

doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.
Katedra strojírenské technologie, FS
Technická univerzita v Liberci
Studentská 2
461 17 Liberec 1

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Odd. pro vědu a výzkum
Technická 4
166 07 Praha 6

Oponentní posudek disertační práce

Název disertační práce: Kompenzace odpružení u velkoplošných karosářských výlisků
Autor práce: Ing. Tomáš Pačák
ČVUT v Praze – Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie
Studijní program: P2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303V002 Strojírenská technologie
Školitel: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Předkládaná disertační práce obsahuje na 126 stranách textu samostatné kapitoly zabývající se rešerší teoretických předpokladů řešené problematiky a dále pak kapitoly, které dokladují experimentální činnosti realizované za účelem prokázání výzkumného záměru doktoranda. Nedílnou součástí disertační práce je dvojjazyčný abstrakt, obsah, potřebná prohlášení, seznam použitých symbolů a seznam autorových publikací.

S ohledem na orientaci strojírenského průmyslu v ČR, kde dominantní místo zaujímá automobilová výroba, je zvolené téma disertační práce vysoce aktuální. Metody matematického modelování technologických procesů jsou jednou z klíčových možností při snaze o snižování nákladů ve všech etapách výroby automobilu a jejich význam se bude zcela jistě dále zvyšovat. Jak již z názvu práce vyplývá, doktorand řešil poměrně složitou problematiku predikce tvarových změn karosářských výlisků v důsledku odpružení po lisování a v rámci řešení disertační práce navrhl prakticky využitelnou metodiku tvarové kompenzace funkčních částí tažných nástrojů pro eliminaci tohoto nežádoucího jevu. Po prostudování předkládané disertační práce musím již úvodem hodnocení konstatovat, že doktorand postupoval v logicky navazujících krocích a je patrná jeho schopnost řešení technických úloh v praxi.

Cíle disertační práce, odpovídající jejímu názvu, jsou přehledně uvedeny v kapitole 4 a nemám k nim žádné připomínky. Z hlediska rychlejší orientace čtenáře v daném problému bych však doporučoval tento bod zařadit na začátek disertační práce.

Teoretická část

V úvodu práce autor popisuje současný stav problematiky a motivaci pro vypracování předkládané disertační práce. Z pohledu výzkumu v oblasti matematického modelování technologických procesů tažení tenkých ocelových plechů je třeba zdůraznit, že se jedná o aktuální a v odborných kruzích často diskutovanou tematiku, kterou se zabývají vývojová oddělení všech předních světových firem. Rešeršní část disertační práce je rozdělena na 2 kapitoly tematicky zaměřené na možnosti analýzy odpružení různých typů výlisků a základy numerické simulace tažení výlisků. Množství použité zahraniční literatury svědčí o pečlivém přístupu doktoranda a jeho schopnostech orientace v dané problematice. Text je doplněn odkazy na použitou literaturu a rozsah i odborná úroveň textu odpovídá možnostem a zkušenostem doktoranda s psaním odborné vědecké publikace. Podrobnější informace a kvalitnější rešerši doposud publikovaných prací zabývajících se problematikou predikce odpružení výlisků s využitím numerických simulací bych uvítal v kapitole 3, která obsahuje pouze základní informace. Přestože je



teoretická část disertační práce zpracována poměrně pečlivě, musím konstatovat, že se zde vyskytuje množství drobných formálních nedostatků:

1. Ve „Vysvětlení použitých technických termínů“:
 - uvedená hodnota kritického ztenčení 25% platí pravděpodobně pro hlubokotažné materiály, obecně je závislá na druhu tvářeného materiálu a pro jiné typy materiálů může být tato hodnota zavádějící
 - zvlnění materiálu při hlubokém tažení je způsobené ztrátou stability tvářeného materiálu důsledkem tlakových napětí, lze ho částečně eliminovat technologickými zásahy, uváděný termín „je způsobené průběhem materiálu....“ nedává smysl
 - jednočinné nebo dvojčinné lisování závisí na počtu na sobě nezávislých pohybů beranu stroje, nemusí přímo souviset s kinematikou nástroje
 - v textu jsou používány slangové výrazy jako matrice, spasování, přehnat materiál atd. - autor odborného textu na úrovni disertační práce by měl používat terminologicky zavedené názvy
2. str. 15 -Obrázek 2.3 - není patrné co je referenční a co reálná plocha dílu
3. str. 23 – domnívám se, že u modelu materiálu ideálně tuho plastického bez elastické složky nemůže dojít k odpružení, veličiny σ_0 a E' ve vztazích (7) a (8) nejsou uvedeny v seznamu použitých zkratk a symbolů
4. str. 23 – kap. 2.4.3 - elastická složka nezpůsobuje napětí na neutrální ose, na neutrální ose je napětí ve směru ohybu nulové, ve směru tloušťky je napětí tlakové v celém průřezu
5. str. 26 a 27 – v grafech prezentovaných na Obrázku 2.9 a 2.10 došlo pravděpodobně k chybě u označení os, grafy mají uvedené stejné osy, ale jiné průběhy závislosti odpružení
6. str. 33 – Obrázek 2.17. – z měřítka není patrné, co hodnoty odpružení vyjadřují
7. str. 37- při žihání již tvářeného materiálu k eliminaci odpružení nedojde, musí být spojeno a následnou kalibrací

Uvedené, ale dále již nespecifikované, drobné nepřesnosti v textu však zásadním způsobem nesnižují obsahovou a odbornou úroveň celé literární rešerše.

Experimentální část

Experimentální část disertační práce začíná kapitolou 4, kde jsou ve 3 bodech přehledně uvedeny cíle disertační práce. Následující kapitola 5 pak popisuje důvody pro samotný výběr různých typů výlisků používaných dále pro realizaci experimentální části disertační práce. Uvedená pasáž předkládané práce je zpracována přehledně a nemám k ní žádné připomínky.

Pro první fázi prováděných experimentů autor velmi správně zvolil jednoduchý výtažek tvaru „U“, na kterém testoval vliv jednotlivých technologických parametrů na velikost odpružení. Tento přístup je velmi často používán i v praxi pro zjištění klíčových parametrů ovlivňujících výsledek sledovaného experimentu při řešení složitějších technických úloh. Kapitola 6 přináší souhrn poznatků v oblasti nastavení matematických úloh numerického řešení velikosti odpružení a definuje parametry zásadně ovlivňující průběh a přesnost MKP výpočtu. Ověřovány zde také byly možné metody deformační a tvarové analýzy výlisku s ohledem na jejich další využitelnost při analýze tvarových změn složitějších typů výlisků. V kapitole 7 disertant provedl detailní analýzu současného stavu zjišťování tvarových změn výlisků v praxi a navrhl novou metodiku upínání výlisku při měření s jednoznačným cílem zvýšit přesnost a stabilizovat opakovatelnost měření. V této části bych zvláště vyzdvihl inovativní přístup disertanta při řešení takto technicky složité úlohy v prostředí sériového lisování a s ohledem na dosažené výsledky je možné předpokládat praktické uplatnění takto navržené metodiky. Stěžejní kapitoly experimentální části disertační práce tvoří kapitoly 8 a 9, které dokladují disertantem provedené analýzy odpružení různých typů výlisků s využitím numerických simulací a možné přístupy ke kompenzaci tvaru lisovacích nástrojů. Je třeba zdůraznit, že se jednalo o časově náročnou etapu řešení disertační práce a množství variant i sledovaných parametrů ovlivňujících výsledek numerické simulace svědčí o pečlivém přístupu disertanta



k řešení předkládané disertační práce. Ke způsobu provedení a vyhodnocení kapitol 8 a 9 nemám žádné zásadní připomínky a lze předpokládat, že autorem dosažené a publikované poznatky budou dále rozvíjeny. Z pohledu grafické úpravy bych však doporučoval větší pozornost při vytváření grafů, kde nelze často jednoznačně identifikovatelné měřítka a jednotky.

V průběhu obhajoby prosím autora předkládané disertační práce o zodpovězení následujících otázek:

1. Jaký typ ohybu byl zvolen při experimentu prezentovaném v kapitole 6.2.2?
2. Co vyjadřují hodnoty Y_{R2} a Y_{R10} prezentované na str. 63?
3. Může se tloušťka materiálu (s ohledem na tažné vůle) měnit v takovém rozmezí, které je uvedeno v Tabulce 9 na str. 93?
4. Jak si vysvětlujete fakt, že oproti teoretickým předpokladům vyšla z hlediska odpružení optimální přidržovací síla ta nejmenší (viz Tabulka 10 str. 94)?
5. Vysvětlete kritickou hodnotu porušení 0,8 prezentovanou v Tabulce 11 na str. 99 a kompenzační faktor 1 prezentovaný v Tabulce 13 na str. 111.

Vyjádření k disertační práci

1. Dosažení stanoveného cíle disertační práce
Cíle stanovené v disertační práci byly beze zbytku naplněny.
2. Úroveň rozboru současného stavu řešené problematiky
Rozsah a úroveň rozboru současného stavu řešené problematiky odpovídá požadavků kladeným na vypracování disertační práce.
3. Teoretický přínos práce
S ohledem na dosažené výsledky prezentované v disertační práci se lze oprávněně domnívat, že předkládaná práce bude podkladem pro další výzkum matematických algoritmů umožňujících výrazné zpřesnění software pro predikci odpružení při řešení složitých úloh tažení výlisků karosářského typu. Teoretický přínos práce tak byl naplněn.
4. Praktický přínos práce
Prezentované výsledky prokázaly jednoznačnou vhodnost nově navržené metodiky kompenzace tvarových změn lisovacích nástrojů pomocí numerické simulace a dále pak nově navržené upínání výlisků při analýze odpružení. Vzájemným propojením obou technických přístupů tak došlo k významnému zvýšení přesnosti predikce odpružení výlisků při tažení a již v současnosti je autorem navržený postup zaváděn do procesu výroby v Škoda Auto a.s.. Praktický přínos práce tak byl naplněn.
5. Vhodnost použitých metod řešení a způsob jakým byly aplikovány.
Doktorand používal vesměs nejmodernější metody a postupy dostupné v průmyslové praxi pro oblast numerických simulací a deformační analýzy pomocí fotogrammetrie. Prokázal schopnost samostatné práce a technickou orientaci v dané problematice.
6. Prokázání odpovídajících znalostí v oboru.
Z autorem navržené metodiky tvarové kompenzace lisovacích nástrojů s cílem eliminace nepřijatelného odpružení je patrná jeho schopnost samostatně vědecky pracovat a zároveň i výborná technická způsobilost při řešení praktických problémů spojených s technologiemi tváření. O nadstandardní orientaci doktoranda v dané problematice svědčí i množství odborných publikací, kde je uveden jako autor, nebo spoluautor.
7. Formální úroveň práce.
I přes to, že je v práci několik drobných nepřesností, které ale nijak nesnižují odbornou úroveň práce, má předkládaná disertační práce velmi dobrou grafickou úroveň odpovídající běžným standardům.



Celkové hodocení

Přes drobné výhrady, převážně formálního charakteru, považuji autorem stanovené cíle disertační práce za splněné a konstatuji, že v disertační práci Ing. Tomáše Pačáka jsem nenašel závažné chyby bránící její obhajobě. Práci doporučuji k obhajobě před zkušební komisí a po jejím úspěšném ukončení souhlasím s tím, aby Ing. Tomáši Pačákovi byla udělena vědecko - akademická hodnost a titul Ph.D.

„philosophiae doctor (Ph.D.)“.

V Liberci dne 3.8. 2018

doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.

