

**Doc. Ing. Jozef Bílik, PhD., Ústav výrobných technológií, Katedra obrábania a  
tvárnenia, MTF STU, Bottova 25, 917 24 Trnava  
e-mail : jozef.bilik@stuba.sk**

## **OPONENTSKÝ POSUDOK DIZERTAČNEJ PRÁCE**

**Názov práce: Vliv parametrů předtvarování fólie na kvalitu tvarově složitých dílů  
u technologie IMD**

**Doktorand: Ing. Pavel Petera**

**Školiteľ: Prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld**

**Oponent: doc. Ing. Jozef Bílik, PhD.**

**Studijní program: P2303 - Strojírenská technologie**

**Studijní obor: 2303V002 - Strojírenská technologie**

Predložená dizertačná práca je členená do jednotlivých hlavných kapitol, pričom kapitoly 4, 5, 6, 8 sú logicky ďalej vhodne členené na príslušné podkapitoly. V kapitole 3 je stručne definovaný hlavný cieľ dizertačnej práce a čiastkové ciele práce. Kapitola 4 je zameraná na teoretický rozbor riešenej problematiky a tvorí teoretický základ a východiská pre riešenie a naplnenie hlavného a čiastkových cieľov dizertačnej práce. Kapitoly 5 až 8 je možné považovať za nosnú časť riešenia vplyvu parametrov predtvarovania fólie na kvalitu tvarovo zložitých dielov u technológie IMD. Kapitoly 5 až 7 tvoria praktickú časť dizertačnej práce a predstavujú hlavný prínos doktoranda k riešenej problematike.

Téma dizertačnej práce je zameraná na oblasť riešenia výroby plastových dielov u ktorých sa vyžaduje vysoká kvalita vzhľadových plôch ako je tomu aj v automobilovom priemysle. Tieto požiadavky sa stále zvyšujú a preto je potrebné hľadať a aplikovať nové neštandardné postupy a riešenia k čomu by mala prispieť aj predložená dizertačná práca. Práca je zameraná na technológiu IMD s predtvarovaním fólie určenej na dosiahnutie vysokej povrchovej kvality náročných zložitejších výstrekov z plastov. Ide o novú a v praxi ešte málo používanú technológiu ktorá však predstavuje potenciál do budúcnosti pri výrobe výliskov s vysokou kvalitou vzhľadových plôch bez potreby dodatočných operácií na úpravu povrchu napr. lakovaním a pod. Doktorand sa vo svojej práci zamerail na vplyv teploty, doby ohrevu, doby chladnutia na proces predtvarovania fólie a tiež na vplyv týchto parametrov na vznik vád po vstrekaní.

Nakoľko ide o náročnú problematiku a vzhľadom na neustále sa zvyšujúce požiadavky na komponenty vyrábané vstrekaním považujem danú tému za vysoko aktuálnu. Aktuálnosť témy je podčiarknutá aj skutočnosťou že doteraz nebol realizovaný rozsiahlejší výskum v oblasti predtvarovania fólie pri výrobe tvarovo zložitých dielov technológiou IMD a nie sú v širšom rozsahu dostupné relevantné literárne zdroje z danej problematiky.

Pri riešení danej problematiky doktorand využil vhodné metódy analýzy a spracovania. Pri experimentálnom hodnotení veľkosti deformácie fólie v procese predtvarovania a vstrekovania aplikoval metódu deformačných sietí a spracoval návrh štatistického vyhodnotenia nameraných dát. Výsledky boli spracované vo forme grafických závislostí s vyvodením určitých záverov. V práci doktorand vhodne aplikoval aj metódu SEM pri stanovení hrúbky fólie. Doktorand tiež vhodne využil na stanovenie rozloženia teploty meranie teploty pomocou termokamery. Taktiež bola čiastočne využitá metóda simulácie v programe MoldFlow na odladenie nastavenia procesu vstrekovania a teda na stanovenie vhodných vstrekovacích parametrov pri plnení formy po predtvarovaní fólie. Na vyhodnotenie deformácií pomocou deformačnej siete (rastra) doktorand použil pri meraní elementov siete tenké flexibilné meradlo s vygravírovanými ryskami s krokom 0,1 mm pomocou lasera. Aj keď v súčasnosti existujú aj sofistikovanejšie metódy vyhodnotenia veľkosti deformácie považujem v tomto prípade aj túto metódu za vyhovujúcu. Zvolené metódy spracovania a riešenia danej problematiky preto považujem za vhodné a dobre zvolené na dosiahnutie stanovených cieľov práce.

Hlavný cieľ a čiastkové ciele práce definované v kapitole 3 dizertačnej práce považujem za splnené v plnom rozsahu.

Doktorand vo svojej práci vykonal množstvo náročných experimentálnych meraní ktoré podrobne vyhodnotil. Veľmi cenné sú výsledky získané pri výskume vplyvu vybraných parametrov ako je teplota, doba ohrevu fólie, veľkosť vaku a doba ochladzovania pred vstrekaním pri pretvarovaní fólie a ich vplyv na vznik vád. Dosiahnuté výsledky môžu byť použité aj priamo v praxi na zvýšenie kvality výstrekov.

Výsledky uvedené v dizertačnej práci ako aj teoretické poznatky považujem za významné pre daný vedný odbor. Oceňujem aj originalnosť z hľadiska vytvorenia metodiky na hodnotenie deformácií IMD fólií pri predtvarovaní a vstrekaní s využitím nanosenia siete digitálnou tlačou na transparentnú vrstvu IMD fólie za použitia polopriesvitného dekoru.

Doktorand na základe predloženej dizertačnej práce a výsledkov experimentálnych prác jednoznačne dokázal dostatočnú erudovanosť v danej oblasti a dokázal, že ovláda a vie aplikovať vedecké metódy práce na riešenie náročných úloh. Doktorand tiež preukázal hlboké teoretické poznatky z oblasti spracovania plastov a prináša nové poznatky do daného oboru. Zostavením experimentálneho pracoviska úpravou klasického vstrekovacieho lisu doktorand tiež preukázal schopnosť riešiť úlohy zamerané na aplikáciu riešení do praxe.

Doktorand svojou prácou prináša nové poznatky v obore z pohľadu sofistikovaného prístupu k riešeniu problematiky výroby komponentov z plastov s vysokou kvalitou vzhľadových plôch pomocou technológie IMD s predtvarovaním fólie ktorá umožňuje aplikovať túto technológiu aj na tvarovo zložené diely nielen v automobilovom priemysle, ale aj v elektrotechnickom a spotrebnom priemysle.

V práci uvedené kapitoly sú po stránke obsahovej ako aj po stránke formálnej spracované na veľmi dobrej úrovni iba s minimom chýb čo svedčí o vysokej odbornej a teoretickej erudovanosti doktoranda. Doktorand pri spracovaní a riešení danej témy použil aj napriek nízkej dostupnosti literárnych zdrojov priamo z oblasti technológie IMD s predtvarovaním dostatočný počet relevantných literárnych zdrojov celkovo v počte 50 uverejnenými doma aj v zahraničí čo tiež svedčí o zodpovednom prístupe k riešeniu danej témy. V práci je použitá správna terminológia používaná v danej oblasti. Predložená práca spĺňa všetky náležitosti a požiadavky kladené na tento druh kvalifikačných prác tak po stránke obsahovej ako aj po stránke formálnej.

Oceňujem aj aktívnu publikačnú činnosť doktoranda ktorý publikoval celkovo 21 publikácií z toho na 13 publikáciách je jediným autorom.

K predloženej dizertačnej práci mám nasledovné pripomienky:

1. Na str.29 pri obr.15 nie je uvedený žiadny literárny zdroj. Alebo ide o vlastný obrázok?
2. Na str.32 v podkap. 4.5 v druhom odstavci uvádzate: Cyklus vstříkování začíná izobarickým ohřevem plastu do stavu taveniny (spojnice bodů 6 – 1). Spojnica bodov 6 – 1 na obr.16 na ktorý sa odvolávate predstavuje izobarický ohrev plastu?
3. Na str.38 je použitá skratka SAN, ale v zozname skratiek uvedená nie je. Ide o Styren-akrylonitril čo mohlo byť uvedené.
4. V práci na str.77 v tab.5 sú uvedené výsledky v bodoch 1 až 5 na str.78 v tab.6 sú však uvedené výsledky v bodoch merania 1 až 6 prečo?
5. Na str.80 nad podkap.6.4.2 píšete: ...platnosť nižšie uvedené závislosti se bude pravdepodobne lišiť podle tvaru tvárnicové vložky...  
O akú závislosť ide nakoľko nižšie žiadna závislosť uvedená nie je?
6. Na str.87 v texte nad obr.55 aj pod obr.55 na ktorý sa odvolávate píšete o výsledkoch posuvov rastra v bode 3 a 4, ale na obr.55 v popise je že sú to posuvy v bode 1 a 3 a tiež v obr.55 v popise je uvedený bod 1(y) a bod 3(x)?
7. Na str.88 posledná veta je asi nedokončená.
8. V prípade deformácie IMD fólie na str. 80 uvádzate, že celkové pomerná deformácia fólie je naprieč skúmanými parametrami predtvarovania konštantná. Možno to mohlo byť upresnené že celková deformácia **v danom mieste** výlisku je naprieč skúmanými parametrami konštantná. Lebo to vyznieva ako by v každom mieste výstrelu bola rovnaká deformácia fólie. Ale asi v každom mieste výstrelu nie je rovnaká veľkosť deformácie.

K práci mám nasledovné otázky:

1. Aký je podľa Vás rozdiel v kvalite povrchu pri aplikácii technológie IMD, technológie IMD s predtvarovaním fólie oproti kvalite povrchov dosahovaných napr. pri aplikácii technológie vstrekovania s asistenciou pary?
2. V podkapitole 4.7 venujete štúdiu deformácie využitím metódy deformačných sietí. Okrem v práci uvedenej metódy využitia upraveného dielenského mikroskopu pripojeného na PC by ste vedeli bližšie definovať aké ďalšie možnosti vyhodnotenia deformačnej siete by sa dali využiť?
3. V podkap.4.7 tiež uvádzate, že vo výskume Shia-Chung Chena bola použitá sieť (raster) so štvorcovými elementami. Vedeli by ste povedať čo je nevýhodou takejto siete oproti kruhovej siete? Z deformačnej siete je možné vyhodnotiť iba pomernú deformáciu, alebo aj tzv. skutočnú (logaritmickú) deformáciu?
4. Do akej miery podľa Vás by mohol nanosený tmavý raster na bielu transferovú vrstvu ovplyvniť napríklad teplotné pomery pri predtvarovaní prípadne vstrekaní a či je toto ovplyvnenie zanedbateľné?
5. Bolo by vo Vašom prípade v procese prípravy experimentov možné použiť metódu plánovaného experimentu DOE?
6. V práci ste skúmal vplyv (teplota, doba ohrevu, veľkosť vaku a pod.) na deformáciu fólie a vznik vád. Niektoré parametre zvyšujú a niektoré znižujú určité typy vzniknutých vád, alebo počty vád. Vedeli by ste definovať na základe Vášho výskumu optimálne parametre pre dosiahnutie najlepších výsledkov pri aplikácii technológie IMD s predtvarovaním fólie?

Predložená dizertačná práca aj napriek hore uvedeným pripomienkam spĺňa stanovené podmienky podľa zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. a to po stránke formálnej ako aj obsahovej a preto prácu doporučujem k obhajobe. Po úspešnom obhájení práce a uspokojivom zodpovedaní pripomienok a otázok doporučujem udeliť Ing. Pavlovi Peterovi vedeckú hodnosť „doktor“ (Ph.D.).

V Trnave, dňa 9. 5. 2016



Doc. Ing. Jozef Bílik, PhD.  
oponent

# Recenzní posudek doktorské disertační práce

Název práce : **Vliv parametrů předtvarování folie na kvalitu tvarově složitých dílů u technologie IMD**

Doktorand : Ing. Pavel PETERA

Školitel: Prof. Dr. Ing. Petr LENFELD

Recenzent: Doc. Ing. Pavel RUMÍŠEK, CSc.

Předkládaná disertační práce obsahuje na 115 stranách textu a 2 listech příloh kapitoly, týkající se teoretické, experimentální a tabulkové části, doplněné anotací s prohlášením, přehledem použitých symbolů a zkratk, seznamem literatury a příloh a výčtem publikační činnosti doktoranda k tématu uvedené disertační práce.

Jak plyne z názvu práce, doktorand řešil výzkum vlivu parametrů předtvarování folie na kvalitu tvarově složitých dílů u technologie IMD. Zde je třeba upozornit na skutečnost, že v daném případě se jedná o relativně novou technologii, umožňující pomocí tzv. transferové folie opatřit dekorem i složitější díly přímo ve vstřikovací formě.

Po prostudování práce musím již úvodem hodnocení 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. Výsledky práce poskytují informace nejen pro další pokračování výzkumných prací v dané problematice, ale mohou být velmi cenné rovněž pro konstruktéry a technology, řešící aplikaci dané technologie v praxi a to zvláště s ohledem na kvalitu finálních výrobků.

**Teoretická část práce** (rešerše dosavadních poznatků) je zpracována poměrně pečlivě, literárními odkazy vhodně dokumentována, a mimo drobných formálních nedostatků a překlepů je obsahově i věcně správná.

Cíle disertační práce, odpovídající jejímu názvu, jsou zde definovány přehledně a nemám k nim žádné připomínky.

Popis použité technologie IMD (In Mold Decoration) definuje technologii jak ve standardní variantě, tak i jako technologii s předtvarováním, vhodnou pro tvarově složitější výrobky.

Vzhledem ke složitosti a rozsahu vlivů, působících na kvalitu finálních dílů a interakci mnoha faktorů při tvarování je další blok teoretické části práce logicky zaměřen právě na stanovení a popis proměnných u předtvarování IMD folie (kap. 4.4). Na základě předchozí literární rešerše zde byly definovány především hlavní parametry systému předehřevu a popsány možnosti ohřevu folie topným panelem z keramických článků i panelem s IR trubicemi s tím, že následně byla zvažována intenzita a doba předehřevu, doba dochlazení folie i velikost vakua a hodnoceny výhody a nevýhody obou možností ohřevu. Jako drobné připomínky v této části práce bych uvedl alespoň následující:

str.27 věta ... „slábnutí není nezanedbatelné“ je adekvátní výrazu „slábnutí je zanedbatelné“. Zde se domnívám, že slábnutí záření ovlivňuje proces poměrně zásadně a kompenzace vede nejen k prodloužení času předehřevu, ale i ke zvýšení pracnosti a nákladů.

str.28 správně by mělo být uvedeno ... je v reálné výrobě usilováno ...

str.30 správně by mělo být ... pokud by byl daný element ... (nastavení rozdílné intenzity předehřevu)

str.32 u vztahu (4) chybí dopočet tlaku  $P_{f_k}$  na konci tvarování – obdobně jako u vztahů (2) a (3) pro  $P_{f_z}$  (tlak na počátku tvarování).

Uvedené, ale i dále specifikované drobné nepřesnosti a překlepy však v žádném případě nesnižují obsahovou a odbornou úroveň této poměrně dobře zpracované literární rešerše.

Velmi kvalitně a detailně je v kap.4.5. rozvedena teorie zastříkávání předtvarované IMD folie neboť přítomnost folie mezi taveninou a tvárnici ovlivňuje v několika směrech celý proces. Poznamenávám, že u popisu parametrů (text u obr.17) by bylo vhodné uvést i jednotky (v seznamu zkratk je uvedena pouze H – výška výrobku).

Vzhledem k nutnosti dodržení kvality finálních dílů, je zde velmi důležitá rovněž část, týkající se řešení vtoku a způsobu plnění dutiny formy, ovlivňující případné poškození dekoru (str. 37 – 38).

Pro komplexnost celé práce je zde velmi cenná rovněž kapitola 4.6, týkající se obdobné technologie, označované jako technologie IML (In Mold Labeling), při níž k dekoraci povrchu vstřikovaného plastového výrobku dochází přímo v dutině vstřikovací formy pomocí vkládané folie. Je nutno si uvědomit, že přes mnoho společných znaků mezi technologiemi IMD a IML jsou zvláště rozdělením procesu předtvarování a vstřikování, či rozdílným charakterem folie obě technologie velmi odlišné a proto rozvedení a porovnání obou technologií zde hodnotím velmi kladně.

V posledním bloku teoretické části práce (kap.4.7) je provedena rešerše metod hodnocení deformace tenké folie s tím, že je zde proveden rozbor směru deformací folie a taktéž rozbor možností vytváření rastru – deformační sítě, umožňujícího sledování deformací a jejich hodnocení. Zde bych měl pouze formální připomínku k definici, uvedené na str.42 ... „které však probíhají pouze v jednom kroku“, vzhledem k tomu, že tato definice není pro všechny technologické oblasti zcela přesná (neplatí jednoznačně u technologie tváření kovů).

**Výzkumná a experimentální část práce**, je rozdělena do dvou kapitol – kap.5, nazvané „Výzkum v oblasti technologie IMD“ a kap. 6 „Proces měření“. Velmi dobře je zpracována především část, týkající se volby materiálu pro vstřikování zkušebních těles (i s odvolávkou na rešeršní část) s rozvedením požadavků na adhezi, tepelnou stabilitu i tekutost materiálu, i část, týkající se IMD folie. Dostačujícím způsobem je popsán a dokumentován i vstřikovací nástroj a taktéž vstřikovací stroj včetně jeho vybavení. Zde je nutno konstatovat, že příprava experimentálního měření zde byla jistě velmi náročná a to nejen z hlediska vybavení, ale i následného provedení experimentálního měření.

Velmi kladně je zde nutno hodnotit rovněž rozvahu o nastavení výchozích technologických parametrů jak pro vstřikování, tak i pro přetvarování. Dobře je popsána rovněž volba parametrů, ovlivňujících intenzitu a dobu přehřevu, velikost vakua a doby dochlazení folie. Přestože i zde mám některé drobné připomínky (např. u stanovení výchozích hodnot parametrů předtvarování – tab.2 a k výstupním hodnotám u tab.1), věřím, že podrobnosti budou jistě vysvětleny v průběhu obhajoby.

Část, týkající se procesu měření (kap.6) se zabývá především vývojem a popisem metody tvorby rastru na IMD folii, ale též způsobem jak za pomoci tohoto rastru hodnotit deformaci v obou stupních, které u IMD probíhají. Musím konstatovat, že celá metodika je popsána a dokumentována velmi detailně a popisuje i návrh hodnocení vzorků s rastrem po zastříknutí. V rámci studia jevů, probíhajících v procesu IMD s předtvarováním a jejich vlivu na kvalitu dílů, byly zhotovené vzorky (IMD díly) hodnoceny i pomocí kvalitativní analýzy, což je velmi přehledně popsáno a dokumentováno v navazující kapitole 6.2.

Samostatnou kapitolou, k níž nemám žádné připomínky ani z pohledu matematického, ani z pohledu navržených testů, je návrh následného statistického vyhodnocení naměřených dat řešený pomocí deformační a kvalitativní analýzy.

O dobrých odborných kvalitách doktoranda i dobrém vedení ze strany školitele svědčí pak především poslední důležitá a obsáhlá kapitola, zabývající se vyhodnocením zkoumaných vlivů předtvarování IMD folie. Na 20 listech je zde provedeno detailní vyhodnocení celkové deformace folie pro všechny proměnné veličiny, hodnocení vlivu intenzity a doby přehřevu, vlivu velikosti vakua a dochlazení folie i hodnocení vlivu velikosti deformace na výskyt vad. Závěry jsou graficky i tabulkově dokumentovány s tím, že jsou rozvedeny příslušné závislosti a velmi citlivě je poukázáno i na skutečnost, že obecná platnost výsledků, vztahů a závěrů je ovlivněna mnoha proměnnými, které do procesu mohou vstupovat i nekontrolovaně.

S velkým zájmem jsem prostudoval zvláště závěrečnou kapitolu diskuze výsledků, která se zabývá nejen výběrem vlastního dílu s ohledem na možnost důkladného studia a hodnocení

probíhajících jevů, ale dává i možnost vyvození obecných teoretických závěrů, platných i pro řadu dalších výrobků s podobnými prvky u technologie IMD. Další úvaha se týká směřování experimentu tak, aby se co nejvíc přiblížil reálným podmínkám sériové výroby a rozpětí hodnot zvolených parametrů bylo kvůli názornosti co nejširší. Velmi kvalitně je provedeno i hodnocení nové metody tvorby rastru na folii i hodnocení způsobu předehřevu pomocí obou uvedených zářičů (keramická deska a IR trubicový zářič). Velmi kvalitní jsou i diskuze o vlivu parametrů teploty a doby předehřevu, velikosti vakua, doby dochlazení folie a diskuze o vlivu deformace výrobků na výskyt vad.

V závěru dizertační práce jsou pak v 7 bodech shrnuty výsledky experimentálních měření se zcela jednoznačnými závěry a definováním přínosů práce pro vědu a praxi a doporučením k pokračování výzkumu a vývoje v dané oblasti.

Závěrem mého hodnocení bych chtěl opakovaně poukázat na to, že předložená práce je zpracována logicky, věcně i obsahově správně, navržená metodika zkoušek využívá moderních metod, dosažené výsledky jsou vyhodnoceny se statistickou průkazností a k práci nemám mimo uvedených formálních připomínek žádné další zásadní výhrady.

Jako drobnou připomínku zde pouze uvádím, že podle platné směrnice, závazné pro zpracování dizertačních prací a jejich obsahové členění, by měla být krátce a samostatně rozvedena i část, pojednávající o současném stavu řešené problematiky.

Téma celé práce je aktuální a po prostudování mohu konstatovat, že práce splnila ve všech směrech předem stanovené cíle.

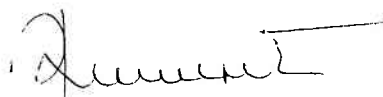
Celkovou kompozicí, obsahovou náplní, volbou cílů a metodiky, jakož i pečlivým provedením a dokumentováním výsledků experimentů, byl dostatečně prokázán též vlastní vědecký přínos doktoranda a jeho orientace v dané problematice, na základě dostačujících teoretických znalostí, svědčící o jeho schopnosti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

Byl prokázán též velký podíl práce na rozšíření poznatků, důležitých nejen pro rozvoj vědního oboru, ale vzhledem ke konkrétním a věcným závěrům a detailním vyhodnocením výsledků lze předpokládat i jejich následné využití v praxi.

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

- 1) Jaká bude závislost a předpokládaná změna jednotlivých zkoumaných parametrů v případě větší tloušťky folie než použité folie 50  $\mu\text{m}$  ?
- 2) Uveďte jak si představujete u sériové výroby řešení předehřevu pomocí trubicových IR zářičů včetně zpětnovazebné regulace intenzity.

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 2.5.2016

## Oponentní posudek doktorské disertační práce

*Doktorand:* **Ing. Pavel PETERA**

*Název:* **Vliv parametrů předtvarování folie na kvalitu tvarově složitých dílů u technologie IMD.**

*Studijní program:* **P 2303 –Strojírenská technologie**  
*Obor:* **2303V002 Strojírenská technologie**  
*Školící pracoviště:* **Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci**  
*Školitel:* **prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld**

*Oponent:* **doc. Ing. David Maňas, Ph.D., Ústav výrobního inženýrství, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**

Předložená disertační práce Ing. Pavla Petery obsahuje celkem 117 stran, 63 obrázků, 6 tabulek a dvěma přílohami s charakteristikami použitého zařízení a použitého materiálu. Práce je rozčleněna do osmi kapitol a doplněna seznamem použité literatury a seznamem vlastních publikací autora.

První dvě kapitoly představují ve velmi úsporném pojetí rešerši současného stavu a stanovení cílů disertační práce. Cíle práce jsou definovány srozumitelně, možná mohly být propracovány detailněji. Čtvrtá kapitola je věnována podrobnému popisu studované technologie IMD a příbuzných technologií, technologickým aspektům tvarování a použitým materiálům. Podrobně jsou popsány způsoby ohřevu s jejich pozitivními i negativními stránkami. Nastíněny jsou i základní problémy procesu vstřikování polymerů. Z hlediska změn, které probíhají v průběhu tvarování je navržena metoda umožňující studium deformací pomocí rastrů na tvarované folii. Kapitola pátá je věnována problematice technologie IMD, popisu použitého stroje a nástroje/formy, procesu ohřevu folií před vstřikováním, analýzou způsobu ohřevu a procesních parametrů vlastního předtvarování. Šestá kapitola je věnována návrhu metodiky měření, způsobu hodnocení deformací a vyhodnocení výsledků realizovaných analýz. Následuje diskuze výsledků se závěrem k výsledkům práce.

Z celé práce je patrna snaha o praktický přístup k řešení problémů. Mnohdy je tento přístup na škodu, protože práce postrádá rozbor teoretických aspektů problému. V mnoha ohledech je až příliš popisná, na úkor hlubší analýzy studovaného problému. Často jsou používány slangové výrazy či „upravené“ výrazy převzaté z cizí literatury (např. ... v blízkosti *feederu*... , *vakuová pumpa*, *ekosolventní inkoust* a mnoho dalších). Některé, zejména převzaté obrázky nejsou popsány správně (např. obr. 8). V práci se vyskytuje řada neobvyklých výrazů jako např. *příkrost*..(s. 65), *příkrost je též velmi malá*..( s. 75), *velikost vakua*..., *síla vakua*...(s. 75, 78). Podobné výrazy se prolínají v podstatě celou prací.

15

Domnívám se, že by bylo pravděpodobně vhodnější, pokud by byly experimenty realizovány na zkušební formě, která by zahrnovala požadované tvarové detaily, a výsledky měření by umožnily snáze formulovat zobecňující poznatky. Vhodná velikost formy by umožnila efektivně využít nedostatkovou folii a realizovat větší počet experimentů a měření. Následné odzkoušení na reálném dílu by bylo verifikací získaných poznatků a představovalo by uplatnění výsledků výzkumu v praxi. Souhlasím však, že se jedná o finančně náročnou záležitost, která mohla být mimo reálné možnosti při řešení předložené disertační práce. Domnívám se zároveň, že řešení tak složitého problému na konkrétním vstřikovaném dílu nebude zahrnovat řadu podrobností a tak lze předpokládat, že se zobecněním výsledků mohou být problémy.

V popisu měření se hovoří o jednotlivých bodech měření (body 1-6). Předpokládám, že se jedná o konkrétní místa na výrobku. V práci jsem však nenalezl žádný obrázek, který by tato místa specifikoval s výjimkou obr. 40 a 45, na kterých jsou vyznačeny zóny vykazující některé charakteristické vlastnosti z hlediska deformací při tvarování/předtvarování folie. Práce je dle mého názoru značně popisná, bez jasně definovaných podmínek měření. Práci by prospěly alespoň některé, byť zjednodušené, výpočty související s problematikou tvarování. Nabízí se např. výpočet ohřevu folie, doby potřebné k dosažení tvarovací teploty se stanovením příslušných okrajových a počátečních podmínek. Podrobněji mohly být takto popsány i změny teplot (ochlazování) folie po styku s povrchem formy apod. V práci jsou z této oblasti uvedeny pouze tři obrázky – snímky z termokamery, bez bližšího popisu, stanovení emisivity apod. Mohly být použity i metody simulace procesu tvarování folie. Metoda měření deformací pomocí rastrů je zajímavá a přijatelná jak z hlediska náročnosti přípravy, tak z hlediska jednoduchosti měření. Postup měření a vyhodnocování výsledků popisovaný v předložené dizertační práci je z mého pohledu nepřiliš srozumitelný. Diskuze vlivu různých parametrů na předtvarování folie vychází z obecně známých skutečností z tvarování termoplastů. Vyslovené závěry o vlivu teploty folie na tvarovatelnost vychází spíše z běžných zákonitostí než z analýzy výsledků zkoumání v rámci této práce. Některá zobecnění výsledků mi připadají hodně odvážná. Výsledky práce je však možné považovat za úspěšný vstup do problematiky, který vytváří podmínky pro hlubší analýzu problému, jejíž výsledky by mohly přispět k zobecnění získaných poznatků.

V práci není v podstatě vůbec řešena problematika vlastního procesu vstřikování polymerů, přičemž je zřejmé, že bude proces dodatečného tvarování (dotvarování) významně ovlivňovat. Z hlediska procesních parametrů by bylo určitě zajímavé sledovat alespoň vliv teploty taveniny, protože to primárně souvisí s případným ohřevem folie taveninou na teplotu tvarování. Uvedená problematika však nebyla uvedena ve stanovených cílech řešení. Proto považuji za velmi prospěšné doporučení k dalšímu pokračování prací na další problematice i studium vlivu procesních parametrů na kvalitu výsledného produktu.

Kromě připomínek uvedených v předcházejícím textu, které prosím alespoň ve zkratce komentovat, mám na doktoranda následující dotazy:

- Jak bylo prováděno měření teploty folií pomocí termokamery? Byla folie v nástroji nebo mimo něj?

15

- Jaká je tvarovací teplota použité folie? Jak jsou obecně definovány tvarování teploty amorfních a semikrystalických termoplastů
- V práci uvádíte, že nejčastějším vadám vstřikování patří stříbření, propadliny a studené spoje. Můžete je definovat? Jde vzniku uvedených vad zabránit?

Přes uvedené připomínky, formální i faktické nedostatky považuji disertační práci pana Ing. Petery za přínosnou. Práce přináší pohled na problematiku a využití nově uplatňované technologie vstřikování polymerů. Výsledky práce je však možné považovat za vstup do problematiky, který vytváří podmínky pro hlubší analýzu problému, jejíž výsledky by mohly přispět k zobecnění získaných poznatků.

Předložená disertační práce Ing. Petery řeší aktuální problematiku. Doktorand prokázal schopnost samostatné tvůrčí práce, ovládá vědecké metody a má hluboké teoretické znalosti v daném oboru. Výsledky práce přinášejí nové poznatky v oboru, ukazují na složitost studovaných problémů, jsou přínosem pro daný vědní obor a mohou být uplatněny v praxi.

**Doporučuji disertační práci Ing. Pavla Petery k obhajobě a po úspěšném obhájení udělení titulu Ph.D.**

