

## OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

*Název práce:* „LASER v procesech mikroobrábění monolitních řezných nástrojů“  
*Autor práce:* Ing. Adam Čermák  
*Zpracováno pro:* ZČU v Plzni, Fakulta strojní

Téma předložené práce je věnováno velmi aktuální problematice využití laseru pro mikroobrábění, a to jinými technologiemi jen obtížně obrobitelných, materiálů. Konkrétně je práce zaměřena na oblast tvrdých řezných materiálů a tedy na využití laseru při výrobě těchto obráběcích nástrojů, u kterých dnes standardní technologie (broušení, leštění, elektrojiskrové obrábění) narážejí na omezení ve vztahu k možnostem tvaru makro- a mikrogeometrií, přesnosti, jakosti výrobku a celkové flexibility a efektivitě procesu. Znalost opracování rotačních řezných nástrojů ze slinutého karbidu, řezné keramiky nebo polykrystalického diamantu je jak u předních světových výrobců nástrojů, tak i u výrobců komerčních laserových zařízení předmětem intenzivního výzkumu pro budoucí využití. Z tohoto pohledu lze význam práce pro obor výroby a použití obráběcích nástrojů hodnotit jako velký.

Předložená práce je zpracována na 129 stranách textové části a 11 stranách příloh. Autor zvolil logický postup pro naplnění cílů, ale i pro strukturování samotné práce. Problematika je autorem řešena komplexně a uceleně, a také z hlediska všech důležitých aspektů. Ve vazbě na strukturování práce byla formulována i následující část posudku.

Nejprve byl autorem stručně popsán aktuální stav nároků na řezné nástroje, konfigurace laserového systému a způsobů mikroobrábění laserem. Na základě toho následně definoval jeden hlavní a tři dílčí cíle práce. Následovalo zpracování problematiky a vlastního výzkumu pro dosažení jednotlivých cílů. Cíle jsou definovány jednoznačně a ve shodě s potřebami vyplývajících z aktuálního stavu řešení ve světě. V této části bych pouze doporučil jednoznačněji oddělit využitelnost technologie opracování laserem ve vztahu k mikrogeometrii břitu nástroje (realizace samotné řezné hrany a nejbližších navazujících ploch čelních, případně hřbetních fazet) a k makrogeometrii břitu (celkové geometrii hřbetu břitu a čela včetně utvařečů třísek. Případně, s ohledem na cíle práce, detailněji popsat současný stav využití způsobu radiálního obrábění laserem pro tvorbu makrogeometrických prvků nástrojů.

V následující části práce byla zpracována analýza stávajícího stavu poznání ablačních procesů při mikroobrábění laserem. Tato část obsahuje přehledný a dostatečně podrobný popis teorie vzniku a použití laserového svazku, podstaty ablačních procesů, způsobu výpočtu

důležitých parametrů ablace a jejich vliv na výsledky procesu mikroobrábění. Aplikace výsledků metodiky byla demonstrována na zcela konkrétním příkladu obrábění slinutého karbidu. K této části mám jen dílčí připomínky. První z nich jsou charakteru správné terminologie a zápisu vzorců. Vzorec (2-8) není převeden do konečného tvaru pro vyjádření energie  $E_p$  a graf 2-1 není grafem v logaritmickém měřítku, jak autor uvádí, ale zřejmě grafem zlogaritmovaných hodnot. V některých případech by bylo vhodnější volit terminologicky lepší vyjádření k pojmům „hrbolatý povrch“ nebo „laserové parametry“. V části demonstrování přínosů autorem navržené metodiky při obrábění konkrétního materiálu by bylo vhodné do provádění experimentu zahrnout a ve výsledcích také vyjádřit opakovatelnost, resp. přesnost dosažených hodnot jednotlivých výsledků. Například u parametru hloubky ablace, který je pro určité parametry na úrovni jednotek mikrometrů by mohl být výsledek výrazně ovlivněn drsností povrchu konkrétního vzorku před testy. I když je to v oblasti parametrů, za kterých systém pro laserové mikroobrábění nebude zřejmě využíván, mohlo by to u každého z obráběných vzorků a materiálů vést k rozdílu nezpůsobeným samotným ablačním procesem. S ohledem na definici parciálního cíle, kdy je jedním z požadavků na autorem vyvinutou metodiku časová úspora, by prospělo i závěrečné hodnocení, jak časově náročné bylo vyšetření efektivních podmínek ablace jednoho konkrétního materiálu navrženou metodikou.

V pořadí třetí část práce je zaměřena na nový metodický návrh zaměření reálného tvaru a pozice nástroje a tedy řešení druhého dílčího cíle práce. Autor navrhl a následně i použil inovativní přístup pro poloautomatické vyšetření obrobku přímo na stroji (způsobem On-machine Measurement). Autorem byla vyvinuta a ověřena metodika použitelná pro identifikaci monolitních rotačních nástrojů. Jedná se v konečném důsledku o celý systém kombinující techniku pro zpracování obrazu, výpočtové algoritmy, transformace a řízení laserového zařízení. Jde o unikátní řešení, které v dané podobě není u výrobců komerčních laserových zařízení pro opracování rotačních řezných nástrojů dostupné. Vyřešení problematiky a splnění cíle bylo v dalších částech práce úspěšně demonstrováno na konkrétním řešení nástroje. K samotnému metodickému návrhu mám pouze několik připomínek. Práci by prospěl detailní a konkrétní popis principu dílčích funkcí celé metodiky. Tedy například, jakým způsobem probíhá zadání typu a počtu vyšetřovaných bodů na nástroji, jak funguje zpracování obrazu a jakým způsobem je výsledek zpracování interpretován řídicím systémem laserového zařízení pro modifikaci souřadnic nebo vyjádření teoretické a reálné přesnosti, resp. nejistoty měření vyhodnocení konkrétního bodu použitým kamerovým systémem v součinnosti s konkrétním laserovým zařízením. Případně by byla zajímavá i informace o spolehlivosti zpracování obrazu. Tedy, existuje-li při vyšetření objektu reálná možnost chybného zaměření, např. vlivem chybného rozeznání objektu (nevhodný osvit, poškození břitu atp.) a jak umí systém na tuto situaci případně reagovat. Z hlediska přesnější terminologie a oblasti využití vyvinuté metodiky by bylo vhodné se o

monolitním řezným nástroji vyjadřovat spíše jako o monolitním rotačním nástroji. Vizualizace takového nástroje v jednom případě (Obrázek 3-3) postrádá znázornění osy rotace.

V části práce zaměřené na princip tvorby makrogeometrických prvků na monolitních rotačních řezných nástrojích autor analyzuje dva možné přístupy radiálního obrábění laserem. Oba způsoby si vyžádaly aplikaci originálních postupů pro dosažení požadovaného výsledku. V obou případech byly provedeny dílčí experimenty, na základě kterých bylo potvrzeno, že autorem definované předpoklady jsou správné a využitelné pro konkrétní realizaci. Drobnou připomínku zde mám jen k tomu, že autor v této části práce používá termín „odchylka přechodové oblasti“, kdy při tomto popisu není zřejmé o jakou odchylku, resp. od jakého rozměru, se jedná. Ne zcela přesný je také termín „frekvence kmitání amplitudy“. Místo definice „... ovlivňuje hloubku dosažené ablace ...“ by rovněž bylo vhodnější použít „... ovlivňuje dosaženou hloubku ablace“.

Ověření naplnění cílů práce je popsáno v poslední odborné části práce. Na jednom typu slinutého karbidu (jiném než který byl použit v části studia ablačních procesů) a dvou prototypy řezných nástrojů byly ověřeny všechny dílčí kroky vedoucí k těmto výsledkům. Za zcela jednoznačný důkaz splnění všech cílů práce považuji skutečnost, že rozměrové a jakostní vlastnosti výsledných prototypů nástrojů vyrobených dle navržených metodik jsou až na jedinou výjimku (drsnost povrchu  $R_a$  pro plynulý utvařecí třísek) v rozsahu požadovaných výrobních tolerancí. Autor se v závěru kapitoly i kriticky vyjádřil k dosaženým výsledkům, čímž nastínil oblasti pro navazující výzkum. Těmito oblastmi jsou kvalita opracování, redukce času výroby a možnosti predikce potenciálních kolizních stavů laserového zařízení a obrobku. Při realizaci navazujícího výzkumu bych navíc doporučil zvolit složitější zadání nástroje (s nepravidelnou roztečí, různou šroubovicí jednotlivých břitů, větším počtem břitů) a také sledovat přesnost výsledné laserované struktury ve vztahu k celé délce opracování řezné hrany.

Na práci velmi kladně hodnotím přímou využitelnost získaných poznatků v praxi. Představený inovativní přístup výroby monolitních rotačních nástrojů s pomocí laseru by totiž mohl být pro výrobce řezných nástrojů významnou konkurenční výhodou.

Formální a jazyková úroveň práce je i s ohledem na její rozsah velmi dobrá. Práce je psána přehledně a srozumitelně, autor se přesně a jasně vyjadřuje. Práce obsahuje jen malé množství gramatických chyb, překlepů nebo nejasných formulací. Mezi tyto nedostatky lze zařadit:

- seznam symbolů je neúplný – např. chybí  $r\beta$ ;
- nejednotné formátování ve vybraných částech práce – např. používání velkých a malých písmen v názvech zkratk a symbolů;
- nepoužití českých ekvivalentů zkratk – např. pro označení PCD a CBN;

- nepřesná terminologie – např. parametr Ra by měl být uveden jako „střední aritmetická úchylka profilu“;
- nečitelnost grafiky v obrázku – např. popisky grafů na obr. 2-14;
- špatný odkaz na graf – např. na str. 55 by měl být zřejmě odkaz na graf 2-9 místo na graf 2-8;
- srozumitelnost textu – např. na str. 40 text „Na základě určených okrajových podmínkách je ...“;
- chyba v textu – např. na str. 56 „...při zvyšující se opakovací frekvence...“;
- chybějící tečky na konci seznamu odrážek.

Autor při psaní práce čerpal celkem z 97 převážně velmi kvalitních literárních zdrojů. Samotné publikace disertanta k tématu jsou rovněž z velké části kvalitní – publikace na zahraniční nebo mezinárodní konferenci (3x), publikace na národní konferenci zaměřené na lasery (4x), publikace v odborném recenzovaném časopise (2x).

K práci mám následující dotazy:

- ✓ Mohl by autor detailněji popsat princip metodického návrhu zaměření břitů monolitních rotačních nástrojů na laserovém zařízení?
- ✓ S jakou přesností a opakovatelností lze zaměřovat konkrétní body objektu pomocí spolupráce pro práci zvolené kamery a konkrétního laserového zařízení?

#### **Závěr posudku:**

Doktorand prokázal výborné znalosti v daném oboru. Přes drobné nedostatky má práce velmi dobrou odbornou i formální úroveň.

**Disertační práci dle zákona č. 111/1998 Sb. § 47 doporučuji k obhajobě.**

V Praze, dne 8. října 2017

  
Ing. Pavel Zeman, Ph.D.

## **Oponentní posudek disertační práce „ Laser v procesech mikroobrábění monolitních řezných nástrojů“**

Autor disertační práce: Ing. Adam Čermák

Oponent: Doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.

Předložená disertační práce se zabývá problematikou mikroobrábění břitů monolitické frézy pomocí výkonového laseru s pikosekundovými pulzy. Tyto technologie se v dnešní době řadí do tzv. subtraktivních výrobních metod. Patří mezi nejprogressivnější metody dneška a zažívají prudký rozvoj jak v základním tak i aplikovaném výzkumu. Z tohoto pohledu lze považovat předloženou práci za vysoce aktuální a pro obor přínosnou.

Řešená problematika je tematicky široká a komplexní. Zařízení na provedení experimentu bylo zjevně dáno, nicméně bylo nutno řešit problematiku vhodných procesních parametrů (nejsou dodávány výrobcem zařízení), dále problematiku nalezení referenčních bodů obráběného nástroje a konečně to nejdůležitější – nalezení postupu pro vytváření potřebné mikrogeometrie břitů daného nástroje. Obecně lze konstatovat, že vzhledem k novosti těchto technologií doposud neexistuje standardní metodika postupu pro mikroobrábění, je nutné vyvinout vlastní postupy. Z tohoto pohledu postup pro vytvoření potřebné geometrie břitu pomocí laserového mikroobrábění navržený disertantem je zcela logický a má opodstatnění.

V samotné práci si disertant stanovuje tři dílčí cíle rozpracované v kapitolách 2,3 a 4. V kapitole 2 se zabývá problematikou ablačního procesu, jeho principy, procesními parametry a metodikou a strategií hledání optimálních parametrů pro obrábění daného materiálu. Není zde uvedená ucelená teorie interakce laserového svazku a materiálu, mechanismy předávání energie a hlavně rozdíl mezi termickou ablací a fotoablací materiálu, kde druhý proces je majoritním při mikroobrábění s využitím pikosekundových laserových pulzů. Na druhé straně považuji navrženou metodiku získání procesních parametrů pro daný materiál za obecně správnou a dobře propracovanou. Možná by bylo dobré se zamyslet na využitím Taguchiho metody pro další optimalizaci procesních parametrů a zmenšení počtu potřebných ablačních experimentů.

Kapitola 3 se zabývá metodologií definice klíčových bodů obráběného nástroje. Tuto kapitolu považuji za slabé místo práce. I když je navržený princip vcelku jasný, vlastní metoda získání jednotlivých bodů sloužících k definování přesných rozměrů a polohy obráběného nástroje je popsána značně nejasně. V celé práci jsem nenalezl popis zařízení, na kterém byl experiment prováděn, řazení os včetně skenovací hlavy, vybavení doplňujícími zařízeními, jako je např. snímací kamera apod. Z textu není zřejmé, zda pro získání souřadnic potřebných bodů jde o posun nitkového kříže pomocí kurzoru a odečítání souřadnic na obrazovce CNC stroje (ve kterém je nástroj upnut), nebo jde o program obrazové analýzy, který si na základě rozdílu kontrastů (zmněno na straně 78, ale je vágně) či dalších obrazových entit určí hledaný bod. Dále není uvedena přesnost daného procesu, nebo není proveden odhad přesnosti navržené metody. Také není zřejmé, zda jednotlivé programy sestavené disertantem běží na hardware CNC zařízení, nebo na externím počítači.

Kapitola 4 se disertant zabývá již vlastním procesem mikroobrábění břitu, přičemž jsou rozebírány dvě možné filosofie – standardní pomocí indexace kinematiky polohovacího systému a autorem navržený systém synchronního polohování. Tato filosofie využívá kombinaci základního posuvu danou programovou konturou a pohybu po některé z triviálních geometrií (úsečka, kruh atd.), tzv. wobbling. Disertant vyvinul algoritmus umožňující výrobu mikrogeometrických tvarů sloužících na obráběném nástroji jako utvářeče třísek. Je nutné si uvědomit, že se pracuje obecně s nerovinnými

obráběnými plochami a nesmí docházet k nadbytečné kumulaci jednotlivých pulzů v jednom místě, aby nedocházelo k nerovnoměrnému odpařování materiálu. Proto tento navržený algoritmus vidím jako nejpřínosnější prvek hodnocené disertační práce.

Kapitola 5 pak popisuje obrábění konkrétní monolitní frézy s využitím všech postupů a technik navržených v předchozích kapitolách. Byly přitom vytvářeny dvě frézy – jedna se segmentovým utvářečem třisek a druhá s plynulým utvářečem třisek. Zde byly diskutovány jak odchylky mezi teoretickou a skutečně vytvořenou geometrií nástroje, dosažené drsnosti a také potřebné výrobní časy. Očekával bych ale také určité srovnání s konvenčně vyráběnými utvářeči třisek, co se týče technických možnosti, výrobních nákladů, dosahovaných životností apod.

Kapitola 6 obsahuje možné budoucí trendy laserového obrábění. I když prokazuje disertantovu erudici v daném oboru, v této práci ji považuji za nadbytečnou. Podobné úvahy by mohly zaznít až při ústní obhajobě.

Z hlediska rozsahu, přehlednosti a grafické úpravy práce nemám zásadnějších připomínek, snad použitá gramáž listů je zbytečně vysoká. Disertant používá občas specifickou stylistiku, příkladem str. 37, první řádek: „... aby se laserový paprsek rozmítal o určitých parametrech..“, lépe vyjádřeno: „... aby se laserový paprsek rozmítal s určitými parametry..“. Dále str. 56 označení kapitol: „IH, IIH“, lépe vyjádřeno: „První harmonická (frekvence), Druhá harmonická (frekvence)“ a další. Nakonec věta: „S přesně zaměřenými břity monolitního řezného nástroje v pracovním prostoru laserového stroje se otvírají dvířka novým způsobům geometrických modifikací břitů za pomoci laserového mikroobrábění“ patří spíše do populárně naučného časopisu a ne do disertační práce.

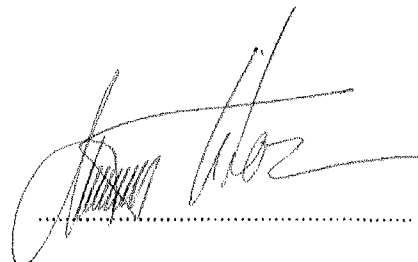
Publikační činnost disertanta je orientována převážně na konference v rámci ČR, v poslední době je patrné, že svoji práci prezentoval i na zahraniční konferenci a na další se připravuje. Dále je spoluautorem jednoho užitého vzoru, což je v oblasti užitých věd vhodný výsledek. Disertant doposud nepublikoval v odborném časopise s IF, což považuji za nedostatek. Z druhé strany daná problematika se v rámci ČR doposud příliš nerozvíjí, neexistují pracoviště s tradicí v oboru. Tato skutečnost má samozřejmě na publikační činnost disertanta svůj vliv.

Na základě všech výše uvedených skutečností předloženu disertační práci „*Laser v procesech mikroobrábění monolitních řezných nástrojů*“ od ing. Adama Čermáka

**doporučuji**

k obhajobě.

V Brně 6.10.2017



Doc. RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.

## **OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE**

**Autor práce: Ing. Adam Čermák**

**Název práce: LASER v procesech mikroobrábění monolitních řezných nástrojů**

Disertační práce Ing. Adama Čermáka je předložena v rámci studijního programu P2301 Strojní inženýrství oboru 2303V004 Strojírenská technologie - technologie obrábění. Práce v rozsahu 129 stran je rozčleněna do deseti kapitol a zabývá se vývojem v oblasti využití laserových technologií mikroobrábění pro výrobu monolitních řezných nástrojů. Hlavním cílem práce je eliminace nevýhod technologie, kterými jsou nízká produktivita úběru materiálu a složitá integrace technologie do procesního řetězce výroby řezných nástrojů.

### **a) zhodnocení významu pro obor**

Význam předložené práce pro obor je jednoznačný. Výkonné lasery přinášejí nové možnosti do řady strojírenských technologií včetně mikroobrábění. Jejich efektivní využití v průmyslové výrobě znamená nejen využít jejich výhod, jako jsou bezkontaktní charakter působení, přesnost, opakovatelnost, flexibilita apod., ale také řešit jejich nevýhody, kterými jsou v případě využití laserových zdrojů s krátkými pulzy složitost procesu studené ablace, produktivita i nutnost řešit problémy s přesnou identifikací polohy obráběné součásti. Zvolené cíle disertační práce vycházejí ze současného stavu poznání a konkrétních potřeb praktického použití moderních laserových mikroobráběcích strojů. Dosažené výsledky v podobě metodik nalezení vhodných procesních parametrů, zaměření břitů monolitního řezného nástroje v pracovním prostoru stroje a vytváření makrogeometrických prvků na řezných nástrojích, které byly v práci teoreticky navrženy a prakticky ověřeny, jsou jednoznačným přínosem pro obor.

### **b) vyjádření k postupu řešení problému, k použitým metodám, ke splnění stanoveného cíle**

Hlavním cílem a motivací práce je eliminovat nevýhody technologie laserového obrábění, především se jedná o nízkou produktivitu a složitou integraci technologie do procesu výroby

monolitních řezných nástrojů. Tento cíl je konkretizován do třech dílčích cílů. Ve všech těchto třech oblastech řešení autor vychází ze současného stavu a představuje teoretický návrh řešení. Splnění stanovených cílů pak dokládá praktické použití těchto řešení.

### **c) stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu disertanta**

Hlavní přínosy disertační práce autor shrnuje v závěru na str.119-120. Tyto přínosy jsou přiřazeny ke třem stanoveným dílčím cílům práce.

Co se týká studie ablačních procesů, autor vyvinul svojí metodiku a algoritmoval testování vlivu procesních parametrů. Podobné metodiky zjišťování vlivu procesních parametrů založené na rozkladu vybraných hodnot jednotlivých parametrů do matic laserovaných do zkušebních vzorků jsou používány na řadě pracovišť. Přínos autora práce proto vidím spíše ve fyzikálně zdůvodněné volbě těchto parametrů, než v "naprogramování" laserového stroje.

Co se týká metodiky zaměření břitů monolitního řezného nástroje, autor v práci představil původní obecnou metodiku umožňující geometrickou (rozměrovou a tvarovou) analýzu a určení polohy všech břitů monolitních řezných nástrojů. Jedná se o klíčové řešení potřebné pro polohování laserového paprsku a dosažení správné funkce laserového obráběcího stroje při tvorbě makrogeometrických prvků na monolitních řezných nástrojích komplexního 3D tvaru. Funkčnost této metodiky byla prakticky ověřena na typovém případě laserového zpracování čelní válcové frézy se třemi břity. Bohužel v práci chybí uvedení podrobností, které by dokládaly autorovo tvrzení, že "metodika splňuje veškeré očekávané nároky, jimiž jsou: přesnost snímání a její vysoká opakovatelnost měření, dostatečná rychlost provedení ...".

Co se týká způsobu tvorby makrogeometrických prvků na monolitních řezných nástrojích pomocí laserového mikroobrábění, autor ukazuje dva odlišné přístupy synchronizování mechanických a optických os. Velmi zajímavým výsledkem je zde mimo jiné řešení, jak vhodným způsobem navazovat překrývající se geometrické entity a dosáhnout plynulých náběhů mezi nimi.

Ověření vytvořených metodik na typovém případě zpracování čelní válcové frézy je důležitým výsledkem disertační práce a správným dokladem toho, že teoretické návrhy fungují a mají praktické uplatnění.

Je škoda, že práce neobsahuje podrobnosti o použité technice, na které byly teoretické návrhy disertanta ověřovány. Jedná se o parametry laserového zdroje, optické cesty, technického řešení dalších os, měřicích systémů integrovaných v laserovém stroji. Bez těchto informací nelze dosažené výsledky zobecnit a použít je pro analogické situace. Přínos publikované disertační práce pro jiná výzkumná a vývojová pracoviště je tak omezen. Bylo by možné výše uvedené informace o použitém laserovém stroji uvést při obhajobě disertační práce?



#### **d) další vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce**

Práce není zpracována v obvyklé struktuře v pořadí kapitol shrnující současný stav poznání, definované cíle práce, použité metody zpracování a dosažené výsledky. Názvy jednotlivých částí práce spíše odrážejí provedené činnosti než dosažené výsledky. Z tohoto pohledu je proto přehlednost práce nižší. Disertační práce nicméně ukazuje systematičnost provedených prací a zpracování výsledků. Formální úprava i jazyková úroveň práce je na odpovídající úrovni.

Terminologicky bych doporučoval používat místo "absorbivita" termín "pohltivost" v souvislosti s optickou vlastností materiálu, která určuje, jaké množství záření bylo pohlceno materiálem v poměru k množství, které na materiál dopadlo. Používání termínu "okrajové podmínky" je v práci zavádějící a čtenáře spíše mate, než aby přispívalo k jednoznačnosti výkladu.

#### **e) vyjádření k publikacím disertanta**

Seznam publikovaných prací disertanta čítá celkem 13 položek. Dvě práce byly publikovány v recenzovaném periodiku v ČR, ostatní publikace byly prezentovány na odborných konferencích či přehlídkách studentských/doktorských prací. Požadavky kladené na VaV výstupy studentů v rámci doktorského studia (minimálně 2 články v recenzovaném periodiku, dvě vystoupení v cizím jazyce na mezinárodní konferenci s uvedením článku ve sborníku) jsou splněny. Předložené práci by však slušela publikace v impaktovaném časopise. Z toho vyplývá můj dotaz k obhajobě, zda se o přípravě takové publikace v čase po odevzdání disertační práce neuvažuje.

#### **f) jednoznačné vyjádření ohledně doporučení disertační práce k obhajobě**

Domnívám se, že předloženou práci autor prokázal schopnosti samostatné vědecké práce i schopnosti analyzovat a prezentovat dosažené výsledky. Disertační práci proto (dle zákona č. 111/1998 Sb. §47) doporučuji k obhajobě.

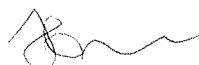
---

#### **Otázky:**

- 1) Ohledně volby procesních parametrů. Je z pohledu výrobních nákladů vhodnější provozovat stroj v efektivním módu, kdy je nejlepší poměr úběru materiálu k výkonu laserového zdroje anebo v módu, kdy dochází k maximálnímu úběru materiálu za jednotku času nejčastěji při maximálním využití výkonu laserového zdroje (s nižší efektivitou procesu ale kratším časem na zpracování jednoho dílu)?

- 2) Pro různé nastavení procesních parametrů dochází k odlišnému tepelnému zatížení povrchu materiálu. Je znalost teploty resp. metod umožňující stanovit průběh teploty v místě působení jednotlivých laserových pulzů z praktického pohledu potřebná?
- 3) Na str. 94 v posledním odstavci dole autor uvádí, že "se nedá uplatnit standardní rozmítací technika laserového paprsku za pomoci liniového či konturového šrafování" a "nelze uplatnit 3D modely geometrických entit". Je možné uvést zdůvodnění proč?
- 4) Na str. 113 je uvedeno, že zpracování prototypové varianty se segmentovými utvařeči třísek probíhalo pod úhlem  $60^\circ$  a tento úhel měl za následek trojnásobný počet laserovaných vrstev pro dosažení požadovaného tvaru v porovnání s případem, kdyby zpracování probíhalo v normálovém směru. Čím je dáno, že na odebrání stejného objemu materiálu potřebují 3x větší počet vrstev?
- 5) Použití polygonálních skenerů umožňuje dosahovat mnohem větších rozmítacích rychlostí než v případě klasických galvo skenerů. Závěr práce, že použití tohoto technického řešení nemá z praktického pohledu smysl, vychází z analýz provedených pro případ matic testovaných procesních parametrů anebo má platnost pro všechny případy laserového mikroobrábění řešených typů rezných nástrojů?

V Plzni, 9.10.2017



Doc. Ing. Milan Honner, Ph.D.  
Nové technologie - výzkumné centrum  
Západočeská univerzita v Plzni