

Recenzní posudek doktorské disertační práce

Název práce : **Monitorování tlakových procesů kaskádového vstřikování u velkorozměrových nástrojů**

Doktorand : Ing. Michal Lukeš

Školitel: Prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld

Recenzent: Doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

Předkládaná disertační práce obsahuje na 124 stranách textu a 14 listech příloh samostatné kapitoly, týkající se studijní, teoretické, experimentální a tabulkové části, doplněné anotací s prohlášením, přehledem použitých symbolů a zkratk a taktéž seznamem literatury, publikací a příloh.

Již v úvodu hodnocení musím konstatovat, že celá práce je zpracována velmi pečlivě, věcně, logicky správně a je zde patrná i hluboká znalost a dobrá orientace doktoranda v celé oblasti, týkající se této problematiky. Řešením doktorand jednoznačně prokázal, že ovládá nejen odbornou problematiku daného oboru, ale i vědecké metody a jejich uplatnění, vedoucí cíleně k velmi hodnotným závěrům, přinášejícím nové poznatky v oboru.

Celá práce je zdařilým a komplexním projektem, plně odpovídajícím svému zadání, řešícím monitorizaci tlakových procesů kaskádového vstřikování u velkorozměrných nástrojů.

Zde je nutno upozornit především na to, že pro výrobu stále složitějších velkorozměrných výstřiků a výlisků je mimo zvládnutí vlastní technologie výroby nutná i dokonalá znalost tlakových procesů a tepelných dějů, které tuto technologii a její navržení zásadně ovlivňují. V praxi jsou totiž často navrhovány vstřikovací formy pouze na základě předchozích zkušeností a znalostí konstruktéra a technologa, a takové návrhy nemusí být, zvláště u tvarově složitých nebo velkorozměrných výstřiků vždy zcela odpovídající a optimální. Proto jsou v současném a moderním konstrukčním přístupu stále častěji uplatňovány různé druhy simulačních programů, pomocí nichž je možno pomocí detailní rekognoskace tepelných a tlakových dějů a poměrů v průběhu vlastního procesu předvídat možné vady výstřiku ještě před výrobou vlastního nástroje. To je velmi důležité zvláště při řešení návrhu vtokového a temperančního systému, který může návazně ovlivnit nejen kvalitu, ale i produktivitu vlastní výroby. V daném smyslu proto předloženou práci hodnotím jako velmi aktuální.

Vzhledem k tomu, že v současné době se odborná literatura touto problematikou (zvláště v oblasti kaskádového vstřikování velkorozměrných dílců) zabývá pouze okrajově, je velmi pozitivním zjištěním, že právě monitorizaci tlakových procesů v dané oblasti si doktorand zvolil jako hlavní cíl své práce.

Snaha po komplexnosti práce je patrná již z toho, že jako její cíl (rozvedený do 5 částí) byl definován výzkum nejvhodnějšího procesního pole pro vstřikování velkorozměrových dílů v závislosti na počtu plnicích míst, době a velikosti dotlaku s důrazem na výslednou kvalitu vyráběného dílce. Zde je pak důležitá především vlastní monitorizace průběhu tlaků a z naměřených tlakových křivek následné stanovení přechodových křivek, vymezujících oblasti nastavení vhodných parametrů vlastní výroby.

Velmi důležitým se v dané oblasti jeví nejen vyhodnocení proměnných v závislosti na velikosti získaných procesních ploch, ale i stanovení významnosti jednotlivých parametrů při zohlednění kvalitativního hlediska, stejně jako hodnocení korelace simulací s experimenty a realizace finální simulace s cílem stanovení optimálního počtu plnicích míst.

Studijní a teoretická část popisuje především nejdůležitější části technologie vstřikování, řízení vstřikovacího procesu, průběhy tlaků u vstřikovacího procesu včetně způsobů měření, a jsou zde detailně rozvedeny i další samostatné části, týkající se problematiky zpracování naměřených dat a hodnocení způsobilosti procesu.

Velmi důležitý je zde i popis reologických vlastností tavenin plastů a viskozity polymerních tavenin a taktéž obecný popis vstřikovacích nástrojů a kaskádového vstřikování. Logicky správně je celá část doplněna popisem p-v-T diagramu, včetně vyjádření vstřikovacího cyklu, kde tento diagram umožňuje mnohem komplexnější náhled na probíhající děje v nástroji v průběhu cyklu.

Po prostudování teoretické části musím konstatovat, že celá tato obsáhlá část práce je zpracována velmi pečlivě, a mimo drobných formálních nedostatků a překlepů (např. obr.7 – Dynamická viskozita, str.30 – správně je na obr. 20 a nikoliv na obr.26, poslední odstavec – správně „technologií“, str.33 – na následujícím obr. 22, v_s – vstřikovací rychlost na str.35 není uvedena v použitých symbolech, str. 36-38 chybí odkazy na obr.25, 26 a 27, str.43 a 44 – způsoby řízení bývají uváděny jako „closed loop“ a „open loop“), je obsahově i věcně zcela správná a bez připomínek.

Formální nepřesnosti a drobné překlepy však v žádném případě nesnižují odbornou úroveň práce. Jako drobnou připomínku zde pouze uvádím, že podle platné směrnice, závazné pro zpracování disertačních prací a jejich obsahového členění, by v této kapitole měla být více rozvedena část, pojednávající o současném stavu řešené problematiky.

K **experimentální části práce** musím uvést, že provedené experimenty a simulační ověření, dokumentované velkým rozsahem grafů, tabulek a obrázků, znamenají další podstatný příspěvek k řešení problematiky vlivu nástroje na kvalitu výtvarků, zhotovovaných technologií vstřikování. Domnívám se, že jak návrh a členění, tak i zpracování a vyslovené závěry k jednotlivým experimentům svědčí nejen o dostatečných odborných znalostech doktoranda, ale i o dobrém odborném a metodickém vedení ze strany školitele.

Cíle experimentální části práce jsou definovány přehledně a jasně a udávají zcela logický a správný postup – je zdůvodněna i volba materiálů s uvedením jejich charakteristik a vyčerpávající je i vstup do celé experimentální části, sestávající především z prověrky možností a vhodnosti zařízení k provedení experimentu a nastavení technologických parametrů na stroji při monitorizaci kaskádového vstřikování.

V první části experimentu byla provedena v souladu s hlavním zaměřením práce, monitorizace tlakových procesů ve vazbě na počet plnicích míst a vybrané procesní parametry (doba a velikost dotlaku). Kvalitním výstupem této stěžejní části experimentu je zvláště grafické zobrazení a matematická formulace průměrné velikosti procesní plochy v závislosti na počtu plnicích míst. S využitím tlakových křivek a kvalitativní analýzy zde byly vymezeny resp. ohraničeny i oblasti předpokládané výroby kvalitních a nekvalitních dílců.

V další části experimentu bylo analyzováno přepínání na dotlak od dráhy vstřikovací jednotky s přepínáním pomocí tlaku uvnitř dutiny nástroje.

Velmi hodnotná a přínosná je rovněž analýza možnosti úplného řízení uzavíratelných trysek pomocí tlaků uvnitř nástroje, snímaného sedmi tlakovými snímači, zaměřená právě na vstřikování velkorozměrných výrobků.

Naprosto vyčerpávajícím způsobem je v kapitole 3.8 popsána, a příslušnými grafy a obrázky modelu a taktéž porovnáním plnění dutiny nástroje v reálných a simulovaných podmínkách dokumentována, i simulace vstřikování, realizovaná pomocí software Moldflow Plastic Insight 2010.

Diskuze výsledků, provedená v kapitole 3.9, která je velmi hodnotnou analýzou a finálním zhodnocením experimentální části práce, provádí rozbor nejen v části monitorizace tlakových procesů, ale i v části působení vlivu vybraných proměnných na výslednou tloušťku stěny, způsoblosti procesu a tlakového řízení uzavíratelných trysek při plnění dutiny nástroje, hodnocení pevnosti ve střihu, a v neposlední řadě i celkové hodnocení softwarové simulace.

Přestože s výsledky a závěry u hodnocení pevnosti ve střihu včetně výsledků lineární regrese, uvedených na obr.94 je možno souhlasit, bylo by vhodné, aby doktorand při obhajobě ještě dodatečně uvedl důvod volby experimentálního měření pevnosti ve střihu a nikoliv měření a hodnocení pevnosti v tahu.

V závěru práce je provedeno nejen věcné shrnutí teoretické a experimentální části práce, ale v šesti bodech jsou velmi přehledně definovány i dosažené výsledky, a v dalších samostatných odstavcích i přínosy práce pro vědu a pro praxi. S uvedenými výsledky i přínosy lze souhlasit bez dalších připomínek a výhrad.

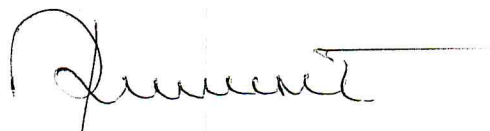
Závěrem mého hodnocení je nutno opakovaně poukázat na to, že předložená práce je zpracována logicky, věcně i obsahově správně, navržená metodika zkoušek využívá moderních metod a dosažené výsledky jsou vyhodnoceny se statistickou průkazností. Téma celé práce je aktuální a práce splnila ve všech směrech stanovené cíle. Rovněž grafická úprava je na vysoké úrovni a k práci nemám mimo již uvedených formálních a drobných připomínek žádné další výhrady.

Celkovou kompozicí, obsahovou náplní, volbou cílů a metodiky, jakož i pečlivým provedením a dokumentováním výsledků experimentů, byl dostatečně prokázán též vlastní vědecký přínos doktoranda a jeho schopnost orientovat se v dané problematice na základě dostačujících teoretických znalostí, což svědčí rovněž o jeho schopnosti samostatně vědecky pracovat.

Byl prokázán též velký podíl práce na rozšíření poznatků, důležitých nejen pro rozvoj vědního oboru, ale lze předpokládat i jejich následné využití v praxi.

Velmi kladně hodnotím rovněž související autoreferát disertační práce, který obsahuje všechny nezbytné informace a stručný přehled výsledků experimentů včetně příslušného závěru a definovaných přínosů pro vědu a praxi.

Na základě uvedených závěrů doporučuji předloženou práci jednoznačně k obhajobě, a po jejím úspěšném ukončení doporučuji, aby doktorandovi byla udělena vědecko – akademická hodnost a titul PhD.



Doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

V Brně dne 27.8.2012

Vec: recenzia dizertačnej práce

Dizertant : Ing. Michal Lukeš, TU v Liberci, Fakulta strojní

Názov dizert. práce: Monitorizace tlakových procesů kaskádového vtrikování u velkorozměrových nástrojů

Dátum : 6.9.2012

Úvodom je potrebné vyzdvihnúť ojedinelosť záberu dizertačnej práce (ďalej len „DP“), kde bola možnosť na veľkorozmerovom dielci v konkrétnych podmienkach overiť na úrovni aplikovaného výskumu simulované predpoklady technologického procesu s praxou, pri využití o.i. aj štatistických metód vyhodnotenia spôsobilosti procesu.

Práca je ďalšou zo série prác potvrdzujúcich v skutočnosť, že strojárské technológie sú vysoko sofistikovaným odborom, zahrňujúcim posledné vedecké a technické aspekty viacerých vedných odborov, ktoré často iniciujú smery zamerania tém základného a aplikovaného výskumu.

Pri recenzovaní DP je potrebné konštatovať, že sa autor nevyhol niektorým i keď menej závažným nepresnostiam, ktoré sú podľa môjho názoru hodné zreteľa. Sú to predovšetkým nasledovné:

- na str.25, obr.14. Privítal by som diskusiu, pre ktoré prípady v praxi je predpokladaný priebeh tlaku typický
- str.32, obr.22 je v grafike neúplný
- str.37, obr.25 a 26 nebolo by vhodné vyznačiť body prepínania vstrekovacej fázy na dotlakovú?

Pre ako dimenzovaný vstrekovací dielec a pre aké technologické parametre a materiály sú prezentované krivky priebehu tlaku typické?

-str. 30 , obr.č.26, správne by asi malo byť uvedené „obr.č.20“

-str.42, aké je to „dobré“ dynamické chovanie sa hydraulického systému?

-str.61 rozhranie, inštalované medzi jednotkou CoMo a solenoidmi ventilov uzatváracích trysiek, je osadené relé. Aké sú reakčné časy použitých relé a aký majú vplyv na reakčný čas celého systému,

-str.68, tab.č.4, prosím dovysvetliť v tab.č.4 „poloha trysky + poloha šneku“, v kontexte celej kapitoly 3.5.1 uvádzanej na str.67

-str. 73 a 74 , obr.č.62,63,64. Na predloženej práci , ktorú obdržal recenzent , horeuvedené obr. v zvolenom grafickom prevedení sú neprehľadné. Stráca sa napr. identifikácia jednotlivých vyznačení priebehov tlaku. Autor práce predkladajúci svoju DP odbornej verejnosti musí mať v prvom rade záujem na jednoznačnej prezentácii svojich výsledkov.

Navrhujem , aby autor DP predložil k obhajobe jasne identifikovateľnú prezentáciu horeuvedených obrazov.

Ďalej žiadam o vysvetlenie k tab.č.3, uvedené na str.66 týkajúce sa nastavenia základných technologických parametrov vstrekovacieho stroja. Autor DP uvádza maximálny vstrekovací tlak 142 barov ale v experimentálnej časti pracuje so vstrekovacími tlakmi cca 250-350 barov, pre variantu troch uzatváracích trysiek až 513 barov.

K obr.č.107 a č.108 na str.108 a str.109 a k nim pripojenému zdôvodňovaniu rozdielov na úrovni až 38,1 percenta plôch pod simulovanými krivkami a reálne nameranými priebehmi (ako aj výraznými odchýlkami tvaru kriviek reálnych a simulovaných priebehov tlaku) mám za to, že predkladaná argumentácia príčin rozdielov je zjavne málo presvedčivá. Konzultoval dizertant tieto výsledky simulácie s fy Autodesk?

Pri tejto príležitosti sa ponúka nasledovné: V prehľade použitej literatúry som sa nestretol s prácami ďalšej firmy pôsobiacej na teritóriu ČR /fy CADMOULD/, ktorá je tiež aktívna v odbore kaskádového vstrekovania. Bolo by zaujímavé

získať stanovisko tejto resp. ďalších firiem zaoberajúcich sa simuláciou vstrekovacích procesov k predmetnej problematike a to i pre budúcnosť.

Všeobecne kaskádové vstrekovanie prináša svoje osobitosti vyargementované v kap. 3.7.5 a 3.7.6. Pri tejto príležitosti by som privítal upresnenie pojmu v práci používaného dizertantom : „prepínané na dotlak od vstrekovacieho stroja“. Je to prepínanie závislé na polohe závitovky? Ak áno, je to kontaktné alebo bezkontaktné snímanie polohy? Je možné získať údaje o reakčných časoch na vstrekovacom stroji použitého zrejme hydraulického systému prepínania? Podobne : Aký je princíp ovládania jednotlivých trysiek formy od vstrekovacieho stroja (po vynechaní systému CoMo)?

Pri hodnotení predkladanej DP je potrebné vyzdvihnúť použitú metodiku pre získanie objektívnych údajov, slúžiacich na vytvorenie technologických podkladov pre definovanie optimálneho procesného poľa pre daný typ veľkorozmerných dielcov , a to na vedeckej úrovni. Je možné so závermi práce vrátane formulácie prínosov pre vedu a pre prax v zásade súhlasiť a to v plnom rozsahu s tým, že výsledky práce sú bezozbytku platné pre daný typ skúmaných veľkorozmerných výstrekov, s významným posunom v prospech obecných platných záverov vygenerovaných na základe preukázaných výsledkov posudzovanej práce.

Týmto potvrdzujem a pozitívne hodnotím aktuálnosť zvolenej témy a splnenie cieľov práce, vedecký prístup k spracovaniu výsledkov, vrátane významnosti a novosti výsledkov pre daný vedný odbor.

Recenzní posudek disertační práce

Monitorizace tlakových procesů kaskádového vstřikování u velkorozměrových nástrojů

Autor:

Ing. Michal Lukeš

Katedra strojírenské technologie – Oddělení tváření kovů a plastů, Fakulta strojní,
Technická univerzita v Liberci

Školitel:

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld

Katedra strojírenské technologie – Oddělení tváření kovů a plastů, Fakulta strojní,
Technická univerzita v Liberci

Recenzent:

doc. Ing. Dora Kroisová, Ph.D.

Katedra materiálu, Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci

Předložená disertační práce Ing. Michala Lukeše se zabývá aktuální problematikou technologie vstřikování související se složitějšími tvary výstřiků, novými druhy materiálů a stále dokonalejším přístrojovým vybavením. Cílem práce je výzkum nejvhodnějšího procesního pole pro vstřikování velkorozměrových dílů v závislosti na počtu plnicích míst, době a velikosti dotlaku s důrazem na výslednou kvalitu dílu.

Práce má 124 stran a je rozdělena do sedmi kapitol. Rozsáhlá teoretická část popisuje základy technologie vstřikování, reologické vlastnosti tavenin plastů, průběhy tlaků u vstřikovacího procesu, diagram p-v-T, řízení vstřikovacího procesu, vstřikovací nástroje, kaskádové vstřikování, problematiku zpracování naměřených dat a hodnocení způsobilosti procesu a analýzu rozptylu.

Obsáhle zpracovaná experimentální část podává charakteristiku použitého materiálu, popisuje vstřikovací nástroj a stroj, CoMo jednotku, podává informace o nastavení technologických parametrů na stroji při monitorizaci kaskádového vstřikování stejně jako specifikaci nastavení technologických parametrů na stroji a jednotce CoMo při tlakovém řízení vstřikovacího procesu. V kapitole Proces měření je popsáno stanovení výrobního postupu, nastavení okrajových podmínek procesu a samostatný průběh experimentů. Podrobně je rozpracována otázka monitorizace kaskádového vstřikování, analýza získaných dat během monitorizace, způsob kvalitativního vyhodnocení, regresní analýza vybraných tlakových průběhů, vliv dotlaku a vliv počtu trysek na výslednou tloušťku stěny, hodnocení pevnosti ve střihu, analýza způsobilosti vstřikovacího procesu a tlakové řízení vstřikovacího procesu. Výsledky z experimentálních měření jsou podrobně diskutovány. V závěru jsou

shrnuty výsledky rozsáhlých měření, na jejichž základě autor formuluje závěry své práce stejně jako přínosy práce pro obor.

Hlavní cíl disertační práce – výzkum optimálního procesního pole při vstřikování velkorozměrového dílu v závislosti na vybraných parametrech a na počtu plnicích míst byl splněn. Zvolený postup řešení problematiky je vyhovující. Výsledky vztahující se k dané problematice byly publikovány. Výsledky experimentů jsou přehledně zpracovány a statisticky vyhodnoceny.

Doktorand v předložené práci prokázal jak znalosti teoretické, tak schopnost řešit v adekvátním rozsahu zadanou problematiku. Disertační práce má logickou stavbu a dobrou grafickou a stylistickou úroveň.

K uvedené disertační práci mám následující dotazy:

Veškeré experimenty byly prováděny na směsi dvou materiálů Sabic PP 108MF 10 a Sabic PP compound MBTF. Tyto materiály vytvořily po smíchání směs obsahující 10% talku.

- 1) Může mít množství talku vliv na vybrané hodnocené parametry? V případě, že ano, tak jaké?
- 2) Jaký vliv by mohlo mít anorganické plnivo s jiným charakterem částic (velikost, tvar částic, chemické složení)?
- 3) Jaký vliv by mohla na hodnocené parametry vykazovat přírodní vláknenná plniva, jakými jsou například buničina, len, konopí nebo ovčí vlna?
- 4) Do jaké míry je možné výsledky disertační práce zevšeobecnit?

Předložená práce vyhovuje požadavkům kladeným na disertační práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů a podle studijního a zkušebního řádu Technické univerzity v Liberci ze dne 23. září 2009.

Disertační práci pana Ing. Michala Lukeše doporučuji k obhajobě.

V Liberci, 30. 9. 2012


doc. Ing. Dora Kroisová, Ph.D