



POSUDEK OPONENTA DIPLOMOVÉ PRÁCE

SLOVNÍ HODNOCENÍ

Autor DP: BC. MICHAL PROCHÁZKA

Název DP: NÁVRH A PŘÍPRAVA REALIZACE ROTAČNĚ SKLOPNÉHO STOLU PRO MIKROFRÉZOVÁNÍ

Oponent DP: Ing. Jan Smolík, Ph.D.

Student přistoupil k řešení problematice velmi odpovědně a komplexně. Ve své práci zohledňoval možnosti alternativních řešení z pohledu složitosti i ceny ve vazbě na cíle zadání a předpokládané využití navrhovaného rotačně sklopného stolu. V práci uplatnil vyváženě své poznatky ze studia v oblastech strojní konstrukce, dimenzování i simulací v časové a frekvenční oblasti. Při práci konzultoval řadu otázek s odborníky a nebo přímo s výrobcí/dodavateli komponent. Při práci prokázal schopnost pracovat s odbornou literaturou, odbornou dokumentací, konstrukčními i simulačními softwary.

Zvolený postup řešení je racionální a dobře vede k zadanému cíli. Po provedené rešerši jsou rozebrána výchozí omezení stroje Haas TM, pro který je stůl navrhován. Následně jsou stručně zváženy tři možné varianty konstrukčního řešení a je detailně zpracována jedna z variant, kde se studentovi podařilo vyhnout potřebě využití vloženého ozubeného kola, přestože užil koncept s motorem osy C umístěným na ose A. Celé konstrukční řešení je zpracováno detailně až do úrovně výrobní a nákupní dokumentace. Konstrukční výpočty a dimenzování prováděl student ve většině případů dvěma způsoby bez spolehnutí pouze na podpůrné software, ale také s vlastním analytickým výpočtem. Závěrem student realizoval zjednodušené dynamické modely pohonu osy A a C i s kaskádní regulací, virtuálně provedl testy skoku rychlosti i vnější síly a provedl odhad šířek propustných pásem rychlostních smyček. Nakonec je proveden rozbor předpokládaných nákladů na výrobu.

Výsledná konstrukční dokumentace, seznam komponentů pro nákup a popis montáže podle mého názoru umožňují realizovat výrobu funkčního rotačně sklopného stolu pro stroj Haas. Konstrukce je podložena podrobným dimenzováním a kontrolami. Výsledek práce je možné prakticky uplatnit a pokud by se v záměru realizace stolu pro stroj Haas pokračovalo, je možné z této práce přímo vycházet.

Přehlednost práce je příkladná a vše je jasně popsáno, odkazy referují na všechny důležité údaje a textové i výkresové přílohy tvoří s prací integrální a přehledný celek. Seznamy veličin, literatury, obrázků, tabulek, software, příloh a obsah umožňují čtenáři velmi dobrou orientaci a k pochopení všech souvislostí zde nic nechybí. Výkresová dokumentace je kvalitně zpracovaná a nenalezl jsem v ní žádné chyby nebo chybějící údaje. Taktéž grafické zpracování a úprava jsou na vysoké úrovni.

Připomínky k diplomové práci:

- V rozboru nepřímých pohonů chybí pohony pomocí planetových převodovek, harmonických převodovek, klasických převodovek a uplatnění pohonů master-stave, které se i do těchto menších os stále častěji prosazují.
- Celá úvaha o přesnosti stroje Haas v kapitole 3.1 je provedena nedokonale a jsou zde nejasně interpretovány výsledky testů za pohybu a testy polohování (za klidu). Kapitola se



snáží popsat fakt, že konkrétní stroj Hass je poměrně přesný, ale popis je proveden spíše ilustrativně.

- V práci není jasně uvedeno proč není užito přímé odměřování polohy osy A a C přestože se celá konstrukce stále věnuje vysoké přesnosti ve vazbě na budoucí požadavky mikroobrábění a chyb max +/- 0,01°.

+ Kladně hodnotím konstrukční zpracování celé sestavy, návrh řešení na vymezování vůlí, návrh mazání i těsnění. Student zde velmi dobře využívá některé díly opakovaně a to jak nakupované, tak vyráběné. Popis montáže a funkce je velmi dobrý a je pamatováno na všechny důležité fáze výroby i používání stolu. Kladně hodnotím také jednoduchý, ale praktický konstruktérský zásah v podobě dokonstruované dosedací plochy pro podepření osy A koníkem, kterou autor provedl na základě výsledku výpočtu statické tuhosti.

K práci nemám žádné zásadní připomínky, které by snižovaly její hodnotu. Seznam drobných připomínek uvádím v příloze.

Otázky na studenta k zodpovězení u obhajoby:

1. Vysvětlíte jak vaše konstrukční řešení zajišťuje radiální bezvúlový přenos momentu u všech spojení, kde je navržen přenos kroutícího momentu perem. Mohla by zde nastat vůle? Jaká by pak mohla být maximální úhlová chyba? Proč zde netolerujete přesněji u šnekových kol také polohu per pod úhlem 120° (na kole i hřídeli)? Jakou možnost spojení hřídele s kolem byste mohl alternativně volit pro bezvúlový přenos kroutícího momentu?
2. Proto, aby fungoval princip vymezování vůle axiálním posunutím šneku, tak musí být šnek korigován, resp. musí mít proměnnou tloušťku zubů. Kde je toto v dokumentaci předepsáno a jak? O jakou hodnotu se změní teoretická osová vzdálenost šneku a šnekového kola při využití celého disponibilního axiálního přestavení šneku pro vymezování vůle?
3. Proč jste nedal mezi hřídel 30 a ložisko 31 přesnou dobrušovanou podložku? Nyní budete předpětí montážně nastavovat momentem na pozici 32?

Závěrečné hodnocení:

Jedná se o vynikající diplomovou práci, která je přehledná, komplexně řešená a výsledek odpovídá zadání a je realizovatelný. Kladně hodnotím přístup pana Procházky a rozsah vypracované dokumentace. Přestože práce obsahuje i některé nedokonalosti a nepřesnosti, je to práce na vysoké úrovni a práce velmi kvalitní.

Prohlášení:

Diplomová práce splňuje zadání a doporučuji ji k obhajobě.

16.8.2015

.....
Datum

.....
Podpis oponenta

Kontakt na Oponenta:

j.smolik@rcmt.cvut.cz, 605205918



Autor DP: BC. MICHAL PROCHÁZKA
Název DP: NÁVRH A PŘÍPRAVA REALIZACE ROTAČNĚ SKLOPNÉHO STOLU PRO MIKROFRÉZOVÁNÍ
Oponent DP: ING. JAN SMOLÍK PHD.

Příloha: Drobné připomínky

- Chybí sestava se strojem a trasování přívodů a kabelových nosičů a potřebné úpravy stroje při osazení.
- Při srovnávání jednotlivých vybraných nakupovaných rotačně sklopných strojů chybí celkový sjednocený přehled, ale jsou uváděny samostatné vykopírované údaje, které neumožňují přehledné srovnání všech „konkurentů“.
- Přestože bylo cílem navrhnout přídatný stůl, nemusela být rešerše omezena pouze na konstrukční řešení a parametry přídatných stolů (příslušenství), ale mohla být doplněna o řešení integrovaných stolů renomovaných firem v oblasti mikroobrábění.
- Rešerše strojů postrádá špičkové stroje pro mikroobrábění od firem Kern a Sodick.
- str. 17 chybně 6 mm místo 6 um; výkon obrábění je vhodnější uvádět v objemu za čas
- str. 18 nevhodně užitý pojem „nejmarkantnější“
- str. 19 neuvádět skokové změny pohybu, ale skokové změny kinematických veličin (např. zrychlení a rychlosti)
- str. 19 nevhodná formulace „Za škrubnutí můžeme považovat derivaci zrychlení“
- str. 20 nevhodný pojem „všemocné spline křivky“
- str. 23 nejedná se o rychlost indexování, ale o rychlost při souvislém regulovaném řízení (nejde o indexovaný, ale souvisle řízený stůl)
- str. 30 skutečně se nabízí v kontextu stavby OS prstencové servomotory s několika sty póly? Maximální otáčky mohou být i větší než uváděných 400 1/min. Uváděný údaj, že zástavbové prostory pro prstencové motory jsou 5-7x menší jsou pochybné, neboť při srovnání celkového pohonu se vším co potřebuje, budou nároky na uplatnění nepřímých pohonů jen o něco vyšší než u prstencových (např. 2x).
- str. 31 Skutečně dosahují nepřímé pohony vyšších otáček než motory prstencové? U stavby vřeten ano, ale nikoli u otočných stolů a podobných os, tam je to naopak.
- str. 32 ale i dále, nejedná se o rozvin sestavy, ale o rozpad sestavy (rozvin provádíme u plechového výlisku)
- str. 33 nejedná se o princip, kde by se měnilo stoupání šneku, ale mění se šířka zubů
- str. 33 překlep „čelné“
- schéma na obr. 21 nenaznačuje, že by zde byl prostor pro axiální posun šneku, je otázka, jestli schéma odpovídá popisu uvedenému dříve
- str. 37 přesnost ovlivňují nejen poddajnosti, ale významně teplotní dilatace a chyby převodů
- str. 38 překlep „...snímacího Halových sond.“
- str. 40 problematika přesnosti odměřování polohy je výrazně složitější, než jak je popsáno. Je třeba případně nastudovat a pochopit vazbu mezi chybami základní fyzikální mřížky a projevy různých chyb odměřování, a to ve vazbě na umístění odměřování, druh pohonu a způsob využití pro regulaci servopohonu. Případně doporučuji nastudovat analýzy a měření provedená k tématu Doc. Součkem.
- str. 41 opět chybné užití pojmu „indexované“, zde popisujete obrábění souvislé při konturování
- str. 42 brzda brzdí na čele brzdového kotouče (žlutý prvek na vyobrazení) a nikoli na vnitřním průměru jak je uvedeno
- str. 42 chybně uveden „rozvin“ na místo „rozpad“
- u brzd chybí vzájemné srovnání jednotlivých řešení, obdobně jako je srovnání uváděno u předchozích komponentů
- str. 44 nevhodné užití pojmu „komunikovat“
- str. 44 zdržet se subjektivních vyjádření „pozoruhodná opakovatelnost polohování“ pokud zde nejsou uvedena konkrétní čísla srovnání s jinými stroji



- str. 46. Nelze souhlasit se zjednodušeným konstatováním, že se přesnost strojů nejlépe popisuje kruhovou interpolací. Přesnost se hodnotí více metodami a vždy se vztahuje k různým druhům přesnosti a jejich závislostí (např. na rychlosti, regulačních parametrech, teplotě, chybách výroby, atp.).
- str. 46 Nehovoříme o hladkosti obálky vykreslené kružnice. Nastudujte případně podrobněji problematiku měření a vyhodnocování testů kruhové interpolace a všech druhů chyb, které mohou zachytit.
- str. 47 chybně uveden průměr místo poloměr v textu
- str. 47. níže uvedená hodnota 11.3 um o přesnosti polohování stroje téměř nic nevyovídá, jsou zde spleteny metody měření, vyhodnocení a interpretace
- str. 53 v úvodním zadání na stůl chybí požadavek na souvislé interpolované řízení
- str. 53 chybí uvedení rozhodnutí o tom, že nebude užito přímé odměřování a není provedena úvaha nad tím, jestli chyba nepřímého odměřování nebude nepřijatelná
- str. 53 Rozhodnutí o uspořádání a provedení kolébky z hlediska konstrukce (druhý odstavec od spodu) je poměrně stručné, strohé a bez argumentů. Případně mohlo být již předmětem zadání.
- str. 54 konstruktérská úvaha, uvedená v odstavci pod obrázkem, je velmi subjektivní a zdůvodnění tak nezní věrohodně
- str. 57 uvedená protiváha motoru nemá žádné konstrukční ani technologické výhody, naopak může snížit vlastní frekvenci soustavy stolu (pokud není podloženo výpočtem nebo měřeními nebo praxí, nelze se uchylovat k nepodloženým konstatováním)
- str. 64. konstruktér předepisuje způsob výroby a polotovaru, neuvádějte tedy formulaci „tělesa by byla s největší pravděpodobností odlitky“
- str. 66 na obrázcích je rozdílné číselné značení pozic než ve výkresech
- str. 66 pokud jsou pozice 39 a 42 shodné díly, mohly by mít shodné číselné označení
- str. 67 nekorektní argument ve vazbě na ohřívání oleje šnekového převodu osy C, které nesouvisí s umístěním motoru, ale především s třením šnekového převodu a tedy se spektrem pohybu osy
- str. 67 přetlakování pod deskou pozice 49 by pravděpodobně mohlo kontaminovat ložisko 3 a nebo proniknout až před gufero poz. 43, které ale těsní z druhé strany
- str. 67 chybně užit pojem „číslo“ na místo pojmu „pozice“
- str. 67 z jakého pohledu nebo dokumentace plyne, že by při naklopení osy A do polohy 18° mohlo dojít k prolnutí oleje do prostoru ložisky osy C? Toto není jasné.
- str. 72 chybí popis proč byla zvolena zrovna takováto náhradní trubka (její parametry následující úvahu zásadně ovlivňují)
- str. 73 pravou část hřídele směrem k motoru patrně nemělo smysl počítat
- str. 76 chybně uvedeny mm na místo um u výsledku 20,95
- str. 90 ale i další, pro některé případy je možné uvažovat i větší než jmenovitý krouticí moment motoru, motor krátkodobě snese až 9 Nm.
- str. 106 chybně uveden moment setrvačnosti náhonu osy C o čtyři řády vyšší (chybí 10⁻⁴)
- str. 106 ve vztahu chybí hodnota $J_{cp} 3,7 \times 10^{-4}$, ale výsledek je číselně v pořádku a je takto užít i dále v Simulinku



POSUDEK OPONENTA DIPLOMOVÉ PRÁCE

NÁVRH KLASIFIKACE

Autor DP: BC. MICHAL PROCHÁZKA

Název DP: NÁVRH A PŘÍPRAVA REALIZACE ROTAČNĚ SKLOPNÉHO STOLU PRO MIKROFRÉZOVÁNÍ

Oponent DP: Ing. Jan Smolík, Ph.D.

NÁVRH KLASIFIKACE:

Jednotlivá hlediska zpracování diplomové práce navrhuji klasifikovat¹:

Hlediska hodnocení	A (1) Výborně	B (1,5) Velmi dobře	C (2) Dobře	D (2,5) Uspokojivě	E (3) Dostatečně	F (4) Nedostatečně
Splnění požadavků a cílů	A					
Odborná úroveň práce ²	A					
Pracnost a variantnost řešení ³	A					
Úroveň seznámení se stavem problematiky ⁴		B				
Uspořádání a úprava, jazykové zpracování ⁵	A					

Diplomovou práci navrhuji klasifikovat známkou⁶:

A (1) Výborně	B (1,5) Velmi dobře	C (2) Dobře	D (2,5) Uspokojivě	E (3) Dostatečně	F (4) Nedostatečně
A					

.....
Datum

.....
Podpis opONENTA

¹ Hodnocení označte X v příslušném políčku klasifikačního stupně.

² Hodnocení odborné úrovně práce by mělo zohlednit i množství a vážnost chyb vyskytujících se v práci.

³ Hodnocení pracnosti by mělo zohlednit podrobnost zpracování (např. konstrukční nebo výpočtové) vlastního řešení, více variant vlastního řešení nebo zpracování většího objemu naměřených dat.

⁴ Hodnocení úrovně seznámení se stavem problematiky by mělo zohlednit zaměření řešerše na řešenou problematiku a využití tuzemské a zahraniční literatury a ověřených informačních zdrojů.

⁵ Hodnocení uspořádání a úpravy by mělo zohlednit logiku členění práce do kapitol, grafickou podobu a celkovou úpravu práce, množství pravopisných chyb a celkový styl vyjadřovacího projevu.

⁶ Výslednou klasifikaci stanovte jako aritmetický průměr hodnocení s přihlédnutím k celkové úrovni práce.