

Posudok dizertačnej práce

„Metodika mechanickej fixácie lemových spojů pro zajištění rozměrově stability během výrobních procesů.“

Dizertant: Ing. Lukáš Chrásťanský

Školitel: doc. Ing. Ján Šanovec, CSc.

Na základe listu pána prodekana prof. Ing. Tomáša Jirouta, PhD. Fakulty strojnı ČVUT v Prahe, zo dňa 7.10.2021 predkladám nasledovný oponentský posudok na dizertačnú prácu Ing. Lukáša Chrásťanského. V posudku som sa mal vyjadriť k nasledovným bodom: k dosiahnutiu stanoveného cieľa, k úrovni rozboru súčasného stavu poznatkov danej problematiky, k teoretickému a praktickému prínosu dizertačnej práce, k vhodnosti použitých metód a ich aplikácii, či doktorand preukázal odpovedajúce znalosti z odboru, k formálnej úrovni práce a na záver či prácu odporúčam k obhajobe.

Aktuálnosť témy a dosiahnutie stanoveného cieľa: Diagnostika fixácie lemových spojov môže výrazne prispieť nie len k zníženiu nákladov, ale aj k zvýšeniu rozmerovej stability a kvality pohľadových dielov karosérie. Z tohto pohľadu považujem *problematiku riešenú v predloženej dizertačnej práci za aktuálnu*. Doktorand si za hlavný cieľ dizertačnej práce vytýčil návrh nového typu lemového spoja, resp. novej metódy fixácie lemových spojov, ktoré spĺňajú požiadavky súvisiace s rozmerovou stabilitou. Doktorand spracoval veľké množstvo informácií o poruchových stavoch lemových spojov pohľadových komponentov automobilov. Hlavný cieľ je spresnený 4 čiastkovými cieľmi. *Vytýčené ciele považujem za veľmi ambiciózne a konštatujem, že hlavný cieľ dizertačnej práce a dielčie ciele boli splnené.*

Úroveň rozboru súčasného stavu riešenej problematiky: Predmetom predloženej dizertačnej práce je návrh nástrojov a metodiky mechanickej fixácie lemových spojov pre zabezpečenie rozmerovej stability v priebehu výrobného procesu panelových dielov karosérie automobilu. Doktorand podrobne analyzoval súčasný stav poznatkov technológií lemovania, požiadaviek na kvalitu lemových spojov publikovaný v prevažnej miere v zahraničnej v odbornej literatúre. Vychádzajúc z týchto poznatkov navrhol hlavný cieľ a vedľajšie ciele dizertačnej práce.

So zámerom splnenia stanovených cieľov navrhol konštrukcie nástrojov pre vytvorenie drážok do vnútorného plechu a pre vytvorenie háčka do stojiny na vonkajšom plechu. V princípe sú návrhy správne navrhnuté. Z technického hľadiska na niektorých dieloch chýbajú tolerancie, aby boli jednotlivé diely prípravku presne vedené a tým bola zabezpečená požadovaná presnosť lemových spojov. Správnosť funkcie navrhnutých nástrojov bola overená pri použití plechov DX54D a HX18BD. Pri overovaní funkčnosti fixácie lemových spojov bolo využité robotické pracoviská s robotom KUKA.

Doktorand navrhol a overil metodiky predikcie vyrobiteľnosti lemových spojov numerickou simuláciou. Pomocou softvéru Simufact overil fixáciu pomocou drážky. Z hľadiska verifikácie výsledkov získaných numerickou simuláciou nepovažujem za najvhodnejšie použiť materiálové údaje z databázy Simufact, pretože použité materiály môžu mať určitý rozptyl a to môže mať vplyv na presnosť výsledkov. Tiež pre tento druh práce nie je najvhodnejšie odkazovať na okrajové podmienky uvedené v inej publikácii aj, keď vlastnej

publikácii. V kapitole 8.5 doktorand uvádza overenie navrhutej metódy pomocou softvéru Deform a návrh optimálnych parametrov pre nastavenie nástrojov fixácie drážky. Opatrnejšie je potrebné používať pojem optimalizácia. V tomto prípade sa skôr jedná o výber najvhodnejších parametrov z overovaných možností. Pre overenie pevnosti lemových spojov v trhacom stroji navrhol a overil prípravok. Pevnosť vytvorených lemových spojov overil experimentálne aj numerickou simuláciou za pomoci softvéru Deform. Rozdiel nameraných a vypočítaných hodnôt síl potrebných na vytrhnutie je 20 N. Na str. 87 nie je najvhodnejšia formulácia, že „Obecně lze konstatovat, že „jeden fixační bod odolá statickému zatížení, které odpovídá zavěšenému dílu o hmotnosti 15 kg“. Ako vyplýva z obr. 8.36 nameraná hodnota sily na vytrhnutie bola 155 ± 3 N.

Kontrola kvality bola vykonaná pomocou skenera ATOS a vyhodnotená pomocou softvéru GOM. Domnievam sa, že v tomto prípade aj v prípade pevnosti spoja sa jedná o kvalitatívne ukazovatele, preto je potrebné v ďalšom výskume vo väčšej miere využívať nástroje kvality, ktoré umožňujú jednoznačne vyjadriť spôsobilosť procesu dosiahnuť špecifikovanú cieľovú hodnotu. Pomocou softvéru Autoform Assembly bola vykonaná simulácia lemovania kapoty v mierke 1:1 aj v mierke 3:1. Čitateľ, ktorý nie je veľmi dobre znály v danej problematike, tak z obr. 8.74 a 8.75 si veľmi ťažko urobí záver, či bola dosiahnutá zhoda stability rozmerov s požadovanou špecifikáciou cieľovej hodnoty - menovitej hodnoty. Domnievam sa, že do budúcnosti je potrebné pre vyhodnotenie využívať nástroje kvality v zmysle ISO TS 16949:2016 „Systém riadenia kvality v automobilovom priemysle“. Myslím si, že podobný dojem nadobudne nie veľmi znály čitateľ aj pri overení metodiky fixácie drážky v praxi obr. 9.1.

Prínos pre prax a pre ďalší rozvoj vedy a techniky: Fakt, že doktorand veľmi úzko spolupracoval s pracovníkmi ŠKODA AUTO sa pozitívne prejavil pri stanovovaní cieľov práce, došlo k prepojeniu poznatkov z oblasti teórie a praxe. Ide o pomerne rozsiahlu prácu s veľkým množstvom zaujímavých výsledkov. Bola by veľká škoda, ak by získané výsledky v tejto práci neboli ďalej rozpracované a využité pre prax a pre ďalší rozvoj vedy a techniky.

V predloženej dizertačnej práci nie sú prínosy re vedu a prax jednoznačne uvedené, v čom podľa doktoranda spočíva prínos pre prax a vedu. Ja vidím *prínos pre vedu a prax najmä v overení metodík predikcie vyrobiteľnosti lemových spojov. Tiež návrhy organizačného diagramu práce (algoritmus) s použitými softvérmi.* Doktoranda do budúcnosti chcem upozorniť, že v algoritme je potrebné používať štandardné symboly pre označenie určitých činností. Napríklad pre rozhodovania sa používa kosoštvorec – na strane 115 nie je to najvhodnejšie znázornené – „jsou výsledky uspokojivé“, čo bolo kritériom pre rozhodovanie – hodnota alebo slovo vyhovuje resp. nevyhovuje?

Vhodnosť zvolených metód pri riešení problematiky: Doktorand pri návrhu metodiky fixácie lemových spojov v priebehu výroby dielov použil materiál DX54 D a HX 180BD, ktoré sa používajú pre panelové diely v spoločnosti ŠKODA AUTO. V tab.3 je uvedené chemické zloženie a v tab. 4 sú uvedené materiálové vlastnosti. Konštrukčný návrh nástroja bol vytvorený pre vytvorenie drážok do vnútorného plechu a pre vytvorenie háčikov do stojiny na vonkajšom plechu v nešpecifikovanom CAD systéme. Z uvedených obrázkov nástrojov je možné konštatovať, že nástroje sú funkčné. Funkčnosť navrhnutých nástrojov bola overená na experimentálnom nástroji. Vyrobiteľnosť lemových spojov bola overovaná aj pomocou

softvérov Simufact, Autoform, Deform, Autoform Assembly. Kontrola pevnosti lemového spoja bola overovaná statickou skúškou v ťahom. Na str. 86 obr. 8.36 a str. 87 je uvedené, že jeden fixačný bod má odolávať zaťaženiu 15 kg. Z experimentov vyplýva, že navrhnutý spoj je schopný preniesť zaťažujúcu silu $155 \text{ N} \pm 3 \text{ N}$. Pri zmene výrobných podmienok napríklad hrúbky, pevnosti použitých materiálov je to dostačujúce? Ktorý údaj je významnejší z hľadiska posúdenia kvality spoja experimentálne získaný alebo získaný numerickou simuláciou? Kvalita povrchu panelových dielov bola vykonaná skenerom ATOS a vyhodnotenie bolo vykonané pomocou softvéru GOM. Čo je potrebné rozumieť pod odchýlkou (vlnitosť) od povrchu? Na základe čoho je možné konštatovať, že odchýlka 0.04 mm je zanedbateľná?

Prečo neboli použité niektoré nástroje kvality, ktoré sú vyžadované v automobilovom priemysle podľa ISO TS 16949 „Systém riadenia kvality v automobilovom priemysle“ *Zvolené metódy považujem za vhodné a spôsob ich aplikácie za adekvátny stanoveným cieľom.*

Pripomienky a komentáre k práci: Ak čitateľ nie je veľmi dobre znalý v danej problematike, tak niektoré formulácie môžu nepriaznivo vplývať na zrozumiteľnosť práce. Pripomienky a komentáre je možné zhrnúť nasledovne:

1. Str. 46 nie všetky uvedené požiadavky sú kvalitatívne, preto by bolo vhodné uviesť cieľové hodnoty kvantitatívnych požiadaviek, ktoré sú vyžadované pri audite.
2. Nepresná formulácia str. 76 „Nastavení optimálních parametrů elementů fixace“. Čo rozumie doktorand od pojmom optimalizácia? Akým spôsobom resp. akou metódou boli optimalizované parametre?
3. Domnievam sa, že v práci bolo vhodné uviesť vstupné údaje a ohraničujúce podmienky použité pri vykonaných simuláciách.
4. Str. 119, str. 121 „...že hypotéza funkčnosti navrhneného řešení, tedy mechanické drážkové fixace lemového spoja je ověřená a to jak ve virtuálním prostředí tak i v reálnej praxi“. Ja si nemyslím, že to je hypotéza. Hypotéza sa má potvrdiť alebo vyvrátiť testom (napríklad F-testom, T- testom).
5. Str. 119 ...“nevyžaduje složité a energeticky náročné technologické zařízení pro realizaci.“ Obecná formulácia, je potrebné zadefinovať, čo je energeticky náročná operácia resp. je potrebné porovnať s aktuálnom alebo inou technologickou operáciou.
6. Str. 120 ...“, kde byli simulační výsledky potvrzeny“. Domnievam sa, že by bolo vhodné uviesť jednoznačnejší spôsob, či bola dosiahnutá zhoda medzi experimentálnymi a numerickými výsledkami.
7. Pri aplikácii zákona zachovania podobnosti nie vždy je možné všetky rozmery úmerne zmeniť, napríklad hrúbku polotovaru, polomery zaoblení na nástroji, čo môže mať v konečnom dôsledku iný efekt na očakávané výsledky. Boli v mierke zmenené všetky rozmery (napríklad hrúbka plechu)?
8. Domnievam sa, že sa jedná o riešenie problematiky kvality, preto je potrebné v ďalšom výskume vo väčšej miere využívať nástroje kvality v zmysle ISO TS 16949:2016.
9. Domnievam sa, že navrhované koncepcie nástrojov z hľadiska splnenie požiadaviek uvedených na str. 46 je možné vyhodnotiť komplexné – vo forme reportu auditu.
10. V predloženej práci nie sú rešpektované jednotné požiadavky pri citácii literatúry. Napríklad, pri literatúre 2. nie je uvedený autor a pod.

Otázky na autora dizertačnej práce

1. Strana 66. „Vyplývajúce chyby môžeme radit medzi chyby kvalitatívne, ktoré lze odstranit podrobnejším popisem vstupujících parametrů“. *Ktoré kvalitatívne chyby súvisia s presnosťou vstupných údajov? Uvedte dva prípady chýb, a ktoré vstupné parametre majú najvýznamnejší vplyv na vznik týchto chýb?*
2. *Ktoré požiadavky na strane 46 sú kvantitatívne a ktoré kvalitatívne? Uvedte cieľové hodnoty kvantitatívnych požiadaviek spoj z hľadiska stenčenia hrúbky – obr. 8.42 a urobte záver či analyzovaný spoj je funkčný.*
3. *Popíšte čo obsahuje správa z auditu resp. ako vyzerá formulár (report) z auditu v spoločnosti ŠKODA AUTO?*
4. *Reálne optimalizácia sa vykonáva súčasne zmenou viacerých parametrov. Ako by to bolo možné riešiť resp. aké metódy by ste odporúčali použiť pri optimalizácii vstupných parametrov?*

Záverečné zhodnotenie

Dizertačná práca potvrdzuje, že doktorand sa veľmi dobre orientuje v problematike lemových spojov, je veľmi zručný nie len v experimentálnej oblasti, ale aj v oblasti numerických simulácii procesov tvárnenia. *Doktorand preukázal schopnosť samostatne vedecky a tvorivo pracovať.* Prácu hodnotím pozitívne a stanovený cieľ považujem za splnený.

Práca po formálnej stránke spĺňa požiadavky kladené na doktorandské dizertačné práce a je prínosom pre ďalší rozvoj študijného odboru Strojárska technológia. Prácu odporúčam k obhajobe a po jej úspešnej obhajobe odporúčam udeliť pánovi Ing. Lukášovi Chrásťanskému titul PhD. v študijnom odbore Strojárska technológia.

V Košiciach 14.11.2021

prof. Ing. Emil Evin, CSc.
Oponent