



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:** Vliv metody laser shock processing na integritu povrchu

**Autor:** Ing. Jan Brajer

**Školitel:** prof. Ing. Jan Mádl, CSc.

**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:

Integrita povrchu je dnes rozhodující položkou při posuzování kvality vyrobené spoučasti a pro její aplikaci v rámci složitých strojních mechanismů. Především existence zbytkových napětí a jejich predikce u vysoce namáhaných součástí může významně ovlivnit životnost mechanismů a zvýšit jejich ekonomickou konkurenceschopnost.

Metoda LSP patří mezi metody, které vnašením tlakových zbytkových napětí zabraňují vzniku a šíření trhlin. Kromě hloubky vnesených napětí lze touto metodou ovlivnit i další vlastnosti povrchové vrstvy jako například drsnost či tvrdost. Vzhledem k tomu, že se tato metoda bude v budoucnu přesouvat do stále širších oblastí průmyslového využití, považují předloženou práci za velmi aktuální a přínosnou.

### Vyjádření ke splnění stanovených cílů:

Cíle, které si doktorand vytýčil, byly rozsáhlé, náročné na zpracování výsledků a plně odpovídaly významu, který technologie LSP při současném stupni vývoje představuje. Pro jejich splnění musel doktorand nabýt širokých znalostí, což se projevilo ve velmi podrobně zpracované teoretické části disertační práce, která zmapovala současné vědění o technologii LSP.

V praktické části práce, mapující spojitost zbytkových napětí s dalšími charakteristikami integrity povrchu, byly výsledky do značné míry ovlivněny absencí ablační vrstvy na zkoumaných vzorcích, což výrazně ovlivnilo povrchovou vrstvu zpracovaného materiálu.

Za velmi vhodnou považuji snahu o sestavení modelu zbytkového napětí po ovlivnění laserem na základě teoretického výpočtu chování materiálu a ekonomický pohled na aplikaci technologie LSP. Mohu tedy konstatovat, že stanovených cílů bylo dosaženo.

### **Vyjádření k úrovni rozboru současného stavu řešené problematiky:**

Teoretická část práce, představovaná kapitolami 2 a 3, je uvedena na 59 stranách a představuje tak celou polovinu předložené disertační práce. Takto rozsáhlá teoretická část práce je dokladem propracovanosti tématu, což se odráží rovněž v rozsáhlé citaci publikačních zdrojů. Zaměření na technologii LSP je významné a vlivy této technologie na integritu povrchu součástí jsou popsány vyčerpávajícím způsobem.

Ve srovnání s tradičním přístupem k rozsahu a členění disertačních prací mi přijde teoretická část příliš popisná a nejsem si jistý, zda celá teoretická část má svůj obraz v realizovaném experimentu, či jsou uváděny i informace, které s praktickou částí práce nesouvisí. Mám na mysli například aplikaci MKP na výpočty napětí ve svarových spojích. Experimenty se netýkaly svarových spojení.

V teoretické části práce se některé skutečnosti opakují, čímž rovněž narůstá počet stran. Totéž platí ve značné míře i o praktické části práce. Pro pochopení problematiky to, naštěstí, nevadí. Větší počet stran má ale za následek i větší počet formálních a především gramatických chyb. Je-li tento počet větší, než je počet stran textu, je to i na technický odborný text nezvykle mnoho. Některým z těchto chyb se věnuji v samostatné kapitole.

Za diskutabilní považuji převzetí obrázků z cizojazyčné literatury v plném znění. I když rozumím tomu, že je to pro realizaci práce jednodušší a autor asi nechtěl upravovat originál, vzhledem k české mutaci disertační práce bych přivítal české odkazy alespoň v popisu obrázků. Navíc, u některých převzatých obrázků se čeština v popisu objevuje.

### **Vyjádření k postupu řešení a k výsledkům disertace:**

Na práci hodnotím velmi kladně pokus o hlubší pochopení vlivu technologie LSP na kvalitu povrchu součástí a od ní odvozené parametry integrity povrchu, především zbytkového napětí. Práce je logicky členěna, experiment podrobně vystavěn a i grafická stránka práce je na požadované úrovni. Přesto si dovoluji k práci několik připomínek.

V kapitole 4.1 mohl doktorand blíže popsat vstupní parametry, které vedly k realizaci závislosti napětí na hloubce od povrchu.

V tabulce 9 na str. 89 jsou uváděny vlastnosti slitiny Ti-6Al-4V převzaty z literatury. Byly tyto ověřeny před vlastním experimentem, nebo to tento experiment nevyžadoval?

V práci je jen okrajově zmiňována opakovatelnost měření a statistické vyhodnocení naměřených dat.

V práci nejsou uvedeny průběhy zbytkových napětí u vzorků 3 a 4 při jejich měření rentgenovou difrakcí, ani není zdůvodněno proč.

Co si představit pod označením fréza SINTB o průměru 1,6 mm?

V obrázcích 86 a 87 se vyskytují 2 křivky bez bližší identifikace. Rovněž nerozumím rozdíl mezi obrázky 87 a 83, jejichž popisy jsou totožné.

### **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 možnosti simulace hloubky a míry ovlivnění součástí při použití technologie LSP a s ní související snahu o navázání vhodné metody měření zbytkových napětí. V práci uvedené výsledky naznačují možnosti reálného využití v praxi.

## Vyjádření k formální a jazykové úrovni práce:

Formální stránka práce je na 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. Kvalitu příloh, inzerovaných v kapitole 10, jsem neměl možnost posoudit.

Připomínky k formální úrovni:

- Popis obrázku 10 neodpovídá zakresleným a zakótovaným údajům.
- Označení deformací na obrázku 12 neodpovídá vztahům ve vzorci 2.24.
- Chybně uváděné odkazy na obrázky, případně v jejich popisu chybějící odkaz na použitou literaturu.
- V kapitole 7.4.2 se hovoří o vyšších nákladech při měření ve větších hloubkách, ve skutečnosti se to ale týká jen rentgenové metody.
- Citace publikací v seznamu literatury není vždy podle norem, bývá nepřesná, neúplná a nejednotná.
- Posloupnost značek v jejich seznamu není vhodná, při kontaktu s textem čtenáře zdržuje jejich vyhledáváním.
- Obrázky 104 a 112 jsou totožné, navíc lineární průběh závislostí je diskutabilní.
- Některé grafy v obrázcích postrádají popisy os a mohly být provedeny v čitelnější podobě.

K jazykové stránce práce mám připomínek více, uvádím alespoň ty hlavní:

- Gramatika někdy pokulhává, především u delších souvětí chybí oddělení jednotlivých vět.
- Formulace v textu jsou někdy nepřesné, především absencí některých písmen nebo špatně zvoleným pádem.
- V textu uváděné jednotky je dobré psát na jednom řádku s hodnotou veličiny.
- Je problematické užívat slovo „díky“ v negativním smyslu věty.
- Je třeba rozlišovat při psaní číslovek základních a řadových.
- Drobné jazykové nuance brousíci vers. brousíci, těsníci vers. těsnící, lešticí vers. leštící, přemyčky poslední vers. podlesní a novotvary negativní čela úhel.
- V textu se objevují i věty typu: „Pro měření zbytkových napětí byly vybrány metody měření“, „Opracováním je dosaženo i výrazného zlepšení odolnosti povrchu proti kavitaci a korozního praskání při napětí“, „Útlum napětí je na povrchu velmi rychlý a následně s postupně do materiálu přechází jako pozvolný“, „Podmínky, za kterých Ti-6Al-4V je citlivý na všeobecné korozi jsou v přítomnosti redukčních kyselin nebo suchý plynný chlor [219]“, a další.

## Dotazy k předkládané práci:

1. Do jaké hloubky je zpevnění tlakovým zbytkovým napětím relevantní pro funkci jednotlivých součástí?
2. Proč byl pro experiment zvolen materiál Ti-6Al-4V, když výsledky na něm prováděné, jsou často prezentovány v teoretické části práce od zahraničních autorů (nejméně ve 14 případech)? Co očekával doktorant od experimentů právě na tomto materiálu? Nebylo by pro teorii i praxi výhodnější prověřit chování dosud nezkoumaných materiálů?

3. Jak byla při realizaci experimentů ošetřena skutečnost, že použité vzorky byly ovlivněny bez přítomnosti absorpční vrstvy?

**Závěr:**

Předložená disertační práce řeší aktuální problém související s ovlivněním integrity povrchu součástí zpracovávaných metodou LSP. 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 i aktivní vystoupení na domácích i zahraničních konferencích. V jeho aktivitách, které se zaměřují i na jinou oblast než je zaměření disertační práce, se odráží dlouholeté pedagogické a vědeckovýzkumné zkušenosti školitele.

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

V Ostravě, 23. srpna 2018

.....

prof. Dr. Ing. Ivan Mrkvica  
oponent