

OPONENTNÍ POSUDEK DIZERTAČNÍ PRÁCE

Název disert. práce: **VLIV RYCHLOSTI DEFORMACE NA POLOHU FLC KŘIVEK**

Autor práce: **Ing. Vít Novák**

Oponent: **Prof. Ing. Františka Pešlová, Ph.D Praha**

K recenzi byla předložena disertační práce v rozsahu 168 stran, 89 obrázků a 9 příloh. Teze disertační práce byly dodané v rozsahu 34 stran, obsahující publikace (i autorovy), které byly použity v DP. Celá práce je v logické návaznosti rozdělena do 17 kapitol. Vědecko-technické práce se v současné době podřizují progresivním trendům vývoje technických objektů, které musí vyhovovat evropským normám. Automobilový průmysl má za úkol snižovat hmotnost vozů při zachování bezpečnosti a ekologičnosti. Z toho důvodu je nutné zasáhnout do primárních technologických procesů výroby automobilových výlisků, čím se disertační práce stává aktuální.

Cílem disertační práce, jak Ing. Vít Novák uvádí, je návrh metodiky vyhodnocení FLC křivek při různých deformačních rychlostech s otestováním dané problematiky na reálném výlisku. V dílčích cílech plánuje autor aplikaci vstupních parametrů do výpočtového modelování, proto odpovídají následnosti nutných postupových kroků, pro splnění všech bodů, které si disertant stanovil.

Sledování rychlosti deformace, vzhledem na pohyb dislokací probíhající v materiálu v průběhu tváření, je náročný úkol na kvantifikování toho, co se odehrává uvnitř konkrétní struktury (po TZ, MTZ nebo jiných úpravách) daného materiálu.

První část disertační práce (DP) je tvořena úvodem a motivací pro řešení předkládané problematiky, ve které je stručně vyjádřený názor autora na postup návrhu metodiky. V těchto kapitolách byla popsána důkladná příprava a před příprava přístrojů a zařízení na provedení experimentů v laboratorních podmínkách. Z přípravných prací je patrná náročnost měření na přesnost a reprodukovatelnost zkoušek. Sledování rychlosti plastické deformace vychází z poznatků o rychlosti konkrétního tváření, kdy se na celém procesu podílí strojní zařízení, kvalita nástroje, tváritelnost materiálu, objem a složitost tvarů (výlisků apod.) a také zda proces probíhá za tepla nebo za studena.

Disertant ve své práci vychází ze *statické zkoušky v tahu*, při které je možné sledovat deformačně napěťové stavy na jednoduchých plochých vzorkách, vyrobených podle norem. Další zkouška dle Erichsena byla vybraná pro volbu optimální barvy tak, aby se dala snímat kamerovým optickým systémem ARAMIS. Tento systém autor DP propojil se zařízením LabTest Model 5.100SP1 tak, aby mohl získat vygenerovaný protokol měření. Pan Ing. Novák správně uvádí, že povrchy těchto plechů musí být připraveny z toho důvodu, aby nebyly snímány artefakty, které by výsledky zkreslovaly. Na obr 13.1 str. 53, je přehledná struktura optimalizace plošného tváření. Do vstupů numerické simulace jsou uvažovány parametry, mezi které autor uvedl chemické složení materiálu. *Nebylo by výhodnější uvést do numerické simulace jako vstupní parametry pro tvářený materiál, podstatné materiálové vlastnosti?* Tyto mohou celý proces tváření ovlivnit (chemické složení materiálu nelze jako vstup do sowlterových programů zakomponovat, pouze jeho důsledek). Chemické složení ocelí má velký vliv na zpevnění, vzhledem na mikrostrukturu a uspořádání zrn, což musí být respektované při návrhu a volbě materiálu. *Jakým způsobem lze zpevnění materiálu eliminovat nebo odstranit?*

Převážná část práce je věnovaná experimentálnímu a výpočtovému modelování, vycházející z velkého počtu statických zkoušek v tahu (680 zkoušek). Z disertační práce je vidět, že autor práce přistupoval k plánování experimentů a specifickým zkouškám precizně a zodpovědně. Za každou kapitolou uvedl dílčí závěr, kde zhodnotil navrhnutou metodiku a výsledky z daného měření. Ing. Novák vycházel při řešení tak náročné problematiky mimo jiné, z volby materiálů, respektování geometrie výlisků a tloušťky zpracovaných plechů. Zkušební zařízení volil na základě teoretických poznatků a dostupného přístrojového vybavení na pracovišti, které měl k dispozici. V DP je vždy za kapitolou uvedený popis mechanismu a grafické vyhodnocení získaných hodnot, pomocí sloupcových diagramů (vzhledem na množství vzorků a měření je to vyhovující), které jsou přehledné při tak velkém počtu vzorků a měření.

Zajímavá je část práce, kde je pro materiál DX57 (CR5) popis srovnání poloh jednotlivých FLC křivek pro jednotlivé šarže. Zde se projeví poměrně velké rozdíly výsledků v levé části FLC křivky v oblasti hlubokého tažení. *Jak lze tuto diskrepanci vysvětlit na základě mechanismu plastické deformace?*

V technické praxi je velmi důležitý směr válcování plechů, který může ovlivnit i negativně další technologické postupy v oblasti tváření. Z toho důvodu kladně hodnotím provedené statické zkoušky v tahu, na plochých vzorcích v různém směru válcování (0° , 45° a 90°), z čeho je patrný logický postup disertanta. V dalším řešení bral autor také v úvahu orientaci válcování (ze svitku plechu) v závislosti na rychlosti deformace, což se ukázalo problematické vzhledem k nesoudržnosti struktury. Válcováním může vznikat tzv. textura, která při další plastické deformaci (lisování, protlačování apod.), může hodně ovlivnit kvalitu tváření. Odezva materiálů se může projevit v tváření mikrostruktury změnou rozložení zrn, podle toho jak reagují jednotlivé fáze mikrostruktury na tahové nebo tlakové zatížení. *Byly mikroskopicky hodnoceny některé materiály před a po zkoušce v tahu na metalograficky připravených vzorcích?*

Závěrem experimentu následovalo výpočtové modelování, numerická simulace v programu Auto-Form, pro materiál DX5, kde byl sledovaný vliv rychlosti deformace na polohu FLC křivek. Z výpočtů vznikala obrazová dokumentace uvedena v kapitolách DP, která barevně dokumentovala simulaci, co se v materiálu odehrává v průběhu plastické deformace a při změnách deformační rychlosti.

Vyjádření k disertační práci

1. Dosažení stanoveného cíle DP: V DP byl stanovený hlavní cíl a následně pro jeho splnění, dílčí cíle. Všechny zadané úlohy z cílů byly splněny v celém rozsahu.
2. Úroveň rozboru současného stavu: Autor kriticky hodnotí současný stav a vychází z něho pro stanovení svých cílů práce. Úroveň rozboru odpovídá požadavkům na DP.
3. Teoretický přínos: Z teoretických poznatků a na základě získaných výsledků lze konstatovat, že výpočtové modely zpracované SW (např. AutoForm, Pam-Stamp) vykazují nedokonalost v numerické simulaci při výpočtovém zpracování, vzhledem k tomu, že vstupní parametry jsou v dané problematice procesně proměnlivé algoritmy. Materiál, se v průběhu plastické deformace v jeho mikrolokalitách rovnoměrně nedeformuje protože, dochází v různých místech k většímu nebo menšímu zpevnění podle toho, jaké má chemické složení a rozložení jednotlivých fází v mikrostrukturu. Nelze vytvořit konstantní algoritmy, které by charakterizovaly proměnnost mikrostruktury vystavené plastické deformaci a které by sloužily jako vstupní veličiny do

výpočtového modelování. Bude záležet na vývoji softwarových programů, které budou schopné reagovat na průběžné změny v chování materiálů, případně na odezvy nástrojů.

4. Praktický přínos DP: Vzhledem k tomu, že se DP zabývá rychlostí plastické deformace, lze předpokládat, že to bude souviset s rychlostí a velikostí nástroje vyvíjecího zatížení, tedy urychlení celého tvářecího procesu a tím i k finančním úsporám. Výpočtové programy mohou být podpůrné pro zrychlení příprav a průběžnou kontrolu ve výrobě automobilových výlisků. Numerické simulování bylo konfrontované přímo ve výrobě.
5. Vhodnost použitých metod: Disertant ve své DP využil systémový přístup v plánování experimentů. Věnoval velkou pozornost přípravám experimentů tak, aby tyto mohly probíhat v co nejpřesnějším režimu s využitím moderních metod a zařízení. Výpočtové modelování v DP bylo maximálně využito pro testování a zpracování dílčích cílů s ověřením v průmyslové praxi.
6. Prokázání odpovídající znalosti v oboru: Autor DP prokázal schopnost samostatně pracovat, promýšlet metodiku a tu uplatnit při řešení dané problematiky. Nebojí se navrhnout jednoduché postupy pro výrobu. Předvedl technickou způsobilost a preciznost v experimentech (na velkém počtu vyrobených vzorek) i s hodnocením navržené metodiky.
7. Formální úroveň: Formální úroveň DP byla v celku dobrá až na malý počet nepřesností a odpovídá běžným standardům vědecké práce.

Na základě předložené práce lze konstatovat, že autor DP k řešení procesu plastické deformace vrs. výrobě výlisků pro automobilový průmysl ukázal zodpovědný přístup do nejmenších podrobností. Takový přístup se zobrazil ve stanoveném postupu při řešení tak komplikované problematiky v oboru tváření. Uplatnil ve své práci komplexní systémový přístup a ukázal, že musí brát v úvahu širokou škálu závisle a nezávisle proměnných, aby získal věrohodné výsledky.

V této práci se disertant pokusil dát do souvislosti všechny uvedené aspekty tak, aby mohlo být využito výpočtové modelování pro sledování a vlivu plastické deformace, která probíhala při různé rychlosti. Uvědomoval si náročnost zpracování výsledků tak, aby mohly být přínosem pro technické praxi.

Ing. Vít Novák vykonal obrovské množství experimentů, které byly zpracované výpočetní technikou pro plánování budoucích experimentů. V DP byly splněny značné nároky na vyhodnocování, formu zpracování a prezentaci výsledků. Zvolené vyhodnocování bylo v práci prezentované věcně a správně.

Disertační práce přináší cenné poznatky z řešené problematiky a má velkou možnost praktického uplatnění v procesu tváření. Z DP je patrné, že zvolené materiály lze uplatnit v technologických aplikacích, a to nejen pro automobilový ale i jiný průmysl.

Cíle disertační práce byly podrobně zpracovány a splněny. Po stránce obsahové i formální je práce zpracovaná na dobré úrovni. Autor prokázal schopnost experimenty a technické problémy řešit s velmi dobrou pečlivostí. Na základě, prostudování předložené „Disertační práce“, „Teze disertační práce“ a publikační činnosti, mohu pana Ing. Víta Nováka doporučit k obhajobě.

Po obhájení disertační práce a zodpovězení otázek v diskusi, doporučuji udělit titul (dle zákona č.111/1998Sb.).

„Ph.D.“

V Praze dne 20.4.2024

Prof.Ing. Františka Pešlová, Ph.D.