

doc. Ing. Martin MELICHAR, Ph.D.
Západočeská Univerzita v Plzni
Fakulta strojní
Katedra technologie obrábění
Univerzitní 22
301 00 Plzeň

OPONENTNÍ POSUDEK

Disertační práce na získání akademického titulu Ph.D.

Autor: **Ing. Václav MAREK**

Název práce:
Teplotní deformace obráběcího centra

Univerzita : Západočeská univerzita v Plzni

Školitel: doc. Ing. Zdeněk HUDEC, CSc.

Problematika ovlivnění přesnosti a stability technického zařízení je velice aktuálním tématem bezpočtu průmyslových odvětví. Téma práce „Teplotní deformace obráběcího centra“ představuje zejména pro oblast produkčních řezných procesů a obor strojního inženýrství nepopiratelný přínos. V oblasti obráběcích center představují faktory teplotního ovlivnění a jejich optimalizace základní předpoklad pro realizaci stabilního produkčního procesu, které jsou preferovány v závislosti na minimální poruchovosti, chybovosti i časové náročnosti, ale i v oblasti vývoje konstričních oborů.

Předložená disertační práce je rozdělena do následujících oddílů:

- 1) Úvod řešené problematiky
 - Současný výzkum v oblasti vlivu tepla na přesnost obráběcího centra a aktivně chlazené stroje, makro-elementy a síťové modely
 - Cíle výzkumu
 - Teoretická báze pro řešení teplotních deformací
- 2) Oddíl výpočtů teplotních deformací
 - Analytické výpočty
 - Predikce teplot – metoda makro-elementů
 - Simulace teplotních jevů – FEA a CFD
- 3) Validace a verifikace – experimentální měření
 - Teorie experimentálního měření teplot strojních součástí
 - Experimentální měření
 - Závěr-experimenty
- 4) Analýza
 - Požadavky
 - Rozbor

- Kompenzace
 - Směry
- 5) Závěr

V předcházející anotaci je blíže specifikován cíl předložené práce se soustředěním se na analýzu současného stavu přičemž výsledné údaje slouží pro stanovení slabých míst a určení dalšího vývojového směru.

Následuje oddíl výpočtů a prediktivního přístupu teplotních deformací od počáteční definice elementů se zaměřením na oblast simulace. Jsou představeny stávající metody pro prediktivní přístup v oblasti teplot – metoda konečných prvků (FEM) a metodu dynamických výpočtů kapalin (CFD). Dále je představen SW nástroj Ductdesigner z univerzity ETH v Zürichu, pomocí něhož byl ve spolupráci se ZČU definován cíl ověření výpočtu tlakových ztrát a teplotních ztrát a zvýšit přesnost výpočtu koeficientů přestupu tepla. Jako příklad pro ověření přesnosti makro-elementů byly provedeny testovací simulace na chladicím okruhu převodovky. Jsou porovnávány metody za pomoci rozdílných přístupů a softwarů DuctDesign a NX10. Metody elementů byly ověřeny a byly následně přidány i modely nové s nimiž je dosahováno vyšší přesnosti a to i díky okrajovým podmínkám a generovaným sítím. Autor se v další části zabývá simulací teplotních jevů a to zejména se zaměřením na FEA a CFD přičemž detailně mapuje metodiku modelování jevů.

Třetí experimentální část pro jasnou validaci a verifikaci dokazuje, jak měření slouží ke kontrole činnosti zařízení tak i dat pro další kontrakční úkoly. Srovnáním měřených a simulovaných dat, lze získávat další data a koeficienty. Z experimentů řešených v této kapitole byly studentem získávány koeficienty přestupu tepla, kontaktních odporů na styku ploch a charakteristiky chování stroje v tepelné zátěži.

V následující kapitole jsou již komplexně optimalizovány stroje HCW s cílem zvýšení teplotní stability. Pro tento stroj jsou identifikovány zdroje tepla – obecně, ložiska, převody, vedení, chlazení. V návaznosti na předcházející kapitoly jsou sestaveny základní odhady šíření teplotních polí. Následně byla definována síť makro-modelu a její ověření v rámci dalších výpočtů. Autor dále aplikuje virtuální prototyping a virtuální testování pro citlivostní analýzu pinoly, simulace sestavy vřeteníku, vyhodnocení přestávky stroje, vliv chlazení na vnějším ložení ložisek v pinole, a další analýzy. Autor následně v kapitole řeší oblast kompenzace a to jak přímo, tak softwarově.

V poslední kapitole student práci přehledně shrnuje a uzavírá.

Předložená disertační práce jednoznačně prezentuje striktně analytický a systematický přístup autora k řešenému problému. Vhodně zvolené metody, podmíněné vysokou odborností a znalostí disertanta, vhodně přispívají k splnění stanovených cílů. Dosažené výsledky, jak je jednoznačně dokázáno, představují významný přínos k řešené problematice v mezinárodním měřítku. Práce je velice přehledně a systematicky členěna a je formálně i jazykově na vysoké úrovni. Na úplný závěr práce autor představuje seznam svých dosavadních publikací, kde je naprosto zřejmé zaměření na publikace v rámci zahraničních konferencí a sborníků.

Konkrétní připomínky a dotazy na disertanta:

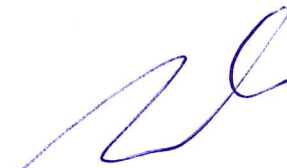
- Není-li výpočtová metoda s makro-elementy plnou náhradou metod MKP či CFD, existuje možnost jejich synergického užívání?
- Jaké jsou další perspektivy širšího využití výpočtové metody s makro-elementy pro konstrukci přesných výrobních strojů?

Na základě tohoto komplexního hodnocení

d o p o r u č u j i

předloženou disertační práci Ing. Václava MARKA s názvem „**Teplotní deformace obráběcího centra**“ k obhajobě dle §47 zákona č. 111/1998 Sb. a po úspěšném obhájení udělit jmenovanému akademický titul Ph.D..

V Plzni, dne 10.06.2021



doc. Ing. Martin Melichar, Ph.D.
Katedra technologie obrábění
Fakulta strojní
Západočeská univerzita v Plzni



Oponentní posudek disertační práce

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta strojní

Student DSP:	Ing. Václav Marek
Název disertační práce:	Teplotní deformace obráběcího centra
Studijní program DSP:	P2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Školitel:	Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.
Oponent:	Ing. Jiří Kubíček ŠMT, a.s. Plzeň

Obsah práce

Téma disertační práce se zabývá metodikou výpočtu teplotní stability obráběcího centra se zaměřením na horizontální vyvrtávací stroje. Zaměřena je na porovnání jednotlivých výpočtových metod, jejich možností teoretické predikce tepelné stability a deformací. Jako hlavní cíl si autor stanovil z úvodních teoretických rozborů připravit komplexní metodiku, která je dále optimalizována s ohledem na nízké náklady a vysokou přesnost výpočtu. Závěr práce, kdy jsou výpočty přeneseny na vřeteník a pinolu stroje HCW2 a výsledky porovnány s naměřenými hodnotami na reálném stroji produkce ŠMT vytváří vhodné předpoklady pro nasazení této metodiky v reálné praxi.

Teoretická část s praktickou ověřovací částí jsou v rovnováze. Prohloubeny byly nejen teoretické poznatky jednotlivých makro-elementů, porovnáním s CDF/FEM výpočty bylo realizováno i jejich zpřesnění. Výsledky byly implementovány do výpočtového softwaru DuctDesigner.

Aktuálnost tématu

Problematika teplotních deformací obráběcího stroje je aktuální v každé fázi životního cyklu stroje. Pro predikci chování jednotlivých konstrukčních uzlů nejsou k dispozici detailní postupy a návody pro ideální uspořádání. Správnost a kvalita takto navrhovaných uzlů je potvrzena až zkouškami v prototypové fázi stroje nebo složitými MKP výpočty s vysokou finanční náročností. Dosažené poznatky vytváří vhodný podklad pro prvotní návrhy a rozvahy stěžejních uzlů obráběcího stroje

nebo centra. Možnost ověření chování nového stroje ještě ve fázi virtuálního prototypingu přináší úsporu nákladů při stavbě prototypu a současně šetří čas jeho testování. Přínosem jsou rovněž uvedené směry možné kompenzace teplotních dilatací, zvláště vrtacího vřetena.

Postup řešení

Autor při řešení postupuje systematicky. V úvodní teoretické části jsou popsány základní postupy, detailně rozebrány dílčí výpočtové metody. Na rozborů navazuje představení metody výpočtu pomocí makro-elementů, která je detailně rozebrána a porovnána s přesnějšími metodami výpočtu. Navrženy jsou i korekce pro některé makro-elementy a tyto zaneseny do výpočtového softwaru. Pro srovnání reálných a výpočtových hodnot bylo správně navrženo a provedeno experimentální měření tepelných jevů na pasivním chladiči. Výsledkem je další zpřesnění simulačních výpočtů díky korekcím dotčených koeficientů a okrajových podmínek. Ověření metodiky a definice okrajových podmínek je provedeno i druhým experimentem – měřením na bubnu sušičky.

Stejná metodika simulace je následně aplikována na vlastní uložení vřetene horizontálního stroje HCW2. Porovnáním se skutečnými záběhy uložení vřetena bylo docíleno částečné shody. Odchytky jsou přičítány změně předpětí ložisek uložení, které jsou také ovlivněny nepřesnostmi výroby a montáže. Ze současně provedených měření teplotních dilatací je patrné, že je nutné se v největší míře zaměřit na délkovou dilataci vrtacího vřetena.

Následná analýza zdrojů tepla a prvků chlazení je provedena na celé pinole stroje HCW2. Na jejím základě je sestaven model uspořádání makro-elementů se vzájemnými vazbami. Tento matematický model je schopen rychlých výpočtů a přípravy dat pro případné kompenzace teplotních dilatací. Dalším stupněm těchto simulací byla příprava FEA modelu pinoly s aplikací okrajových podmínek zjištěných v předchozích kapitolách a analýzách.

Provedené simulace modelu celého vřeteníku, spolu s vyhodnocením jednotlivých přínosů a vlivů vytváří přehled, který zásah do konstrukce a provozu má přínos zásadní a který minimální.

Patentová rešerše známých kompenzací teplotních dilatací vrtacího vřetena a přehled dalších postupů kompenzací zahrnuje většinu dosud známých řešení. Oceňuji návrh nových variant např. implementaci 3D tištěného kompenzačního členu s negativní teplotní dilatací nebo aplikaci kompenzačního členu v řetězci výsuvu vřetena.

Význam pro rozvoj vědního oboru a praxi

Hlavní přínos disertační práce spočívá ve vytvoření širokého objemu poznatků simulací termomechanického chování stroje a jeho konstrukčních uzlů a jejich ověření s měřeními reálného stroje. Tyto poznatky lze dále využít jako základ pro konstrukční úpravy, které vedou ke snížení vlivu teplotních polí na přesnost stroje a proces obrábění. Identifikována byla hlavní místa, která významně ovlivňují přesnost stroje svojí reakcí na probíhající teplotní pole. To umožní se v budoucnu na ně detailněji zaměřit a jejich provedení dovést k větší dokonalosti.

Formální a jazyková úroveň

Grafická úprava disertační práce je dobrá, členění do jednotlivých kapitol odpovídá skladbě práce a posloupnosti řešení problematiky. Kvalita obrázků a souhrnných tabulek odpovídá standardům. Jejich číslování souhlasí s odkazy v textech. Psaný text obsahuje pouze několik překlepů.

Práce s informačními zdroji

Autor v přehledu uvedl množství domácích i zahraničních informačních zdrojů. Na jednotlivé zdroje se v textu odkazuje jak krátkými citacemi, tak pouhým odkazem, že podobná problematika byla řešena v dané publikaci. V přehledu jsou uvedeny jak tištěné publikace, tak odkazy na internetové články a jiné zdroje. V práci jsou efektivně využity podklady firmy ŠMT, především výsledky jednotlivých měření.

Publikační aktivity

Publikační činnost autora odpovídá významu zvoleného tématu, čítá celkem 11 příspěvků na různých zahraničních konferencích a symposiích a zahrnuje i další témata z příbuzných částí vědeckých činností, což svědčí o širokém záběru znalostí autora.

Poznámky a připomínky

K práci nemám žádné zásadní připomínky.

Na základě uvedeného hodnocení **doporučuji** předloženou Disertační práci k obhajobě a za předpokladu kvalitního zodpovězení doplňujících otázek a úspěšné obhajoby udělení studentovi DSP akademický titul

„Philosophiae Doctor (Ph.D.)“

Doplňující otázky:

1. Umožňují zmiňované simulace teplotního chování uzlů doplnění vlivu nepřesnosti výroby, montáže?
- 2.

V Plzni 10. 6. 2021

Ing. Jiří Kubíček

