

Oponentní posudek disertační práce

Téma: „**Návrh metody výpočtu výchozího povrchu brusného nástroje pro ostření šnekových odvalovacích fréz**“.

Autor: Ing. Aneta **MILSIMEROVÁ**
Doktorský studijní program: P2031 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303V004 - Strojírenská technologie – technologie obrábění

a) zhodnocení významu pro obor:

profil zubů fréz pro odvalovací způsob výroby ozubení má zásadní význam na přesnost profilu boků zubů (evolventy) ozubených kol, tím i na únosnost a dynamiku chodu soukolí. K zajištění plynulého frézování zubů OK je nezbytné, aby čelní plochy řezných hřebenů nástroje (OF) byly vyrobeny ve šroubovici.

Doposud je tvarování brusného nástroje pro vyostřování OF prováděno převážně empiricky, což je zdlouhavé a značně náročné na zručnost pracovníka CNC ostříčky. Disertační práce je zaměřena na analyticko-geometrické řešení funkčního profilu korundového brusného kotouče, určeného k vyostřování čel zubů HSS řezných nástrojů určených pro výrobu ozubení, s cílem dosažení požadované třídy (AA, A) přesnosti rovinnosti čela zubu $hw \leq 0,02\text{mm}$ ve funkční délce výšky profilu zubu hřebenu při dodržení úhlu čela $\gamma = 0^\circ$. Při reálném frézování zubových mezer kotoučovou úhlovou frézou, tím jednotlivých zubových hřebenů ve šroubovici, dochází vlivem geometrie a rozměrům úhlové kotoučové frézy k odvalování, což se projeví na konvexním (vypouklém) tvaru plochy čela. Tento vypouklý tvar se musí broušením odstranit. Z tohoto pohledu je úloha nejen teoreticky velmi zajímavá, ale zároveň matematicky i softwarově velmi náročná a navíc pro praxi velmi důležitá. Autorka DP provedla zároveň experimentální ověření použité graficko-početní metody implementované v 3D CAD na konkrétní OF.

b) hodnocení postupu řešení:

DP má chronologickou osnovu, na úvod je provedena krátká rešerše současných trendů v broušení složitých prostorových ploch na bruskách i se 7- mi současně řízenými osami včetně pečlivě utajovaných (know-how) softwarových vybavení 3D CAD/CAM systémů, (např. programování beze slov od fy Okamoto). V úvodu krátce zhodnotila přístupy k řešení problematiky broušení tvarově složitých ploch na světové úrovni a krátce popsala:

- a) matematický model pro PC ovládané programování tvaru brusných kotoučů;
- b) geometrické modelování tvaru br. kotouče ;
- c) vícekrokovou metodu pro komplexní řešení profilu br. kotouče pomocí softwaru Matlab;
- d) automatické generování profilu br. kotouče pomocí rozhraní Catia/Visual Basic;
- e) metodiku výpočtu korekce zubu pro ostření šnekových OF;

Cílem DP bylo vyřešit množinu bodů, průběh obecné křivky záběru dvou těles (šroubové plochy čela hřebenu OF versus funkční „kuželová“ plocha obvodového brusného kotouče a to v rovině kolmé na stoupání řídicí šroubovice), které jsou ve vzájemné kinematické vazbě, (natáčení + posuv válce – rotace úhlového rotačního tělesa).

K řešení zvolila matematický model vycházející z teorie grafické metody řezných rovin a diskretizace hledaného profilu br. kotouče, tzn. proložením rovnoběžných rovin kolmých na rovinu kolmou na stoupání řídicí šroubovice vyšetřila průniky množiny kružnic funkční části brusného kotouče s jednotlivými body povrchu čela zubu v dané řezné rovině, čímž získala množinu průsečíků, které leží na povrchu (stýčné body) hledaného, proloženého 3D spline profilu br. kotouče. Na základě znalostí analytické a diferenciální geometrie a použití poměrně složitě matematického popisu dle navrženého vývojového diagramu výpočtového modulu šroubovitěho průběhu čel zubů OF, získala křivku průniků každé řezné roviny a

šroubové plochy čel. Navrhla makro (podprogram) implementovaný do 3D CAD Catia V5, takže získala graficko-početní model, pro konkrétní šnek. frézu (da, df, P, L), automatického zpracování konstrukce parametrického modelu geometrie OF versus tvar brusného kotouče. Pro aplikaci parametrických rovnic vytvořila parametrický model generování jednotlivých bodů profilu brusného kotouče na PC.

Ověření přesnosti matematického modelu profilu brusného kotouče provedla na konkrétní OF $m=7$, $\alpha = 20^\circ$. Z důvodu absence postprocesoru na ostříčce Schütte, bylo tvarování zvoleného korundového br. kotouče provedeno operací soustružením na CNC soustruhu DMG Mori CTX Beta 1250 TC s dia plátkem. Tuto technologii orovnění však považují za nešťastné řešení, což se odrazilo v dosažené rovinnosti čela zubu v délce výšky profilu $hw = 0,05$ mm.

c) stanovisko k výsledkům DP:

autorka DP chronologicky přistoupila k zadanému úkolu. Především oceňuji její přínos v originálních, elegantně řešených výpočetních modulech vyšetřování obecného průběhu křivky funkční části brusného kotouče ve vazbě na plynulou čelní šroubovou plochu hřebenu OF s max. rovinností činné výšky zubu do $hw \leq 0,02$ mm. Vlivem aplikované technologie orovňávání, nebyla zajištěna účinná hloubka drsnosti povrchu br. kotouče, a proto při experimentální ověření vypočtené trajektorie funkční křivky, došlo k silnému reznému odporu a zalepení brusného kotouče, což se odrazilo ve výsledné rovinnosti čel zubů.

d) formální, štábní úroveň DP:

obsahově a graficky je rozsáhlá práce velmi pečlivě a přehledně zpracována, proložená řadou barevných grafů, fotografií, obrázků (93), skic, tabulek, což zvyšuje její vypovídací schopnost a čtivost. Navíc formou 10 příloh jsou uvedeny důležité detailní informace týkající se vlastní rozsáhlé teoretické i experimentální části výzkumu. Vlivem značného objemu, rozsahu práce (93 str.), se autorka nevyhnula překlepům „rádií“ – radiusů na str. 76; „shutte“ na str. 82 (správně – Schütte), „odlazení“ str.55 – odladění programu, ...

e) publikační činnost autora:

doktorandka čerpala info ze 32 zdrojů, jak z domácích tak z impaktovaných zahraničních časopisů, odborných článků a příspěvků. Celkem publikovala 5 prací vztahujících s k řešenému tématu, 1x poster, dále je spoluautorkou 28 prototypových funkčních vzorků a 9 ověřených technologií.

f) hodnocení oponenta:

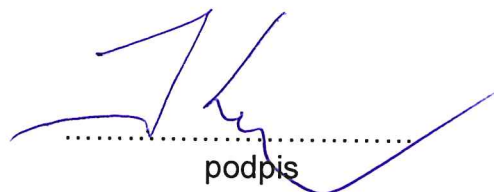
autorka prokázala schopnost samostatné výzkumné práce, a proto **doporučuji** DP k obhajobě ve smyslu zákona č.111/1998 Sb. § 47.

Otázky:

1. Můžete definovat technologii orovňávání brusných kotoučů a co je jejím cílem ?
2. Bylo by možné aplikovat parametrické vyjádření bodů profilu při sklopení kotouče o úhel φ ?
3. Je reálné odvodit postup graficko-početního modelu i pro globoidní šnekové OF ?

Zpracoval: KESL Miloslav, Dr.Ing.

Dne: 2018-10-17



podpis

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Univerzitní 22, 306 14 Plzeň

doc. Ing. Miroslav Gombár, PhD.

tel.: +421 907 907 947, e-mail: gombar@kto.zcu.cz

Oponentský posudok

Dizertačnej práce

Autor: Ing. Aneta Milsimerová

Názov práce: Návrh metody výpočtu výchozího povrchu brusného nástroje pro ostření šnekových odvalovacích fréz

1 Zhodnotenie významu pre odbor

Vzhľadom ku geometrickým vlastnostiam a tvaru brúsenej drážky je závitkovú odvalovaciu frézu pre výrobu závitkovkového súkolesia potrebné brúsiť tvarovými brúsnymi kotúčmi. Pri strojnom brúsení však dochádza v oblasti čiel zubov k podrezávaniu drážky a tým k nedodržaniu požadovanej presnosti, ktorá zaručuje potrebnú geometriu tvaru vzhľadom k jej následnej aplikácii. Teda z pohľadu technologického postupu vo vzťahu k dodržaniu a zabezpečeniu geometrických charakteristík závitkových odvalovacích fréz sa jedná o komplexný a zložitý problém.

Predložená dizertačná práca sa zaoberá analytickým výpočtom tvaru brúsneho kotúča a návrhu výpočtového modulu pre grafické vyšetrenie východiskového stavu brúsneho nástroja a následného vytvorenia graficko-výpočtovej metódy.

Z hľadiska vyššie uvedeného pokladám predloženú dizertačnú prácu za vysoko aktuálnu a jej výsledky za prínosné pre odbor Strojní inžinýrství. Zároveň konštatujem, že práca zapadá svojim obsahom do študijného programu: 2303V004 Strojnírenská technologie-technologie obrábění.

2 Vyjadrenie k postupu riešeného problému

Vzhľadom k definovanému postupu riešenia uvedeného v dizertačnej práci a definovaniu cieľa dizertačnej práce: návrh parametrického matematického modelu pre vyšetrenie odpovedajúceho tvaru brúsneho nástroja vzhľadom k požadovaným vstupným parametrom brúsenej drážky, dizertantka v úvodnej časti realizovala prehľad skúmanej problematiky. Následne vykonaná rešerš riešenia a postupov danej problematiky na svetovej úrovni vytvára dobrý predpoklad pre analýzu vlastného návrhu. Kapitola 4 predloženej dizertačnej práce sa venuje samotnému návrhu analytickej metódy riešenia na ktorú nadväzuje kapitola 5, kde dizertantka

navrhuje samotný výpočtový modul pre určenie východzieho povrchu brúsneho nástroja pre brúsenie závitových odvaľovacích fréz. Následná verifikácia výpočtového modelu experimentom je uvedená v kapitole 6. Predložená dizertačná práca je svojim vnútorným logickým členením, premysleným postupom v rámci riešenia ako aj k využitým prostriedkom ucelenou prácou, ktorú z tohto hľadiska hodnotím veľmi pozitívne.

3 Stanovisko k výsledkom dizertačnej práce

Predložená dizertačná práca predstavuje ucelené dielo a vzhľadom k prehaľadu o riešení danej problematiky na svetovej úrovni, uvedenej v kapitole 2.2 môžem konštatovať, že práca prináša pôvodné výsledky, ktoré prispievajú k rozvoju ako vedeckého tak aj technologického poznania. Samotný navrhnutý matematický model a z neho odvodený výpočtový modul tak predstavujú významné závery. Prácu teda hodnotím ako dizertabilnú.

4 Vyjadrenie k formálnej úrovni práce

Predložená dizertačná práca je z formálneho hľadiska na veľmi dobrej úrovni a aj napriek drobným nepresnostiam ako napr. rádiovým profilom (str.17), se blíži k rádiu (str.21) a ďalším sa celkovo dobrý dojem z práce neznižuje. Práca je prehľadná, členená do logických celkov a je vidno, že dizertantka pracovala pri jej vypracovaní systematicky.

5 Vyjadrenie k publikačnej činnosti dizertantky

Z predložených podkladov je dizertantka autorkou piatich vedeckých príspevkov publikovaných v zborníkoch z vedeckých konferencií, spoluautorkou jedného posteru, spoluautorkou 28 prototypov resp. funkčných vzoriek a spoluautorkou 9 overených technológií. Na základe toho môžem konštatovať, že dizertantka je aktívnou vedeckou pracovníčkou a publikované výstupy v plnej miere sovedčujú vedeckú a odbornú erudovanosť dizertantky.

6 Otázky oponenta

Na dizertantku mám niekoľko otázok:

1. V práci na str.93 uvádzate: "S určitou pravdepodobnosťou lze předpokládat, že některé parametry budou mít vyšší váhu a tak budou výsledek ovlivňovat více a některé budou mít váhu nižší a jejich vliv na výsledek nebude tak významný". Preto moja prvá otázka: S akou pravdepodobnosťou je možné toto zrejme tvrdenie predpokladať?
2. V odporúčaniach pre ďalší výskum problematiky uvádzate "výskum vplyvu jednotlivých parametrov vstupujúcich do matematického modelu". Druhá otázka teda znie: Zamyslela ste sa nad tým, akým spôsobom chcete tento vplyv kvantifikovať? Sksúte uviesť aj nejaký konkrétny prístup.
3. Je možné, poprípade za akých podmienok by sa dal modifikovať Vami navrhnutý analytický výpočet tvaru brúsneho kotúča pre iné aplikácie ako brúsenie závitových odvaľovacích fréz?

7 Vyjadrenie oponenta dizertačnej práce

Predložená dizertačná práca rieši aktuálny problém odboru strojní inžénýrství. Dizertantka priebežne publikovala výsledky svojej odbornej a vedeckej práce v zborníkoch a vo forme prototypov a overaných technológií. Predložená dizertačná práca spĺňa požiadavky kladené na tento typ práce a preto **predloženú dizertačnú prácu odporúčam k obhajobe**. Zároveň odporúčam po jej úspešnej obhajobe udeliť dizertantke Ing. Anete Milsimerovej v zmysle zákona č.111/1998 Sb §47 akademický titul Ph.D.

V Plzni, 31.10.2018



doc. Ing. Miroslav Gombár, PhD.