

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Inprocesní identifikace koeficientů řezných sil na stroji MCU 700
Jméno autora:	Michal Blažek
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní (FS)
Katedra/ústav:	Ústav výrobních strojů a zařízení
Oponent práce:	Jan Veselý
Pracoviště oponenta práce:	Wakemaster, s.r.o.

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Viz III.	

Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Viz III.	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Vložte komentář.	

Odborná úroveň	A - výborně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Viz III.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	B - velmi dobře
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Vložte komentář.	

Výběr zdrojů, korektnost citací	B - velmi dobře
<i>Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.</i>	
Viz III.	

Další komentáře a hodnocení
<i>Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.</i>
Viz III.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Představená práce si klade za cíl ověřit možnosti nepřímého měření řezných sil. Výchozím teoretickým podkladem se stává rešerše v oblasti modelování a měření řezných sil. Praktické ověření probíhá na pětiosém obráběcím stroji.

V úvodní části práce jsou vysvětlovány pojmy z teorie čelního a válcového frézování. Popisují základní kinematické a dynamické termíny a jsou doloženy odkazy na příslušné rešeršní zdroje. Zřejmě snahou o zkratkovitost jsou některé pojmy matoucí, např.:

- Rozklad sil na složky z kapitoly 3.2. U úvodu textu je uveden rozklad výsledné síly do celkem 6 složek. U složky F_a se ovšem jedná jen o průměty do jiných směrů (buď F_t a F_{tN} nebo F_c a F_{cN}).

V dalším rešeršní část představuje některé modely řezných sil, srovnává jejich výhody – nevýhody a možnosti použití. Modely jsou doplněny základními výchozími vztahy. Dominantní vliv na platnost modelů mají experimentální koeficienty zobecněné do veličiny měrné řezné síly. Bez doplnění modelů měření řezného procesu (především reálné průběhy řezných sil) zůstávají modely nevyužitelné prakticky. Závěr rešerše je proto správně věnován metodám měření řezných sil. Jsou uvedeny principy snímání sil a následně metody využitelné pro inprocesní měření sil, tj. přímo při procesu obrábění.

V kontextu předchozího odstavce hodnotím rešeršní etapu jako správně provedenou, logicky sestavenou s využitím vhodných zdrojů a relevantní pro řešení vlastního definovaného úkolu.

Pro dosažení cíle práce bylo provedeno několik zjednodušení, což je zcela v souladu se složitostí tématu řezných sil a možností rozsahu bakalářské práce. Zcela v pořádku je tak kondenzace obráběcího procesu pouze do roviny XY a měření momentotvorných proudů jen na C ose pětiosého stroje. Je navržena též triviální náhrada průběhu modelovaného momentu – lineárním modelem. Pro způsob identifikace z měřených data byla zvolena metoda nejmenší čtverců (MŇČ).

Samotný experiment pro získání vstupních dat do procesu identifikace modelových parametrů byl navržen vhodně. Nemá za cíl pouze sběr dat pro identifikaci, ale zároveň poskytnout data pro zpětnou verifikaci finálního modelu. Testy byly provedeny se zařazením dynamometrů, aby bylo možno nasnímat přímo síly z procesu obrábění.

Naměřené soubory dat ve spojení s navrženým modelem řezných sil a provedenou identifikací pomocí MŇČ poskytly měrné řezné koeficienty. Výpočtový program – technologická kalkulačka - po dosazení zjištěných koeficientů, simuloval průběhy řezných sil. Grafické výstupy simulací byly porovnány s výstupy z dynamometrů v odpovídajících sekvencích měření.

Je zřejmé, že porovnání nedosahuje dobré shody. Zvláště velká citlivost modelu byla prokázána na ofsetu měřeného proudu. Samotná snaha nalézt korekční ofset již nemůže být považována za vhodnou, protože navržená metodika tím ztrácí možnosti zobecnění. Určitá doporučení k tomuto problému zmiňuji dále.

Důležité je, že autor práce zachoval kritický úsudek a nesnažil se výstupy dále „zkrášlovat“. Naopak se snažil popsat a vytýčit možné směry ke zpřesnění modelů. Práci autora hodnotím vzhledem k výše uvedenému jako příkladnou.

Předložená bakalářská práce svou systematičností a důsledným udržením vytýčeného tématu otvírá možnosti pro další rozpracování řešené problematiky. Dovoluji si závěrem připojit vlastní připomínky pro případné pokračování:

- Zjistit a zapracovat do modelu závislost mezi momentotvorným proudem a skutečným momentem na rotoru motoru. V literatuře uváděno jako momentová konstanta. To je ovšem zavádějící, viz např. závislost na teplotě, vliv coggingu, nelinearita v rozsahu celého zátěžného spektra.
- Využít přeurčenosti měření a tím zpřesnit metodu identifikace. Bude možno měřit moment i na pohonu kolébky (osa A), moment na vřetení (osa C). Testovací trajektorii navrhnout prostorovou s využitím maximálních rozjezdů.
- Uvažovat dynamický model pohonu včetně regulačních vazeb, kterým lze dále zpřesnit převod od momentotvorného proudu k akčnímu momentu na výstupu z pohonu.
- Přejít na modelové náhrady vyšších řádů

Dotazy:

- 1) Jedním z testovacích nástrojů byla monolitická fréza se šroubovitým stoupání ostří. Navržené modely však toto stoupání nereflektují. Jaký vliv to případně může mít na výslednou validitu modelu?
- 2) Na obr. 34 je vidět rozptyl momentu cca 20 Nm (pokud předpokládám dobře, hodnoty na vertikální ose jsou v [Nm] – není uvedeno). Je amplituda tohoto rozptylu daná pouze proměnným momentem v důsledku rotace nástroje a případný model řezných sil vyššího řádu by tento rozptyl správně simuloval? Jaké další vlivy by se zde mohli uplatnit?
- 3) Na grafech srovnání průběhů měřených a simulovaných sil (obr. 37 – obr. 40) je vidět periodická změna ve velikosti amplitudy průběhů měřených sil. Naproti tomu simulace demonstruje konstantní amplitudu v průběhu času. Čím je tento efekt, který model nedokáže zachytit, způsoben?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

Datum: 21.8.2022

Podpis: