

Oponentský posudek disertační práce

Téma: Vliv poddajnosti pohonů na samobuzené kmitání při obrábění

Autor: Ing. Jan Grau

Posuzovaná disertační práce se věnuje problematice modelování řezného procesu z hlediska stability obrábění. S ohledem na tradici výzkumu této problematiky v bývalém Československu, navazující rozvinutí teorie až do podoby komerčních produktů v Americe a znovuotevření vybraných témat výzkumu na pracovišti VCSVTT i jinde v posledních letech se jedná o aktuální téma, které si zaslouží pozornost jak výzkumníků tak odborné veřejnosti v průmyslové výrobě. Stabilita řezného procesu má zásadní vliv na produktivitu a kvalitu strojírenské výroby. V souvislosti s neustálým dynamickým vývojem řezných materiálů, obráběcích strategií a řezných geometrií představuje predikce mezních podmínek obrábění trvale žádané téma. Je třeba podotknout, že vývoj konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů v posledních desetiletích nezaznamenal žádný překotný průběh, pomineme-li krátká a neúspěšná období, kdy se objevily paralelní kinematiky a lineární motory. Hlavní inovace se odehrávali a odehrávají na poli servopohonů a řízení strojů. Z tohoto hlediska považují za žádoucí, aby se do zavedených metod a postupů posuzování vlastností CNC strojů a jejich vazby na řezný proces zahrnuly právě tyto oblasti.

Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Práce zahrnuje ucelený úvod do problematiky s odpovídajícím teoretickým podkladem. Analyzuje a kriticky hodnotí teoretické přístupy k posuzování samobuzeného kmitání při obrábění a seznamuje se základy regulace pohonů obráběcích strojů. V menší míře se práce věnuje softwarovým řešením a jejich přednostem a omezením, byť jsou na řešitelském pracovišti k dispozici. Ve zkratkovité podobě se řešeršní část práce věnuje také oblasti měrného řezného odporu, který představuje klíčovou neznámou při výpočtu řezných sil. V této části práce postrádám posouzení praktických přístupů k omezení vlivu samobuzeného kmitání – jak ze strany řezných nástrojů (například frézy s nerovnoměrnou zubovou roztečí, nebo zatlumené nástrojové držáky), tak ze strany strategií nabízených dnes již většinou výrobců CNC obráběcích strojů (řízená variace otáček nástroje, obrobku, nebo cílený přechod na jiné otáčky).

Teoretický přínos disertační práce

Práce aplikuje Laplaceovu transformaci a algebru blokových schémat na úlohy kmitání dvouhmotových mechanických systémů v rovině a jednohmotového systému v prostoru. Do modelů jsou zakomponovány regulace pohonů posuvů, respektive vřetena. Byl vytvořen matematický popis propojených modelů a simulační model. Parametry vytvořených modelů jsou naladěny pro dvě analyzované situace (operace zapichování na soustruhu a rovinné frézování na obráběcím centru). Teoretický přínos spatřuji v novém náhledu na problematiku posuzování dynamické poddajnosti jednotlivých skupin obráběcích strojů, která je rozšířena o vliv servopohonů. Získáváme tak věrohodnější model dynamického chování stroje při působení řezných sil. Omezením je pak řada zjednodušujících předpokladů.

Praktický přínos disertační práce

Posuzovaná disertační práce se z větší části věnuje teoretické oblasti ačkoliv její téma zní prvoplánově prakticky. Nicméně praktické ověření navrženého postupu není zcela opomenuto. Vybrány jsou ovšem pouze zjednodušené úlohy (zapichování a rovinné frézování). Omezení praktického ověření teorie je zdůvodněno nedostupností vhodných aparatur (vibrátor s dostatečným výkonem). Úspěšná praktická validace modelů vyžaduje pokračování dalších prací.

Autor se podrobně věnuje modelování vlivu regulačních konstant na velikost mezní třísky z hlediska stability obrábění. To považuji za přínosné zejména pro výrobce a dodavatele CNC obráběcích strojů, neboť jim to může pomoci posunout hranice produktivity u kritických technologických operací. Zobecnění v této práci získaných závislostí velikosti mezní třísky na regulačních konstantách by vyžadovalo rozsáhlejší výzkum. Zajímavé by bylo posoudit rozdíly u různých kinematických konfigurací strojů, například obráběcí centrum s křížovým stolem versus centrum s pojezdným stojanem.

Vhodnost použitých metod řešení

Použité metody řešení odpovídají úkolům vytyčeným v úvodu práce. V teoretické části je použit nový přístup založený na Laplaceově transformaci.

Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Praktické ověření výsledků je omezeno typově (jen vybrané technologické operace na konkrétních typech strojů) i rozsahově (absence vhodné aparatury schopné vybudit systém v dostatečném rozsahu frekvencí).

Zda doktorand prokázal odpovídající znalosti v daném oboru

Doktorand prokázal přehled v oboru číslicově řízených obráběcích strojů a dokázal využít svých odborných znalostí v oblasti regulace pohonů číslicově řízených strojů, jejich modelování a posouzení vlivů na celkové vlastnosti stroje. Výčet autorových publikací je skromný. Očekával bych větší počet publikací, které by přispěly k věrohodnosti autorových myšlenek a přístupů.

Formální úroveň práce

Práce vykazuje vysokou formální úroveň, je přehledně členěná, obrázky a schémata jsou jednoznačně popsány a přispívají k podrobnému vysvětlení řešené problematiky. V práci se vyskytuje malý počet překlepů a gramatických chyb.

Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Teoretické cíle disertační práce byly vytyčeny velmi ambiciózně. Jejich dosažení je přehledně dokladováno. Praktické cíle disertační práce jsou omezeny na vybrané zjednodušené situace. Jejich dosažení je opět dokladováno.

Závěr

Tato disertační práce přináší nový náhled na propojení vlivu mechanické stavby obráběcích strojů a regulace pohonů na stabilitu rezného procesu. Komplexnost tohoto pojetí je patrná zejména v teoretické oblasti. Vytvořený matematický aparát lze v budoucnu dále ověřovat a zpřesňovat na

základě aplikovaného výzkumu, který může zohlednit řadu praktických vlivů vyskytujících se při reálných procesech obrábění.

Práci doporučuji k obhajobě.

Otázky k disertační práci

- 1) Při hodnocení softwaru Metalmax – obr. 12 je vysloven předpoklad projevení dalších mechanických celků stroje na dynamickou poddajnost měřenou pomocí modálního kladívka. Na obr. 12 vpravo je ovšem měřen jen nástroj na trnu neupnutý do vřetene stroje. Ostatní mechanická stavba stroje se tak nemůže projevit. Je tedy posuzování tohoto případu softwarem Metalmax nedostatečné?
- 2) Výpočtem dle vzorce (27) na straně 31 vychází hodnota, která neodpovídá parametrům systému popsaného v kapitole 3.1. Chybná vypočítaná hodnota je pak i u vzorce (28). Můžete vyjasnit, s jakými hodnotami jste počítal?
- 3) Proč jsou v popisce k obr. 38 na straně 44 jsou uvedeny velmi malé hmotnosti neodpovídající realitě stroje?
- 4) Tabulky č. 7 a 8 uvedené na straně 79 obsahují řadu změřených mechanických parametrů posuvových os a vřetene. Uveďte s jakou nejistotou jste jednotlivé parametry změřil a jaký (řádově) vliv budou mít možné chyby měření na věrohodnost vytvořených modelů.
- 5) Na obrázku 121 (strana 106) jsou kromě třech popsaných průběhů mezní třísky pro různé K_{vx} , respektive K_{vy} vyneseny ještě čtvrté křivky. K jakým parametrům tyto křivky přísluší?

V Lysé nad Labem, dne 25.8.2021

Ing. Ondřej Svoboda, Ph.D.