

České vysoké učení technické v Praze,
Fakulta strojní
Oddělení pro vědu a výzkum
prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
proděkan pro vědeckou a výzkumnou činnost

**Oponentský posudek disertační práce Ing. Tomáše Pačáka s názvem
Kompenzace odpružení u velkoplošných karosářských výlisků**

Školitel: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc..
Oponent: prof. Ing. Stanislav Rusz, CSc.

Problematika, řešená v disertační práci Ing. Tomáše Pačáka je zaměřena na v současné době aktuální téma – eliminaci vlivu odpružení při lisování karosářských dílů. Autor navrhnul vlastní metodiku dosažení potřebné přesnosti výlisků na zvolených dílech automobilů Seat – Ateca a Škoda Superb pomocí matematické simulace a následně měřením přesnosti na vylisovaných dílech. U všech dílů byla v další části disertační práce provedena optimalizace geometrie jednotlivých tvářecích nástrojů. V práci autor využil poznatků z firmy Škoda Auto a. s. Mladá Boleslav, jejíž výrobní program navazuje na řešenou problematiku.

Hodnocení náplně a dosažených výsledků habilitační práce

Oponovaná disertační práce Ing. Tomáše Pačáka je vypracována na 157 stránkách textu a s 5 přílohami. Obrázky, grafy i tabulky jsou přehledně číslovány dle kapitol.

Autor v práci použil celkem 53 literárních odkazů domácích i zahraničních autorů. Hodnotím velmi kladně vlastní publikační činnost autora, která představuje celkem 48 publikací, v nichž je uveden předkladatel disertační práce jako autor nebo spoluautor. Jsou uvedeny celkem 2 publikace v zahraničním vědeckém časopise, což považuji za vážnější nedostatek. Převažují publikace prezentované v rámci tuzemských vědeckých konferencí a publikace v tuzemských časopisech.

Práce je rozdělena do 10 hlavních kapitol a podkapitol.

V úvodních kapitolách autor rešeršní formou analyzuje problematiku technologie lisování vybraných karosářských výlisků vyráběných ve společnosti Škoda Auto, a. s. Dále autor obecně uvádí metodický postup při konstrukčním návrhu velkoplošného výlisku. Jsou popsány jednotlivé body technologického postupu výroby výlisku. Důraz je položen na provedení matematické simulace lisovacího procesu pomocí různých typů tvářecích programů (AutoForm, PAM-STAMP, Dyna Form apod.), kdy jsou zdůrazněny technologické podmínky tvářecího procesu a návrh vhodné geometrie tvářecího nástroje pro dosažení požadované přesnosti výlisku. V další části práce autor provádí detailní rozbor problematiky odpružení při tříbodovém ohybu. Zdůrazňuje velký význam dosažené rozměrové přesnosti výlisků, kdy predikce velikosti odpružení dosahuje hodnoty 60%. Uvedená predikce přesnosti výlisku je jen obtížně použitelná pro průmyslovou praxi. V dalších kapitolách se autor zaměřil na podrobnější analýzu dané problematiky z hlediska dosažení podstatného zvýšení procenta

předvídatelnosti daného jevu. Dále analyzuje hlavní faktory ovlivňující plastickou deformaci: materiálový faktor s uvedením modelů zpevnění, technologičnost konstrukce výlisků, návrh vhodné geometrie tvářecích nástrojů, zejména při kalibračních operacích, následně jsou uvedeny technologické i fyzikální podmínky tvářecího procesu. V další části autor uvádí jednotlivé typy eliminace odpružení výlisků. Popisuje v současné době nejčastěji v praxi využívané metody kompenzace odpružení pomocí úprav geometrie tvářecích nástrojů (Spring-Forward, Displacement Adjustment a Heuristic Iterative).

V další kapitole se autor obecně zabývá numerickou simulací tvářecího procesu. Následně jsou navrženy hlavní cíle disertační práce s důrazem na vypracování vhodné metodiky řešení problematiky odpružení na vybraných karosářských dílech. Dle kategorií tvarové složitosti výlisků autor zvolil jednoho představitele z každé kategorie k analýze problematiky odpružení při jejich výrobě:

- díl vnějších spodních pátých dveří automobilu SEAT Ateca
- vnitřní páté dveře stejné značky automobilu
- vnější blatník automobilu ŠKODA Superb

V další části práce autor provádí vstupní experimenty pro určení optimální metodiky analýzy odpružení a následně jeho kompenzace. Úvodní experiment byl zaměřen na vliv tlaku přídržovače na velikost odpružení při ohýbání do „U“ profilu.

Následně je provedena volba nejčastěji používaných ocelí pro výrobu karoserií osobních automobilů.

V další části práce autor analyzuje vliv velikosti poloměru ohybu ($R = 2$ a $R = 10$) mm a tloušťky materiálů na velikost odpružení pro různé typy materiálů. Výsledky byly porovnány s výsledky dosaženými s využitím kalkulátoru odpružení (Springback). Podrobnější analýza je provedena pak pro oceli HX180BD - Z a DC06, které jsou nejčastěji používané v automobilovém průmyslu. Menší velikosti odpružení je dosaženo při menších poloměrech ohybu a větších tloušťkách plechů u vybraných ocelí. Výsledek je v protikladu k požadavkům automobilového průmyslu, kdy je kladen stále větší tlak na snižování hmotnosti automobilu a tímto i tloušťek plechů.

V další části disertační práce se autor zaměřil na numerickou simulaci procesu odpružení z hlediska nastavení výpočtové sítě.

Autor vybral 2 díly karoserie (páté dveře vozu SEAT Ateca a vnější blatník vozu ŠKODA Superb) pro porovnání vlivu nastavení výpočtové sítě na konečnou přesnost analýzy odpružení a přesnosti dosažené při vlastní výrobě. Z použitých metod nastavení výpočetní sítě autor vyhodnotil, jako nejvhodnější z hlediska srovnání přesnosti výsledků experimentů a predikce metodu skořepinových elementů typu „shell“ s hustotou sítě minimálně na úrovni nastavení CE+. V další části je analyzován vliv geometrie lisovacích nástrojů na velikost odpružení. Projevily se značné rozdíly ve velikostech odpružení v různých místech karoserie a výsledky dosaženými lisováním – snímané scanem. V dalších vývojových pracích považují za

vhodné věnovat se simulaci tvářecího procesu a odpružení při použití odlehčených nástrojů, které se využívají v praxi, jak je zdůrazněno i autorem.

V následující kapitole autor se zabývá návrhem vhodné metodiky analýzy odpružení. Navrhuje 2 kategorie řešení:

- virtuální analýzu odpružení s využitím nástrojů numerické simulace
- reálné měření již vylisovaného dílu (scannerem nebo pomocí souřadnicového měřícího stroje).

Dále je autorem analyzována problematika polohování dílu při analýze odpružení. Uvádí metodu WZL, kdy měření je prováděno přímo na nástroji pro poslední operaci nebo upnutím do upínek v předem definovaných pozicích. Další metodou je metoda FZL (z n. j. Fahrzeuglage) - analýza odpružení výlisku v poloze „na vozu“ – daná metoda je bližší realitě. V další části práce je analyzována problematika vlivu gravitace dílu při analýze odpružení a řešen návrh standardů pro nastavení numerické simulace - vstupní nastavení numerické simulace.

Autor dále provádí analýzu okrajových podmínek a navrhuje optimalizovat simulační proces zavedením speciálního výpočtového modulu SIGMA.

Provedením simulace je možno zmapovat vlivu jednotlivých parametrů na velikost odpružení výlisku (HKau, SEAT Ateca). Tímto je umožněno optimální nastavení numerické simulace s ohledem na okrajové podmínky lisovacího procesu. V další části autor navrhuje metodiku kompenzace odpružení a následně uvádí i způsoby její ověření na díle vnitřních pátých dveří vozu SEAT Ateca.

Z dosažených výsledků autor navrhl strategii č. 1, kdy geometrie nástrojů byla kompenzována v každé tvářecí operaci (OP20, 30, 40 a 50). Simulační analýza byla provedena pro všechny 3 typy dílů automobilových karoserií.

V závěrečné části disertační práce je provedena diskuse k dosaženým výsledkům simulace velikosti odpružení z hlediska reálně tvářených 3 typů výlisků. Je srovnán současný a autorem navržený modifikovaný přístup k problematice odpružení. Následně je provedeno celkové vyhodnocení dosažených výsledků.

Velice kladně hodnotím rozsáhlost provedených simulací procesů odpružení a srovnání výsledků dosaženými vlastním lisováním u vybraných dílů karoserií u různých automobilů.

Použité metody řešení simulace odpružení rozšiřují poznatky pro optimální predikci velikosti odpružení u různých tloušťek vybraných ocelí i pro různé díly karoserií osobních automobilů vyráběných ve firmě Škoda Auto Mladá Boleslav.

Významným přínosem disertační práce je predikce velikosti odpružení simulační metodou. V současné době je daná problematika předmětem bádání výzkumných oddělení všech světových výrobců automobilů. Veškeré dosažené poznatky dosažené simulačními programy mají velkou důležitost z hlediska konkurenceschopnosti na trhu jednotlivých výrobců automobilů.

Připomínky k disertační práci:

Formální:

- v textu se vyskytují některé nepřesné technické obraty i gramatické chyby, např. „jednoduchý ohyb“

Věcné:

- zdůvodněte volbu materiálu zkušebního vzorku pro ohyb do „U“ profilu z materiálu HX340LAD a ne oceli HX180YD a DC06, které jsou nejčastěji používané v automobilovém průmyslu
- z jakého důvodu nebyla zahrnutá do experimentů ocel HX180YD i když je v dalším textu uváděná jako jedna z nejpoužívanějších ocelí
- z jakého důvodu autor neanalyzoval vliv geometrie brzdících drážek, jako významnějšího parametru, na velikost odpružení
- vysvětlíte poměrně velké rozdíly ve velikostech odpružení v místě měření ozn. č. 2 a 10, považují za vhodné označení měřených míst i na U profilu
- na jakém typu lisu byl proveden experiment (ovlivňuje to kinematiku tvářecího procesu),
- vysvětlíte, zda v dalším vědeckém výzkumu bude k dispozici odpovídající software pro zohlednění velmi významných tvářecích faktorů, ke kterým přináležejí Bauschingerův efekt a vliv rychlosti deformace, které v simulaci procesu odpružení byly zanedbány. Jedná se o zvýšení přesnosti simulace velikosti odpružení

Celkové hodnocení

Disertační práce je zpracována na velmi dobré technické úrovni. Grafická úprava je rovněž na dobré úrovni. Vyskytují se drobné nedostatky v označování symbolů a v textu se vyskytují menší chyby v technických obratech i gramatické chyby. Dosažené výsledky z provedených matematických simulací velikosti odpružení i výsledků dosaženými lisovacími operacemi jsou přehledně zpracovány v tabulkové formě a ve formě grafů.

Disertační práce splňuje všechny požadavky pro její obhajobu a po zodpovězení připomínek doporučuji p. Ing. Tomáši Pačákovi udělit titul Ph.D.

Zpracoval: prof. Ing. Stanislav Ruzs, CSc.
VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní

Ostrava 10. 10. 2018