

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

| | |
|-----------------------------------|--|
| Název práce: | Metody pro stanovení výrobní přesnosti CNC frézky a aplikace vybrané metody |
| Jméno autora: | Jana Kulichová |
| Typ práce: | bakalářská |
| Fakulta/ústav: | Fakulta strojní (FS) |
| Katedra/ústav: | Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie |
| Oponent práce: | Ing. Pavel Zeman, Ph.D. |
| Pracoviště oponenta práce: | ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení |

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

| Zadání | náročnější |
|--|-------------------|
| <i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i> | |
| Práce se zabývá analýzou přesnosti obráběcích strojů včetně provedení vlastního experimentu na jednom konkrétním stroji. Autorkou byly nejprve analyzovány zásady a normy testování obráběcích strojů vč. přehledu používaných zkušebních artefaktů. Následně byl navržen vlastní (modifikovaný stávající) artefakt, na kterém bylo provedeno měření přesnosti tříosé CNC frézky. S ohledem na šíři problematiky, komplexnost tématu vč. provedení a vyhodnocení vlastního experimentu a jeho vyhodnocení spatřuji zadání jako náročnější. | |

| 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> | |
| Práce splňuje zadání v plném rozsahu. V práci vytyčené cíle byly dosaženy. | |

| Zvolený postup řešení | správný |
|---|----------------|
| <i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i> | |
| Postup řešení je správný a logicky dobře stanovený. V určitých pasážích postrádám hlubší analýzu problematiky. Například hned v kapitole 1 „Přesnost obráběcích strojů“ je popis pouze vlivu údržby na přesnost stroje, přestože studentka údržbu stroje ve své práci neřešila. Nejsou zde definovány nebo alespoň zmíněny zásadní faktory výrobní přesnosti stroje jako např. jeho disponibilní přesnost (deklarovaná výrobcem), přesnost polohování, opakovatelnost najetí, vliv regulace pohonů, nastavení interpolátoru, teplotní deformace a jejich softwarové kompenzace, apod. Naopak mi s ohledem na zaměření práce nepřijde jako důležitý v práci provedený detailní a ucelený přehled zkoušek přesnosti strojů (např. i se zkouškami hluku). S ohledem na zaměření práce na obrobení a analýzu testovacího artefaktu by měl být podle mého názoru v části teoretického rozboru popis více orientován právě na přesnost strojů, definici parametrů přesnosti a geometrických chyb a jejich potenciálních zdrojů. | |

| Odborná úroveň | C - dobře |
|--|------------------|
| <i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i> | |
| Odbornost práce, využití znalostí získaných studiem a z literatury jsou na dobré úrovni. Nicméně řada definic a vyjádření autorky nejsou zcela přesné a úplné. Například v kapitole 2.3 Určení tepelných vlivů autorka uvádí, že „Jelikož se při frézování zuby frézy střídavě střetávají s materiálem, tak zde dochází k nekontinuálnímu zahřívání řezných hran třením, čas, kdy zub odebírá materiál je dán úhlem záběru a daným procesem frézování.“ To je sice pravda, ale teplotní deformace stroje jsou zpravidla ovlivněny spíše kontinuálním tokem tepla do jeho struktury a jednotlivých částí než dynamikou teplotních jevů při procesu samotném. Navíc tvrzení, že „Deset procent tepla, které při obrábění vzniká, přechází do obrobku, deset procent jde do nástroje a osmdesát procent okamžitě odchází s třískou.“ je výrazně zjednodušené neboť (i) určité množství tepla je odebráno i okolním prostředím; (ii) uvedené podíly se mění s pracovními podmínkami, teplotní vodivostí použitých materiálů, řezným | |

prostředím, apod. Zcela je zde opominuto deformační chování stroje od zdrojů tepla, které nejsou spojeny s obráběcím procesem (externí agregáty, pohony, teplota prostředí ve kterém stroj pracuje, atp.).

Zavádějící je tvrzení v kapitole 3.4, pakliže text „Konvenčně se válcový obrobek s relativně velkým průměrem obrobí soustružením na velkém číslicově řízeném soustruhu vertikálního typu. Mezi typické příklady takového obrobku patří válcová část pláště v tryskovém turbínovém motoru letadla. Artefakt je Obrázku 38.“ doprovází foto pracovního prostoru pětiosé frézky s upnutým rotačním polotovarem.

Některá tvrzení jsou až nesrozumitelná, jako např.: „Ve srovnání má artefaktů NAS 979 podstatně vyšší celkovou nejistotu a systematické chyby s tím spojené.“

Autorka používá méně odbornou obecnou terminologii a výrazy z oboru technologie obrábění:

- norma je anglicky standard ne „norm“.
- „měnič nástrojů“
- „obětované řezy“
- „rovnoběžnost je přesná“ apod.

Není zcela dobře vyjádřeno, jak vlastně výroba a měření zkušebních artefaktů slouží pro rozhodnutí o tom, jestli stroj obrábí přesně nebo ne. Také motivace proč bylo třeba jeden ze stávajících artefaktů upravit do vlastní podoby. Vyjádření „Bylo potřeba doplnit prvky, abychom byli schopni měřit i další přesnosti, např. lineární interpolaci, k tomu jsem brala inspiraci z NAS 979.“ není přesné. Na artefaktu NAS 979 je možné měřit vliv lineární interpolace. Také by bylo vhodné v práci zmínit všechny prvky, které bylo třeba na artefaktu NAS 979 změnit, aby byl vytvořen vlastní dílec.

Experiment není kompletně specifikován. Postrádám bližší specifikaci rozměrů zkušebního artefaktu (např. formou výrobních výkresů v příloze práce) a specifikace akceptovatelných geometrických tolerancí pro daný stroj. Dále by bylo vhodné lépe popsat výchozí stav a experiment pro obrobení artefaktu – např. všechny použité nástroje a jejich vyložení, nástrojových upínačů, typ a koncentrace procesní kapaliny a základní nastavení stroje (zrychlení os, režim obrábění, apod.).

Nejsou zcela dobře zdůvodněny vlivy na měření vysokých hodnot rovnoběžnosti a přímosti některých ploch.

Postrádám shrnující tabulku pro naměřené geometrické tolerance tvaru, podobně jak to autorka uvedla pro naměřené rozměry.

Nebyl-li před obráběním změřen reálný průměr dokončovacího nástroje a jeho přesná délka a tyto korekce nebyly použity pro obrábění artefaktu, ztrácí vyhodnocení rozměrové přesnosti dílce vypovídací hodnotu.

Závěr práce v některých pasážích ne zcela odpovídá tomu, co je v práci samotné – viz. „Nepřesnost válcovitosti byla způsobena nedostatečným odvodem třísek při obrábění. Tyto třísky ve spodní části válcové díry zanechaly hmatatelné „škody“. Jaké „škody“? Proč nebylo nafoceno a v experimentální části práce diskutováno? Autorka v samotném textu správně zmiňuje, že vliv mohl být i ve stavu pohybových skupin stroje. V závěru to již zmíněno takto nebylo.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

D - uspokojivě

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Formální a jazyková úroveň je uspokojivá. S ohledem na typ závěrečné práce je v ní obsaženo větší množství chyb a nedostatků různého charakteru.

Jazykové nedostatky, jako např.:

- název práce na prvním listu není ve shodě se zadáním práce;
- „při přípravě CAM programu a s vlastním **obráběním**“; „k tomu se musí chápat **celkového** fungování obráběcího stroje“; „Tepelné vlivy z **působené** různými“; „**Zaznamenání sílu** a odečet posunutí“; „**třísky zanechali**“ a mnoho dalších;
- kombinace přítomného a budoucího času při popisu;
- chybějící tečky na konci vět – viz. např. konec odstavce s odrážkami na str. 12. nebo str. 15 a další;
- chybějící slovesa ve větách, jako např. „Minimální radiální vzdálenost dvou soustředných kružnic ohraničující dvě skutečné dráhy“ nebo „Zkoušky v technické normě ISO 230 se snaží analyticky hodnotit jednotlivé parametry, ale často prováděny za podmínek neodpovídajících podmínkám v provozu“, aj.;

formátování, strukturování a čitelnost, např.:

- nejednotné formátování např. „Analyzování výsledků“ str. 15 a 16
- Obr. 2 by měl být umístěn v podkapitole u popisu zkoušky;
- některé grafické prvky v práci jsou hůře čitelné, jako např. Obr. 3, Obr. 4 aj.;

- různé typy formátování textu – viz. str. 44 kapitola 2.7.4;
- při popisu experimentu by bylo vhodnější využívat trpný rod a tedy např. namísto „aby se celý artefakt obrobil načisto“ použít „celý artefakt byl obroben načisto“;
- způsob prezentování provedené strategie, jak je uvedeno na Obr. 43, je nevhodný a nesrozumitelný;
- v tab. 4 chybí jednotky uvedených rozměrů a je zde navíc překlep v hodnotě 68,863 a nakonec by bylo třeba zjištěný rozdíl opatřit znaménkem, aby bylo zřejmé, zda se jedná o větší nebo menší rozměr než jmenovitý;
- atd.

svědčí o nižší pečlivosti autora nebo nedostatku času při zpracování a finalizování práce.

V práci tohoto typu není vhodné podle mne odkazovat na vlastní nepozornost a chybu způsobem:

„Bohužel nepozorností nemám v Obrázku 63 u jedné dvojice zvolenou toleranci, proto je hodnota vyznačena červeně.“
Pakliže byl autorkou zjištěn tento nedostatek, měl být dodatečně opraven ještě před odevzdáním práce.

Práce je spíše většího rozsahu pro tento typ závěrečné práce.

Výběr zdrojů, korektnost citací

C - dobře

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.

Zdrojů je v práci použit spíše menší počet. Převážně jsou charakteru citovaných norem nebo odkazů na webové stránky. Především v pasáži přesnost obráběcích strojů, určení potenciálních zdrojů nepřesnosti jeho práce a vysvětlení pozorovaných jevů by mohly být použity a citovány údaje od výrobců obráběcích strojů a odborná literatura (i např. VŠ skripta). V případě stanovení vlivů procesu na nepřesnost stroje vlivem teplot by pro vysvětlení jevů bylo dobré využít jako zdroj odbornou literaturu, případně vysokoškolská skripta namísto odkazu na webovou stránku. Autorkou použitý odkaz je navíc nefunkční.

Citace jsou zpracovány v zásadě korektně. V řadě případů však (u textových pasáží textů, stejně jako u obrázků) uvedení zdroje zřejmě chybí (např. Obrázek 4, Obrázek 5, Obrázek 6, Obrázek 10 aj.?). Jinde jsou zase uvedeny zmatečně – např. Obrázek 2 [3] v textu však uvedeno: „Nastavení pro zkoušku je znázorněno na Obrázku 2. [2]“.

Další komentáře a hodnocení

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.

Nemám další komentáře.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Z výše uvedeného hodnocení vyplývá, že z celkového pohledu práce naplňuje požadavky kladené na tento typ závěrečných prací.

K práci mám následující dotazy:

- 1) Jaký je smysl a způsob použití zkušebního artefaktu pro kontrolu přesnosti obráběcího stroje?
- 2) Proč bylo třeba upravit existující artefakt do vlastní podoby? Uveďte všechny prvky, kterými se odlišoval od NAS 979 standardu se zdůvodněním potřeby daných úprav.
- 3) Jakou strategií byla obráběna a jak byla na CMM vyhodnocována plocha vzniklá při interpolacích stroje v osách X-Z a Y-Z?
- 4) Jaké vlivy mohly kromě přesnosti samotného stroje ovlivnit přesnost tvaru a rozměru artefaktu?
- 5) Je možné popsat, jaké „škody“ byly identifikovány na dně válce dílce a proč byly tyto škody přisouzeny „hromadění třísek a jejich nedostatečnému odvodu“, přestože bylo využito záplavové chlazení procesu s vysokým čistícím účinkem?



POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře.**

Datum: 24.8.2021

Podpis: