pouzdem a čelem vřetena.....	67
Obr. 61. Skříň s uloženým zubovým věncem [30]	68
Obr. 62. Ovládání zajištění bubnu stroje TMZ.....	69
Obr. 63. Zajišťovací věnec s integrovanými pružinami	70
Obr. 64. Vřetenový buben šesti vřetenového soustruhu	71
Obr. 65. Vřetenový buben PMD.....	72

Obr. 66. Zajišťovací věnec, ložisko bubnu, vřeteno v zadní poloze.....	73
Obr. 67. Momentový motor 1FW6 pro přetáčení bubnu	73
Obr. 68. Buben s momentovým motorem a zadní konzolou	74
Obr. 69. Konzola bubnu.....	75
Obr. 70. Pohled na celou sestavu zadní	76
Obr. 71. Řez celkovou sestavou.....	77
Obr. 72. Uložení vřetene v zadní části pod motorem	78
Obr. 73. Celkový pohled na pohon vřeten stroje TMZ.....	79
Obr. 74. Celkový pohled na pohon vřeten stroje PMD	80

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Lineární odměřování polohy	40
Tab. 2. Technické parametry stroje TMZ642CNC	48
Tab. 3. Technické parametry stroje KMX816	50
Tab. 4. Srovnání provedení pohonu TMZ a PMD	78

SEZNAM PŘÍLOH

- | | | | |
|------|-----------------|----------------|-----------------|
| I. | Výkres sestavy: | PMD620VZ-A0000 | POHON VŘETEN |
| II. | Výkres sestavy: | PMD620VZ-A1000 | VŘETENOVÝ BUBEN |
| III. | Výkres sestavy: | PMD620VZ-A2000 | POUZDRO VODÍCÍ |
| IV. | Výkres sestavy: | PMD620VZ-A3000 | VŘETENO |
| V. | Výkres sestavy: | PMD620VZ-A4000 | POHON Z |
| VI. | Výkres sestavy: | PMD620VZ-A5000 | POLYGON |
| VII. | Výkres sestavy: | PMD620VZ-A6000 | ZAJIŠTĚNÍ BUBNU |

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY