

POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

Assessment of the Dissertation

Titul, jméno a příjmení studenta:

Title, name, surname of student

Ing. Marcel ŠVAGR

Doktorský studijní program:

Doctoral study programme

P0715D270024

Teorie a stavba strojů

Téma disertační práce:

Topic of the dissertation

Metoda hodnocení dynamických vlastností
portálových obráběcích strojů

Školitel:

Supervisor

doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.

Konzultant specialista

Consultant specialist

Ing. Petr Bernardin, Ph.D.

Oponent:

Opponent

doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D.

Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Evaluation of the importance of the dissertation for the field

Disertační práce je zaměřena na prediktivní hodnocení návrhu konstrukce obráběcího stroje během vývojové fáze s využitím virtuálního modelu. Kritériem hodnocení je predikované chování stroje při obrábění, resp. jeho celková interakce s procesem. Jedná se o významné téma zejména v oblasti konstrukce těžkých obráběcích strojů, protože umožňuje navrhnout a realizovat nový stroj tak, aby byl efektivní z pohledu spotřebovaného konstrukčního materiálu, dimenzování pohonů a též výsledné produktivity výroby. Těžké obráběcí stroje jsou vybavovány řadou různých druhů technologického příslušenství, proto je vhodné ověřit chování stroje napříč využitým vybavením. Díky tomu stojí před simulačními modely stále nové výzvy jak v oblasti matematického popisu detailů strojů, tak v oblasti efektivního využití těchto modelů s ohledem na plánované technologické využití stroje. Z tohoto pohledu lze předloženou disertační práci hodnotit jako významnou pro obor výrobní techniky.

Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Evaluation of the the problem-solving process, the methods used and the goal to be met

Doktorand definoval cíle disertační práce v kap. 2. Práce má jeden hlavní cíl (metodika rychlého ověření dynamických vlastností navrhovaného stroje pro určení přenositelného výkonu do řezu) a sedm dílčích cílů podporujících dosažení hlavního cíle, zejména v oblasti detailních MKP modelů částí stroje a aplikace navržené metodiky na příkladu portálového frézovacího stroje. Vytčené cíle práce jsou disertabilní, protože směřují k vytvoření originálních poznatků. V kap. 3 doktorand shrnuje problematiku vibrační v provozu obráběcích strojů, kterou v kap. 4, 5, 6 doplňuje o nezbytný teoretický aparát. Tuto přehledovou část práce uzavírá kap. 7 o metodách stanovení statických a dynamických vlastností obráběcích strojů. Navazující kap. 8 zaměřená na stanovení využitelného výkonu stroje obsahuje již řadu vlastních originálních postupů autora v oblasti modelování obráběcích strojů. Velmi dobře jsou vypíchnuty z pohledu modelování komplikované uzly konstrukce, např. celá vřetenová hlava nebo předepnutá kluzná vedení s mazanými nízkotlakým olejem aj. Doktorand vždy uvádí relevantní existující modely, které následně blíže popisuje z pohledu zamýšlené aplikovatelnosti na modelu portálového frézovacího stroje FPPC 500. Text pokračuje kap. 9, ve které jsou analyzována slabá místa konstrukce stroje z pohledu statické a dynamické tuhosti. V kap. 10 jsou stanovena s podporou zdrojů z literatury kritéria pro posouzení budoucí výkonosti stroje, která jsou aplikována ve vytvořené metodice prezentované v kap. 11. V té je též provedena verifikace simulačních modelů a diskuse identifikovaných odchylek výsledků simulační predikce a experimentálního měření. Práce je shrnuta v kap. 12.

Doktorand po celou dobu staví na existujících poznatcích z publikací, které samostatně v dílčích oblastech rozvíjí originálním způsobem. Uvedený postup řešení definovaného problému je logický. Hlavní metodou práce je simulace s využitím MKP a syntéza dílčích modelů. Sestavení simulačních modelů je dostatečně komentováno po stránce metodické, nejsou však dostatečně detailně uvedeny číselné hodnoty použitých parametrů (např. modul pružnosti a hustota použitých strukturálních materiálů, hodnoty tuhosti vazebních prvků apod). Velmi detailně jsou prezentovány a dobře diskutovány dosažené výsledky výpočtů. Doktorand se snaží v každé fázi práce alespoň o dílčí verifikaci vytvořeného modelu: buď porovnáním výsledků s jiným (detailnějším) modelem nebo porovnáním s experimentem. Navržená metodika je popsána srozumitelně formou vývojového diagramu a demonstrována na příkladu reálného stroje, vč. experimentálního ověření simulačních modelů. Práce tedy naplňuje vytčené cíle.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce

Statement to the results of the dissertation and on the original contribution of the submitter of the dissertation

Výsledkem disertační práce je v souladu s definovanými cíli metodika rychlého ověření dynamických vlastností navrhovaného stroje pro určení přenositelného výkonu do řezu. Metodika je zaměřena na odhad možností stroje v interakci s obráběcím procesem. Hlavním nástrojem metodiky jsou simulační MKP modely, pomocí kterých má být na navrhovaném stroji odhadována deformace nástroje i limity vzniku samobuzených kmitů. Nesouhlasím s tvrzením, že „kontrola proti samobuzenému regenerativnímu kmitání se v návrhové části stroje téměř neobjevuje, a přesto je tu velká snaha tomuto jevu předejít“ (kap. 7.2, str. 27), protože predikce kritické stabilní hloubky třísky patří k rozšířeným simulačním analýzám při vývoji nových strojů (viz např. komentáře v mé habilitační práci dostupné z úložiště DSpace ČVUT v Praze). Obecným problémem v tomto postupu však zůstává vrstvení zjednodušených modelů s řadou odhadnutých nebo nepřesně určených parametrů, které vedou k velké odchylce predikovaných výsledků. Proto vidím přínos disertace Ing. Švagra zejména v detailním posouzení možných typů náhrad jednotlivých částí obráběcího stroje a současně v analýze možností zjednodušení výpočtového modelu tak, aby tento zůstal operativním nástrojem konstruktéra pro testy konstrukčních variant – i proto by měla být na str. 26 na obr. 4 zavedena zpětná vazba z měření výkonu do dokumentace stroje jako kvantifikovaná znalost pro budoucí další úpravy stroje. Za důležité považuji též komentáře k verifikaci simulačních výsledků experimentálními měřeními, ze kterých jsou vidět možná omezení simulačních modelů. Práce jako celek je tedy přínosem k poznání v oblasti návrhu obráběcích strojů s podporou simulačních modelů právě zejména zpřesněním řady modelovacích technik i jejich syntézou do jednotné metodiky.

Vyjádření k systematické, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Statement to the systematics, clarity, formal adaptation and language level of the dissertation

Formální úprava práce je na dobré úrovni. Práce je psána srozumitelným jazykem, s minimálním množstvím překlepů. Text je ilustrován sedmdesáti obrázky a grafy, které dobře doplňují textové popisy. Text je členěn do dvanácti kapitol, které na sebe obsahově navazují. Ve struktuře práce však není dobře oddělen přehled současného stavu poznání od vlastní originální práce doktoranda – oba typy informací se v řadě kapitol prolínají. Převzaté informace a postupy jsou však viditelně označeny a správně citovány. Cíle práce jsou definované správně, ale v kap. 2 ještě nemá čtenář dost informací z vlastní práce, aby toto mohl posoudit. Toto považuji spíše za vliv metodického vedení doktoranda školitelem, odbornou kvalitu výslední práce to však nesnižuje.

K formální úpravě práce mám tyto drobné poznámky:

- Vypočtené frekvence jsou prezentovány s přesností na čtyři desetinná místa, což považuji za neopodstatněné s ohledem na reálné nepřesnosti v použitých modelech a nejistoty v jejich vstupních parametrech.
- Není mi jasný původ pojmu „dynamická stabilita“, který doktorand používá v celém textu. Z kontextu se jedná o dynamickou poddajnost, která je vykreslována jako „velikost amplitudy výkmitu v závislosti na budící frekvenci“. Jedná se o nějaký přenesený pojem z používaného MKP softwaru?
- Na str. 20 v rovnici (3) se mluví o maticích hmotnosti, tuhosti a tlumení, uvedeny jsou však parametry jednohmotového systému. V popisech modelů dynamického chování systému splývá rozdíl mezi zobecněnými souřadnicemi x a q .

Vyjádření k publikacím studenta

Statement to student's publications

Student uvádí tři publikace (jedna journalová, dvě konferenční) s obsahem v přímé vazbě na téma disertace. Obsah disertační práce byl tedy před obhajobou publikován. Kromě toho autor uvádí dalších čtrnáct publikací s formou journalové nebo konferenční publikace, interní zprávy, průmyslového vzoru, funkčního vzorku nebo prototypu. Zejména aplikované výsledky typu funkční vzorek a prototyp dosažené s podporou financí z veřejných rozpočtů byly též oponenty nezávislými oponenty. Publikační výsledky doktoranda jsou tedy dostačující.

Celkové zhodnocení a otázky k obhajobě

Total evaluation and questions for defence

Celá práce je zpracována pečlivě, struktura textu je přehledná, doplněná vhodnými obrázky a grafy, závěry jsou srozumitelně vysvětleny. Vytvořená metodika je přínosná pro průmyslovou praxi i pro rozvoj poznání v oboru obráběcích strojů. **Po úspěšné obhajobě doporučuji udělení akademického titulu Ph.D.**

Otázky na doktoranda k zodpovězení při obhajobě:

- Str. 27, kap. 7.2: „Tyto vlastní frekvence se konstruktér snaží naladit tak, aby nedocházelo ke konfliktu s předpokládanými budícími frekvencemi.“ Prosím o komentář, jaké budící frekvence (rozsah frekvencí) je typicky očekáván a jak se jim mohou navržené vlastní frekvence v provozu vyhnout.
- Str. 37, obr. 14 a 15: Na obou grafech je výborná shoda vypočtených vlastních frekvencí, ale amplitudy se výrazně liší. Prosím o komentář možných důvodů tohoto rozdílu.
- Str. 71, kap. 10: „U dynamické tuhosti se hodnotí maximální amplituda výkmitu v místě nástroje při buzení silou při vlastních frekvencích.“ Jaké faktory ovlivňují amplitudu vynuceného kmitání buzeného periodickým buzením rezným procesem (např. frézováním) a jak co můžeme ovlivnit v provozu stroje?
- Str. 53, kap 8.2.2: „Následně byl proveden výpočet frekvenčního ovlivnění výpočtového modelu přímo jeho vlastními frekvencemi (funkce „individual frequencies“). Z tohoto výpočtu jasně plyne, zda má stroj, respektive výpočtový model, dostatečně velké útlumové vlastnosti na to, aby nedocházelo ke zvyšování oscilace při dosažení vlastních frekvencí.“ Prosím o vysvětlení uvedeného postupu. Jedná se o modální citlivost jednotlivých modálních tvarů? Jsou hodnoty tlumení vstupními parametry simulace nebo výsledkem „výpočtu frekvenčního ovlivnění“?
- Str. 53, kap 8.2.2: „I tento fakt, že krok o velikosti 1 Hz nezobrazí plný vliv vlastní frekvence svědčí o dobrých útlumových vlastnostech stroje, protože i méně než jeden hertz může být rozdíl mezi problematickým buzením (rozkmítáváním) a „klidným“ stavem při obrábění.“ Prosím o upřesňující komentář k citlivosti konstrukce na budící frekvenci ve vazbě na hodnotu tlumení konstrukce. Je konstrukce s malým tlumením a úzkým pásmem rezonanční poddajnosti výhodnější z hlediska provozu stroje?
- Str. 71, kap. 10: „Pro zajištění stability rezného procesu je třeba zhodnotit konstrukci proti regenerativnímu samobuzenému kmitání.“ Jaké kvantifikovatelné parametry konstrukce a samobuzeného kmitání jsou tímto myšleny?
- Str. 87, kap. 11.2.1: „Odchylka 0,0061 mm je z části způsobena špatným technickým stavem vedení smykadla v saních, z části idealizací kluzného vedení, z části idealizací pohonu posuvu příčnicku po podélnicích a z části rozdílem mezi 3D modely a skutečnými tělesy smykadla a příčnicku.“ Jakými dalšími měřicími metodami by bylo možné identifikovat špatným technickým stavem vedení lineární pohybové osy? Jak velký vliv je přičítán rozdílu „mezi 3D modely a skutečnými tělesy smykadla a příčnicku“.

Doporučuji disertační práci k obhajobě

I recommend the dissertation for the defence

ANO
yes

X

NE
no

Datum
Date

1.4.2024

Podpis oponenta:
Signature of opponent