



Fakulta strojní ČVUT v Praze,
Oddělení pro vědu a výzkum,
Technická 4,
166 07 Praha
prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.

Oponentní posudek doktorské disertační práce

Název práce: Predikce silových parametrů řezného procesu při frézování

Autor: Ing. Jaroslav Kovalčík

Školitel: prof. Dr. Ing. František Holešovský

Školitel specialista: Ing. Pavel Zeman, Ph.D.

Studijní obor: Strojírenská technologie

Školící pracoviště: Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze

Oponent: prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

Pracoviště: Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Vyjádření k aktuálnosti tématu disertační práce:

Modelování řezné síly a z ní odvozeného výkonu a krouticího momentu umožňuje charakterizovat aktuální zatížení vřetene obráběcího stroje a vede technology v praxi k rychlé a správné volbě vhodného typu nástroje a parametrů řezného procesu.

Frézování patří k nejkomplicovanějším procesům obrábění, ať už z pohledu obráběcího stroje a nástroje, tak i co do rozsahu tvarů, které je touto technologií možné vyrobit. Znalosti silových účinků tak lze využít nejen pro dimenzování těchto prvků soustavy obrábění, ale mohou vést prostřednictvím mapování tepelných a energetických jevů k celkové ekonomicky výhodné realizaci procesu.

Vzhledem k tomu, že realizovaná softwarová aplikace umožňuje nejen všechny vypočtené položky ukládat, ale vytvářet si i vlastní databáze strojů, nástrojů a materiálů, považují výsledky předložené disertační práce za přínosné a vysoce aktuální.

Vyjádření ke splnění stanovených cílů:

Cíle, které si doktorand vytýčil, byly rozsáhlé, náročné na zpracování výsledků a plně odpovídaly významu, který problematika predikce silových parametrů a zatížení vřetene obráběcích strojů při frézování na současném stupni vývoje představuje a která může výrazně přispět k technologickému vývoji dané oblasti obrábění.

Pro splnění těchto cílů musel doktorand nabýt značného množství teoretických znalostí, což se projevilo jak při zpracování teoretické části disertační práce, tak v přehledné realizaci její praktické části, především při získávání potřebných dat z experimentálních měření.

Za velmi vhodnou považují snahu o zobecnění navrženého modelu pro aplikaci nástrojů s různou řeznou geometrií, s různým počtem zubů v záběru a v různém stavu opotřebení břitu. Tím se výsledky ještě více přiblíží podmínkám skutečného nasazení nástroje v průmyslových podmínkách. Mohu tedy konstatovat, že stanovených cílů bylo dosaženo.

Vyjádření k úrovni rozboru současného stavu řešené problematiky:

Teoretická část práce, prezentovaná především kapitolou 2, představuje přibližně pětinu předložené disertační práce. Je dokladem o propracovanosti tématu, což se odráží v rozsáhlé citaci publikačních zdrojů s velkým akcentem na vlastní přínos v souvislosti s účastí na tématicky zaměřených výzkumných zprávách. V dostatečném počtu se vyskytují i zahraniční zdroje, i když zaměření na frézování se vyskytuje v omezeném počtu.

Vhodným způsobem jsou popsány souvislosti s modelováním a simulací procesu frézování i shrnutí vhodnosti využití těchto metod pro zkoumaný proces predikce silových účinků při frézování.

V teoretické části práce se vyskytují drobné nepřesnosti (např. nepřesné zakótování radiální hloubky řezu a_e v obr. 1 na str. 10), menší je vypovídací schopnost grafů v kapitole 2.4 pro absenci hodnot na jednotlivých osách a netradiční je rozdělení na frézování nepřerušeným a přerušeným řezem.

Vyjádření k postupu řešení a k výsledkům disertace:

Hlavní ambicí kapitoly 4 bylo navržení matematického modelu pro výpočet řezné síly pro případ frézování s využitím frézovací hlavy. Postup výpočtu je názorný, mnohdy také doplněn o vysvětlující obrázky. K této kapitole jen několik připomínek:

- Vzhledem k tomu, že především v kapitole 4.3 se nevyskytují odkazy na použitou literaturu, lze to chápat také tak, že tato část disertační práce je plně prací autora?
- V kapitole 4.3 se operuje s pojmy aktuální, počáteční a koncový úhel působení zaoblené části břitu (θ , θ_{st} , θ_{ex}), přičemž nikde nejsou tyto úhly graficky zakresleny.
- V provedeném výpočtu není zjevné, proč byl pro vyjádření vlivu řezné rychlosti na zpřesnění výpočtu měrné řezné síly využit tvar rovnice 44.

Hlavní podíl experimentální části práce je zahrnut do kapitoly 5, ve které je popsán postup získání materiálových konstant pro tři vybrané obráběné materiály. Výsledky jsou přehledně shrnuty v závěru kapitoly. Shrnující průběhy závislosti měrné řezné síly na posuvu a úběru materiálu spolu s energetickou náročností řezného procesu v obr. 48-50 jsou velmi zajímavé z pohledu dílčích použitých materiálů. Jejich vzájemné porovnání je ale diskutabilní vzhledem k použití odlišných řezných rychlostí.

- V kapitole 5.5.1 jsou mezi hlavní faktory (A, B, C) zařazeny axiální hloubka řezu a_e , posuv na zub f_z a řezná rychlost v_c (viz tab. 3 na str. 54), v kapitole 5.7.1 už jsou ale mezi tyto hlavní faktory zařazeny řezná rychlost, šířka a tloušťka odřezávané vrstvy. Je to totéž jako posuv na zub?
- Proč byla délka obrábění 4 mm a poté destička vyměňována a kontrolována kvůli opotřebení?
- Proč byly zvoleny v rámci plánu experimentu právě 4 středové body?

- Lze předpokládat, že experimentální frézování pro získání materiálových konstant bylo prováděno čelním frézováním podle obr. 34 na str. 56?

V 6. kapitole bylo nejprve prověřeno úspěšné porovnání průběhu řezných sil vypočtených a experimentálně zjištěných. Významné shody bylo dosaženo rovněž při ověření středních hodnot řezné síly na záběr pro 1 zub vypočtených dle modelu s uvažováním vlivu zaobleného ostří. V dalších kapitolách pak byla prověřena oprávněnost využití matematických modelů i pro nástroje s různou geometrií, s různým počtem zubů v záběru, pro obrábění materiálu (oceli) rozdílné pevnosti a s ohledem na opotřebení na hřbetě nástroje.

Vyjádření k významu pro praxi a rozvoj vědního oboru:

Výsledky, prezentované v disertační práci, lze považovat za velmi přínosné pro vědu i praxi, neboť přinášejí cenné informace o možnostech predikovat silové parametry řezného procesu při frézování s využitím frézovacích hlav. Zobecněný matematický model a na jeho základě vytvořená softwarová aplikace umožní v praxi snáze volit vhodné typy nástrojů a rychle stanovovat potřebné parametry obráběcího procesu. Takto získaná data mohou vést následně ke sledování energetické náročnosti a dosažení vyšší produktivity lepší vytižeností stroje. V práci uvedené výsledky tedy naznačují značné možnosti reálného využití v praxi.

Vyjádření k formální a jazykové úrovni práce:

Formální stránka práce je na velmi dobré úrovni. Textová část nepostrádá logickou návaznost, práce je podložena množstvím grafických výstupů. Totéž lze konstatovat i směrem k předloženým tezím, kde však postrádám stručný odborný životopis uchazeče.

Připomínky k formální úrovni:

- Některé použité symboly nejsou uvedeny v Seznamu zkratk, značek a symbolů (F_{fN} , K_p , R_m , F_{c1b} , F_{f1b} ...). Totéž platí pro výrazy v obr. 2, rov. 11, 17, 47. Některé z nich nejsou v textu ani vysvětleny.
- V textu uváděné jednotky je dobré psát na jednom řádku s hodnotou veličiny (Obr. 7, 1 mm, 175 (190) HB, 200 HV10, 640 MPa).
- V textu se vyskytuje posuvová rychlost v jednotkách mm/ot.
- K nalezení jsou i netradiční výrazy (střední úhel nastavení), nepřesná terminologie (řezná hrana vers. ostří, břit řezné hrany, opotřebení břitu řezné hrany).
- Obr. 59 a) na str. 84 je nejednoznačný.
- Průběhy grafů na obr. 61 a 63 mi připadají stejné. Má to tak být?
- Na obr. 69 je znázorněna fréza se 6 VBD, v tabulce je uvedeno 9 VBD.
- Součet úhlů na VBD v obr. 69 musí být 90° . Na destičce je úhel $\gamma_0 = 0^\circ$.

K jazykové stránce práce:

- Není vhodné psát osamocené souhlásky a samohlásky na konci řádku.
- Drobné jazykové nuance měřicí vers. měřící.
- V textu se vyskytují drobné chyby či překlepy a chybějící písmena.
- V textu se objevují i věty typu: „Posuv na zub (f_z) byla nejprve zvolena ...“, „Na základě silového rozkladu uvedeným na Obr. 34 ...“, „... hodnota řezné rychlosti v_{cdef} je odpovídá ...“.

Dotazy k předkládané práci:

1. Celá řada modelů predikce řezných sil je uváděna pro soustružení. V čem doktorand vidí největší rozdíly mezi modely s ohledem na frézování?
2. Proč se používá pro posouzení vlivu řezné geometrie právě úhel čela γ_0 ? Kde se na destičce nalézá? Jak se s jeho proměnlivostí, především v oblasti zaoblení bříty, vypořádá matematický model?
3. Silové poměry jsou v disertační práci popisovány vzhledem k nástrojové geometrii. Jak se budou měnit s přechodem od nástrojové geometrie ke geometrii pracovní? Jak bude toto silové zatížení reagovat na dynamické změny související s rozdílným prvním kontaktem destičky s obrobkem ovlivněným dalšími geometrickými poměry při frézování, především ostatními úhly čela a úhlem záběru (vstupu) mezi nástrojem a náběhovou hranou obrobku?

Závěr:

Předložená disertační práce řeší aktuální problém související s problematikou predikování silových parametrů řezného procesu při frézování. Doktorand zpracováním disertační práce prokázal, že ovládá experimentální výzkumné metody a je schopen řešit složité technologické problémy. Navržené cíle práce byly splněny a dosažené výsledky jsou použitelné pro praxi i jako podklad pro další výzkum v této oblasti.

O erudici doktoranda svědčí jeho bohatá publikační činnost. V jeho aktivitách, které se soustřeďují především do oblasti zaměření jeho disertační práce, se odráží dlouholeté pedagogické a vědeckovýzkumné zkušenosti jeho školitele i školitele specialisty.

Na základě shora uvedených skutečností a v souladu s §47 Zákona č. 137/2016 Sb. o vysokých školách **doporučuji** disertační práci Ing. Jaroslava Kovalčíka k obhajobě a po jejím úspěšném absolvování udělení vědecké hodnosti Ph.D.

V Ostravě, 26. března 2020

.....

prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

oponent