

prof. Ing. Emil Evin, CSc., Katedra automobilovej výroby, SjF TU v Košiciach,  
Mäsiarska 74, 040 01 Košice

## Oponentský posudok dizertačnej práce **Vliv rychlosti deformace na polohu FLC křivek**

Doktorand: Ing. Vít Novák

Školiteľ: doc. Ing. Jan Šanovec, CSc.

Školiteľ špecialista: Ing. František Tatíček, PhD.

Študijný program: Strojní inženýrství

Študijný odbor: Strojírenská technológia

### Úvod

Predložená dizertačná práca je napísaná na 180 stranách a obsahuje 89 obrázkov, 37 grafov, 27 tabuliek a 9 príloh. Pri vypracovaní tejto práce bolo použitých 103 literárnych zdrojov. V zmysle pokynov obsiahnutých vo vymenovanom dekréte dekana, ako oponent mám zaujať stanovisko k práci z nasledovných hľadísk: a) k dosiahnutia cieľov stanovených v dizertačnej práci, b) k úrovni rozboru súčasného stavu riešenej problematiky, c) k teoretickému prínosu dizertačnej práce a k praktickému prínosu dizertačnej práce, d) k vhodnosti použitých metód a k spôsobu ako boli použité metódy aplikované, e) či doktorand preukázal odpovedajúce znalosti v danom odbore, g) k formálnej úrovni práce a záverečné hodnotenie.

### Úroveň rozboru súčasného stavu riešenej problematiky

Materiál má najväčší podiel na celkových výrobných nákladoch automobilu. Preto je na jednej strane snaha o dosiahnutie čo najlepšie využitie materiálu (minimalizácia odpadu resp. nezhodných výrobkov) a na druhej strane sú snahy vyrábať zložitejšie diely karosérie. Častokrát pri zložitejších tvaroch výliskov je riziko vzniku chýb (nadmerného stencenia alebo porušenia) veľmi vysoké, pretože využitie plastických vlastností materiálu sa blíži k limitným hodnotám deformácie. Variácie materiálových vlastností majú vplyv na lisovateľnosť. Preto je často krát potrebné prijať opatrenia, ktoré sa týkajú úprav parametrov počas procesu lisovania. V automobilovom priemysle stratégie pre kontrolu kvality boli aplikované ako TQM, Kaizen a podobne. Novšie prístupy sa prikláňajú k stratégii „Zero Failure“. To znamená, že pri poklese kvality pod určitú (kritickú) úroveň sa rýchlo zvyšujú náklady. Takmer pri všetkých druhov operácií plošného tvárnenia je nevyhnutné poznať podmienky, za ktorých materiál vykazuje nestabilita. Pre predikciu stavov nestability pri spracovaní plechov technológiami plošného tvárnenia sa používajú krivky medzných deformácií.

***Konštatujem, že téma dizertačnej práce „Vliv rychlosti deformace na polohu FLC křivek“ je aktuálna.***

Doktorand v predloženej dizertačnej práci v úvodných deviatich kapitolách spracoval súčasný stav problematiky o materiálových konceptoch používaných pri stavbe karosérií automobilov ŠKODA Octavia, o plasticite materiálov, o metódach predikcie plasticity, o tribologickom systéme procesov lisovania plechov, o vplyve rýchlosti deformácie na zásobu plasticity materiálu, o materiálových modeloch využívaných v programový súboroch

numerickej simulácie, o optických systémoch používaných pre analýzu deformácie a o softvérov používaných pre simuláciu procesov plošného tvárnenia.

*Pripomienky:*

*V názve práce by sa nemali vyskytovať skratky. Ak by dizertant uviedol plný názov dizertačnej práce. Zistil by, že slovičko „krivek“ sa v názve vyskytuje 2x.*

***Rozebór súčasného stavu riešenej problematiky bol spracovaný na veľmi dobrej úrovni.***

### **Dosiahnutie cieľov stanovených v dizertačnej práci**

Po teoretickej časti je v desiatej kapitole definovaný hlavný cieľ dizertačnej práce. Cieľom dizertačnej práce bolo vytvorenie metodiky merania a vyhodnocovania deformácií na výliskoch a overiť ako vplyva rýchlosť deformácie na polohu kriviek medzných deformácií v diagrame medzných deformácií. Pre dosiahnutie hlavného cieľa bolo definovaných 7 čiastkových cieľov:

1. Metodika vyhodnocovania skúšky ťahom pomocou systému ARAMIS pri rôznych rýchlostiach deformácie.
2. Metodika prípravy mernej siete pre sledovanie deformácií na povrchu plechu.
3. Vplyv jednotlivých parametrov na skúšku ťahom.
4. Štúdium polohy FLC v závislosti na rýchlosti deformácie.
5. Testovanie problematiky na typovom výlisku.
6. Metodika koncipovania materiálovej karty.
7. Verifikácia nameraných výsledkov pomocou numerickej simulácie.

V kapitole 11 až 13 je podrobne popísaný postup prípravy a realizácie experimentálneho výskumu určenia mechanických vlastností použitých materiálov pri 7 rýchlostiach (12 mm/min, 10 mm/min, 50 mm/min, 100 mm/min, 200mm/min, 500 mm/min a 600mm/min) pohybu priečnika trhacieho stroja LabTest 5.100SP. Experimentálny výskum bol realizovaný na 5 šaržiach hlbokotážnej ocele CR 4. Deformácie na vzorkách boli merané optickým systémom ARAMIS. Z nameraných výsledkov boli vytvorené stĺpcové grafy, v ktorých boli uvedené limitné hodnoty jednotlivých ( $R_{p0.2\%}$ ,  $R_m$ ,  $A_g$ ,  $A_{50}$ ) materiálových parametrov. Z uvedeného porovnania vyplýva, že bola dosiahnutá zhoda medzi hodnotami materiálových charakteristík nameranými optickým systémom ARAMIS a trhacím strojom LabTest 5.100SP. Meranie chemického zloženia bolo vykonané spektrometrom Delta.

*Pripomienky ku kapitole 13:*

*Ciele dizertačnej práce nie sú vhodne formulované. Vhodnejšie by bolo použiť: „1. Návrh metodiky vyhodnocovania mechanických vlastností ťahovou skúškou ...), „2. Návrh metodiky...,“3. Analyzovať vplyv ...“, 4. Stanoviť polohu FLC ...“ a pod.*

*Označenie kapitoly 13 nie je zrozumiteľné. Ktoré parametre majú vplyv na skúšku ťahom?*

*Na obrázku 13.2 v legende je vhodnejšie použiť výraz limitná hodnota ako tolerancia.*

*Ako bola stanovená rýchlosť deformácie ( obr. 13.5) ?*

*Obr. 13.10 je potrebné vysvetliť v čom spočíva zmena resp. vplyv ( rýchlosti pohybu priečnika a označenie vzoriek je rovnaké)?*

*Koľko vzoriek bolo použitých pre určenie priemerných hodnôt jednotlivých mechanických vlastností?*

*Aké smerodajné odchýlky boli zaznamenané pri jednotlivých mechanických vlastnostiach?*

*Prečo nebola analyzovaná konštanta pevnosti  $K$ ? (Je to vstupný údaj do numerickej simulácie)*

*Podobne ako pri mechanických vlastnostiach bolo potrebné v grafe 13.1 vyznačiť limitné hodnoty.*

**Konštatujem, že čiastkové cieľ 1, 2 a 3 boli splnené.**

V kapitole 14. je popísaný postup prípravy a vyhodnocovania deformácií  $\varphi_1$  a  $\varphi_2$ , ktorými je určená poloha FLC v diagrame medzných deformácií.

*Pripomienky ku kapitole 14:*

*Označenie kapitoly 14 „Studim polohy FLC křiviek“ nie je zrozumiteľné.*

*Preklep, na strane 79 je uvedená deformácia  $\phi_2$ .*

*V texte pre označenie deformácií sú použité rôzne označenia  $\varphi$ ,  $\phi$ ,  $\varepsilon$ . Napríklad na obr. 14.5 je uvedené označenie  $\varepsilon$ .*

*Ako boli stanovené hodnoty deformácií po korekcii (obr. 14.5)?*

*Na obr. 14.2 v legende je použité iné označenie vzoriek ako v kapitole 13. Prečo?*

V kapitole 14.6 sú uvedené výsledky vplyvu rýchlosti deformácie na polohu krivky medzných deformácií v diagrame medzných deformácií. Z uvedeného vyplýva, že so zvyšovaním rýchlosti deformácie dochádza k posunu kriviek medzných deformácií smerom k nižším hodnotám. Získané výsledky sú v zhode s poznatkami publikovanými v odbornej literatúre.

*Na obr. 14.8 je rýchlosť uvedená v mm/s a pri ťahovej skúške mm/min. Prečo?*

*Akým rýchlostiam deformácií odpovedajú rýchlosti deformácií uvedené na obr. obr. 14.8?*

*Obr. 14.9. Prečo sú krivky medzných deformácií určené ťahovou skúškou na vzorkách s vrubom nižšie položené ako krivky medzných deformácií určené podľa Nakajima?*

**Konštatujem, že čiastkový cieľ 4 bol splnený.**

V kapitole 15. je uvedené testovanie lisovateľnosti materiálu CR 4 na prototypom tvare výlisku v tvare kríža. Pre testovanie boli činné časti nástroja vyrobené 3D tlačou – nástroj je tiež označovaný ako Cross Die. Vyhodnocovanie deformácií bolo vykonané optickým systémom ARAMIS a Argus. Aj v tomto prípade sa potvrdila tendencia, že so zvyšovaním rýchlosti deformácie dochádza k väčšiemu stenčeniu steny výlisku.

*Prečo nebol vytvorený diagram medzných deformácií a v ňom zakreslené body v kritických miestach výlisku?*

Ak bol vytvorený takýto diagram, potom by bolo zrejme k akej zmene zásoby plasticity u daného výlisku z materiálu CR 4 by zmenou rýchlosti deformácie došlo.

**Konštatujem, že čiastkový cieľ 5 tak ako bol formulovaný, bol aj splnený.**

V kapitole 16. je popísaná metodika koncipovania materiálovej karty.

*Prečo pri koncipovaní materiálov karty sa doktorand na základe získaných výsledkov a výsledkov publikovaných v odbornej literatúre nepokúsil nájsť súvislosti medzi materiálovými vlastnosťami zistenými ťahovou skúškou a polohou kriviek medzných deformácií?*

*Prečo materiálová karta neobsahuje modely zohľadňujúce vplyv rýchlosti?*

**Konštatujem, že čiastkový cieľ 6 tak ako bol formulovaný bol splnený.**

V kapitole 17 je uvedená verifikácia výsledkov získaných pomocou numerickej simulácie na základe nameraných výsledkov získaných v nástroji „Cross Die“ vyrobeného 3D tlačou. V tomto nebola zaznamenaná zhoda výsledkov simulácie s experimentálne nameranými výsledkami. Nastavenie rýchlosti pohybu priečnika v SW simulácie neumožňuje predikovať

vplyv rýchlosti deformácie. Pomocou modelu Johnson-Cook je možné popísať vplyv rýchlosti deformácie na pevnostné charakteristiku materiálu.

*SW Autorm a PAM STAMP nemajú zabudovaný model zahrňujúci vplyv rýchlosti deformácie?*

***Konštatujem, že čiastkový cieľ 6. tak ako bol formulovaný bol splnený.***

***Konštatujem, že hlavný cieľ aj dielčie ciele stanovené v dizertačnej práci boli v plnej miere splnené.***

### **Teoretický a praktický prínos dizertačnej práce**

Teoretický a praktický prínos práce je uvedený v kapitole 17. V oblasti teórie je možno vidieť prínos dizertačnej práce Ing. V. Nováka v návrhu metodiky stanovenia vplyvu rýchlosti deformácie na mechanické vlastnosti hlbokoťahných materiálov CR 4 a CR5. Ďalším prínosom predloženej dizertačnej práce je poukázanie na určité obmedzenia SW AutoForm a PamStamp pri predikcii stenčenia výliskov. Praktickým prínosom práce je koncipovanie materiálovej karty.

### **Vhodnosť použitých metód, spôsob ich aplikácie a preukázanie znalosti v danom odbore**

Doktorand vzhľadom na definované ciele zvolil vhodné vedecké metódy (systémový prístup, analýzu údajov, experimentálne, numerické a štatistické metódy). Preukázal, že pozná a vie vhodne používať experimentálne a numerické metódy výskumu používané v danej oblasti, metódy zberu údajov, štatistické metódy vyhodnocovania, získané výsledky dokáže relevantne implementovať a robiť závery. Doktorand preukázal, že ovláda vedecké metódy práce a má požadované teoretické znalosti zo spracovanej problematiky. Spracovaním sumárnych výsledkov a celkových záverov preukázal schopnosť samostatne vedecky pracovať a prinášať nové poznatky do odboru.

### **Formálna úroveň práce.**

Z hľadiska rozsahu, obsahu, štruktúry, práce s literatúrou, popisu metód predložená dizertačná práca spĺňa kritériá kladené na dizertačné práce. Práca je napísaná odborným štýlom a da sa v orientovať. Celková grafická úprava dizertačnej práce, textu, tabuliek, obrázkov a príloh je na dostatočnej úrovni. V práci bolo identifikovaných viacej nepresných formulácií a označení.

### **Pri obhajobe dizertačnej práce chcem poprosiť doktoranda o zaujatie stanoviska k nasledujúcim problémom:**

- 1. Koľko vzoriek bolo použitých pre určenie priemerných hodnôt jednotlivých mechanických vlastností?*
- 2. Aké smerodajné odchýlky boli zaznamenané pri jednotlivých mechanických vlastnostiach?*
- 3. Prečo nebola analyzovaná konštanta pevnosti  $K$ ? (Je to vstupný údaj do numerickej simulácie)*
- 4. Ako boli stanovené hodnoty deformácií po korekcii (obr. 14.5)?*
- 5. Prečo sú krivky medzných deformácií určené ťahovou skúškou na vzorkách s vrubom nižšie položené ako krivky medzných deformácií určené podľa Nakajima?*

## **Záver**

Téma dizertačnej práce „ Vliv rychlosti deformace na polohu FLC “ zodpovedá študijnému programu „Strojní inženýrství“ i študijnému odboru „Strojírenská technologie“. Výsledky dizertačnej práce boli v dostatočnej miere publikované v časopisoch a prednesené na konferenciách. Doktorand splnil stanovené ciele, v práci prináša nové poznatky a postupy, ktoré sú aplikovateľné vo vede, praxi i v pedagogickom procese.

*Prácu odporúčam k obhajobe a po úspešnej obhajobe odporúčam udeliť Ing. Vítovi Novákovi „philosophiae doctor“ (PhD.)*

V Košiciach 30.04.2024

Prof. Ing. Emil Evin,CSc.  
oponent