

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Návrh komory pro zajištění ochranné atmosféry při navařování titanu
Jméno autora:	Martin Petrásek
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní (FS)
Katedra/ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie
Oponent práce:	Ing. Libor Dvořák
Pracoviště oponenta práce:	VÚTS a.s. Liberec

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Problematika procesu laserového navařování titanových slitin je náročná z hlediska ochrany návarů proti oxidaci. Titanové slitiny jsou obecně velmi reaktivní s okolní atmosférou (vysoká afinita s O₂), jedním z mnoha problémů je zajištění kvalitní inertní ochrany během procesu navařování a následně i během chladnutí jednotlivých vrstev. Většina specializovaných zařízení pro aditivní výrobu má stínění od okolní atmosféry přizpůsobeno už od výrobce. Existují ovšem případy, kdy je zapotřebí dané laserové pracoviště rozšířit o tento prvek ochrany, což je vždy složitější a často se tak děje u robotických pracovišť, kde je poměrně velký okolní pracovní prostor a bylo velmi složité a nákladné tento prostor odstínit. Proto se aplikuje lokální inertní ochrana v blízkosti návaru, dochází tak ke zmenšení pracovního prostoru, který je pro tyto účely technicky i ekonomicky výhodnější. Technické provedení se většinou děje za pomoci pružného členu mezi procesní optikou a inertním boxem, tak aby mohl robot vykonávat omezený pohyb uvnitř inertního boxu a zároveň místo návaru neovlivňovala okolní atmosféra. Konstrukční řešení takového rozšíření bude vždy záležet na konkrétní aplikaci, velikosti navařovaného dílu a podmínkách daného pracoviště.</p>	

Splnění zadání	splněno s menšími výhradami
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
<p>Student M. Petrásek v úvodu BP popsal velmi obecně problematiku navařování titanových slitin za pomoci laserové technologie DED, správně zde zmiňuje problém s okolní atmosférou a hlavním cílem BP je konstrukční návrh a rozšíření stávajícího robotického pracoviště o inertní komoru, v které by se daly realizovat návary z Ti slitin bez přílišného vlivu okolní atmosféry. V teoretické části provedl student rešerši v oblasti laserového navařování, laserové techniky, vlivu jednotlivých ochranných atmosfér a laserové bezpečnosti.</p> <p>Teoretická část mohla být zpracována podrobněji, v kapitole 3.1 jsou uvedeny obecné informace pouze dvou aditivních metod (LMD-p a LMD-w), existují i další metody např. WAAM, EBAM, PTA, HVOF a SLM. Vyhledání aktuálních informací o dalších metodách, porovnání těchto metod jejich výhod a nevýhod a získání většího přehledu mohlo být pro studenta přínosem, bohužel se tak stalo pouze z části. Postrádám zde také základní rozdělení techniky navařování jako je např. povlakování, opravy, výroba 3D dílů, rapid prototyping. Problematiku navařování titanu popisuje student v kapitole 3.2 str. 12, jsou zde zmíněny problémy s oxidací Ti slitin a uvádí zde i další obecné vady. Jaké konkrétní vady to jsou, už zde bohužel neuvádí. Dále je v kapitole uvedeno: "...ochranná atmosféra musí být zajištěna nejen po dobu vlastního návaru, ale i po dobu chladnutí", zde by bylo vhodné uvést dobu chladnutí nebo teplotu na, kterou musí návar zchladnout, než může dojít k bezpečnému vyjmutí z inertního boxu. Jako přínosnou hodnotím v teoretické části kapitolu 3.3, kde jsou uvedeny jednotlivé typy ochranných atmosfér jejich vlastnosti a procesní vlivy. V dalších kapitolách 3.4 až 3.7 je uveden obecný přehled dostupné laserové techniky na trhu pro laserové navařování, jako jsou laserové zdroje, procesní optiky, laserové navařovací buněk. Opět mohly být tyto kapitoly pro větší přehled zpracovány detailněji, např. zde mohla být uvedena i současná dostupná sensorika, která se využívá pro analyzování navařovacího procesu.</p> <p>V praktické části navrhl student dvě možná řešení, dále provedl porovnání koncepčních řešení a uvedl jejich hlavní výhody a nevýhody. Poté vybral jeden z návrhů a vypracoval výrobní dokumentaci s výrobním postupem vybraného vyráběného dílu. Obecně je koncepční řešení obou návrhů správné, vytvoření inertní atmosféry se lokalizuje v oblasti návaru a zmenší se tak pracovní prostor. Návrh číslo 1, je vhodný pouze pro laboratorní účely a ověření správnosti řešení ovšem jeho životnost pro opakovatelnost není vhodná. Návrh číslo 2 je z hlediska životnosti a opakovatelnosti řešení lépe, proto ho student M.</p>	

Petrásek nejspíš vyhodnotil jako variantu pro další rozpracování ovšem nikde v BP není uvedeno proč se tak rozhodl. U varianty číslo 2 student správně navrhl přípravu pro kontrolu pracovního prostoru uvnitř boxu v podobě senzorů na koncentraci O₂ a tlaku, před zahájením navařování je dobré tyto parametry kontrolovat, ještě bych zvážil na vstupní přívod argonu instalovat průtokoměr pro přesnější regulaci inertního plynu. U obou variant je uvedena jako hlavní nevýhoda složitá výměna dílů, proto je škoda, že se student nepokusil tento problém nějakým způsobem konstrukčně vyřešit, např. procesním oknem. I přes menší výhrady v teoretické části, které mohl student věnovat více času a získat tak větší přehled o dané problematice, bylo zadání splněno a došlo k navržení dvou konstrukčních řešení pro budoucí výrobu a parametrizaci procesu.

Zvolený postup řešení

správný

Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.

Student postupoval správně, pro stávající robotické pracoviště navrhl pro účely navařování titanových slitin lokální inertní komoru, která se skládá z inertního svařovaného boxu a je spojena s procesní optikou pomocí pružného členu.

Odborná úroveň

D - uspokojivě

Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Odbornou úroveň hodnotím stupněm „C-dobře“ hlavně v teoretické části mohl student věnovat více času kapitolám 3.1 a 3.2, které se zabývají procesem navařování a získat tak větší všeobecný přehled. Student čerpal informace převážně z komerčně dostupných zdrojů v seznamu citované literatury, jsou však i odkazy na odborné články zabývající se problematikou navařování titanových slitin a to lze hodnotit kladně.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Bakalářská práce poskytuje přehledné informace a jednotlivé kapitoly na sebe logicky navazují. Popis jednotlivých návrhů v praktické části je srozumitelný, ovšem pro větší přehlednost mohl být doplněn o více detailnějších schémata. Chybí seznam použitých zkratk a symbolů. Po jazykové a formální stránce hodnotím BP velmi dobře.

Výběr zdrojů, korektnost citací

C - dobře

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Na základě předchozích připomínek mohl student věnovat více času teoretické části zejména v kapitolách o navařování Ti slitin, správně je zde uveden problém oxidací těchto slitin, ale už zde nejsou uvedeny další aspekty spojené s procesem přímé laserové depozice, např. přehřev, strategie navařování (jednovrstvé/vícevrstvé), velikost tavné lázně, chladnutí, tepelně ovlivněná zóna základního materiálu. Druhy Ti slitin, jaké se mohou vyskytovat vady v navařených vrstvách a jak je následně analyzovat.

Z hlediska odborné úrovně mohl student čerpat více informací z aktuálních odborných článků, téma přímé laserové depozice je velmi aktuální v oblasti elektromobility a oprav v leteckém průmyslu. K číslování citované literatury a použití v jednotlivých kapitolách nemám žádné výhrady.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Na základě předchozích připomínek mohl student věnovat více času teoretické části zejména v kapitolách o navařování Ti slitin, správně je zde uveden problém oxidací těchto slitin, ale už zde nejsou uvedeny další aspekty spojené s procesem přímé laserové depozice, např. přehřev, strategie navařování (jednovrstvé/vícevrstvé), velikost tavné lázně, chladnutí, tepelně ovlivněná zóna základního materiálu. Druhy Ti slitin, jaké se mohou vyskytovat vady v navařených vrstvách a jak je následně analyzovat.

V praktické části postupoval student správně, u obou konstrukčních návrhů se snažil lokalizovat inertní atmosféru do místa návaru a zmenšit tak pracovní prostor, který lze lépe kontrolovat. U návrhu číslo 1 a 2 není řešena výměna dílů, myšlenka použití PVC fólie pro pružný člen může být ekonomicky zajímavá ale životnost tohoto materiálu při častých výměnách dílů a teplotního zatížení nebude dlouhá. Oba návrhy mají potenciál pro výrobu a využití v praxi, kde bude zapotřebí řešit další nedostatky, které vzniknou při samotném procesu navařování.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Bakalářskou práci studenta M. Petráska hodnotím celkem kladně s menšími nedostatky, zejména v teoretické části mohl věnovat více pozornosti principům navařování DED a více analyzovat metody aditivní výroby, BP by pak získala vyšší stupeň odbornosti. V praktické části student prokázal určitý konstrukční přehled a navrhl dvě potenciální řešení ochranné komory pro zajištění ochranné atmosféry při navařování Ti slitin.

1. Jaké existují další aditivní metody navařování kovů?
2. Jaké vady mohou vznikat při tvorbě návarů, jaké jsou jejich příčiny vzniku a jak je lze vyhodnocovat?
3. Co může obecně ovlivnit přehřev materiálu před samotným navařováním?
4. Jaký vliv může mít podkladový materiál na výsledné návary? (rozměry, tepelné zpracování, chemické složení)
5. Jaká je obecná teplota oxidace Ti slitin?

Datum: 29.8.2023

Podpis: Ing. Libor Dvořák

