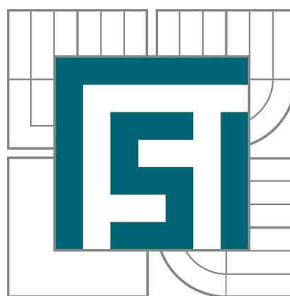


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONSTRUKCE OSY C MALÉHO SOUSTRUHU

DESIGN OF SMALL TURNING MACHINE C AXE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DOMINIK HERMANSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Dominik Hermanský

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

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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

Konstrukce osy C malého soustruhu

v anglickém jazyce:

Design of small turning machine C axe

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši v oblasti osy C malých soustruhů. Na základě rešerše zvolí technické parametry konstruované osy C. Provede potřebné konstrukční výpočty a vlastní konstrukci osy C malého soustruhu v 3D modelu.

Součástí bakalářské práce bude výkres sestavy osy C s vřetenem a v elektronické příloze 3D model osy C s vřetenem stroje.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti osy C malých soustruhů.

Zvolení technických parametrů konstruované osy C.

Potřebné konstrukční výpočty.

Konstrukce osy C s vřetenem soustruhu v 3D modelu.

Výkres sestavy osy C s vřetenem.

V elektronické příloze 3D model osy C s vřetenem.

Seznam odborné literatury:

Marek, J.; Konstrukce CNC obráběcích strojů, ISSN 1212-2572

Borský, V.; Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT

Brno [www stránky výrobců obráběcích strojů](http://www.stranky.vyrobcu-obrabecich-strojů)

www.infozdroje.cz

www.mmspektrum.com

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2011

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Predmetom bakalárskej práce je konštrukcia osi C malého sústruhu. Prvá časť obsahuje vymedzenie hlavných pojmov a rešerš v oblasti osi C pre sústruhy a sústružnícke centrá. Ďalšia časť práce sa venuje rozboru rezných síl pri obrábaní s využitím osi C, voľbe vhodného pohonu a brzdového systému. V závere sa pojednáva o tvorbe 3D modelu osi C spolu so sústružníckym vretenom. Súčasťou práce je tiež výkres zostavy.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

os C, sústruh, sústružnícke centrum, pohon osi C, elektrovreteno, rezné sily

ABSTRACT

The subject of my bachelor's thesis is design of C-axis for small turning machine. First part include definition of main terms and research in C-axis used for turning machines and turning centres. Next part is about cutting forces during the machining, choice of drive and breaking system for C-axis. Following part deals with creating 3D model of C-axis with turning spindle. The drawing of assembly is the last part of my thesis.

KEYWORDS

C-axis, turning machine, turning centre, C-axis drive, electrospindle, cutting forces



BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

Hermanský, D. *Konstrukce osy C malého soustruhu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 45 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením doc. Ing. Petra Blechu, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 25. mája 2012

.....

Dominik Hermanský



POĎAKOVANIE

Touto cestou by som sa chcel poďakovať doc. Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za jeho cenné rady a pripomienky v priebehu spracovania mojej práce.



OBSAH

Úvod	11
1 Sústružnícke stroje.....	12
1.1 Charakteristika sústružníckeho stroja	12
1.2 Operácie na sústružníckych strojoch	13
1.3 Os C sústruhu.....	13
1.4 Nástroje	14
1.5 Snímače polohy.....	14
2 História	15
2.1 Polohovanie vretena.....	15
2.1.1 Mechanizmy na polohovanie vretena	15
2.2 Prvé sústružnícke obrábacie centrum.....	16
3 Stroje vybavené osou C	17
3.1 Vysokorýchlostné sústružnícke stroje	17
3.2 Viacosé sústružnícke centrá.....	17
3.3 Sústružnícke centrá väčších rozmerov.....	18
3.4 Zvislé sústruhy	18
4 Pohon osi C.....	19
4.1 Nepriamy pohon	19
4.1.1 Prevod remeňom.....	19
4.1.2 Prevod čelným ozubením	20
4.1.3 Prevod šnekovým ozubením.....	21
4.2 Priamy pohon.....	21
4.2.1 Prstencové (momentové) motory	22
4.2.2 Elektrovretená.....	23
5 Konštrukčný návrh	24
5.1 Voľba parametrov	24
5.2 Výber varianty	24
5.3 Rezné sily pri sústružení	25
5.4 Voľba motoru.....	26
5.5 Rezné sily pri frézovaní	27
5.5.1 Valcové frézovanie	28
5.5.2 Čelné frézovanie	29
5.6 Dynamika osi C	31
5.7 Návrh brzdy	32
5.8 Snímač polohy	33



5.9	Riadiaca jednotka.....	33
6	Tvorba 3D modelu.....	35
6.1	Usporiadanie ložísk vretena.....	35
6.2	Odmeriavacie zariadenie.....	35
6.3	Brzdové ústrojenstvo	36
6.4	Úplný model vretena.....	37
	Záver	38
	Zoznam použitých skratiek a symbolov	42
	Zoznam príloh	44



ÚVOD

Os C sa nachádza na vretenne sústruhu. Ak by sme chceli definovať tento prvok tak sa jedná o presné riadenie polohy a rýchlosti otáčania vretena. U sústruhov spolu s vretenom polohujeme aj samotný obrobok, ktorý je upnutý v upínacom mechanizme na danom vretene. Aby sme boli schopní použiť os C je potrebné stroj vybaviť pohonom nástrojov. Pohon týchto nástrojov zabezpečuje samostatné vreteno. Do nástrojovej hlavy môžeme vložiť frézy, vrtáky, závitníky a samozrejme nožové nástroje.

Význam výskytu osi C na danom sústružníckom stroji má mnoho výhod. Umožňuje využiť okrem sústruženia rad ďalších technologických operácií (frézovanie, vŕtanie mimoosých otvorov, výroba drážok obrážaním...). Dané operácie väčšinou prebiehajú na ustavenom obrobku.

Sústruh vybavený takouto polohovateľnou osou umožňuje skracovať hlavné a vedľajšie časy pri obrábaní a tým zvyšuje efektivitu obrábania. Stroje s riadenou osou C sa nazývajú sústružnícke centrá, prípadne multifunkčné sústruhy.



1 SÚSTRUŽNÍCKE STROJE

V posledných desaťročiach prešli sústružnícke stroje zásadným vývojom. Klasické konvenčné sústruhy sa s vývojom automatizácie postupne zmenili na NC stroje a s rozvojom počítačovej techniky aj na súčasné CNC stroje. Neustále sa zvyšujúce nároky na produktivitu práce a skracovanie hlavných a vedľajších časov pri obrábaní viedlo k vývoju sústružníckych obrábacích centier.

Najväčšou výhodou je rozsah operácií, ktoré môžeme uskutočňovať na obrábacích centrách oproti klasickým CNC sústruhom. Popri sústružení je možné využiť aj ďalšie technologické operácie. U obrábacích centier je väčšinou zabezpečená automatická výmena nástrojov, prípadne i obrobkov, odvod triesky z pracovného priestoru, regulovaný prívod chladiacej kvapaliny atď.

1.1 CHARAKTERISTIKA SÚSTRUŽNÍCKEHO STROJA

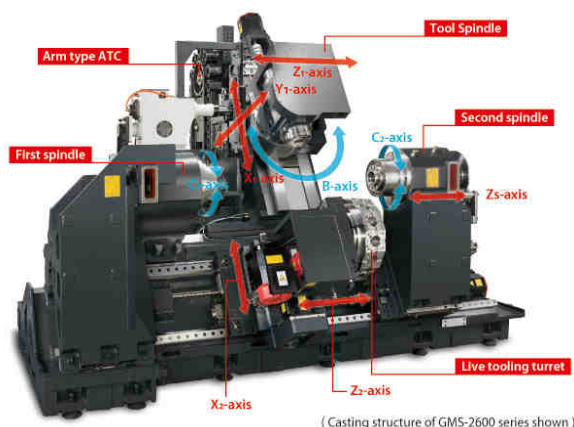
Sústruhy a sústružnícke centrá podobne ako iné obrábacie a tvárniace stroje je možné charakterizovať na základe popisu jednotlivých obrábacích osí. Základné rozdelenie súvisí s kartézskym súradnicovým systémom a možnosti pohybu jednotlivých častí sústruhu v smere jednotlivých osí. Potom je možné definovať tieto základné obrábacie osi:

- Os X
- Os Y
- Os Z (smeruje do vretena sústruhu)

Ak nástroj prípadne obrobok koná rotačný pohyb okolo týchto základných osí, potom môžeme definovať ďalšie tri osi:

- Os A
- Os B (väčšinou naklápanie nástroja okolo osi Y)
- Os C (väčšinou rotovanie obrobku okolo osi Z)

Existuje mnoho variant prevedenia sústruhov a sústružníckych centier kombináciou jednotlivých osí. V odbornej terminológii ak použijeme napr. základné tri osi (X,Z,C) hovoríme o 3-osom obrábaní. Ak pridáme ďalšie osi napr. Y, B potom hovoríme o 5-osom obrábaní. V praxi sa bežne vyskytujú aj sústruhy ktoré obsahujú dve vretená, potom je možné realizovať dve osy C. Môžeme teda technicky realizovať vysoko výkonné stroje s veľkým počtom osí a s vysokým počtom stupňov voľnosti. Tieto osi sa pre prehľadnosť označujú indexmi, napr. X₁, C₁, C₂...



Obr. 1 9-osé sústružnícke centrum Goodway [15]



1.2 OPERÁCIE NA SÚSTRUŽNÍCKYCH STROJOCH

Hlavným technologickým procesom na sústružníckych strojoch je sústruženie. Sústruženie je technologický postup trieskového obrábania pri ktorom hlavný rezný pohyb vykonáva obrobok – rotácia okolo vlastnej osi. Vedľajší pohyb vykonáva rezný nástroj, ktorý je upnutý v držiaku.

Na sústruhoch je však možné vykonávať aj ďalšie operácie a pri použití osí C tento rozsah ešte viac narastá.

Na sústruhu je možné vykonávať nasledovné operácie

- Sústruženie vonkajšej a vnútornej valcovej plochy
- Sústruženie vonkajšieho a vnútorného kužeľa, tvarových plôch
- Sústruženie čelných plôch
- Sústruženie zápichov
- Rezanie závitov, výroba závitov tvárnením
- Vŕtanie, vyvrtávanie v ose obrobku
- Výroba presných dier vyhrubovaním a vystružovaním v ose obrobku
- Vrúbkovanie, valčekovanie a ďalšie dokončovacie operácie

Pridaním riadenej osi C je možné vykonávať nasledovné operácie:

- Frézovanie drážok, tvarových plôch, závitov
- Vŕtanie mimoosých otvorov
- Brúsenie
- Výroba drážky pre pero, prípadne drážkovania
- Výroba ozubenia

1.3 OS C SÚSTRUHU

Ak je sústruh vybavený osou C, hovoríme teda o možnosti polohovať dané vreteno s vysokou presnosťou a tým pádom sme schopní uskutočňovať na sústružníckych strojoch rozšírené technologické operácie. Väčšinou sa os C používa tam, kde sa na rotačných súčiastkach vyskytujú zložité tvarové elementy, ale je možné ju požiť aj u bežných súčiastok, za účelom zvýšenia efektivity práce.

Najrozšírenejším druhom operácie s využitím osi C je frézovanie. S požitím valcových, čelných, tvarových, závitových a iných fréz je spektrum frézovacích operácií veľmi široké. Prehľad základných operácií uskutočniteľných na sústruhoch vybavených osou C je na Obrázku 2.



Obr. 2 Prehľad operácií pri využití osi C [12]



1.4 NÁSTROJE

Ďalšou nevyhnutnou podmienkou existencie a funkčnosti riadenej osi C je pohon nástrojov. Nástroje sú poháňané samostatným vretenom.

Z hľadiska konštrukcie sú používané rotačné nástroje (vrtáky, frézy, závitníky...), ktoré sú upnuté v nástrojových hlavách a nožové nástroje upevnené v nožových držiakoch. Jednotlivé nástroje sú uložené v zásobníku nástrojov. U sústružníckych obrábacích centier sa vo väčšine prípadov používa revolverový zásobník, ktorý je vybavený automatickou výmenou nástroja a tým sa výrazne znižuje čas potrebný na upnutie nástroja.

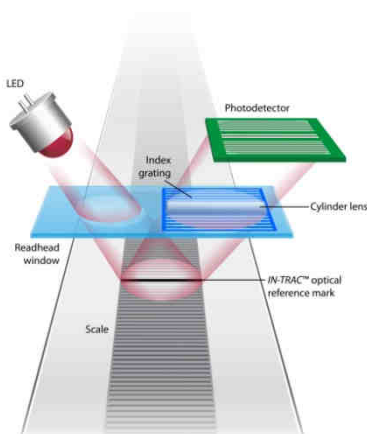


Obr. 3 Revolverový zásobník nástrojov Goodway [14]

1.5 SNÍMAČE POLOHY

Pri použití osi C je zrejme najdôležitejšou súčasťou snímač polohy. Od druhu použitého snímača závisí presnosť polohovania. V minulosti sa používali odmeriavacie zariadenia, ktoré fungovali na princípe prevodu a spätného prepočítavania aktuálnej polohy obrobku. Dnes sa používajú výlučne magnetické enkodéry alebo optické bezkontaktné snímače.

Pre polohovanie vretena s využitím osi C sa najčastejšie používajú optické uhlové snímače. Skladajú sa z krúžku, ktorý je umiestnený na rotorovej časti vretena a čítacej hlavy. Princíp spočíva v tom, že infračervené svetlo z LED diódy dopadá na rysky, ktoré sú po obvode kotúča. Následne sa toto svetlo odráža cez indexovaciu mriežku a šošovku do fotodetektora. Údaje o aktuálnej polohe sú odosielané do riadiacej jednotky, ktorá ich vyhodnotí.



Obr. 4 Princíp optického snímání polohy [23]

2 HISTÓRIA

Ak by sme chceli rozdeliť obrábacie stroje podľa stupňa vývoja, tak sa delia do 6 vývojových generácií, kde šiesta generácia je najnovšia, ktorá zahrňuje vysokorýchlostné a mimoriadne presné obrábanie, nízky čas výmeny nástroja alebo obrobku...atď.

Do prvých dvoch generácii radíme väčšinou konvenčné obrábacie stroje, prípadne stroje z nízkym stupňom automatizácie. Z príchodom tretej generácie sa začali vyskytovať požiadavky na polohovanie vretena.

2.1 POLOHOVANIE VRETENA

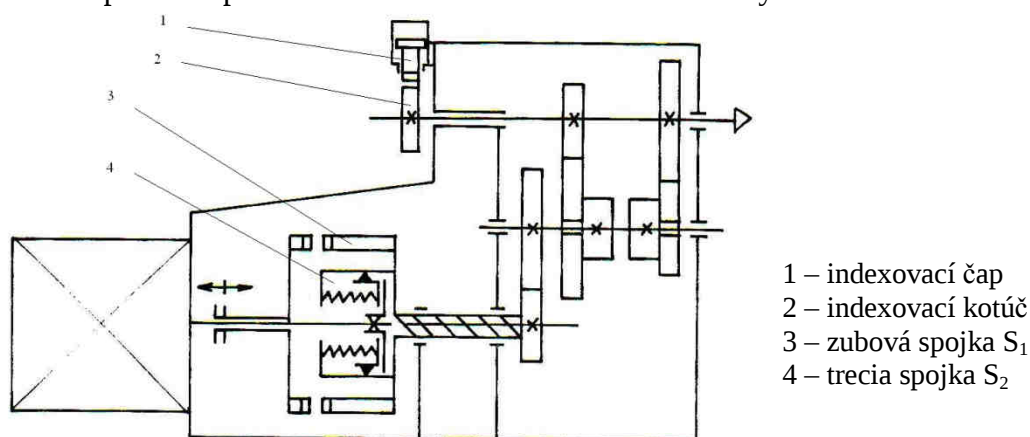
Polohovanie vretena v minulosti sa výrazne líšilo od súčasnej situácie. Dnes pojem polohovanie vretena poznáme ako riadenú os C. Princíp bol odlišný a presnosť pootočenia, prípadne zaistenie polohy a s tým súvisiaca presnosť obrábania nebola taká vysoká ako v súčasnosti. Moderní výrobcovia sústruhov, ktoré sú vybavené osou C udávajú presnosť polohovania resp. natočenia rádovo v tisícinách stupňov, čo bolo v minulosti nepredstaviteľné.

2.1.1 MECHANIZMY NA POLOHOVANIE VRETENA

Indexácia pomocou dvojitej spojky

Po skončení operácie sa zaradia najnižšie otáčky vretena, spojka S_1 sa vypne a krútiaci moment prenáša spojka S_2 (nastavená na malý krútiaci moment) tak dlho, kým nezaskočí indexovací čap 1 do drážky kotúča 2, upevneného na vretene stroja. Po zapadnutí indexu do drážky, motor sa vypne a spojka S_2 pri dobíhaní motora preklíza. [3]

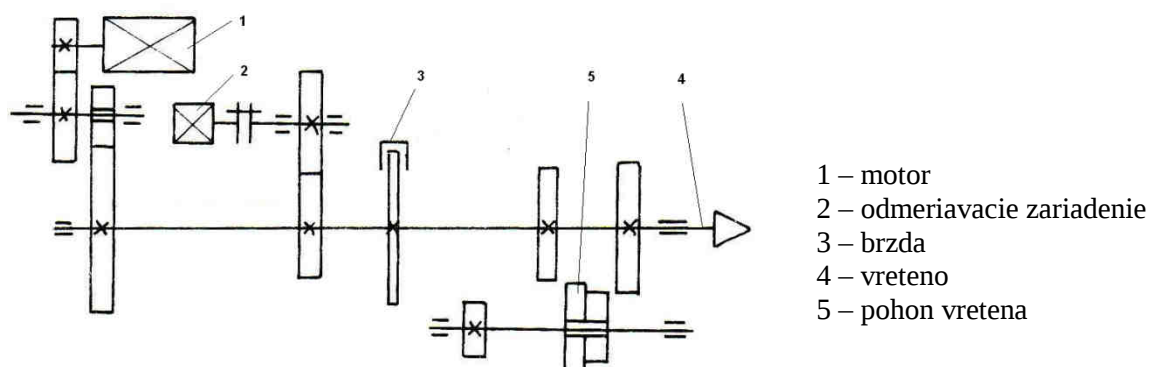
Tento spôsob sa používal u NC obrábacích centrál v 80-tych rokoch 20. Storočia.



Obr. 5 Schéma pohonu s polohovaním vretena [3]

Polohovanie vretena pomocou servopohonu

Tento princíp je podobný dnešnému nepriamemu polohovaniu vretena keďže súčasťou tohto mechanizmu je servopohon, brzda a odmeriavacie zariadenie. Špeciálny servopohon natočil obrobok do žiadanej polohy a pomocou brzdy bol ustavený do pevnej polohy. Uhlavá poloha vretena je potom ďalšou riadenou súradnicou. Tento typ polohovania sa používal pri vŕtaní mimoosých otvorov na čele prírubových súčiastok.



Obr. 6 Schéma servopohonu na polohovanie vretena [3]

2.2 PRVÉ SÚSTRUŽNÍCKE OBRÁBACIE CENTRUM

V roku 1977 kovosvitský konštruktér L. Borkovec prvýkrát vyslovil odvážnu myšlienku postaviť stroj, ktorý by spájal výhody sústružníckych a frézovacích strojov. So svojím tímom začal na tejto myšlienke pracovať a vyvinul stroj pod názvom MCSY, ktorý prezentoval v roku 1983 na veľtrhu v Paríži, kde dostal zlatú medailu. Kovosvit bol teda evidentne prvý, kto prišiel s takouto koncepciou stroja. Celkom sa vyrobilo 45 strojov a niektoré z nich dodnes pracujú [1]

Spočiatku nebol o sústružnícke obrábacie centrá veľký záujem ale postupný vývoj a zdokonaľovanie až do dnešnej podoby z nich urobil veľký hit na súčasnom trhu.

3 STROJE VYBAVENÉ OSOU C

Najpočetnejším zástupcom medzi strojmi vybavenými riadenou osou C sú sústružnícke obrábacie centrá a multifunkčné sústruhy. Ak by sme chceli rozdeliť tieto stroje z konkrétneho hľadiska, tak základnými parametrami budú medzné možnosti obrábania (maximálny priemer obrábania, výkon vretena, presnosť polohovania...atď.), rozsah operácií (súvisiace s využitím osi C), prípadné iné špeciálne požiadavky.

3.1 VYSOKORÝCHLOSTNÉ SÚSTRUŽNÍCKE STROJE

Tieto stroje sa vyznačujú dosahovaním vysokých rýchlostí pri obrábaní, či už pri pohone obrobku alebo nástrojov. Takýto druh operácií poznáme aj pod názvom HSC obrábanie (High speed cutting). Takéto stroje potom vyžadujú použitie precíznych vretien, ktoré sú poháňané motormi integrovanými priamo do vretena, alebo sa využívajú zložité prevodové systémy.

Typickým moderným predstaviteľom vysokorýchlostného sústruhu je stroj s typovým označením NTX 1000 od firmy Mori Seiki, ktorý bol prezentovaný na EMO 2011 v Hannoveri. Maximálne otáčky hlavného vretená sú 5000min^{-1} a nástrojového vretena až 20000min^{-1} . Sústruh je samozrejme vybavený plnohodnotnou osou C.



Obr. 7 Sústružnícke centrum NTX 1000 [26]

3.2 VIACOSÉ SÚSTRUŽNÍCKE CENTRÁ

Tieto stroje sa vyznačujú vysokým počtom obrábacích osí. Ako príklad uvádzam 9-osé sústružnícke centrum GMS-2600 (viď Obr.1) od firmy Goodway. Tento stroj v rámci svojich deviatich obrábacích osí obsahuje dve osi C, tým pádom môžeme obrábať viac súčiastok naraz. Pohon vretien je riešený pomocou vstavaných motorov. Maximálny moment týchto vretien je 149 Nm, čo v porovnaní s ostatnými strojmi je mierny podpriemer a z toho dôvodu sa tieto stroje používajú predovšetkým k obrábaniu tvarovo zložitých strojných súčastí, napr. malé turbíny, obežné kolá čerpadiel, piesty hydraulických mechanizmov... atď

Os C u tohto typu strojov sa vyznačuje vysokou presnosťou polohovania. Používa sa magnetický enkodér. Vzhľadom na vysoký počet obrábacích osí, môžeme vo vysokom rozsahu používať veľké množstvo najmä frézovacích operácií, na výrobu zložitých tvarových plôch.



3.3 SÚSTRUŽNÍCKE CENTRÁ VÄČŠÍCH ROZMEROV

Ako plynie z názvu tieto stroje sú určené pre výrobu rozmernejších súčastí. Hlavnými parametrami týchto strojov sú možnosť upnutia tyčového materiálu vyšších priemerov, väčší obežný priemer, a vysoký maximálny priemer sústruženia.

Vzhľadom k rozmerom súčastí obrábaných na týchto sústružníckych centrách je potrebné voliť vhodný pohon vretien. Tieto vretená sa potom vyznačujú nižšími otáčkami oproti klasickým centrám, ale zároveň dokážu produkovať vysoký moment. Vretená sú taktiež ako ostatné CNC centrá vybavené osou C, a slúžia teda aj k výrobe súčastí zložitejších tvarov.

Ako príklad uvádzam sústruh od firmy EMCO s označením MaxxTurn 110. Hlavnou prednosťou tohto stroja je vreteno s maximálnym momentom 2000 Nm. Okrem iného tento stroj sa používa na obrábanie hriadeľov väčších rozmerov, zvlášť kľukových hriadeľov.



Obr. 8 Sústruh MaxxTurn 110 [17]

3.4 ZVISLÉ SÚSTRUHY

Doteraz sa jednalo len o sústruhy s horizontálnou osou obrábania. Špeciálnou kategóriou sústružníckych strojov sú zvislé sústruhy. Vyhotovujú sa v rozličných prevedeniach, ale sú určené k obrábaniu predovšetkým nadrozmerných súčastí.

Tieto stroje taktiež môžu byť vybavené osou C, ktorá sa potom nachádza na otočnom pracovnom stole a polohuje upnutý obrobok. Rýchlosť polohovania je veľmi malá, rádovo len niekoľko otáčok za minútu ale momenty sú extrémne vysoké.

Ako príklad uvádzam opäť stroj od firmy Goodway s označením GV-1600, ktorý má maximálny priemer sústruženia 1800 mm. Os C je poháňaná motorom o výkone 3kW a dosahuje maximálnu rýchlosť otáčania 9 min^{-1} , maximálny krútiaci moment 3840 Nm.



Obr. 9 Zvislý sústruh [13]



4 POHON OSI C

Pohon u obrábacieho stroja je definovaný ako mechanizmus, ktorý dodáva a následne prenáša krútiaci moment na vreteno resp. os C. Pohon spolu s ďalším ústrojenstvom (spojka, prevodovka) prenáša krútiaci moment na obrobok prípadné nástroj. Pohony môžeme rozdeliť do 2 hlavných skupín:

- Nepriamy pohony (pohon s vloženým prevodom)
- Priamy pohony

4.1 NEPRIAMY POHON

Nepriamy pohony, niekedy nazývané aj pohony s vloženým prevodom, je pohony u ktorého okrem zdroja krútiaceho momentu sú potrebné aj ďalšie prvky: prevodovka, spojka, brzda....atď.

Pohonným elementom sú motory so striedavým alebo jednosmerným prúdom. Prevody ozubenými kolesami, prípadne remeňmi môžu byť v rôznych konštrukčných prevedeniach ale spoločným znakom a nevýhodou je vôľa, a straty ktoré vznikajú v jednotlivých častiach pohonného systému. Z toho dôvodu je konštrukcia osi C obtiažnejšia.

Výhody:

- Motor môže byť umiestnený mimo osu
- Nevzniká príliš veľké teplo, nie je nutné chladit' kvapalinou
- Nízka cena

Nevýhody:

- Zložitejšia realizácia z hľadiska polohovania, je nutné kompenzovať vôľu
- Nižšia účinnosť z dôvodu strát v jednotlivých členoch
- Jednoduchšia konštrukcia, ale väčší zástavbový priestor
- Výraznejší vplyv zotrvačných síl na rotujúcich častiach, napr. v prevodovke
- Opotrebovanie súčasti

4.1.1 PREVOD REMEŇOM

Účinnosť remeňového prevodu pri prenose sily z motora na vreteno je približne 95%. Je to trochu menej ako u priamych pohonov vretena (takmer 100%) ale bezpochyby je to lepšie ako u prevode ozubeným súkolesím (menej ako 90%) [2]

Pre pohony osi C môžeme použiť remeň v dvoch prevedeniach. Jedna z možností je spojenie vretena s hlavným pohonom pomocou remeňa a použitím enkodéra zabezpečíme polohovanie. Tento spôsob je ale pomerne nevýhodný, najmä z toho dôvodu, že servopohony určené pre pohony vretien majú vysoký výkon a silu. Preto sa častejšie používa samostatný servopohony, ktorý je remeňom spojený s osou C. Súčasťou je enkodér a brzda, ktorá zabezpečí vreteno proti pretočeniu.

Čo sa týka samotného pohony osi C sa používa takmer výlučne ozubený remeň, pretože oproti ostatným druhom remeňov pracuje bez sklzu.

Nevýhodou remeňových prevodov je tepelná rozťažnosť remeňa a tým pádom väčšia nepresnosť výroby. Taktiež remeň spôsobuje radiálne zaťaženie na poháňaný člen, väčšinou vreteno a tým spôsobuje vyššie opotrebovanie v ložiskách. A v neposlednom rade je toto prevedenie aj hlučnejšie čo spôsobuje pohyb remeňa. [2]



Prevedenie pohonu použitím remeňa je z konštrukčného hľadiska jednoduchšie a podstatne lacnejšie ako u priamych pohonov ale vyžaduje väčší úložný priestor a tým pádom zvyšuje hmotnosť celého obrábacieho stroja.



Obr. 10 Pohon ozubeným remeňom [7]

4.1.2 PREVOD ČELNÝM OZUBENÍM

Princíp je veľmi podobný ako v prípade ozubeného remeňa, ale rozdiel je v tom, že prevod je realizovaný pomocou ozubeného súkolesia. Jedná sa väčšinou o jednostupňový prevod, ktorý sa skladá z jedného páru spolu zaberajúcich ozubených kolies. Vo väčšine prípadov sú to čelné ozubené kolesá s priamym ozubením. Môžu byť aj so šikmým ozubením, ale treba brať v úvahu axiálne sily vznikajúce v tomto type ozubení.

Pohon je aj tu zabezpečený samostatným servopohonom, ktorý býva väčšinou nad vretenom. Hlavným problémom v tomto prevedení je prerušenie spojenia pastorku s poháňaným ozubeným kolesom v priebehu práce hlavného pohonu vretena. V praxi je to riešené prikláňaním, prípadne nasúvaním pastorku spolu s pohonom osi C do záberu v prípade potreby polohovania. To znamená, že spojenie osi C s vretenom nie je trvalé.

Hlavnou nevýhodou tejto koncepcie je nutnosť vysokej výrobnéj presnosti ozubených kolies aby sa zamedzilo vzniku vôle medzi spolu zaberajúcimi kolesami a tým pádom poklesu presnosti polohovania.



Obr. 11 Pohon s vloženým ozubeným prevodom [7]



4.1.3 PREVOD ŠNEKOVÝM OZUBENÍM

Princíp je veľmi podobný ako u prevodu s čelným ozubením. Šnekové kolo je pripevnené na vretene sústruhu a v prípade potreby polohovania vstupuje do záberu šnek. Pri takomto pohone osi C je potrebné použiť spojku, aby bol odpojený hlavný pohon v čase vstupu šneku do záberu, ktorý je poháňaný vlastným servopohonom. Naopak výhodou oproti čelnému ozubeniu je vysoký prevodový pomer, preto sme schopní dosiahnuť vysoké momenty. Pomocou šnekového prevodu sme tiež schopní dosiahnuť samosvornosť, ktorú je možné využiť pri ustavení obrobku v žiadanej polohe. Šnekové kolo spolu so šnekom musia byť vyrobené s vyšším stupňom presnosti aby sa eliminovala vôľa v prevode.

Tento druh pohonu sa používa u zvislých sústruhov menších rozmerov na polohovanie otočného stola, prípadne sa používa u sústruhov s vodorovnou osou, na ktorých sú obrábané rozmernejšie obrobky alebo sa skokovito mení veľkosť a hmotnosť obrobku a tým aj moment zotrvačnosti.



Obr. 12 Otočný stôl so poháňaný šnekovým ozubením Haas [16]

4.2 PRIAMY POHON

Priamy pohon je charakteristický absenciou prevodových prvkov medzi motorom a hnaným elementom. Tieto motory sa niekedy nazývajú aj vstavané (built-in) pohony. Najčastejšími predstaviteľmi v tejto skupine motorov sú prstencové motory, prípadné elektrovretená.

Výhody:

- Vysoká statická aj dynamická tuhosť celej sústavy
- Podstatne jednoduchšia konštrukcia (v dôsledku absencie prevodových členov), tým pádom aj menšia zastavaná plocha
- Umožňuje presné riadenie polohy
- Rovnomernosť chodu, dosiahnuteľná rýchlosť a zrýchlenie
- Nízke emisie hluku

Nevýhody:

- V dôsledku vysokých rýchlostí a momentov vzniká teplo – je potrebné chladiť vodou
- Vyššia cena (približne 2-3x vyššia ako u klasických asynchrónnych motorov)
- Potreba vysoko precíznych vretenových ložísk

4.2.1 PRSTENCOVÉ (MOMENTOVÉ) MOTORY

Prstencové motory sú servopohony, ktoré poskytujú veľký krútiaci moment v kľudovej polohe alebo pri malých otáčkach. Vyrábajú sa ako „bezrámové“ vstavané (frameless motors), to znamená že sú umiestňované priamo do konštrukcie stroja. Výrazne sa tak znižuje zástavbový priestor, niekedy až na jednu sedminu oproti použitiu klasického motoru. [21]

Momentové motory v oblasti sústruhov a sústružníckych centier začínajú postupne nahradzovať pohony osi C s vloženým mechanickým prevodom. Dôvodom je hlavne už spomínaný zástavbový priestor a hlavne bezvôľový chod, čo výrazne zvyšuje presnosť regulácie. Momentové motory sa vyrábajú aj v nadrozmerných prevedeniach, preto sa dnes často vyskytujú, pri polohovaní otočných stolov veľkých zvislých sústruhov (karuselov).

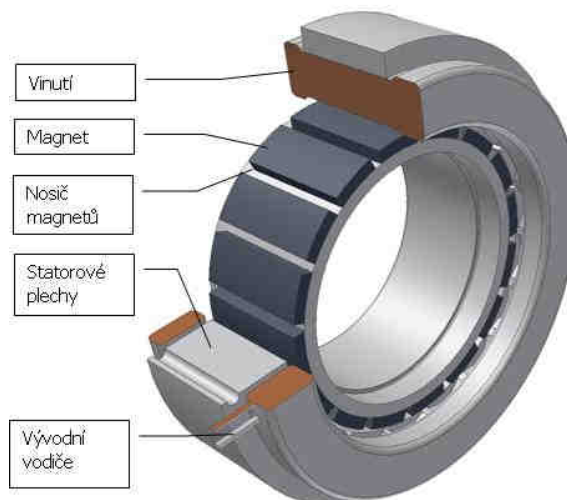
Vzhľadom k tomu že použitie týchto motorov je stále rozšírenejšie, výrobcovia poskytujú široký sortiment. Jedna z najznámejších firiem zaoberajúca sa výrobou momentových motorov je švajčiarska firma Etel. Táto firma poskytuje motory s krútiacimi momentmi od 8 Nm až po 16 200 Nm (tento motor pri zníženej životnosti dokáže produkovať maximálny moment až 31 200 Nm). Vyrábajú sa v troch základných prevedeniach (jednosmerné, synchronné aj krokové). Najčastejšia sa používajú synchronné.

Hlavné výhody momentových motorov: [21]

- Vysoké uhlové zrýchlenie
- Oproti klasickým pohonom nie sú nutné redukčné prevody pre sníženie otáčok pohonu
- Bezvôľové spojenie so strojom
- Malé hmotnosti a zotrvačné momenty
- Presné polohovanie
- Vysoký výkon pri 5x až 7x menšom zastavanom priestore
- Možnosť veľmi nízkych otáčok (1 otáčka za týždeň)

Z hľadiska konštrukcie sa prstencový motor skladá z dvoch sústredených prstencov (statorový a rotorový). Na statorovej časti sa nachádza vinutie, na rotore sú pripevnené nosiče magnetov spolu s permanentnými magnetmi.

Tieto ploché a veľkopriemerové motory majú veľký počet pólov (desiatky až stovky). Môžeme si ich predstaviť ako lineárne motory stočené dokola. [18]



Obr. 13 Konštrukcia prstencového motoru [19]

4.2.2 ELEKTROVRETNÁ

Jedná sa o vretená, ktoré majú motor integrovaný priamo do vretena obrábacieho stroja. Je umiestnený medzi predným a zadným ložiskom. Od momentových motorov sa tieto motory, niekedy nazývané aj vstavané, integrované (built-in) líšia najmä vo variabilite. Momentové motory sú charakteristické najmä svojimi vysokými momentovými hodnotami, na druhej strane motory pre elektrovretená sa vyrábajú vo viacerých radách od najmenších momentov, rýchlostí a výkonov až po tie najvyššie. Pre prehľadnosť uvádzam základné rozdelenie vstavaných motorov, ktoré má vo svojom ponukovom liste firma SIEMENS.

Rozdelenie integrovaných motorov

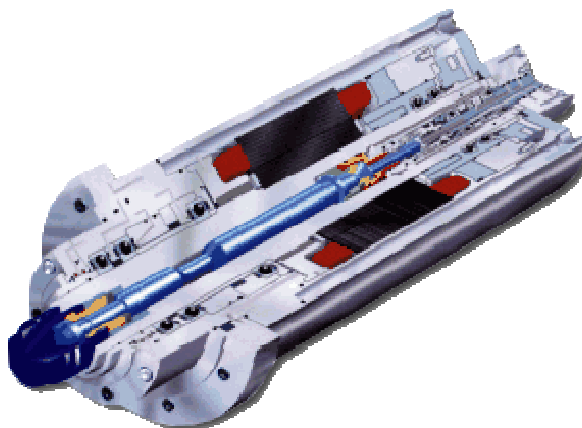
- 1) Synchronne motory
 - a) High-Torque series (menovité momenty od 4,5 Nm do 820 Nm)
 - 6-pólové
 - 8-pólové
 - b) High-Speed series (menovité otáčky od 2000 min⁻¹ do 25000 min⁻¹)
 - len 4-pólové
- 2) Asynchrónne motory (málo používané)

Ako je vidieť z predchádzajúceho rozdelenia tieto motory poskytujú konštruktérom pri voľbe pohonu široké spektrum výberu. Uvedené menovité hodnoty sú len orientačné, pretože jedna z najlepších vlastností týchto motorov je ich preťažiteľnosť, preto sú maximálne hodnoty týchto motorov ďaleko vyššie.

Hlavnou nevýhodou je vysoká cena týchto motorov, ktorá niekoľkonásobne prevyšuje cenu bežných pohonov obrábacích strojov. Medzi nevýhodu tiež patrí vznik veľkého tepla pri dosahovaní vyšších hodnôt momentov a rýchlostí, preto je potrebné tieto motory chladiť.

Výhody elektrovretien

- ✓ Kompaktný dizajn (malý zastavaný priestor, nižšia hmotnosť)
- ✓ Nízka doba rozbehu (50% v porovnaní s bežnými motormi)
- ✓ V spolupráci s riadiacou jednotkou a snímačom polohy dobrá polohovateľnosť
- ✓ Nevznikajú nežiaduce radiálne resp. axiálne sily (absencia prevodov)
- ✓ Jednoduchá montáž a demontáž



Obr. 14 Rez elektrovretenom[9]



5 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH

Úlohou je navrhnuť konštrukčné riešenie osi C malého sústruhu. Pri návrhu je potrebné zohľadniť viacero aspektov. Dané prevedenie musí vyhovovať z rôznych hľadísk (napr. funkčného, technologického, ekonomického...)

5.1 VOĽBA PARAMETROV

Pri návrhu som vychádzal zo sústruhu ktorý bol reálne vyrobený a uvedený do praxe. Jedná sa o malé sústružnícke centrum od firmy EMCO. Konečné prevedenie a hodnoty sa budú od skutočného stroja pravdepodobne líšiť. Dôvodom môže byť napr. iný typ pohonu.

Na sústruhu budú obrábané bežné konštrukčné oceli, liatiny, neželezné kovy, prípadne iné kompozitné materiály. Horná hranica medze pevnosti by však mala byť $R_m = 1000\text{MPa}$.

Tab.1 Sústružnícke centrum MAXXTURN 25

Parameter	Hodnota
Maximálny priemer tyčového materiálu	25 mm
Maximálny priemer sústruženia	114 mm
Maximálna dĺžka sústruženia	400 mm
Maximálna rýchlosť hlavného vretena	8000 min^{-1}
Maximálny výkon hlavného vretena	6,5 kW
Maximálny krútiaci moment hlavného vretena	30 Nm

5.2 VÝBER VARIANTY

V rešerši je podrobne rozobraná problematika pohonov pre riadenú os C. Boli zhrnuté všetky výhody resp. nevýhody konkrétnych aplikácií. Je potrebné zvážiť viacero aspektov a navrhnuť pohon ktorý bude pre tento prípad najvýhodnejší.

Pohon bude realizovaný pre malý sústruh, z toho dôvodu je použitie koncepcie s vloženým prevodom pomerne nepraktické, pretože sa zvýši zástavbový priestor sústruhu. Ďalšou nevýhodou je vôľa ktorá vzniká v prevodoch a tým pádom presnosť polohovania je nižšia ako u priameho pohonu. A neposlednom rade výroba prevodového ústrojenstva kde musia byť jednotlivé ozubené kolesá vyrobené vo vysokej triede presnosti aby sa zamedzilo vôli je náročná a v konečnom dôsledku sa spolu s ostatnými komponentmi cena celej osi C blíži k cene prstencových motorov alebo elektrovreten.

Keďže sa jedná o malý sústruh je predpoklad že sa budú obrábať strojné súčiastky menších rozmerov ale zároveň budú kladené vyššie požiadavky na presnosť a akosť povrchu. Z toho dôvodu bol zvolený priamy pohon osi C, ktorý zabezpečí vyššiu rýchlosť obrábania a presnosť polohovania je tiež na veľmi dobrej úrovni. Výhodou je tiež vyššia tuhosť sústavy a nižšie mechanické opotrebenie strojných súčastí.

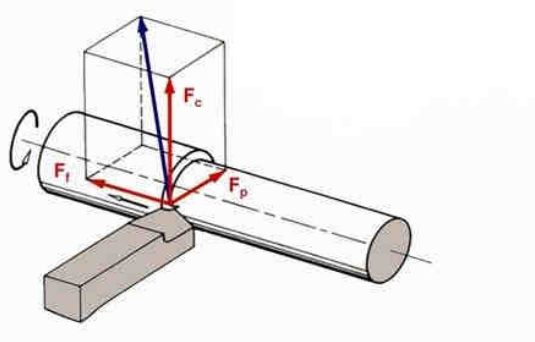
V záverečné fáze rozhodovania bol vybraný ako pohon pre náš prípad konštrukčného riešenia osi C motor integrovaný priamo do vretena obrábacieho stroja, teda inými slovami elektrovreteno. Tento variant má mnoho výhod a je stále viac preferovaný aj v praxi. Medzi najväčšie výhody patrí určite veľký rozsah otáčok a momentov. Nevýhodou je samozrejme vyššia cena a nutnosť chladenia vodou s čím musí konštruktér počítať pri návrhu.

Ako bolo spomenuté pohon osi C bude zabezpečovať elektrovreteno spolu s riadiacou jednotkou. Pri tomto druhu pohonu je dôležité, že motor integrovaný priamo do vretena poháňa vreteno aj pri hlavnom technologickom procese, teda sústružení. Aby bola táto skutočnosť zahrnutá do výpočtov a zároveň bol dodržaný cieľ zadania bude postup nasledovný:

- Výpočet rezných síl pri sústružení
- Na základe momentu od maximálnej reznej sily pri sústružení voľba motoru
- Určenie rezných síl pri frézovaní
- Zhodnotenie motora z hľadiska polohovania, teda osi C (prípadne zmena parametrov)
- Rozbor dynamiky osi C

5.3 REZNÉ SILY PRI SÚSTRUŽENÍ

Cieľom je určiť moment ktorý je potrebný na prekonanie rezných síl. Pri sústružení vzniká posuvová sila F_f , pasívna sila F_p a rezná sila F_c . Súčtom týchto síl je celková sila F . Z hľadiska momentu sú posuvová a pasívna sila zanedbateľné.



Obr. 15 Rezné sily pri sústružení [20]

Rezné podmienky

Je uvažovaný malý sústruh, preto určite nebudú uskutočňované veľké hrubovacie operácie, ale úber triesky bude v malom a strednom rozsahu. Je volená hĺbka rezu $a_p = 3 \text{ mm}$, posuv na otáčku $f = 0,3 \text{ mm}$ a maximálna hodnota mernej reznej sily pri sústružení $k_c = 2800 \text{ MPa}$ (z grafu pre uhlíkovú ocel' pevnosti 1000 MPa [4]).

Plocha triesky

$$A_D = a_p \cdot f = 3 \cdot 0,3 = 0,9 \text{ mm}^2 \quad (1)$$

Kde $A_D [\text{mm}^2]$ je plocha triesky pri sústružení, $a_p [\text{mm}]$ šírka záberu ostria sústružníckeho noža, $f [\text{mm}]$ posuv na otáčku pri sústružení

Rezná sila

$$F_c = k_c \cdot A_D = 2800 \cdot 0,9 = 2520 \text{ N} \quad (2)$$

Kde $F_c [\text{N}]$ je rezná sila pri sústružení, $k_c [\text{MPa}]$ merná rezná sila pri sústružení, $A_D [\text{mm}^2]$ plocha triesky pri sústružení

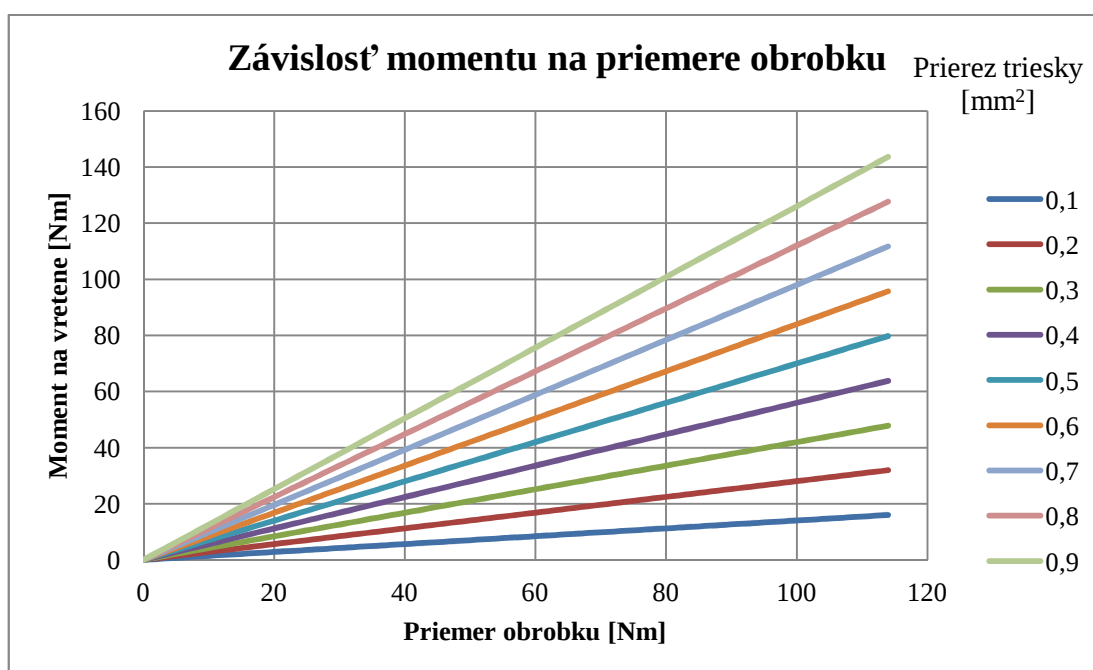


Moment na vretene sústruhu

$$M_{max} = F_c \cdot \frac{D_{max}}{2} = 2520 \cdot \frac{114}{2 \cdot 1000} = 143,64 Nm \quad (3)$$

Kde M_{max} [Nm] je maximálny moment na vretene sústruhu, F_c [N] rezná sila pri sústružení, D_{max} [mm] maximálny priemer sústruženia

V priebehu procesu obrábania sa rezné podmienky menia. Mení sa hĺbka rezu, prípadne posuv na otáčku. Oba faktory ovplyvňujú prierez triesky, ktorý má priamy vplyv na rezné sily. Graf znázorňuje závislosť momentu na priemere obrobku pre rôzne plochy triesky.



Obr. 16 Graf závislosti momentu na priemere obrobku pre rôzne prierezy triesky

Na základe grafu je možné zvoliť vhodný motor. Motor je volený na základe menovitého momentu potrebného na prekonanie rezných síl.

5.4 VOĽBA MOTORU

Prievlakové motory pre elektrovretená sa vyrábajú v dvoch základných prevedeniach a to synchronne a asynchronne. V drvivej väčšine prípadov sa používajú synchronne motory. Tento typ výrobcovia delia na High-torque series (motory dosahujúce vysoký moment) a High-speed series (motory pracujúce pri vysokých rýchlostiach). U sústruhov je potrebné predovšetkým zabezpečiť dostatočný moment na prekonanie rezných síl, preto aj voľba pohonu sa bude uberať týmto smerom.

Vypočítal som maximálny moment, ale vzhľadom k tomu, že je dimenzovný pohon pre malý sústruh, tento moment bude dosahovaný len v minimálnej miere. Preto je volený motor, ktorý má menovitý moment 130 Nm. Prípadné vyššie zaťaženie však nie je veľký problém pretože tieto motory je možné preťažovať až do výšky momentu 175 Nm.

Motor má typové označenie SIEMENS 1FE1084-6WR11-1BC0. Jedná sa o synchronný motor, ktorý bude integrovaný priamo na vreteno sústruhu. Skladá sa zo statorovej časti

(obsahuje statorové vinutie, vývodné káble, po obvode sú drážky pre chladiace médium) a rotorovej časti. V Prílohe 1 sú zhrnuté všetky parametre a taktiež nechýba momentová a výkonová charakteristika.



Obr. 17 Prievlekový motor pre elektrovretno SIEMENS [6]

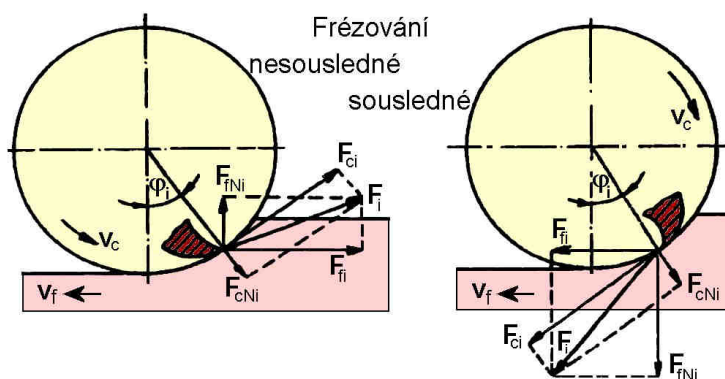
5.5 REZNÉ SILY PRI FRÉZOVANÍ

Ako bolo spomenuté použitím osi C na sústruhu môžeme realizovať rôzne technologické operácie, ale z hľadiska namáhania a následného dimenzovania pohonu, brzdiaceho mechanizmu, riadiacej jednotky a iných častí je najdôležitejší proces frézovania. Takisto percentuálne má po sústružení najvyššie percentuálne zastúpenie. V prvom kroku je teda nutné určiť rezné sily, ktoré pôsobia pri frézovaní a z ktorých následne budeme vychádza pri ďalších výpočtoch.

Rozdelenie frézovania:

1. Valcové frézovanie
 - Súbežné
 - Protibežné
2. Čelné frézovanie
3. Rotačné

Výsledná rezná sila, ktorá pôsobí pri valcovom frézovaní je veľkosťou rovnaká pri súbežnom spôsobe aj protibežnom spôsobe, iba sa iným spôsobom mení v čase. Veľkosť reznej sily pri čelom frézovaní je iná ako pri valcovom. Rezná sila sa vzťahuje na jeden zub frézy. Výsledná rezná sila je potom súčtom všetkých rezných síl na zuboch, ktoré sú v zábere.

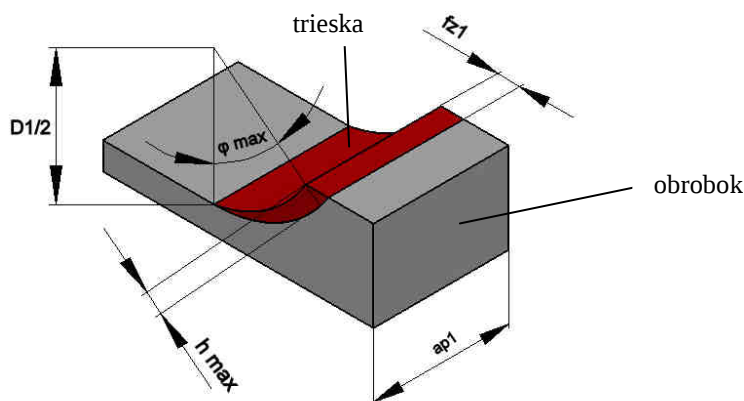


Obr. 18 Rezné sily na zube valcovej frézy pri valcovom frézovaní, F_i - celková rezná sila, F_{ci} - rezná sila, F_{cNi} - kolmá rezná sila, F_{fi} - posuvová sila, F_{fNi} - kolmá posuvová sila [25]



5.5.1 VALCOVÉ FRÉZOVANIE

Valcové frézovanie na multifunkčných sústruhoch sa využíva najmä pri frézovaní vnútorných otvoroch väčších rozmerov, kontúrovom frézovaní (napr. štvorhran na konci hriadeľa). Na túto operáciu budú použité valcové frézy CoroMill Plura od firmy Sandvik Coromat. Jedná sa o monolitické frézy, u ktorých sú dosahované výrazne vyššie rezné a posuvové rýchlosti ako u bežných fréz.



Obr. 19 Parametre pri valcovom frézovaní

Vstupné parametre pre valcové frézovanie:

priemer valcovej frézy
počet zubov valcovej frézy
šírka záberu ostria valcovej frézy
posuv na zub valcovej frézy
hlĺbka odoberanej vrstvy pre valcové frézovanie
konštanta (pre nelegovanú oceľ $R_m = 850 \text{ MPa}$) [5]
exponent pre valcové frézovanie[5]

$D_1 = 16 \text{ mm}$
 $z_1 = 4$
 $a_{p1} = 26 \text{ mm}$
 $f_{z1} = 0,055 \text{ mm}$
 $H = 1 \text{ mm}$
 $C_{Fc1} = 1600$
 $x = 0,72$

Uhol posuvového pohybu

$$\sin \varphi_{\max} = \frac{2}{D} \sqrt{D_1 \cdot H - H^2} = \frac{2}{16} \sqrt{16 \cdot 1 - 1^2} = 0,48 \quad (4)$$

Kde $\varphi_{\max} [^\circ]$ je maximálny posuvový uhol pre valcové frézovanie, $D_1 [\text{mm}]$ priemer valcovej frézy, $H [\text{mm}]$ hlĺbka odoberanej vrstvy pre valcové frézovanie

Maximálna hrúbka triesky

$$h_{\max} = f_{z1} \cdot \sin \varphi_{\max} = 0,055 \cdot 0,48 = 0,026 \text{ mm} \quad (5)$$

Kde $h_{\max} [\text{mm}]$ je maximálna hrúbka triesky pre valcové frézovanie, $f_{z1} [\text{mm}]$ posuv na zub valcovej frézy, $\varphi_{\max} [^\circ]$ maximálny posuvový uhol pre valcové frézovanie

Maximálny prierez triesky

$$A_{D\max} = a_{p1} \cdot h_{\max} = 26 \cdot 0,026 = 0,676 \text{ mm}^2 \quad (6)$$

Kde A_{Dmax} [mm²] je maximálny prierez triesky pre valcové frézovanie, a_{p1} [mm] šírka záberu ostria valcovej frézy, h_{max} [mm] maximálna hrúbka triesky pre valcové frézovanie

Maximálna merná rezná sila

$$k_{c\ max} = \frac{C_{Fc}}{h_{max}^{(1-x)}} = \frac{1600}{0,026^{(1-0,72)}} = 4445,57\text{MPa} \quad (7)$$

Kde $k_{c\ max}$ [MPa] je maximálna merná rezná sila pre valcové frézovanie, C_{Fc} [mm] materiálová konštanta, x [-] exponent pre valcové frézovanie

Maximálna rezná sila

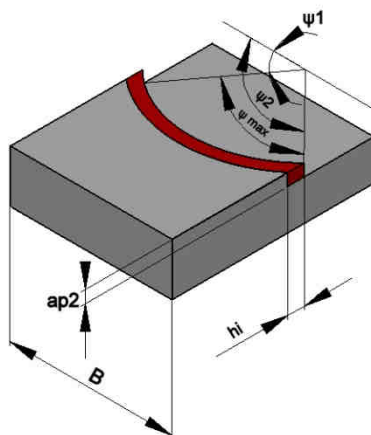
$$F_{C1} = k_{c\ max} \cdot A_{Dmax} = 4445,57 \cdot 0,676 = 3005,21\text{N} \quad (8)$$

Kde F_{C1} [N] je maximálna rezná sila pre valcové frézovanie, $k_{c\ max}$ [MPa] maximálna merná rezná sila pre valcové frézovanie, A_{Dmax} [mm²] maximálny prierez triesky pre valcové frézovanie

5.5.2 ČELNÉ FRÉZOVANIE

Tento typ frézovania je u sústruhov vybavených osou C najrozšírenejší. Najčastejšie ho môžeme vidieť pri tzv kapsovaní, kedy čelné frézy vytvárajú nepravidelné tvarové plochy na obrobku. Takisto čelné frézy môžeme použiť pri frézovaní plôch na čele, prípadne na valcovej ploche obrobku a dokážeme teda na polotovare z tyčového polotovaru utvárať rôzne dosadacie plochy a hrany.

Je využívané široké spektrum nástrojov. Používajú sa bežné frézy s vymeniteľnými britovými doštičkami, monolitické frézy, prípadne na výrobu zložitých drážok sa používajú frézy, ktoré majú upravený rádius. Pri výpočte som vychádzal z čelnej frézy CoroMill 345 s vymeniteľnými britmi. Pri tomto type nástroja je výsledná rezná sila najväčšia.



Obr. 20 Parametre pri čelnom frézovaní

Vstupné parametre pre čelné frézovanie

priemer čelnej frézy

$D_2 = 63\text{ mm}$

počet zubov čelnej frézy

$z_2 = 6$

hlbka odoberanej vrstvy pre čelné frézovanie

$a_{p2} = 3\text{ mm}$

posuv na zub čelnej frézy

$f_{z2} = 0,1\text{ mm}$

šírka frézovanej plochy čelnou frérou

$B = 40\text{ mm}$



konštanta pre čelné frézovanie[x]
exponenty pre čelné frézovanie[x]

$C_{Fc2} = 2030$
 $m = 0,2$
 $c = 0,1$

Uhlový rozstup zubov

$$\psi_t = \frac{360^\circ}{z_2} = \frac{360^\circ}{6} = 60^\circ \quad (9)$$

Kde $\psi_t [^\circ]$ je uhlový rozstup zubov čelnej frézy, $z_2 [-]$ počet zubov čelnej frézy

Maximálny uhol záberu frézy

$$\sin \frac{\psi_{max}}{2} = \frac{B}{D_2} = \frac{40}{63} = 0,6349 \Rightarrow \varphi_{max} = 78,83^\circ = 78^\circ 49' \quad (10)$$

Kde $\psi_{max} [^\circ]$ je maximálny uhol záberu čelnej frézy, $B [mm]$ šírka frézovanej plochy čelnou frézou, $D_2 [mm]$ priemer čelnej frézy

Počet zubov v zábere

$$n_z = \frac{\psi_{max}}{\psi_t} = \frac{78,83}{60} = 1,31 \approx 2 \text{ zuby} \quad (11)$$

Kde $n_z [-]$ je počet zubov v zábere pre čelné frézovanie, $\psi_{max} [^\circ]$ maximálny uhol záberu čelnej frézy, $\psi_t [^\circ]$ uhlový rozstup zubov čelnej frézy

Uhlový rozstup medzi zubmi v zábere

$$\psi_s = (n_z - 1) \cdot \psi_t = (2 - 1) \cdot 60 = 60^\circ \quad (12)$$

Kde $\psi_s [^\circ]$ je celkový uhlový rozstup medzi prvým a posledným zubom v zábere, $\psi_t [^\circ]$ uhlový rozstup zubov čelnej frézy, $n_z [-]$ počet zubov v zábere pre čelné frézovanie

Uhol polohy zubov

$$\psi_i = 90^\circ - \frac{\psi_s}{2} + (i - 1) \cdot \psi_t \quad (13)$$

Kde $\psi_i [^\circ]$ je uhol polohy jednotlivých zubov pri čelnom frézovaní, $\psi_s [^\circ]$ celkový uhlový rozstup medzi prvým a posledným zubom v zábere, $\psi_t [^\circ]$ uhlový rozstup zubov čelnej frézy

Po dosadení:

$\psi_1 = 60^\circ$, $\psi_2 = 120^\circ$

Výsledná rezná sila

$$F_{C2} = \sum_{i=1}^{n_z} C_{Fc2} \cdot a_{p2}^{1-c} \cdot f_{z2}^{1-m} \cdot \sin^{-m} \kappa_r \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^{1-m} \psi_i \quad (14)$$



$$F_{C2} = 2030 \cdot 3^{1-0,1} \cdot 0,1^{1-0,2} \cdot \sin^{-0,2} 45 \cdot (\sin 60^{0,8} + \sin 120^{0,8})$$

$$F_{C2} = 1652N$$

Kde F_{C2} [N] je výsledná rezná sila pre čelné frézovanie, C_{Fc} [-] konštanta, a_{p2} [mm] hĺbka odobranej vrstvy pre čelné frézovanie, f_{z2} [mm] posuv na zub pre čelné frézovanie, κ_r [°] uhol nastavenia hlavného ostria čelne frézy, ϕ_i [°] uhol polohy jednotlivých zubov pri čelnom frézovaní

Poznámka:

Všetky parametre frézovacích podmienok sú volené z dostupných katalógov pre jednotlivé frézovacie nástroje. Pre Coromill Plura z [8] a pre CoroMill 345 z [27]

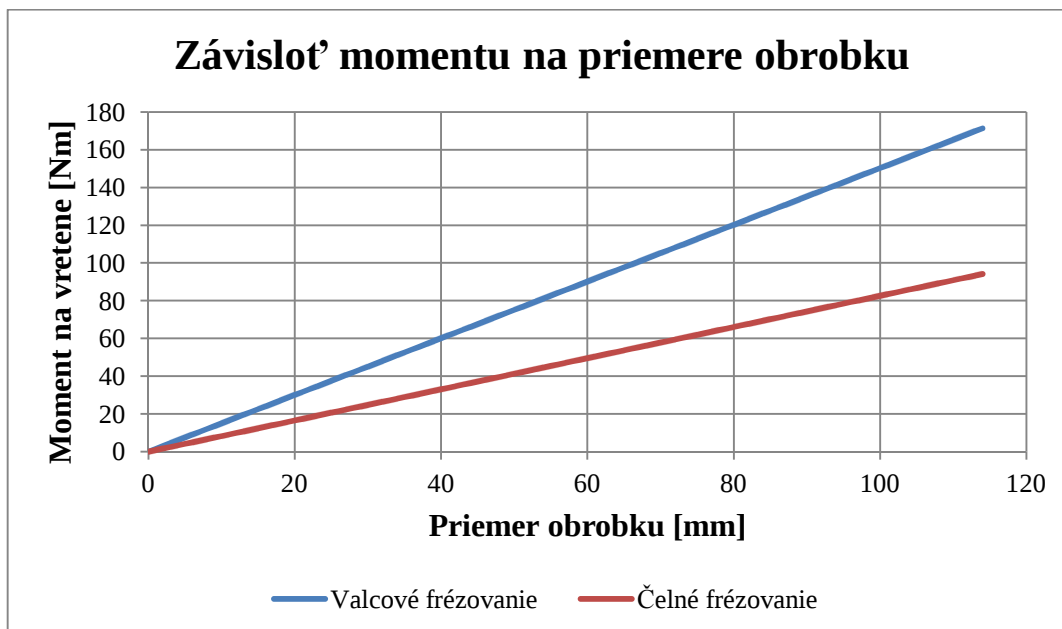
5.6 DYNAMIKA OSI C

Z výpočtu sme určili rezné sily pri valcovom a čelnom frézovaní. Tieto sily vytvárajú moment na os C. V našom prípade bolo použité elektrovreteno, preto je dôležité zhodnotiť motor aj z hľadiska polohovania. V ďalšom kroku bude navrhnutá brzda a ostatné príslušenstvo osi C na základe rezných síl spôsobených frézovaním.

Krútiaci moment spôsobený reznou silou pri frézovaní

$$M_k = F_{ci} \cdot \frac{D_o}{2} \quad (15)$$

Kde M_k [Nm] je krútiaci moment spôsobený reznou silou pri frézovaní, D_o [mm] priemer obrobku pri frézovaní, F_{ci} [N] rezná sila pre konkrétny typ frézovania



Obr. 21 Závislosť momentu na priemere obrobku pri frézovaní



Poznámka:

Pri výpočte momentu je nutné uvažovať silu, ktorá pôsobí tangenciálne na valcovú plochu obrobku. Z obr. 18 je zrejmé, že túto silu predstavuje posuvová sila, ktorá nadobúda odlišné hodnoty pri súbežnom resp. nesúbežnom spôsobe frézovania. Túto silu je veľmi zložité určiť, pretože by musel byť známy uhol pôsobenia výslednej reznej sily. Táto sila je určená z empirických vzorcov a dosahuje hodnôt (75% – 100%) F_c . Pre zjednodušenie je ako tangenciálna sila vytvárajúca moment na vreteno sústruhu uvažovaná priamo výsledná rezná sila F_c .

Jedná sa o malý sústruh a priemer obrobku je obmedzený medznými možnosťami upnutia skľučovadla (maximálny priemer upnutia tyčového materiálu je $\varnothing 52$ mm) a priemerom vrtania vretena ($\varnothing 50$ mm). Pri použití iných upínacích prípravkov je možný vyšší priemer obrobkov. Z grafu je preto volená hodnota $D_{\max C} = 100$ mm. Je to maximálna hodnota priemeru obrobku pri použití osi C a s tým spojených operácií. Z momentovej charakteristiky motora vyplýva, že tento druh motora je vhodný aj pri použití sekundárnych technologických operácií a dokáže produkovať moment potrebný na prekonanie rezných síl pri frézovaní.

Maximálny moment na osi C od rezných síl

$$M_{\max C} = F_{c \max} \cdot \frac{D_{\max C}}{2} = F_{c1} \cdot \frac{D_{\max C}}{2} = 3005,21 \cdot \frac{100}{2 \cdot 1000} = 156,26 \text{ Nm} \quad (16)$$

Kde $M_{\max C}$ [Nm] je moment na osi C od rezných síl, $D_{\max C}$ [mm] maximálny priemer obrobku pri použití osi C, $F_{c \max}$ [N] maximálna rezná sila pri frézovaní, F_{c1} [N] je rezná sila pre valcové frézovanie

5.7 NÁVRH BRZDY

Väčšina operácií s využitím osi C prebieha na ustavenom obrobku. Z grafu momentovej charakteristiky pre motor, je vidieť že tento typ motora má pri nulových otáčkach maximálnu hodnotu momentu, ktorý by bol schopný udržať obrobok v ustálenej polohe. Nevýhodou je vznik veľkého množstva tepla pri vysokých momentoch a vznik vôle, ktorá znižuje presnosť polohovania. Preto z dôvodu šetrenia motoru a zvýšenie presnosti bola zvolená priemyslová kotúčová brzda.

Bol vypočítaný maximálny moment osi C, ktorý je spôsobený reznými silami pri frézovaní. Pri voľbe brzdy je potrebné tento moment ešte násobiť bezpečnostným faktorom. Je volené $k = 1,5$. Potom minimálny moment brzdy je:

$$M_b = k \cdot M_{\max C} = 1,5 \cdot 156,26 = 234,39 \text{ Nm} \quad (17)$$

Kde M_b [Nm] je minimálny statický moment brzdy, k [-] bezpečnostný koeficient, $M_{\max C}$ [Nm] maximálny moment na osi C od rezných síl

Kotúčová brzda sa skladá z brzdových čeľusti a brzdného kotúča. Brzdové čeľuste vyvíjajú prítláčnu silu a výsledný brzdny moment závisí na veľkosti brzdného kotúča.

Bola zvolená kotúčová brzda od firmy NEXEN. Keďže sa jedná o firmu s hlavným sídlom na území USA sú dostupné len katalógy v palcovej sústave. Z toho dôvodu po prevode do metrickej sústavy môžu niektoré údaje a parametre vychádzať v necelých číslach.



Pre vypočítaný moment 234,39 Nm volím brzdové čeľuste s označením BC288A, ktoré pracujú s maximálnym tlakom 0,5 MPa. K daným čeľustiam volím brzdový kotúč s priemerom $d_b = 406$ mm. Celá jednotka dosahuje maximálny brzdny moment 286 Nm.



Obr. 22 Priemyselná kotúčová brzda NEXEN [10]

5.8 SNÍMAČ POLOHY

Pre os C je nevyhnutné použitie vhodného snímača polohy resp. natočenia. Zo širokého spektra produktov bol zvolený optický, inkrementálny uhlový snímač polohy od firmy Renishaw. Skladá sa z krúžku (prstenca), ktorý sa upevní na rotujúcu časť a snímačej hlavy. Zvláštnosťou tejto sady je kužel na vnútornej dosadajúcej ploche prstenca, na ktorý má firma Renishaw vlastný patent a prevyšuje konkurenciu v presnosti polohovania.



Obr. 23 Rotačné (uhlové) bezkontaktné snímače Renishaw [22]

5.9 RIADIACA JEDNOTKA

Poslednou neoddeliteľnou súčasťou riadenej osi C u sústruhov je riadiaca jednotka. Riadiaca jednotka vyhodnocuje údaje zaznamenané snímačom polohy, ale aj iných meracích zariadení umiestnených priamo na vretene, resp. osi C. Riadiaca jednotka musí byť plne kompatibilná s použitým druhom pohonu, zvlášť pri použití elektrovretena. Firma Siemens pre svoje motory vytvorila riadiacu jednotku s názvom Sinamics S120. Volí sa na základe výkonu a typu motora.



Hlavnou úlohou riadiacej jednotky z hľadiska osi C je polohovanie daného vretena, ale plní aj ďalšie funkcie nevyhnutné najmä z hľadiska bezpečnosti (napr. odpojenie motora pri preťažení, regulácia prívodu chladiaceho média motoru... atď.)



Obr. 24 Riadiaca jednotka Sinamics S120



6 TVORBA 3D MODELU

Súčasťou zadania je vypracovanie 3D modelu osi C spolu s vretenom sústruhu. Sústružnícke vretená musia spĺňať celú radu požiadavkou, preto je potrebné dodržiavať určité zásady.

6.1 USPORIADANIE LOŽÍSK VRETENA

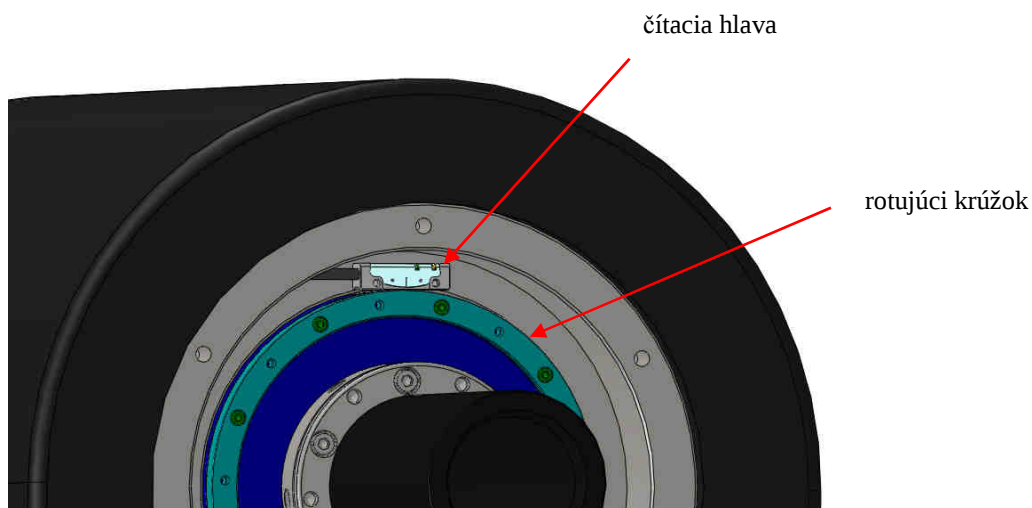
Menovité otáčky motora sú 2300 min^{-1} ale pri krátkodobom preťažení až 9000 min^{-1} . Z toho dôvodu je nutné usporiadanie ložísk voliť tak, aby nevznikali veľké radiálne a axiálne sily. Boli zvolené ložiská z kosouhlým stykom od firmy NSK. Predné ložiská sú v tandemovom usporiadaní.



Obr. 25 Schéma usporiadania ložísk

6.2 ODMERIAVACIE ZARIADENIE

Aby sme dosiahli uspokojivú presnosť odmeriavania a tým pádom aj polohovania, je potrebné vhodne umiestniť snímač polohy. V tomto prípade je prstenec umiestnený na rotujúcej časti bezkontaktného tesnenia a čítacia hlava sa nachádza na nepohyblivom zadnom náboji.

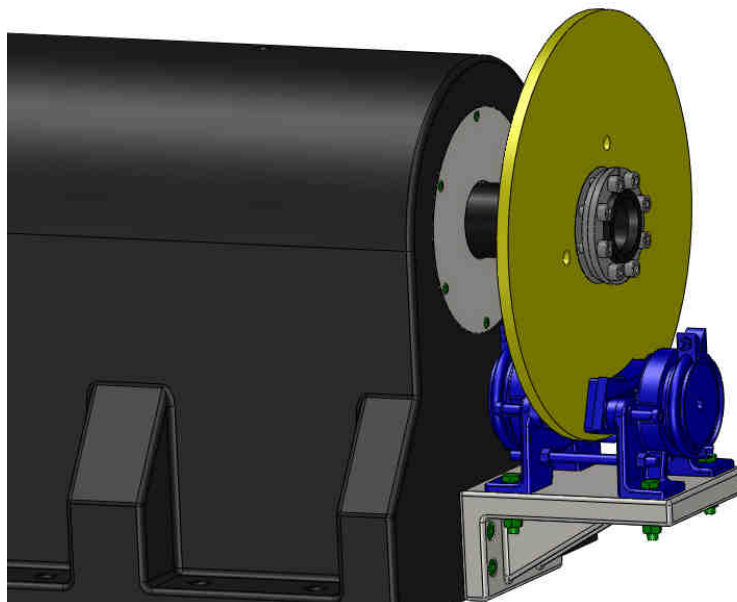


Obr. 26 Umiestnenie snímača polohy na vretene

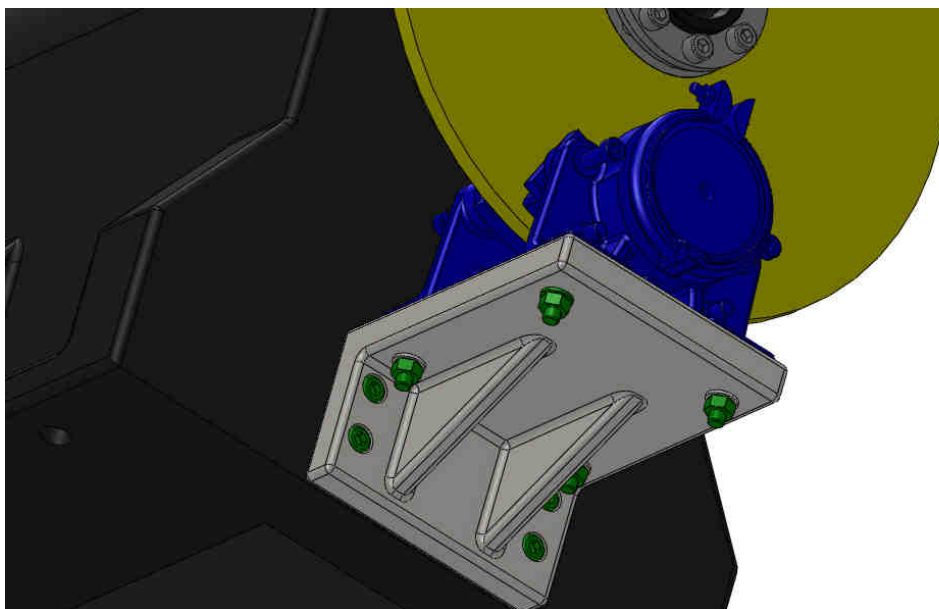


6.3 BRZDOVÉ ÚSTROJENSTVO

Brzda skladajúca sa z čeľusti a disku je umiestnená na zadnom konci vretena, mimo vretenníku. Brzdové čeľuste boli umiestnené na špeciálu konzolu ktorá je prichytená k telesu vretenníka pomocou štyroch skrutiek. Disk je pripevnený k hriadeľu vretena pomocou zverného puzdra TLK 130. Výhodou týchto puzdier je schopnosť prenášať vysoké momenty a jednoduchá montáž resp. demontáž.



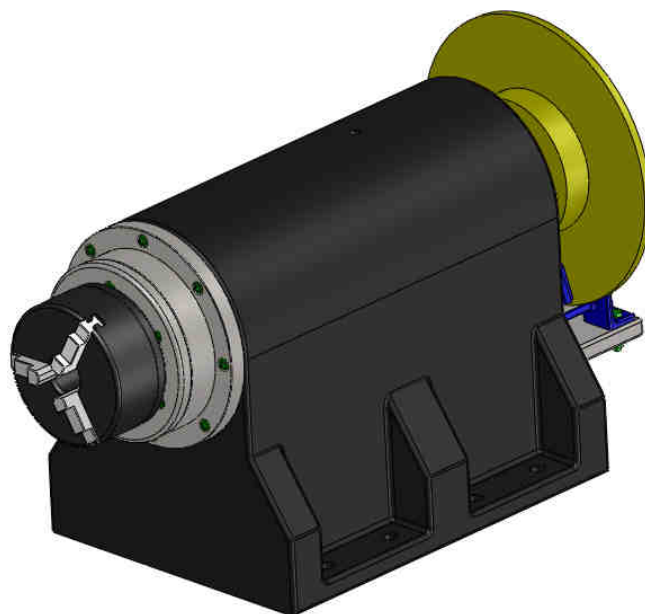
Obr. 27 Pohľad na kotúčovú brzdu vretena



Obr. 28 Konzola



6.4 ÚPLNÝ MODEL VRETENA



Obr. 29 Sústružnícke vreteno



ZÁVER

Mojou úlohou bolo vypracovať rešerš v oblasti osi C sústruhov a sústružníckych centier a následne na základe voľby parametrov navrhnuť os C pre malý sústruh. Pri získavaní informácií týkajúcich sa osi C som zistil, že výrobné stroje, najmä sústruhy zaznamenali v poslednom čase výrazný posun vo vývoji. Klasické konvenčné a NC sústruhy prenechali miesto multifunkčným sústruhom a sústružníckym centráram, ktoré okrem sústruženia dokážu vykonávať ďalšie technologické operácie. Neoddeliteľnou súčasťou týchto strojov je aj požiadavka polohovania vretena, teda existencia osi C.

Kvalita a presnosť polohovania závisí najmä na druhu pohonu. Čoraz častejšie sa na trh dostávajú stroje s priamym pohonom osi C pridaním momentového motora k hlavnému pohonu vretena, prípadne využitie elektrovretena s možnosťou polohovania. Posledná možnosť je z hľadiska kompaktnosti a progresivity v súčasnej dobe najvýhodnejšia a z toho dôvodu som zvolil pre os C tiež tento typ pohonu.

Motor bol zvolený na základe rezných síl pri sústružení, ktoré sú v procese výroby najväčšie a sústruženie je primárna, teda najvyššie percentuálne zastúpená operácia aj na strojoch, ktoré sú vybavené osou C. Následne bol tento pohon zhodnotený z hľadiska polohovania a operácii s tým spojených. Vypočítal som pomerne veľké sily pri valcovom frézovaní. Pri uvažovanom maximálnom priemere obrobku by motor zrejme nedokázal vyvinúť potrebný moment, preto som tento priemer mierne upravil. Dôvodom sú obmedzené možnosti upnutia a najmä priemer tyčového materiálu ktorý je schopný prejsť vrtaním vretena, pretože tento priemer je výrazne ovplyvnený integrovaným motorom. Ten sa dodáva len v určitých typizovaných radách, takže rozmery vretena určuje vnútorný priemer rotoru.

Pri návrhu brzdy som postupoval podobne ako pri voľbe motoru. Na základe vypočítaného momentu a zahrnutia bezpečnosti do výpočtu som zvolil brzdu. Pri voľbe brzdy sa ponúka niekoľko riešení, pretože brzdové čeluste sa vyrábajú v rôznych prevedeniach a potrebný moment si dokážem mierne prispôbovať voľbou vhodného kotúča. Nakoniec som zvolil najbližšiu hodnotu, aby brzda plnila funkciu, ale aby nebola zbytočne predimenzovaná na extrémne hodnoty momentov.

V závere práce som sa venoval vypracovaniu 3D modelu a následne výkresu zostavy osi C spolu s vretenom a ostatným príslušenstvom. V prvom rade som určil zástavbový priestor celého vretena a postupoval som na základe dostupných rozmerov motora a ložísk. Zameral som sa najmä na veci súvisiace priamo s osou C, teda umiestnenie a prevedenie motora, brzdy a snímača polohy. Ostatné problémy týkajúce sa všeobecne vretien boli riešené len schematicky a nie sú podložené výpočtami, pretože to nebolo cieľom mojej práce.



POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

Literatúra

- [1] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [2] *Machine tools for high performance machining*. Editor L López de Lacalle, A Lamikiz. London: Springer, 2009, xxii, 442 s. ISBN 978-1-84800-379-8.
- [3] SKOPAL, Vlastimil, Jindřich ADÁMEK a Jaroslav KRATOCHVÍL. *Stroje a zariadenia: pre študijné odbory prevádzkyschopnosť výrobných zariadení a automatizačná technika*. 3. opravené vydanie. Bratislava: Alfa, 1988. ISBN 80-05-01153-9.
- [4] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [5] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

Internetové zdroje

- [6] Built-in synchronous motor. In: *Siemens* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/28163574?func=ll&objId=28163574&objAction=csView&nodeid0=10803928&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&extranet=standard&viewreg=WW&load=content&prodLstStart=11&prodLstSort=MLFBSTR>
- [7] C-axis turning and live tooling: Turning and Milling on one machine. In: *CNC Cookbook: Software and information for machinists* [online]. 18.3.2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://blog.cnccookbook.com/2012/03/18/c-axis-turning-and-live-tooling-turning-and-milling-on-one-machine/>
- [8] CoroMill® Plura cutting data. In: *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/metalworking_products_061/main_d_27.pdf
- [9] CNC Vertical Glass Drilling & Milling Working Centre. In: *Xinology* [online]. © 1989 - 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://xinology.com:888/Glass-Processing-Equipments-Supplies-Consumables/glass-drilling/cnc-vertical-glass-drilling-milling-working-centre/structure.html>
- [10] Disc brake. In: *Direct industry: The virtual industrial exhibition* [online]. [2010] [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/nexen-group-inc/disc-brakes-13614-35482.html>



- [11] POLZER, Aleš a Petra CIHLÁŘOVÁ. Frézování. In: *Fakulta strojního inženýrství studijní opory* [online]. [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/Cv/Cv6.pdf>
- [12] *GLS-150_Performance*. In: *Goodway* [online]. © 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.goodwaycnc.com/exhtml_goodway/goodway_en/turning/horizontal/gls_150/performance.htm
- [13] Goodway GV-1200 Vertical Turning Center. In: *Techspeks* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.techspex.com/techspex/turning_centers/model?turning_id=4978
- [14] GS-2000_Series Advanced turret design. In: *Goodway* [online]. © 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.goodwaycnc.com/exhtml_goodway/goodway_en/turning/horizontal/gs_2000/turret.htm
- [15] GMS-2000 Series_Maximum performance multi-axis turning centers. In: *Goodway* [online]. © 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.goodwaycnc.com/exhtml_goodway/goodway_en/turning/horizontal/gms/index.htm
- [16] Haas rotaries and indexers. In: *Haas automation Inc* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.haascnc.com/rotary_intro.asp
- [17] Maxxturn 110. In: *Emco group* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: [http://www.emco-world.com/en/products/industry/turning/cat/10/d/1/p/18/pr/maxxturn-110.html?tx_commerce_pi1\[view\]=6&cHash=aef325e53a](http://www.emco-world.com/en/products/industry/turning/cat/10/d/1/p/18/pr/maxxturn-110.html?tx_commerce_pi1[view]=6&cHash=aef325e53a)
- [18] SOUČEK, Pavel. *MM Průmyslové spektrum: Regulační pohony v posuvech NV strojů* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o., 2010 [cit. 2012-05-22]. ISBN 1212-2572. Dostupné z: <https://cs.publero.com/title/regulacni-pohony-v-posuvech-nc-stroju-specialni-priloha-caspisu-mm-prumyslove-spektrum/regulacni-pohony-v-posuvech-nc-stroju>
- [19] Náš první prototyp momentového motoru. In: *AVEKO s.r.o.* [online]. 31.8.2010 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.aveko.com/aktuality/nas-prvni-prototyp-momentoveho-motoru-5/>
- [20] DE VOS, Patrick. Příručka pro technology - Jak je to s řeznými silami?. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 13.03.2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-je-to-s-reznymi-silami.html>
- [21] Prstencové motory. In: *MM Průmyslové spektrum* [online]. 12.12.2001 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prstencove-motory.html>
- [22] RESR rotary (angle) encoder system. In: *Renishaw: apply inovation* [online]. © 2001-2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/en/resr-rotary-angle-encoder-system--6453>



- [23] SiGNUM™ linear encoders. In: *Renishaw* [online]. © 2001-2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/en/signum-linear-encoders--6440>
- [24] SINAMICS S120 Built-In Units. In: *Siemens* [online]. © 2001-2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/mcms/mc/en/converters/low-voltage-converters/sinamics-s/motion-control-drives/Pages/sinamics-s120.aspx>
- [25] HUMÁR, Anton. Technologie I. In: *Fakulta strojního inženýrství - studijní opory* [online]. 2004 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/zakl.m.obr.1.pdf>
- [26] The NTX Series. In: *MORI SEIKI: The machine tool company* [online]. © 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.moriseiki.co.uk/products/multi-axis-turning-centres/ntx-series/overview/>
- [27] High performance face milling. *Sandvik coromant* [online]. 2009 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/brochure/ENG/C-1100-318.pdf>



ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

A_D	[mm ²]	plocha triesky pri sústružení
A_{Dmax}	[mm ²]	maximálny prierez triesky pre valcové frézovanie
a_p	[mm]	šírka záberu ostria sústružníckeho noža
a_{p1}	[mm]	šírka záberu ostria valcovej frézy
a_{p2}	[mm]	hlbka odoberanej vrstvy pre čelné frézovanie
B	[mm]	šírka frézovanej plochy čelnou frézou
c	[-]	exponent pre čelné frézovanie
C_{Fc1}	[-]	konštanta pre valcové frézovanie
C_{Fc2}	[-]	konštanta pre čelné frézovanie
D_1	[mm]	priemer valcovej frézy
D_2	[mm]	priemer čelnej frézy
d_b	[mm]	priemer brzdového kotúča
D_{max}	[mm]	maximálny priemer sústruženia
$D_{max\ C}$	[Nm]	maximálny priemer obrobku pri použití osi C
D_o	[mm]	priemer obrobku pri frézovaní
F_c	[N]	rezná sila pri sústružení
F_{c1}	[N]	maximálna rezná sila pre valcové frézovanie
F_{c2}	[N]	výsledná rezná sila pre čelné frézovanie
F_{ci}	[N]	rezná sila pre konkrétny druh frézovania
f_{z1}	[mm]	posuv na zub valcovej frézy
f_{z2}	[mm]	posuv na zub čelnej frézy
H	[mm]	hlbka odoberanej vrstvy pre valcové frézovanie
h_{max}	[mm]	maximálna hrúbka triesky pre valcové frézovanie
k	[-]	bezpečnostný koeficient
k_c	[MPa]	merná rezná sila pri sústružení
$k_{c\ max}$	[MPa]	maximálna merná rezná sila
m	[-]	exponent pre čelné frézovanie
M_b	[Nm]	minimálny statický moment brzdy
M_k	[Nm]	krútiaci moment spôsobený reznou silou pri frézovaní
M_m	[Nm]	menovitý výkon motora
m_m	[kg]	približná hmotnosť motora
$M_{m\ max}$	[Nm]	maximálny výkon motora



$M_{\max}$	[Nm]	maximálny moment na vretene sústruhu
$M_{\max C}$	[Nm]	moment na osi C od rezných síl
n_m	[min ⁻¹]	menovité otáčky motora
$n_{m \max}$	[min ⁻¹]	maximálne otáčky motora
n_z	[-]	počet zubov v zábere pre čelné frézovanie
P_m	[kW]	menovitý výkon motora
R_m	[MPa]	medza pevnosti materiálu
x	[-]	exponent pre valcové frézovanie
z_1	[-]	počet zubov valcovej frézy
z_2	[-]	počet zubov čelnej frézy
κ_r	[°]	uhol nastavenia hlavného ostria čelnej frézy
$\phi_{\max}$	[°]	maximálny posuvový uhol pre valcové frézovanie
ψ_i	[°]	uhol polohy jednotlivých zubov pri čelnom frézovaní
$\psi_{\max}$	[°]	maximálny uhol záberu čelnej frézy
ψ_s	[°]	celkový uhlový rozstup medzi prvým a posledným zubom v zábere
ψ_t	[°]	uhlový rozstup zubov čelnej frézy



ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 – Parametre motoru SIEMENS

Príloha 2 – Výkres zostavy

CR-ROM obsahuje:

- Elektronická verzia bakalárskej práce (pdf)
- 3D model osi C spolu s vretenom (SolidWorks 2010)
- Výkres zostavy (pdf)



Príloha 1

Parametre motora SIEMENS 1FE1084-6WR11-1BC0

Menovitý výkon motora: $M_m = 130 \text{ Nm}$

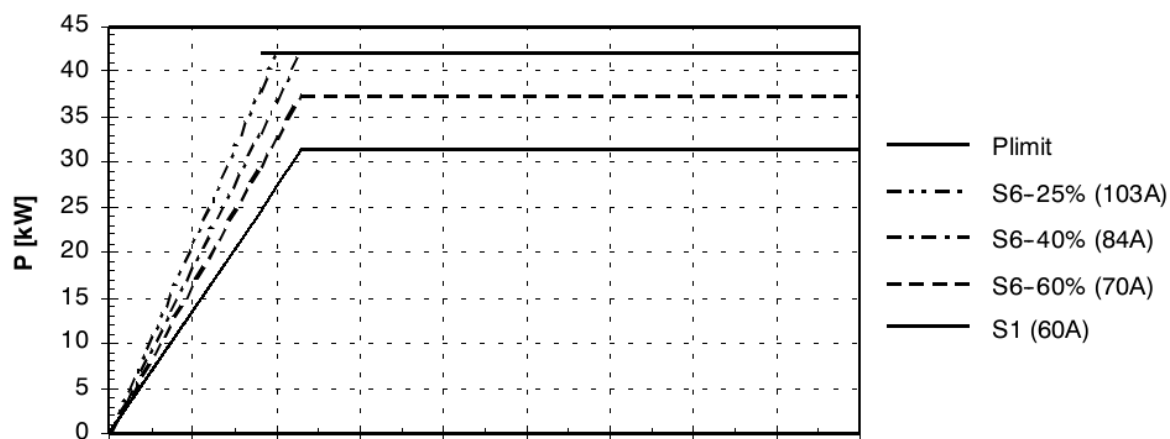
Maximálny výkon motora: $M_{m \max} = 175 \text{ Nm}$

Menovité otáčky motora: $n_m = 2300 \text{ min}^{-1}$

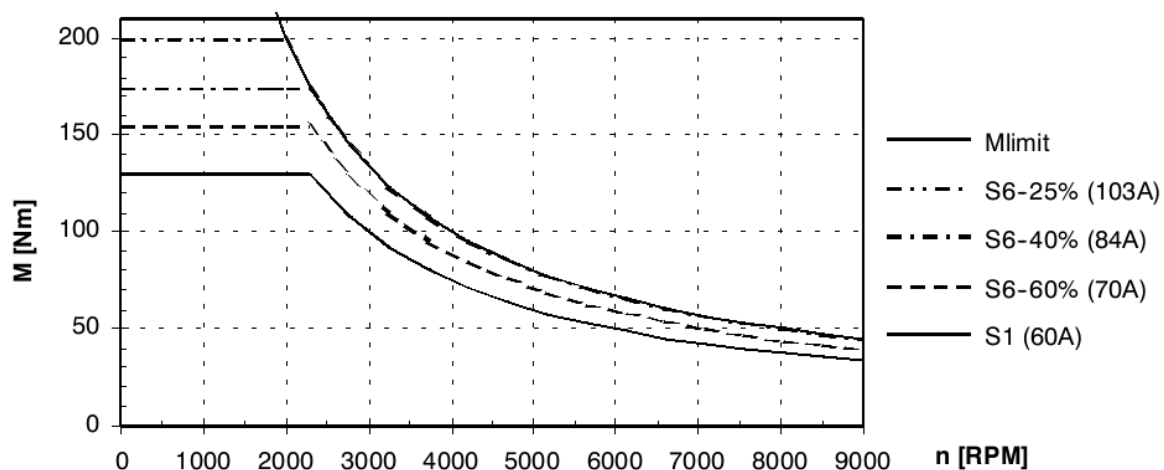
Maximálne otáčky motora: $n_{m \max} = 9000 \text{ min}^{-1}$

Menovitý výkon motora: $P_m = 31 \text{ kW}$

Približná hmotnosť motora: $m_m = 30 \text{ kg}$



Obr. 30 Výkonová charakteristika motora



Obr. 31 Momentová charakteristika