

Technická univerzita v Liberci

Studentská 2

46117 Liberec

proděkan doc. Ing. Petr Lepšík, PhD.

Věc: posudek PhD. práce Ing. Davida Korečka

Téma: Využití pokročilých výpočetních modelů pro predikci odpružení výlisků

Vážený pane proděkane,

na základě Vaší žádosti ze dne 25.5.2003 TUL-1001242434/2112 jsem provedl oponenturu disertační práce Ing. Davida Korečka dle Vašich požadavků s následujícími závěry.

a) zhodnocení významu práce pro obor strojírenská technologie plošné tváření : jedná se v dnešní době o podporu této technologie na úrovni zcela nepostradatelné, stále aktuálnější jeho podpory pomocí počítačových simulací.

b) vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění stanovených cílů.

Problém byl řešen v naprostém souladu s požadavky pro zde použitý simulační software PAM STAMP 2G. Tomu odpovídaly metody a plnění stanovených cílů v úvodu a podrobněji na str.77. Ty byly splněny zcela.

c) stanovisko k výsledkům disertační práce a významu původního konkrétního přínosu práce. Disertační práce splnila konkrétní očekávaný přínos.

d) případné další vyjádření zejména k systematičnosti , přehlednosti , formální úpravě a jazykové úrovni práce.

Práce má systematickou stavbu a je přehledně uspořádána. Jedině snad cíle práce mohly být formulovány samostatně mimo experimentální část. Jazyková úroveň výborná.

e) Vyjádření k publikacím studenta.

Seznam prací studenta je zcela postačující. Studijních citovaných literárních podkladů je také dostatečný počet 73.

f) jednoznačné vyjádření oponenta . Výsledky práce a požadavky kladené na disertační práce kladené zákonem o vysokých školách byly splněny proto DOPORUČJI k obhajobě.

Oponovaná práce má veliký rozsah 165 stránek. Má 41 obr. včetně výsledků simulací.

V teoretické části, která má 76 str. se věnuje pojednání o používaných materiálech v stavbě automobilů a letadel, teorii plasticity, obecně numerickým simulacím a speciálně softwaru PAM STAMP 2G, materiálovým modulům plasticity Vegter Lite Modelu a Vegter Modelu pro izotropní a anizotropní materiál. Experimentální část se závěrem pro diskuzi výsledků má 72 str. textu. Já se budu blíže věnovat části experimentální.

Tato část byla provedena pro zhodnocení vlivu zvolených materiálových výpočetních modulů a vybraných parametrů na průběh deformace a následného odpružení materiálu. Bylo provedeno pro materiálový model Hill a Vegter kinematic, buď pro isotropní a nebo pro neizotropní zpevnění. Vegter kinematic zahrnuje vliv Bauschingerova efektu na mezní deformace. Posouvá hranici podmínky plasticity. Verifikace pro tyto materiálové modely byly provedeny tažením U výlisku a protahováním pásku přes brzdící drážku. Pro definici výpočtového modelu je zapotřebí znát materiálové konstanty. Ty se zjišťují z materiálového listu nebo pomocí vybraných mechanických zkoušek. Jednalo se o Youngův modul pružnosti v tahu, Poissonovo číslo, hustotu. Jako rozhodující pro přesnost simulací se jeví velikost elementů měrné sítě, dále koeficient smykového tření mezi plechem a nástrojem. Důležitá je rovněž velikost mezery mezi funkčními částmi nástroje. Ukázalo se, že je nutnost pořízení simulací pro pevné nastavení mezery mezi funkčními částmi. Nejvhodnější byla stanovena mezera 1,2 tloušťky tvářeného plechu.

Bylo dále provedeno porovnání použitých materiálových modelů numerické simulace a následného odpružení materiálu. Porovnávány byly výsledky simulací lisování s navrženým reálným procesem zhotovení výlisku. **Nejlepší výsledky měla simulace Vegter Standard v kombinaci s kinematickým zpevněním materiálu tzv. Yoshida modelem. To je nutné přijmout bez připomínek. Tak to vyšlo.**

Připomínky a dotazy na doktoranda:

Nešlo by dát nějaká upřesňující měřítka při porovnávání výsledné kontury simulacemi a reálného profilu, ze které by byly blíže patrné velikosti rozdílů.

Špatná čitelnost obrázků s výsledky ze simulací např. u definicí materiálového modelu. To je ovšem běžný problém.

Co by mohlo následovat v pokračování této práce?

Přínos jeho práce pro lisovnu, pro praxi?

Přínos jeho práce z hlediska rozvoje oboru teorie tváření plechů.

Jak si myslí že půjdou použít závěry jeho práce pro urychlení práce nástrojařů při zapracování nástrojů?

11.6.2023

Doc.Ing. Jan Šanovec, CSc.

ČVUT Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie

Recenzní posudek doktorské disertační práce

Název práce: **Využití pokročilých výpočetních modelů pro predikci odpružení výlisků**

Doktorand : **Ing. David KOREČEK**

Studijní program : P2303 Strojírenská technologie

Obor práce: Strojírenská technologie

Školitel: Doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.

Pracoviště : TU v Liberci, fakulta strojní, katedra strojírenské technologie

Recenzent: Doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

Předkládaná dizertační práce obsahuje na 154 stranách textu a příloh samostatné kapitoly, týkající se studijní, teoretické, experimentální a tabulkové části, doplněné seznamem použité literatury a zdrojů s obsáhlým přehledem 31 vlastních publikací doktoranda.

Již v úvodu svého hodnocení musím konstatovat, že disertační 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. Jejím řešením 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 velmi zdařilým a komplexním projektem, plně odpovídajícím svému zadání.

Z odborného hlediska je **práce zaměřena** především na oblast výzkumu parametrů a materiálových výpočetních modelů, které ovlivňují výsledky numerických simulací v oblasti tažení výlisků plechu. Dalším zaměřením práce je výzkum deformačního chování materiálů se specifickými užitnými vlastnostmi, definice výpočetních modelů a predikce deformace a odpružení materiálu pomocí numerické simulace.

V daném směru bylo **hlavním cílem práce** především stanovení metodiky získávání materiálových dat s jejich implementací do softwaru pro následné numerické simulace plošného tváření plechu. Simulace a experimenty jsou v práci zaměřeny především na výpočtové modely různých typů materiálů, s tím, že numerické simulace a následné výpočty jsou pak porovnány s reálným procesem výroby plechových výlisků.

Velmi obsáhle, obsahově i věcně bez závad je na 63 stranách zpracována již úvodní, **teoretická část práce**, v níž lze vyzdvihnout především detailní přehledy materiálů včetně mechanismů deformace a kapitoly, definující vztahy a zákony napjatosti a přetvoření a část, týkající se numerické simulace procesu plošného tváření.

K **experimentální části práce** musím uvést, že jak detailní popis přípravy, tak i provedené zkoušky a ověření, dokumentované velkým počtem grafů, tabulek a obrázků, znamenají velmi podstatný příspěvek k řešení této problematiky. Domnívám se, že návrh, členění 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.

Velmi kvalitní, detailní a obsahově rozsáhlá experimentální část práce (48 listů) je zaměřena především na metodiku pro získávání vstupních dat a aplikaci metodiky testování materiálů na výzkum chování různých zvolených a popsanych materiálů v průběhu deformace. Je nutno ocenit zvláště velmi náročné práce u odběrů materiálů pro testy a rovněž jejich realizace (str. 79-92). Taktéž náročné testování vybraných ocelí a slitin se specifickými užitnými a mechanickými vlastnostmi, včetně jejich porovnání je velkým přínosem práce v dané oblasti.

Pro ověření a potvrzení výsledků, získaných z numerické simulace byl pro porovnání zhotoven v každé variantě na zařízení TIRA Test 2300 výlisek tvaru U z plechu (vždy celkem 5 vzorků, z nichž byla vypočtena průměrná hodnota). Přehledně a graficky je vše zpracováno v kapitole 3.4 včetně zařízení Sokol 400. Velmi kvalitně a detailně jsou v dalších kapitolách uvedeny definice materiálových výpočtových modelů pro všechny vybrané typy materiálů a taktéž detailně popsána realizace procesu plošného tváření pomocí numerické simulace v softwaru PAM STAMP 2G.

V závěrečné kapitole rozvádí doktorand na 25 listech diskuzi výsledků své práce, kde hodnotí nejen vlivy výpočtových modelů na výpočet procesu tváření a odpružení, ale popisuje a porovnává i výsledky numerických simulací a reálných experimentů. I zde musím konstatovat, že celá kapitola je zpracována velmi pečlivě a přehledně. Jen zcela pro vysvětlení a doplnění mám pouze následující dotazy:

- dotaz (kap. 4.2, obr. 4.4, str 129) - jaký je názor doktoranda na poměrně výrazné odpružení, proč je zde deformace nehomogenní, a proč její maxima jsou lokalizována jen v určitých oblastech výlisku.
- dotaz (kap. 3.1, str. 78) – proč bylo voleno v práci tak náročné testování pomocí 5 materiálových testů

Závěrem bych chtěl konstatovat, že předloženou práci jsem prostudoval opravdu s velkým zájmem, neboť tak kvalitně a komplexně zpracované disertace se nevyskytují příliš často. K důležitým bodům, sumarizujícím hodnocení předložené práce bych rád vyslovil následující stanoviska:

a) hlavní přínos této kvalitní disertační práce je možno spatřovat nejen v dalším příspěvku k řešení této obsáhlé problematiky, ale i ve velmi kvalitním příspěvku pro další výzkumné práce i rozvoj celého vědního oboru.

b) v úvodní kapitole stanovené cíle práce byly beze zbytku splněny a na základě dosažených výsledků lze očekávat i velmi dobrý ekonomický dopad řešení disertační práce a ekonomický přínos dosažených výsledků v praxi. Logický postup řešení a použité metody vedly jednoznačně ke kvalitním závěrům a splnění cílů práce.

c) mé jednoznačné stanovisko k výsledkům disertační práce a přínosu autora plyne již z předchozích bodů hodnocení, kde oceňuji především kvalitní rozbor, metody a postup řešení, přístup autora a stanovené závěry výsledků této velmi náročné práce.

d) řešení práce potvrzuje nejen odborné znalosti autora, ale i systematičnost řešení, logický postup a přehlednost, jakož i formální úpravu a jazykovou úroveň celé práce.

e) rozsáhlý seznam 31 publikovaných prací studenta a dílčí směry a problémy, jež jím byly v průběhu šesti let řešeny, svědčí nejen o jeho detailních znalostech celé související problematiky, ale i jeho odbornosti a aktivitě v celém tomto období.

V odvolání na uvedené hodnocení a závěry doporučuji předloženou práci k obhajobě, a po jejím úspěšném ukončení

doporučuji

aby disertantovi byla udělena vědecko-akademická hodnost a titul PhD.

Doc. Ing. Pavel Rumíšek, CSc.

V Brně dne 18.6.2023

V Brně dne 18.6.2023

POSUDOK DIZERTAČNEJ PRÁCE

Názov práce: Využití pokročilých výpočetních modelů pro predikci odpružení výlisků

Autor: Ing. David Korečka

Štúdijský program : P2303 Strojárska technológia

Štúdijský odbor: Strojárska technológia

Oponent : prof. Ing. Emil Evin, CSc.

Zhodnotenie významu dizertačnej práce pre odbor

Posudok je vypracovaný na základe menovania oponentom p. prodekanom doc. Ing. Petrom Lepšíkom, Ph.D. zo dňa 12.05.2023. Predložená dizertačná práca sa zaoberá problematikou využitia pokročilých modelov pre predikciu odpruženia výliskov z plechov. Téma danej práce je aktuálna a to hlavne z dôvodu eliminácie plytvania (času a nezhodných výliskov). Dizertačná práca má štruktúru zodpovedajúcu požiadavkám kladeným na tento druh prác. Práca obsahuje rešerš literárnych poznatkov z danej problematiky, metodiku experimentálneho výskumu, diskusiu získaných výsledkov a záver. V závere práce sú uvedené prínosy dizertačnej práce pre vedný odbor a prax. V závere sú tiež uvedené návrhy na ďalšie pokračovanie vo výskume danej problematiky. Spracovaná téma predloženej práce zapadá do štúdijského programu Strojárska technológia.

Vyjadrenie k postupu riešenia problémov, použitým metódám a splneniu stanoveného cieľa

Doktorand v rámci štúdia a analýzy teoretických predstávil odbornú rešerš zaoberajúcu sa zvolenou problematikou. V úvodných častiach predloženej práce sa zamerl na materiály používané v automobilovej výrobe, leteckom priemysle a v energetickom priemysle, na základné mechanizmy deformácie kovových materiálov, na analýzu napätovo-deformačného stavu pri tvárnení materiálov, na materiálové modely numerickej simulácie v softwari PAM STAMP 2G (podľa Krupkowského, kinematický model spevnenia podľa Yoshidu, model Vegter Lite). Doktorand použil vhodné zdroje informácií (73 relevantných zdrojov), z ktorých cca polovica je z posledných šiestich rokov. To znamená, že citovaná literatúra je aktuálna. Autor vhodne a v dostatočnom rozsahu citoval použité zdroje, čím preukázal dobrú orientáciu v danej problematike.

V tretej kapitole „EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST“ definoval ciele dizertačnej práce:

- zostavenie metodiky získavania vstupných pre numerickú simuláciu.
- návrh a aplikácia metodiky testovania vybraných materiálov so špecifickým vlastnosťami používaných v automobilovom, energetickom a leteckom priemysle.
- implementácia získaných materiálových údajov do prostredia numerickej simulácie procesu plošného tvárnenia.

V tejto kapitole je komentovaný výber materiálov. Pre experimentálny výskum boli použili použité materiály: dvojfázovú oceľ DP 500, trojfázovú oceľ HCT 690, plechy zo zliatiny hliníka AMAG6000 (EN AW611) a plechy zo zliatiny titanu Ti-CP AMS4900. Tieto materiálu sa používajú v automobilovom a leteckom priemysle za účelom zvýšenia bezpečnosti automobilov a zníženie ich hmotnosti.

Pripomienka: Ciele je vhodné zvýrazniť a jednoznačne definovať hlavný cieľ práce. Hlavným cieľom bola predikcia odpruženia?

V jednotlivých podkapitolách tejto časti dizertačnej práce doktorand podrobne popísal metodiky získavania vstupných dát pre numerickú simuláciu. Pre získanie vstupných dát použil nasledujúce testy : statickú skúšku v ťahu, hydraulický bulge test, plane strain tensile test, Shear strain a cyklický test. Ku každej skúške priložil výpis (report) materiálových údajov, ktoré boli vyhodnotené pomocou software LabNET. Software LabNET je dodávaný k trhaciemu zariadeniu. Presnosť výsledkov numerickej simulácie mimo iné závisí aj od presnosti vstupných údajov.

Otázka: Koľko vzoriek bolo použitých pre určenie jednotlivých materiálových charakteristík? Aký bol ich rozptyl?

Pripomienka: V tabuľkách 3.6, 3.7, 3.8 nie sú technicky správne uvedené hodnoty (nie sú vhodne zaokrúhlené). Napríklad, $C=948.72856$ a smerodajná odchýlka by bola ± 2 MPa, potom údaj v tab. 3.7 by mal byť 949 ± 2 MPa.

V podkapitole 3.6 sú pre vybrané druhy materiálov definované jednotlivé výpočtové modely. V podkapitole 3.7 doktorand je podrobne popísaný postup nastavenia numerickej simulácie výlisku v tvare „U“ v prostredí PAM STAMPe 2G.

V štvrtej časti je uvedený diskutovaný vplyv veľkosti siete elementov, trenia a materiálových modelov na odpruženie. Výsledky sú pekne graficky znázornené. Avšak, čitateľ práce (užívateľ výsledkov) sa nedozvie aký význam majú jednotlivé faktory resp. parametre.

Otázka: Zamýšľal sa doktorand na tým, ktorý z uvedených faktorov má najväčší význam na odpruženie resp. ako by určil významnosť jednotlivých faktorov?

Otázka: Na základe dosiahnutých výsledkov, aké opatrenia pri návrhu nástroja by bolo potrebné prijať, aby odpruženie sme eliminovali odpruženia po určitú hodnotu (dostali výlisk v tvare písmena „U“.

Poslednú časť práce predstavuje záver práce, v rámci ktorého autor mimo iné veľmi stručne naznačuje aj ďalšie smery vývoja danej práce.

Na základe zhodnotenia výsledkov práce, ako aj na základe preštudovania niektorých publikovaných príspevkov doktoranda konštatujem, že stanovené jednotlivé ciele, tak ako boli formulované v 3. kapitole boli splnené. Podobne je možné konštatovať, že aj hlavný zámer vyplývajúci z názvu práce „Využití pokročilých výpočetných modelů pro predikci odpružení výlisků“ týkajúci sa predikcie odpruženia bol splnený.

Stanovisko k výsledkom dizertačnej práce a k významu pôvodných konkrétnych prínosov autora dizertačnej práce:

Po preštudovaní práce a konštatovania doktoranda na str. 153 a str. 154 považujem za hlavné prínosy pre vedeckú komunitu:

- vytvorenie a overenie metodík určovania materiálových charakteristík potrebných pre numerickú simuláciu,
- vytvorenie a overenie metodík voľby vhodného modelu pre predikciu vybraných charakteristík výrobitelnosti výliskov,
- vytvorenie testovacej databázy materiálov, pre strojové učenie.

Prínosom pre prax budú aj vyššie menované metodiky, ktoré v etape príprave výroby výliskov plošným tvárnením umožnia v značnej miere skrátiť čas zavedenie výroby výlisku, znížiť počet nezhodných výliskov (zamedziť plytvanie). Téma dizertačnej práce bola vhodne zvolená a má potenciál ďalšieho rozvoja vedy a praktických aplikácií.ch riešení.

Otázka: Do akej miery plánuje doktorand využitie svojich výsledkov na školiacom pracovisku v pedagogickom procese)?

d) Prípadné ďalšie vyjadrenia, najmä vyjadrenia k systematickosti, prehľadnosti, formálnej úprave a jazykovej úrovne dizertačnej práce

Samotná dizertačná práca je napísaná na 165 strán vrátane zoznamu publikovaných prác doktoranda je rozdelená do piatich kapitol. Dizertačná práca má štruktúru zodpovedajúcu požiadavkám kladeným na tento druh prác. Text je dobre členený. Pri čítaní textu čitateľa zaujme štruktúra textu ako aj konkrétne formulácie, vysvetlenia a v neposlednom rade i grafické znázornenia, ktoré vhodne dopĺňajú predkladaný text. Jednotlivé kapitoly a podkapitoly sú vnútorne previazané a tvoria zmysluplný celok. Predložená práca je výsledkom dlhodobej systematickej práce doktoranda. Po formálnej stránke z hľadiska členenia, rozsahu a vyváženosti jednotlivých častí práce nemám pripomienky. K jazykovej úrovni práce sa nemôžem vyjadriť. Použitý odborný štýl je na veľmi dobrej úrovni. Spôsob spracovania dokumentácie vrátane grafov, tabuliek, obrázkov a vzorcov je na vynikajúcej úrovni.

Zhrnutie otázok:

Otázka 1. : Koľko vzoriek bolo použitých pre určenie jednotlivých materiálových charakteristík? Aký bol ich rozptyl?

Otázka 2.: Zamýšľal sa doktorand na tým, ktorý z uvedených faktorov má najväčší význam na odpruženie resp. ako by určil významnosť jednotlivých faktorov?

Otázka 3. : Na základe dosiahnutých výsledkov, aké opatrenia pri návrhu nástroja by bolo potrebné prijať, aby odpruženie sme eliminovali odpruženia po určitú hodnotu (dostali výlisok v tvare písmena „U“.

Otázka 4. : Do akej miery plánuje doktorand využitie svojich výsledkov na školiacom pracovisku v pedagogickom procese)?

Vyjadrenia k publikáciám študenta DSP

Autor v práci uvádza 31 výsledkov vlastnej relevantnej publikačnej činnosti na domácich a zahraničných vedeckých konferenciách (7 publikácií) a časopisoch (6 impaktované publikácie). Konštatujem, že výsledky práce boli publikované aj v impactovaných časopisoch. Publikačnú aktivitu doktoranda považujem za dostatočnú pre udelenie titulu Ph.D. Doktorand je schopný samostatne vedecky pracovať, prinášať nové poznatky a ich aplikovať.

Jednoznačné vyjadrenie oponenta, že prácu odporúča alebo neodporúča k obhajobe

Dizertačnú prácu odporúčam predložiť k obhajobe v študijnom programe strojárstvo a po úspešnej obhajobe pred komisiou odporúčam Ing. Davidovi Korečkovi udeliť akademický titul "philosophiae doctor", v skratke "Ph.D."

V Košiciach 29.6.2023

prof. Ing. Emil Evim, CSc.
Oponent