

Prof. Ing. Iva Nová, CSc.
FS-TU v Liberci
Studentská 1402/2
461 17 Liberec 1

Oponentní posudek
disertační práce Ing. Libora Horáčka,

na téma: „**Rapid prototyping – využití technologie sandprint**“.

Školitel: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Školitel specialista: Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE.

*Doktorský studijní program: strojní inženýrství, obor: strojírenská technologie
FS, České vysoké učení technické v Praze*

Předložená disertační práce se zabývá řešením velmi aktuální problematiky – výrobou pískových slévárenských forem 3D tiskem. Téma disertační práce systematicky navazuje na oblast řešení pískových formovacích a jádrových směsí a na jejich zpracování.

Uvedená problematika je předmětem řešení aplikovaného výzkumu a souvisí s možností výroby velmi složitých dutin pískových slévárenských forem.

Práce obsahuje 163 stran textu, 140 obrázků a 30 tabulek. Práce má obvyklé členění a je rozdělena do 7 základní kapitol a obsahuje 47 literárních odkazů a 11 odkazů na normy, 5 příloh. Součástí přílohy práce je také přehled 12 publikací autora, 5 vyzvaných přednášek a 11 publikací týkajících se vědecko-výzkumné činnosti doktoranda. Počet literárních podkladů a dalších publikací odpovídá požadavkům řešení disertační práce.

Cíl práce, kapitola 3: Výzkum technologie Rapid prototyping se zaměřením 3D tisku písku (sandprint) pro účely výroby slévárenských forem.

Vlastní řešení doktorské práce je zaměřeno na:

- 1) stanovení mezních možností vytištěné pískové struktury technologií sandprint při použití ve slévárenství;
- 2) nalezení následné úpravy struktury tištěné technologií sandprint pro zlepšení mechanických vlastností;
- 3) ověření možností využití upravené tištěné struktury pro výrobu funkčních dílů a přípravků.

V rámci splnění vytyčeného řešení doktorské práce je nutné řešit ještě tyto dílčí cíle:

- provedení analýzy technologie sandprint a její porovnání ji s konvenční výrobou slévárenských forem (provést technické a ekonomické porovnání);
- získání poznatků o možnostech a způsobech výroby slévárenských forem složitých tvarů 3D tiskem (z hlediska konstrukce forem i vlastností vyrobených odlitků), s cílem nalezení hranic pro odlévání tvarových detailů;

- provedení analýzy tištěné pískové struktury a prozkoumání možností jejích úprav pro docílení jiných mechanických vlastností;
- nalezení dalších kompozitních materiálů na bázi písku a pryskyřice za účelem jejich dalších technologických aplikací;
- ověření vlastností těchto kompozitních materiálů (písek - pryskyřice);
- aplikace výsledků výzkumu těchto kompozitních materiálů pro potřeby strojírenské výroby.

Jak je obecně typické, základ disertační práce tvoří dvě hlavní části – **řešeršní a experimentální**.

Strukturu řešeršní části disertační práce tvoří kapitoly, které jsou odborně propojeny a přispívají ke komplexnímu teoretickému rozboru sledované problematiky s cílem 3D tisku slévárenských pískových forem.

Řešeršní část disertační práce - zahrnuje poměrně podrobně rozpracovanou kapitolu 2, která je zaměřena:

- na charakteristiku jednotlivých principů 3D tisku;
- na 3D tisk slévárenských forem a v ostatních odvětvích průmyslu;
- použití technologie 3D tisku ve slévárenství, včetně ekonomických aspektů.

Tato část disertační práce je velmi dobře zpracována i po technologické a je také vodítkem pro odborné vyhodnocení prováděných experimentů.

Experimentální část disertační práce (zahrnuje kapitoly 4, 5, 6 a 7) je nosnou částí a přehledem prováděných a vyhodnocených experimentů.

Tato část práce je zaměřena na návrh, provedení a vyhodnocení experimentů:

1) návrh experimentů 3D tisku složitého tvaru dutiny slévárenské formy, její detaily s minimální velikostí 0,4 mm;

- odlévání složitých tvarů do forem z tištěné struktury vyrobené standardním nastavením 3D tiskárny specifikovaným od jejího výrobce (limity odlévaných dílů);
- provedení analýzy a zkoušek skutečných parametrů tištěné struktury;
- určení možnosti použití pro výrobu funkčních dílů pro strojírenství a realizovat výrobu jejich představitelů (žebra, drážky, výstupky, otvory, poloha dílu ve formě).

2) provádění experimentů a jejich vyhodnocení

- odlévání složitých tvarů odlitků (tisk forem, čištění forem, odlévání do forem, vyhodnocení odlitků);
- možnosti úprav tištěné pískové struktury (analýza použitých materiálů, zkoušky pískových tištěných struktur);

- použití inovované tištěné struktury pro výrobu funkčních dílů (přípravky pro slévárství, pro měření, pro svařování, pro laminování) a výroba dalších průmyslových modelů maket.

Tato část práce je velmi dobře koncipovaná a její uzpůsobení je logické. Příslušné obrázky, tabulky a text přispívají k přehlednosti popisu řešené práce. Naměřené hodnoty jsou statisticky vyhodnoceny.

V návaznosti na kapitoly, které se týkají *experimentální části*, navazuje dobře zpracovaná kapitola *Diskuse výsledků* a dále kapitola *Závěr*. Další důležitá kapitola je *Přínos práce a doporučení pro další výzkum*.

Z těchto kapitol jsou zřejmé tyto dílčí výsledky:

V oblasti slévárských forem na základě inovace bylo použito slévárské ostřívo FS003 (98,1 hmot. % SiO₂; 0,76 hmot. % Al₂O₃, 0,11 hmot. % Fe₂O₃, 0,14 hmot. % TiO₂; ostatní zbytek 0,89 hmot. %), střední velikost zrna je 0,19 mm. Dále jsou uvedeny poměry mezi ostřivem – pojivem a ktivátorem. Pro výrobu forem bylo použito 1350 kg ostřiva, 18,4 kg pojiva (furanová pryskyřice); 3 kg aktivátoru. Max. pevnost směsi byla 0,513 MPa. Obdobné bylo složení ostatních směsí pro další technologické účely.

Je možno konstatovat, že řešením této disertační práce:

- 1) Byly dosaženy vytyčené cíle;
- 2) Jak je patrné z výše uvedeného, práce splňuje požadovanou úroveň současného stavu řešené problematiky;
- 3) Téma práce je v souladu s úrovní rozboru současného stavu;
- 4) Práce velmi dobře charakterizuje teoretické zásady 3 D technologie sandprint;
- 5) Doktorand použil odpovídající metodiku při řešení práce;
- 6) Vhodnost použitých metod práce byla vyhodnocena na základě kvality získaných odlitků;
- 7) Doktorand prokázal odpovídající znalosti v oboru, k tomu přispěla i jeho dlouholetá praxe v oblasti výroby pískových slévárských forem a také výroby forem 3D tiskem;
- 8) Struktura práce je přehledná a její formální úroveň velmi dobrá.

Výsledky disertační práce se mohou aplikovat při výrobě dílů pro slévárství, svařování, atd.

Doktorand při řešení disertační práce prokázal odpovídající znalosti a také odbornou průpravu při přípravě a vyhodnocení experimentů.

V práci jsem nenalezla závažné nedostatky (jen několik formálních nepřesností). Doktorská práce je na velmi dobré odborné i formální úrovni. Doktorand při řešení práce použil speciální zařízení. Tato zařízení jsou pouze 2 v České republice. Doktorand se naučil toto zařízení ovládat na takové úrovni, že vyrobené pískové formy mohly být dále použity pro výrobu kvalitních odlitků, které byly následně vyhodnoceny. Výsledky práce byly publikovány. Řešené téma přispívá k rozvoji vědního oboru i netradičních výrobních procesů, kam se také řadí 3D tisk pískových forem. Výsledky jsou základní informací pro možnosti výroby odlévaných dílů do pískových forem. Proti stávajícím technologiím formování, 3D tisk forem má tu výhodu, že není potřeba modelové zařízení s úkosy. Tím jde pro slévárské účely

vyrobit i jen jedna slévárenská forma bez potřeby modelového zařízení (a s tím v návaznosti jeden odlitek).

K řešení disertační práce mám tyto dotazy:

- 1) Prosím o stručné popsání procesu při tvorbě 1 vrstvy pískové formy;
- 2) Jaké parametry výrobního procesu byly uplatněny při výrobě forem (použitých v této práci)?
- 3) Za jak dlouho po jejich výrobě musí být formy použité k odlévání?
- 4) Vidíte nějaká negativa výroby pískových forem touto metodou (3D tiskem)?

Předložená disertační práce Ing. Libora Horáčka je výsledkem cílevědomé odborné práce s využitím moderní výrobní metody a zařízení. Disertační práce je založená na 3D tisku pískových forem i s použitím jiného ostřiva. Doktorand, na základě předložené disertační práci prokázal schopnost řešení odborné problematiky. Je schopen propojit teoretické znalosti s inovací materiálů, popř. i technologického procesu. Svou prací přispěl k obohacení poznatků o 3D tisku pískových slévárenských forem. Na základě těchto skutečností, dle vysokoškolského zákona 111/1998 Sb., doporučuji disertační práci Ing. Libora Horáčka, k obhajobě a udělení akademické hodnosti ***doktor*** (Ph.D).

V Liberci, 22.2. 2022

Prof. Ing. Iva Nová, CSc.