FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

Oponentní posudek diplomové práce

Jméno studenta: Bc. Martin Hlista

Oponent bakalářské práce: Ing. Martin Nozar, Ph.D.

Název práce: Vliv vstupního materiálu na výsledné vlastnosti tištěných kovových dílů

Cíl práce a jeho naplnění
V diplomové práci na téma „Vliv vstupního materiálu na výsledné vlastnosti tištěných kovových dílů“ si autor za cíl stanovil zjištění a porovnání vlivu nového a přesetého kovového prášku na vlastnosti aditivní technologií vyrobených zkušebních vzorků, na kterých byly pro tento účel provedeny vybrané mechanické zkoušky. Tato diplomová práce, jejíž teoretická část práce obsahuje 29 stran a praktická část 35 stran, splňuje zadání v plném rozsahu.

Obsahové zpracování a přístup k řešení
Diplomová práce vedle úvodu a závěru obsahuje 4 kapitoly, které se věnují rozboru současného stavu, analýze vstupního materiálu, výrobě a testování zkušebních těles a zhodnocení provedených zkoušek. Pro zpracování práce použil autor řadu českých i zahraničních zdrojů, zejména tematicky vhodnou disertační práci, ze které pro srovnání čerpal údaje o experimentálním ověření vlastností vzorků vytištěných z přesetého kovového prášku.

V teoretické části práce, která obsahuje kapitoly „Rozbor současného stavu“ a „Analýza vstupního materiálu“, autor popisuje hlavní metody 3D tisku a kovový prášek, který je vstupním materiálem pro aditivní výrobu, zejména pak možnosti jeho výroby, jeho hlavní charakteristiky a způsob práce s ním.

Praktická část práce je tvořena kapitolami „Výroba a testování zkušebních těles“ a „Zhodnocení“. Zde se autor v jednotlivých podkapitolách věnuje popisu technologie aditivní výroby, navržení zmenšení pracovního prostoru platformy a konstrukci příslušné přepážky, výrobě zkušebních těles a jejich mechanickým zkouškám. V následujících podkapitolách pak sumarizuje naměřené hodnoty a shrnuje výsledky mechanických zkoušek.

Před vlastním popisem výroby zkušebních vzorků a jejich mechanických zkoušek autor v diplomové práci navrhuje dvě řešení pro zmenšení pracovního prostoru tiskárny, z nichž perspektivnější variantu podrobně rozpracovává. Tato zkonstruovaná přepážka může být užitečná především pro potřeby experimentálního nebo maloobjemového tisku, jelikož díky omezení pracovního prostoru tiskárny může uspořit část práškového materiálu. V textu bohužel ale není dostatečně zdůvodněno, jakým způsobem souvisí zmenšení pracovního prostoru s vlivem vstupního materiálu na mechanické vlastnosti vzorků.

V dalších kapitolách práce je již věnována pozornost výrobě zkušebních vzorků a mechanickým zkouškám, které na nich byly provedeny. Je zde popsána výroba a charakteristiky těchto vzorků a specifikovány zvolené mechanické zkoušky - zkouška tahem, zkouška rázem v ohybu a cyklická únavová zkouška, díky kterým byly získány potřebné hodnoty umožňující srovnání vlastností těchto vzorků se vzorky vyrobenými konvenčním způsobem a se vzorky vyrobenými stejnou aditivní technologií, ale z již několikrát přesetého prášku. Uvedené zkoušky a jejich výsledky jsou popsané dobře, byť některá konstatování jsou poměrně zjednodušená a diskutabilní.

FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

Oponentní posudek diplomové práce

Jméno studenta: Bc. Martin Hlista

Oponent bakalářské práce: Ing. Martin Nozar, Ph.D.

Závěrečnou kapitolou praktické části je kapitola „Zhodnocení“, ve které autor práce vyhodnocuje získané výsledky a sumarizuje jejich hodnoty pro vzorky vyrobené konvenčním způsobem oproti vzorkům vyrobeným aditivní technologií z nového a přesetého prášku. Celkově je zhodnocení provedené dobře, pouze pro objektivní srovnání a závěry byl porovnáván příliš malý počet vzorků, přičemž hodnoty některých zkoušek vykazují překvapivě velký rozptyl a odchylky od hodnot očekávaných nebo udávaných výrobcem prášku.

Formální náležitosti práce a úprava

Z formálního hlediska je práce velmi hezky zpracovaná, přehledná a doplněná řadou grafů, tabulek, fotografií a ilustrací. Písemný projev je rovněž dobrý a srozumitelný. Současně ale není příliš dobře zpracován Seznam použité literatury. Ten byl patrně připraven automaticky a v některých případech neodpovídá normě, ale především u některých často citovaných článků (např. článek [12]) není uveden jejich název a autor, ale pouze časopis, ze kterého tento článek pochází. Současně právě článek [12] není uvedený jako zdroj u tabulky č. 2 a kapitol 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, ve kterých je tento text ve velké míře použit. U tabulky 5 není uvedený zdroj hodnot zkoušek rázem v ohybu pro přesetý prášek a konvenční materiál.

V teoretické části diplomové práce jsou citovány některé odborné články publikované specialisty na práškovou metalurgii, které obsahují velké množství speciálních a poměrně obtížně přeložitelných výrazů. Pro korektní překlad je proto potřeba dobrá znalost popisovaných procesů a příslušné české terminologie. V diplomové práci se tak bohužel vyskytuje velké množství nepřesně přeložených odborných výrazů, což v některých případech zcela mění smysl citovaných vět. Poměrně matoucím způsobem jsou zde přeloženy především výrazy „Apparent (bulk) density“ a „Packing (tap) density“, které se překládají jako „sypná“ a „setřesná“ hustota. Tyto výrazy zjednodušeně znamenají hustotu sypkého materiálu (prášku) po jeho nasypání do zásobníku a ve druhém případě jeho hustotu po „setřesení“ nebo napěchování, jak se tento proces nazývá při aditivní výrobě. Právě pokusy o překlad druhého uvedeného výrazu jako „*hustota balení*“ nebo „*hustota klepnutí*“ vedly k nepochopení pravého významu výrazů a následnému použití ve špatných souvislostech, jako např. v kapitole 2.8 "Hustota balení a skladování prášku" nebo zavádějícím formulacím typu „*… zkoumá se tok a chování prášku při balení*“, "*Hustota prášku v AM stroji s práškovým ložem je někde mezi zdánlivou hustotou a hustotou baleného prášku*." nebo zcela nekorektní „*Hustota klepnutí je kritická hodnota při vstřikování kovů, která určuje maximální obsah kovového prášku v organickém pojivu*.“ Setřesná hustota je rovněž oproti citovanému článku v kapitole 2.7.1 nahrazena výrazem „tekutost prášku“ (tzv. Flow rate), který ale popisuje jinou vlastnost a je nepřesně v některých kapitolách překládán jako průtok. Vedle těchto výrazů jsou v textu také používány patrně „strojové“ překlady výrazů, jako např. „*plazmatický atomový drát*“ (správně plazmou atomizovaný drát), „*atomizace vody*“ (atomizace s pomocí vody) a další.

Vedle těchto nepřesností je v této části práce patrná i poměrně neobratná interpretace distribuční křivky. Často používaný údaj PSD (tzv. particle size distribution) totiž neudává pouhou „velikost částic“, ale rozložení velikostí částic v objemu. Způsob práce s kvantily je vysvětlen v kapitole 2.5.2,

FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

Oponentní posudek diplomové práce

Jméno studenta: Bc. Martin Hlista

Oponent bakalářské práce: Ing. Martin Nozar, Ph.D.

v kapitole 3.1 je již ale nesprávně hodnota D90 interpretována způsobem, že *„průměrná velikost je tvořena 90 % částic o velikosti 50 µm“*, zatímco kvantil D90 znamená, že 90 % objemu je tvořeno částicemi o velikosti menší nebo rovné příslušné hodnotě. Právě tato nepřesnost a vytržení některých údajů z kontextu je následně základem diskutabilních a neprokazatelných tvrzení o skutečných a výrobcem udávaných velikostech částic.

Připomínky

- Str. 25: "*AM technologie se vyznačuje jako výroba dílů s minimálním nárokem na dokončovací operace*." - příliš zjednodušené a diskutabilní tvrzení.
- Str. 27: "*Dále mohou být změny v prášku způsobeny kontaminací prášku prostřednictvím nečistot, cizích těles nebo intersticiálních prvků v důsledku manipulace během předběžného zpracování či po následném zpracování*" - s práškem nelze při aditivní výrobě manipulovat tímto způsobem a jakkoliv kontaminovaný prášek musí být odstraněn.
- Str. 29: *„Expozice prachu nepředstavuje inhalační problémy“* - prášek používaný při aditivní výrobě je zdraví škodlivý a při práci s ním je nezbytné používat ochranné prostředky.
- V kapitole *„Shrnutí důležitých vlastností prášku“* jsou uvedené jen některé vlastnosti a *„Ochranná atmosféra“*, *„Skladování“* a *„Recyklace“* nepatří mezi vlastnosti prášku.
- Str. 30: *„Transformace surovin na spotřební výrobky je zdrojem znečištění životního prostředí a v důsledku tohoto procesu vzniká odpad. Tento problém byl značně navýšen velice rychlým technologickým rozvojem v oblasti AM“* - diskutabilní a patrně nevhodně vytržené z kontextu.
- Str. 42: *„Recyklovaný prášek je vlivem složité úpravy velice finančně náročný“* - není zde vysvětleno, co znamená tato recyklace prášku.
- Str. 51: "... *čímž nedojde k možnému zaseknutí pravítka a následnému případnému zkroucení součástí na platformě vlivem působícího tepla z laseru*" - patrně obrácená kauzalita.
- Str. 52: *„Defaultně přednastavené parametry“* - uvedené parametry jsou licencované parametry výrobcem optimalizované speciálně pro ocel MS1, uvedené parametry pro kontury nejsou správné.
- Str. 57: V tabulce 4 s výsledky zkoušky tahem je u vzorků vytištěných z přesetého prášku sloupec s mezemi pevností oproti zdrojovému dokumentu posunutý, takže např. skutečné hodnoty Rm vycházejí pro nový i přesetý prášek vyšší, než je tomu u obou konvenčně vyrobených vzorků.
- Str. 64: Rozdíl mezi smluvními mezemi únavy nového a přesetého prášku je špatně vypočtený.
- Str. 68: "*Důvodem výskytu takto malých částic v prášku může být použití dané metody (laserové difrakce) při měření velikosti částic*" - důvodem výskytu malých částic v prášku je způsob jeho výroby.

Otázky

1) V kapitole 5.1 je uvedeno, že zjištěné výsledky *„odporují tvrzením, že nový prášek by měl dosahovat lepších hodnot, než jakých je dosaženo u přesévaného prášku.“* V kapitole 2.9.4 je ale mezi výslednými vlastnostmi vzorků vyráběných z přesévaného materiálu Ti - 6AL - 4V uvedeno, že byla zjištěna *„výrazně delší únavová životnost a delší životnost v porovnání se vzorky vyrobenými z nového prášku“*. Odkud tato tvrzení pocházejí? Je tedy obecně přesetý prášek pro aditivní výrobu výhodnější a proč?

FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

Oponentní posudek diplomové práce

Jméno studenta: Bc. Martin Hlista

Oponent bakalářské práce: Ing. Martin Nozar, Ph.D.

2) Potřeba zkonstruování dělící přepážky je v práci zdůvodněna ekonomickými výhodami plynoucími z rozdělení pracovního prostoru tiskárny. Výrobci 3D tiskáren se ale naopak dlouhodobě snaží o zvětšování pracovního prostoru, díky kterému je možné tisknout rozměrnější díly nebo větší počty kusů současně, což zvětšuje produkční možnosti a tím zrychluje návratnost investice do těchto zařízení. Jak souvisí konstruování této dělící přepážky s tématem diplomové práce a v čem je použití takové přepážky vlastně výhodné?

3) Ve shrnutí práce je uvedeno, že i když bylo dosaženo objektivních výsledků, tak mohlo při výrobě vzorků dojít k lidské chybě, např. ke špatnému pěchování prášku ve stroji nebo k nesprávnému tepelnému zpracování, a je doporučeno, že *„přínosem pro zkoumání AM procesu pro kovový prášek MS1 by byla např. standardizace procesu pro tento druh prášku a tím vytvoření postupu pro jeho zpracování*". Jak by měla taková standardizace vypadat a co všechno by měla zahrnovat?

Slovní hodnocení diplomové práce

Předkládaná diplomová práce splňuje požadavky kladené na závěrečnou práci v magisterském studijním programu. Autor v ní řeší důležitou otázku vlivu vstupního materiálu na výsledné vlastnosti aditivně vyrobených kovových dílů. Pro toto posouzení jsou zde vlastnosti vzorků vytištěných z nového kovového prášku zhodnoceny na základě výsledků mechanických zkoušek a porovnány s hodnotami výsledků zkoušek provedených na vzorcích z přesetého materiálu a vzorcích vyrobených konvenčním způsobem. Tyto výsledky zkoušek jsou z praktického hlediska zajímavé, jelikož některé zjištěné hodnoty jsou poměrně překvapivé, byť z takto malého počtu vzorků nelze učinit jednoznačné závěry. Celkovou kvalitu této diplomové práce bohužel zhoršují chyby v překladu, některé formální nedostatky a řada nepřesností a diskutabilních formulací. Celkově ale diplomant prokázal své porozumění problematice aditivní výroby, mechanického testování a hodnocení kvality aditivně vyrobených dílů. Tuto práci doporučuji k obhajobě.

Event. pokračování textu na přiložených listech.
Navrhovaná výsledná klasifikace: Dobře

Místo, dne: Plzeň, 12. 8. 2020

---
podpis