

Posudek doktorské disertační práce

Autor disertace:	Ing. Jan Grau
Název práce:	Vliv poddajnosti pohonů na samobuzené kmitání při obrábění
Školící pracoviště:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Školitel:	doc. Ing. Pavel Souček, DrSc.
Studijní obor:	Konstrukční a procesní inženýrství
Recenzent:	prof. Ing. Jan Skalla, CSc., dříve (1994 – 2014) Katedra Výrobních systémů a automatizace, Technická universita v Liberci.

Předložená disertace (116 stran, 121 obrázků a diagramů, 15 tabulek) řeší vliv dynamiky pohonů posuvů NC obráběcích strojů na samobuzené kmitání při obrábění. Vznik samobuzených kmitů při obrábění je studován přes padesát let a základní popis je známý (Tlustý, Poláček, VÚOSO 1963 a další). Základní i pozdější práce ale většinou neuvažují vliv regulovaných pohonů, které tento jev ovlivňují. Zvolené téma je tedy mimo veškerou pochybnost potřebné a práce představuje užitečný příspěvek k řešení této problematiky.

Disertant navázal jednak na práce VÚOSO (bývalý Výzkumný ústav obráběcích strojů a obrábění v Praze), jednak na výzkum v rámci jeho školícího pracoviště – Ústavu výrobních strojů a zařízení Ú12135 a Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii FS ČVUT. Těžiště práce spočívá v propojení modelu řezného procesu, modelu poddajnosti pohonů posuvů a modelu poddajnosti vřetene a je ukázáno, že nastavení regulátorů pohonů nezanedbatelně ovlivňuje stabilitu obrábění

Autor práce si vytkl tyto cíle:

1. Stanovení modelu dynamiky NC stroje pro svislé frézovací centrum a pro soustruh.
2. Sestavení modelu křížového stolu s lineárními motory.
3. Porovnání dynamické poddajnosti hmoty na pružině a jednohmotového modelu posuvové osy s regulačním pohonem.
4. Nalezení obecného vztahu pro poddajnost n-hmotového modelu posuvové osy zahrnujícího mechanickou stavbu a regulační algoritmus.
5. Vytvoření modelu dynamiky mechanické stavby vřetene pro identifikaci a výpočet polárního diagramu přímé poddajnosti.
6. Aplikace získaných teoretických poznatků na vřeteno a příčný suport NC soustruhu.
7. Aplikace získaných teoretických poznatků na vřeteník a křížový stůl vertikálního frézovacího centra.

Konstatuji, že tyto **cíle byly dosaženy**.

Rozbor současného stavu problematiky (kap. 1) uvádí řadu přístupů k popisu vzniku samobuzených kmitů s jejich přednostmi a nedostatky. Autor konstatuje, že dosud nebyla provedena studie zahrnující do soustavy stroj-nástroj-obrobek vliv regulace pohonů. Pro potřeby tohoto rozboru jsou dále uvedeny základní modely regulace pohonů posuvů.

Teoretický přínos práce spatřuji v podrobném odvození modelů kombinujících popis stability řezného procesu s poddajností vřetene resp. vřeteníku a s poddajností regulačního pohonu posuvu. Modely jsou ověřeny a shoda s měřením na strojích je velmi dobrá, což

potvrzuje, že autorem zavedená zjednodušení jsou oprávněná. Zajímavé je, že matice poddajností jsou symetrické, což odpovídá obecné symetrii v přírodě dle Maxwella. Rozbor těchto záležitostí by ovšem dalece přesáhl rozsah disertace.

Praktický přínos práce je v rozboru vlivu nastavení regulace pohonů na stabilitu řezného procesu. Celkem očekávatelně se zvyšuje stabilita se zvyšováním zesílení rychlostního regulátoru (str. 105 obr. 119). Naproti tomu zvětšování zesílení polohového regulátoru stabilitu snižuje (str. 106 obr. 121 – vliv tlumení?). Jednoznačný přínos pro provoz nelze očekávat, protože sestavení a odladění modelů zatím nelze jednoduše algoritmizovat. Nicméně výše zmíněný rozbor je velmi užitečný pro rozhodování o nastavení parametrů regulátorů. Výborný nápad je výroba názorného modelu ploch přímé statické poddajnosti na 3D tiskárně (str. 62 obr. 54).

Metody řešení použité v disertaci odpovídají tématu a ke zvoleným postupům a jejich použití nemám připomínky.

Celkové práci hodnotím jako velmi dobrou. Navržené modely byly úspěšně ověřeny měřeními na strojích a výsledky práce jsou přínosem pro teorii a praxi v oboru NC obráběcích strojů. Práce je zpracována velmi pečlivě a našel jsem jen drobné nedostatky, které nemají vliv na správnost odvozených vztahů. Mám pouze několik připomínek:

- Přehled použitých veličin a jednotek by byl přehlednější při abecedním uspořádání resp. při uspořádání podle kapitol;
- Str. 14₆ a dále – mám za to, že síla jako vstup do regulačního obvodu není chyba – je to vstup poruchy, jehož použití je zde zcela oprávněné;
- Str. 22₂ – nepřesná formulace. Polohová regulace je samozřejmě schopná reagovat i při použití jiných typů regulátorů. Proporcionální regulátor se používá (téměř výhradně) zejména pro dosažení aperiodického dojezdu do žádané polohy;
- Str. 46⁷ a dále – nepřesná formulace. K nestabilitě vede (samozřejmě) také vysoké zesílení rychlostního regulátoru K_p – překročení meze stability;
- Str. 50 obr. 45 – ve větvi protielektromotorického napětí chybí derivace. U_e je úměrné rychlosti, nikoli poloze.
- Str. 51 – Druhý případ – mezní šířka třísky roste;
- Str. 67 obr. 57 – bloky „Impulse down“ by měly být spíše označeny „step up“ a „step down“;
- Str. 70 obr. 62 – souřadnice pohybu vřetene mají být x_v a y_v ;
- Str. 70 obr. 63 – výstup systému není y_1 ale $(y_1 + y_v)$;
- Str. 80 tab. 9 – jsou prohozeny hodnoty ve sloupcích K_v a K_p .

Mám tyto **dotazy k obhajobě**:

- Jak by vypadalo porovnání průběhu diagramu stability (otáčky x šířka třísky) pro klasický model a pro model s uvažováním dynamiky pohonu posuvů?
- Na str. 73¹⁰ je uvedeno poměrně nízké propustné pásmo proudové regulace (547 Hz). Čím je to způsobeno?

ZÁVĚR

Disertace bez výhrad splnila sledované cíle – byly sestaveny modely propojující dynamiku řezného procesu s dynamikou pohonu a s poddajností vřetene. Tyto modely byly jednotlivě ověřeny měřením na stroji.

V předložené disertaci autor přesvědčivým způsobem prokázal, že má schopnosti pro tvůrčí vědeckou práci, ovládá vědecké metody práce a má hluboké teoretické znalosti. Cíl práce byl splněn a obhajované závěry považuji za správné. Práce je přínosem pro rozvoj vědního oboru a splňuje podmínky stanovené pro doktorské disertace.

Doporučuji proto přijmout práci k obhajobě.

Disertace byla hodnocena podle současného stavu rozvoje vědního oboru.

V Ronově nad Doubravou dne 31. 7. 2021

Prof. Ing. Jan Skalla, CSc.