Doc. Ing.Jozef Horváth, CSc – Plastes, Krajná 39 , Nové Zámky 94055 , Slovenská republika

POSUDOK

Doktorskej dizertačnej práce spracovanej na tému: „Aplikace CO2 interního chlazení ve vyfukovacím procesu"v študijnom odbore 230V002 – Strojárska technológia so zameraním na spracovanie plastov.

Autor dizertačnej práce: Ing. Pavel Brdlík

Školiteľ: Prof.Dr.Ing. Peter Lenfeld

Pracovisko: TU Liberec , Katedra strojírenské technologie, Oddelenie tvárnenia kovov a plastov.

Autor sa vo svojej práci zameriava na aspekty produktivity procesu vyfukovania termoplastov cestou optimalizácie a efektivity chladenia pre externé a interné systémy s použitím médii. Voda, tlakového vzduchu, podchladený vzduch, atomizová voda, CO2, dusík, vrátane ich kombinácie ako viacfázových zmesí. V práci uvedených a predkladaných popisov a ich analýza možností aplikácie pre využitie na optimalizáciu procesu vyfukovania vyplýva, že autor je v tejto problematike fundovaný a zorientovaný. K podpore tohto tvrdenia prispieva i skutočnosť, že dizertant je autor resp.spoluautor troch úžitkových vzorov, troch podaných patentov, troch prototypov a dvoch priemyselných vzorov z odboru vyfukovania. Taktiež je pomerne bohatá jeho publikačná aktivita až na medzinárodnej úrovni v priebehu rokov 2011 až 2014 , čo svedčí o skutočnosti, že doktorant sa problematike priebežne venuje a obsahovo je pojatá do dizertačnej práce.

Autor dizertačnej práce sa nevyhol v niektorých pasážach popisu jednotlivých technologických princípov , zrejme vychádzajúc z firemných podkladov ponukových charakterov/str.46,38/, namiesto aby sa venoval napr. fyzikálnej alebo technologickej podstaty princípu.

Taktiež sa v dizertačnej práci v texte resp. v obrazoch vyskytli nezvyklosti, ako na str. 18 obr.4, jednotky tepelnej vodivosti, na str.12 sa uvádza „súčiniteľ tepelnej vodivosti formy", str. 21 je na zváženie či v odvolávaní sa na literatúry /16/ je vhodné sa na formy pre technológiu vstrekovaciu , ktoré sú namáhané /vstrekovacie tlaky a uzatváracie sily/ rádne vyššími silami ako formy vyfukovacie?

Str.23 obr.10 –vplyv geometrie kanálu a objemového prietoku na tlakové straty. Jedná sa o výsledky nejakej aproximácie resp. ide o namerané hodnoty?

Str.49, piata veta v texte- aké je to znenie „platnosti obecné pravidlo čo najkratšej vzdialenosti" ?

K samotnej dizertačnej práci by som mal na autora otázky:

1, K simulácii prúdenia médií na obr. 90, 100, 102 ako boli identifikované dielčie vektory rýchlosti prúdenia a aký matematický aparát / postup/ sa použil?

2,Aký postup sa použil „implementování teplotných a tlakových senzorov do lokácii" / obr.54/ str.68?

3,Na str.156 uvádza autor dizertačnej práce pojem „rozměrovosti produktu", prosím o jeho upresnenie

Dizertant vo svojej práci prezentoval podporu svojich dosiahnutých výsledkov pri aplikovaní analýz DSC a polarizačnej mikroskopii, i termovízie a to pri posudzovaní vplyvu procesných parametrov na výslednú nadmolekulárnu štruktúru hodnotených polymérov v experimente.

Žiaľ prezentované endotermné krivky PE a PP vzorkov na obr 153 na obr.153,154,155,156,157,158 a v prílohe sú v stave neidentifikácie pre príslušné k ním udávané údaje, obdobné platí i pre na str.144 obr.č. 147 a 148.

Je na autorovi, aby mal záujem prezentovať jednoznačné výsledky svojej práce i za cenu prijatých opatrení napr. v rozšírení počtu strán , zväčšené obrazové záznamy, príp. prijať i iné vhodné opatrenia.

K problematike diskusných záverov nemám pripomienky. Prínosy pre vedu a prax boli preukázané i v práci a konštatujem, že v práci dosiahnuté výsledky splnili ciele vytýčené v práci.

Uvádzam, že dizertant preukázal , že ovláda vedecké metódy, má hlboké teoretické znalosti a schopnosti tvorivej práce.

Záverom predkladám návrh o predloženie dizertačnej práce Ing.Pavla Brdlíka do pracovného programu komisie pre obhajobu dizertačných prác na FS TU v Liberci.

V Nových Zámkoch 18.4.2015

Doc. Ing.Jozef Horváth, CSc

Oponentní posudek disertační práce

Doktorand:	**Ing. Pavel Brdlík**
Název:	Aplikace CO_2 interního chlazení ve vyfukovacím procesu
Studijní obor:	Strojírenská technologie, 2303V002
Školící pracoviště:	Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci
Školitel:	Prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
Oponent:	doc. Ing. David Maňas, Ph.D.

Předložená disertační práce Ing. Pavla Brdlíka obsahuje 172 stran, které vyplňuje text, 165 obrázků, 37 tabulek a 10 příloh.

Práce řeší aktuální problém optimalizace chlazení vyfukovaných výrobků aplikací interního chlazení pomocí CO_2. Práce je rozložena do deseti kapitol zahrnující všechny náležitosti disertační práce. V úvodních kapitolách se autor věnuje vlastní technologii vyfukování a podrobným popisem chladicích systémů používaných u nástrojů pro vyfukované výrobky, včetně podmínek, které odvod tepla z výrobku ovlivňují. Tato část je zpracována v odpovídajícím rozsahu s řadou názorných obrázků.

Matematický popis problému zahrnuje tepelnou bilanci, na kterou však navazuje v podstatě pouhé uvedení výpočtových vztahů pro jednotlivé tepelné výměny, bez příslušných citací. V kapitole 5. se autor věnuje problematice chlazení vyfukovaných výrobků. K porovnání zvolil řadu rozměrově a tvarově odlišných výrobků. K realizaci vlastního experimentu musel vyřešit řadu technických problémů související s aplikací chladicího media i se sestavením měřicí aparatury. Zvolil sérii kombinací průběhů chlazení a realizoval rozsáhlý soubor měření povrchových teplot, které byly hodnotícím kritériem účinnosti chlazení. Jednotlivé postupy vzájemně porovnal a vyvodil závěry. Tato část práce považuji z hlediska studia problému za stěžejní. Doktorand využil i možnosti modelování procesu vstřikování chladicího média v programu ANSYS CFX. Nabízí se otázka, proč doktorand nevyužil výsledků analýzy (zejména získaných hodnot součinitelů přestupu tepla v jednotlivých místech podél výrobku) pro výpočty teplot ve stěně v jednotlivých místech v průběhu chlazení. To by určitě výrazně obohatilo získané výsledky a umožnilo podrobnější popisu průběhu chlazení. Znalost průběhu teploty po tloušťce výrobku během celého procesu by mohlo být zajímavé zejména u tlustostěnných výrobků. Na základě naměřených povrchových teplot doktorand analyzoval celý průběh chlazení. Oceňuji, že se věnoval i ekonomickému pohledu na řešenou problematiku. Je na škodu, že byl použit zjednodušený pohled na ekonomické posouzení aplikovatelnosti navrženého chladicího systému. Domnívám se, že zohlednění více parametrů, které do ekonomického posouzení patří, by přineslo ještě příznivější pohled na řešenou problematiku. Kapitola šestá je věnována optimalizaci procesu interního chlazení. Vyplývá z ní, že doktorand je v problematice velmi dobře

orientuje a cíleně směřuje úsilí k realizaci výsledků řešení v reálném procesu. Vliv intenzity chlazení na případné ovlivnění vlastností vyfukovaného produktu je nastíněn v kapitole sedmé. Z výsledků vyplývá, že nebyl prokázán vliv intenzity odvodu tepla na mechanické vlastnosti. Naměřené hodnoty jsou ve všech případech v mezích chyby měření. Závěrečné kapitoly shrnují získané poznatky, charakterizují přínosy disertační práce a předkládají návrhy na další možnou náplň výzkumné činnosti v dané oblasti.

Práce je poměrně rozsáhlá, je zpracována na dobré úrovni. Autor se však nevyvaroval řady překlepů, nevhodných formulací či popisů, které se prolínají celou prací. V některých případech (např. v oblasti popisu tepelných dějů) je překlepů, nepřesných formulací a terminologických nepřesností více. Tyto nedostatky však konečné výsledky práce podstatně neovlivňují, domnívám se ale, že na této úrovni by se vyskytovat neměly. Podrobný soupis uvedených nepřesností v posudku neuvádím, uvítal bych však, aby se autor při obhajobě vyjádřil k níže uvedeným problémům:

- Vysvětlete pojmy přestup tepla, vedení tepla a prostup tepla.
- Je možné pro daný případ analyzovat teplotu po tloušťce výrobku v průběhu procesu chlazení? Jaké by byly pro konkrétní řešení okrajové podmínky?
- Vysvětlete blíže postup pro stanovení teplot v jednotlivých místech výrobku dle obr 54 a 107.
- Vysvětlete blíže tvrzení „ S rostoucím objemem produktů klesaly hodnoty dosažených teplotních minim a rostl čas jejich dosažení, viz obr. 106 (poslední věta v kapitole 9.2, str. 156).

Posuzovaná práce je rozsáhlá s řadou původních dílčích řešení, které umožnily provedení a vyhodnocení příslušných experimentů. Stanovené cíle práce byly splněny. Zvolené metody odpovídají povaze a náročnosti řešené problematiky a získané výsledky a způsob jejich zpracování byly dostatečným podkladem pro formulaci závěrů. Řešená problematika je aktuální a lze očekávat, že výsledky práce mohou být využity v praxi. Doktorand prokázal, že ovládá vědecké metody a má hluboké teoretické znalosti. Zpracovaná práce je přínosem pro vědní obor i pro praxi.

Oponovaná disertační práce pana Ing. Pavla Brdlíka splňuje všechny zákonné předpisy, které jsou pro účely obhajoby této skupiny prací vyžadovány. Na základě posouzení obsahové a formální stránky disertační práce, splnění cílů práce, publikačních a dalších aktivit konstatuji, že doktorand prokázal schopnost vědecké práce. **Doporučuji** disertační práci Ing. Pavla Brdlíka k obhajobě a po úspěšné obhajobě udělení titulu Ph.D.

Ve Zlíně, dne 22. 4. 2015

Recenzní posudek doktorské disertační práce

Název práce : **Aplikace CO_2 interního chlazení ve vyfukovacím procesu**

Doktorand : Ing. Pavel BRDLÍK
Školitel: Prof. Dr. Ing. Petr LENFELD
Recenzent: Doc. Ing. Pavel RUMÍŠEK, CSc.

Předkládaná disertační práce obsahuje na 172 stranách textu a 10 listech příloh kapitoly, týkající se teoretické, experimentální a tabulkové části, doplněné anotací s prohlášením, přehledem použitých symbolů a zkratek, seznamem literatury, příloh a rozsáhlým výčtem kvalitních výstupů a 25 publikací autora k zaměření disertační práce.

V disertační práci, která vznikla na základě finanční podpory projektu TA03010492 (Aplikovaný multioborový výzkum a vývoj progresivních způsobů chlazení u technologických procesů), se doktorand zabývá posouzením aplikovatelnosti nekonvenčního způsobu interního chlazení injektáží zkapalněného oxidu uhličitého v extruzně vyfukovacím procesu.

Úvodem hodnocení musím konstatovat, že práce je zpracována pečlivě, logicky správně a je patrná rovněž dobrá orientace doktoranda v celé oblasti, týkající se této problematiky. Řešením doktorand prokázal, že ovládá nejen odbornou problematiku, týkající se daného oboru, ale jsou mu blízké i vědecké metody a jejich uplatnění, vedoucí cíleně k hodnotným závěrům, přinášejícím nové poznatky v oboru.

Teoretická část práce popisuje především technologii vyfukování a temperační systémy, používané u vyfukovacího procesu spolu s matematickým popisem externího a interního chladícího systému. Jelikož jsou polymerní materiály obecně špatné vodiče tepla, je z hlediska produktivity výroby, a do značné míry i kvality, nejdůležitější fází výroby proces chlazení a proto je teoretická část doplněna logicky i o kapitolu, pojednávající o tuhnutí polymerů.

Celá poměrně obsáhlá teoretická část práce je zpracována velmi pečlivě, dobře obrázky a literárními odkazy dokumentována, a mimo drobných formálních nedostatků a překlepů je obsahově i věcně správná a bez připomínek.

Některé formální nepřesnosti však v žádném případě nesnižují obsahovou a odbornou úroveň poměrně obsáhlé a dobře zpracované literární rešerše (na str.19 je např. nesprávně uvedeno rozmezí tvrdosti u povrchového kalení 53 – 88 HRC. Vzhledem k tomu, že v případě EOS Maraging Steel MS1 se jedná o martenzitickou ocel 1.2709 s homogenní strukturou, je tato vytvrditelná pouze na 52 – 54 HRC s výslednou pevností v tahu do 1900 MPa. Na str. 22 je dále uvedeno u turbulentního proudění, že hodnota Ra › 40000, což má být správně pouze Ra › 4000 apod.) Rovněž některé drobné překlepy nejsou v práci zásadním nedostatkem (např. na str.7, odd.5 vstřikující, str.8,odd.7.1 strukturu a dále např. na str. 22 – název „Diametr průměru kanálů“ by logicky značil průměr průměru kanálů, na straně 27 by mělo být uvedeno správně Reynoldsovým číslem, v obr.16 na str.29 správně „redukce času chlazení“, str.32 nejdůležitějším prvkem sestavy, str.33 vyfukovacího systému, str. 34 za limitní hranici je považován, str.38 standartní průmyslový vzduch, str. 49 je-li kapalný oxid a na stejné straně výsledný poměr směsi, str.57 externím temperačním systémem, str.61 teplotně nezávislou (konstantní) a vymezena hodnotou entalpie apod.)
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 krátce rozvedena samostatně i část, pojednávající o současném stavu řešené problematiky.

V navazující **experimentální části práce** stanoví doktorand přehledně především cíle a postup, který je dále logicky rozveden v pěti navazujících krocích.

Z hlediska obsahu je experimentální část zaměřena především na zjišťování optimálního způsobu nastavení technologických parametrů procesu chlazení, stanovení chladících charakteristik použitého média, stanovení efektivity chlazení u tvarově i objemově rozdílných produktů a ekonomický rozbor. Současně je zde provedena i detekce vlivu progresivního interního chlazení CO_2 na kvalitu produktů.

Kromě ověření aplikovatelnosti současných CO_2 temperačních systémů je v práci uveden rovněž návrh a realizace inovovaného způsobu interního chlazení zkapalněnými plyny. Výsledkem je vznik komplexního zařízení, umožňujícího dosažení zvýšení efektivity chlazení nástroje, a tím i zvýšení produktivity a výrobního taktu při současném snížení výrobních nákladů.

Velmi hodnotná, a pro další výzkumné práce velmi cenná a využitelná, je zde především kapitola 5, popisující aplikovatelnost systému, vstřikujícího ve vyfukovacím procesu kapalný CO_2 s detailním popisem průběhu testování a představením výsledků experimentálního měření s porovnáním výsledků v jednotlivých skupinách, a hodnocením efektivity chlazení pomocí termovizních snímků. Velmi vhodně ve formě diskuze a hodnocení variant je zde provedena právě volba přívodu a dávkování CO_2 a zpracován rovněž oddíl, specifikující podmínky optimalizace procesu interního chlazení včetně testovaných produktů, připojení temperační jednotky a optimální nastavení procesu injektáže s následným experimentálním stanovením účinnosti chlazení a ekonomickým posouzením.

Z důvodu prověření dalších možností a technologických omezení procesu byly v další části práce (kap.6) provedeny ještě kroky, vedoucí k optimalizaci procesu interního chlazení způsobem konstrukční úpravy vyfukovacího trnu a temperační jednotky spolu s definováním realizace řešení, průmyslové využitelnosti a možných ekonomických přínosů.

Je nutno konstatovat, že tato prověrka, včetně inovačních návrhů, je velmi hodnotným oddílem, dotvářejícím komplexní přístup k hlavnímu zaměření této dizertační práce.

Po prostudování obou hlavních oddílů experimentální části práce musím konstatovat, že velmi náročné a obsáhlé experimentální prověření a vzájemné srovnání variant bylo provedeno a tabulkově i graficky dokumentováno zcela zodpovědně a komplexně i ve vztahu k jednotlivým působícím vlivům a spolu s oddílem 6 (Optimalizace procesu interního chlazení injektáží CO_2) svědčí nejen o odborných kvalitách doktoranda, ale i dobrém vedení ze strany školitele. Je možno předpokládat, že výsledky experimentů i optimalizační návrhy budou jistě velmi hodnotným přínosem k navazujícímu výzkumu v dané oblasti.

Ve vztahu k hlavní náplni disertační práce je zcela vyčerpávajícím a názorným způsobem proveden v následné kapitole též popis vlivu intenzity odvodu tepelné energie na vyfukované produkty z pohledu struktury polymerů, optických vlastností a možné deformace produktů.

Zcela dostačujícím způsobem je ve vztahu k jednotlivým vlivům provedena v 9. kapitole diskuze výsledků, zahrnující jak vliv procesních parametrů na dosaženou efektivitu chlazení, tak i vlivy chladícího efektu, rozměrnosti produktu, tloušťky stěny a geometrie produktu, konstrukční optimalizace a interního chlazení na vlastnosti finálních produktů spolu s celkovým ekonomickým zhodnocením aplikovatelnosti interního CO_2 temperačního systému.

Jako logické vyústění experimentálních prací a provedené diskuze dosažených výsledků jsou v jednotlivých bodech přehledně uvedeny rovněž přínosy pro vědu a praxi s navazujícím doporučením pro pokračování ve výzkumu. Se všemi uvedenými závěry i hodnocením přínosů lze jednoznačně souhlasit - snad pouze u definování přínosů pro vědu by bylo u interního chlazení a problematice chlazení zkapalněnými plyny místo „ucelení poznatků“ vhodnější uvést, že se jedná o „doplnění poznatků“, neboť i v daných oblastech budou určitě další výzkumné práce v budoucnu pokračovat.

Zajímavá je rovněž kapitola, týkající se doporučení pro další výzkum, v níž je z důvodů maximálního využití chladícího potenciálu CO_2 navrhována m.j. varianta polouzavřeného interního chladícího systému, jejíž prověření by vhodně doplnilo i výsledky této práce. Zcela logickým návrhem je zde i myšlenka pokračování výzkumu v dalším prověřování možností využití dusíku, jež má ještě vyšší chladící potenciál než oxid uhličitý.

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 uvedených formálních 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 orientace v dané problematice, na základě dostačujících teoretických znalostí, svědčící 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.

V průběhu obhajoby by bylo vhodné položit doktorandovi ještě následující dva dotazy:

1) Na základě výsledků experimentů je patrné, že interní chlazení pomocí CO_2 nemá zásadní vliv na kvalitu produktů, zhotovených z polymerních materiálů PP a PE. Jak a především v kterém smyslu by byly v daném případě ovlivněny produkty z citlivějších materiálů (např. PET apod.) a produkty s větší tloušťkou stěn.

2) Přestože vliv intenzity odvodu tepla na deformaci produktu je obecně popsán v kap. 7.3, vysvětlete blíže vliv chladících podmínek na distribuci zbytkového teplotního napětí, vyjádřený v obr. 148 v závislosti na vzdálenosti od vnitřního povrchu produktu.

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 7.4.2015