

## OPONENTNÍ POSUDEK

na habilitační práci Ing. Alexandera Schreka, PhD.

Název práce: **Tvárenie kombinovaných polotovarov.**  
Pracoviště: Ústav technológií a materiálov,  
Strojnícka fakulta, Slovenskej technickej univerzity v Bratislavě  
Obor habilitace: Strojárske technológie a materiály - 5.2.7

\*\*\*

Předložená habilitační práce obsahuje 135 stran textu se 152 obrázky a grafy a 13 tabulkami. V disertaci je využito celkem 105 citací literatury, z toho 1 vlastní a 12 citací publikací se spoluautory. Použitá literatura souvisí s předmětným obsahem habilitační práce, tj. souvisí s technologiemi plošného tváření kombinovaných polotovarů plechů z vysoko pevnostních ocelí spojených především svařováním laserem a elektronovým paprskem.

Habilitační práce je poněkud více rozčleněna až do 18 ti hlavních kapitol, které směřují k naplnění základních cílů práce. Tyto cíle jsou uvedeny na závěr úvodní 1. kapitoly. Především jde o definici vlastností kombinovaných polotovarů a odlišností při jejich tažení do výlisků s nerozvinutelnými tvary.

Připomínka:1.) *Autor předmětné habilitační práce uvádí řadu obrázků a textů, které jsou také součástí disertační práce Ing. Michala Čináka, PhD. z roku 2013. I když řada uvedených výsledků vyplývá ze společné vědecké a publikační činnosti, měla by být disertační práce dr. Čináka citována místo např. diplomové práce pod [8].*

Ve **druhé, studijní kapitole** je v rámci popisu technologie hlubokého tažení proveden rozbor faktorů, které ovlivňují tažný proces. Dále jsou uvedeny napětěvé a deformační charakteristiky při hlubokém tažení bez ztenčení stěny a rozbor vlivů na matematický popis deformačního odporu až po stanovení vztahů pro výpočet tažné a přidržovací síly. V závěru druhé kapitoly je poukázáno na odlišnost geometrických charakteristik při tažení hranatých výtažků.

Připomínka:2.) *Na str. 12 a na str.13 jsou dva odlišné obrázky se stejným označením obr.2.5.*

Připomínka:3.) *Schéματα napjatosti a deformaci, např. na obr.2.3 jsou vázána zákonitostmi teorie plasticity. Takže např. ve dně výtažku je dvouosý tah  $\sigma_1$ - $\sigma_2$ . (nesprávně na obr. 2.3 a na obr.2.10) ve schématech deformace je  $\varphi_1$  vždy kladné,  $\varphi_2$  může měnit znamení a  $\varphi_3$  je vždy záporné, jak je správně uvedeno na obr.2.5 na str. 13 habilitace.*

Připomínka:4.) *V práci je použito dvojího označení pro součinitel tření ( $f$  a také  $\mu$ ).*

Ve **třetí kapitole** je rozebrán význam, členění (PB, TWB, EB, TRB, THTB), použití, výhody a nevýhody kombinovaných polotovarů plechů, jakož i přehled jejich využití v samonosné karoserii automobilů s poukazem na vhodné kombinace hlubokotažných a vysoko pevnostních ocelí při minimalizaci hmotnosti a optimalizaci pevnostních požadavků samonosných karoserií při nárazech-střetech automobilů. Stručně, ale vystižně jsou rozebrány způsoby svařování jednotlivých dílů složených polotovarů. Jako nejvhodnější jsou správně vybrány metody svařování laserem a elektronovým paprskem.

Při hodnocení metod svařování polotovarů vysoko pevnostních ocelí dochází k významnému závěru, že mechanické porušení se obecně nevyskytuje v místě svarového spoje a tepelně ovlivněného okolí, což dokládá výsledky tahových zkoušek na Obr.3.6.

Tato část habilitace dokládá její aktuálnost.

Pojednání prvních třech kapitol jsou významná a použitelná i v pedagogickém procesu, tj. např. při výuce speciálních a nekonvenčních technologií.

Ve **čtvrté kapitole** jsou popsány faktory, které ovlivňují sníženou svařitelnost. Tato je doprovázena nerovnoměrným plastickým tokem materiálů s různou tloušťkou a rozdílnou orientací jednotlivých částí kombinovaného polotovaru, (anizotropie), tedy i s problémy stability. Vyústěním je posun čáry svarového spoje směrem k materiálu s vyšší pevností.

**Pátá kapitola** pojednává o ocelích, které se při výrobě plechů pro plošné tváření dílců karoserií automobilů používají. Např. jde o IF oceli bez intersticií, které jsou odolné proti stárnutí, s povrchovou úpravou žárovým pozinkováním, které mají vysokou tažnost nad 42% a jsou vhodné pro velkoplošné výlisky složitých tvarů. Dále tepelně vytvrzované oceli BH, dvoufázové a více fázové oceli až po např. oceli TRIP, u které je při plastickém přetvoření indukována přeměna zbytkového austenitu na martenzit. Tyto vysoko pevnostní oceli se používají pro výrobu pevnostních výztuh karoserie, které při střetech automobilů zabezpečují prostor pro přežití.

V **šesté kapitole** autor přehledně hodnotí vhodnost programového systému DYNAFORM 5.2 s propojením s dynamickým LS DYNA řešičem při simulacích plošného tváření plechů s predikcí vzniku trhlin, odpružení a chování nástrojů.

Výsledky řešení hlubokého tažení výlisků z kombinovaných polotovarů s odlišnými mechanickými vlastnostmi z LS DYNA řešiče pak zpracovává v LS PrePost4.0, což ukazuje na příkladech v **kapitole sedmé**.

V **kapitole osmé** je přehledně popsána metodika elektrolytického nanášení deformačních sítí na polotovary plechu zařízením Erichsen Model 190, které je používáno na mateřském pracovišti ÚTM Sjf STU.

V **deváté kapitole** autor podrobně popisuje experimentální laboratorní nástroj vyvinutý a používaný na mateřském pracovišti ÚTM Sjf STU. Popis použitého experimentálního nástroje pro tažení obdélníkových výtažků doplňuje jeho rekonstrukcí s využitím přesnějších piezoelektrických snímačů. Součástí je i popis metodiky měření a vyhodnocení tažných a přídržovacích sil použitím software Conmes Spider.

V **desáté kapitole** jsou posuzovány velikosti přetvoření při tažení obdélníkových výtažků z kombinovaných polotovarů plechů s rozdílnou tloušťkou, (1mm a 1,2 mm). Autor se zaměřil na progresivní vysoko pevnostní ocel TRIP 780 a na řízené nerovnoměrné rozložení přídržovacího tlaku elastickou přídržovací deskou, které prokazatelně vedlo k rovnoměrnému plastickému toku ve dně a stěnách výtažku, viz Obr.10.7 a, b.

Připomínka: 5.) *Výsledky zkoumání základních mechanických vlastností předmětné vysoko pevnostní oceli TRIP 780 CR jsou až v kapitole 13.*

V **jedenácté kapitole** se autor věnuje hlubokému tažení kombinovaných (laserem svařovaných) polotovarů plechů z ocelí s rozdílnými mechanickými vlastnostmi. K tomu použil vysoko pevnostní dvojfázové DP oceli HCT600X Z100 MBO a hlubokotažné oceli HX220BD Z100

MBO. V závěrech zdůrazňuje vznik největší cípovitosti a přesazení okraje dříku výtažku při diagonální orientaci svarového rozhraní. Možnost odstranění řeší opět redistribucí přidržovacích sil s využitím nerovnoměrného přidržovacího tlaku.

Ve **dvanácté kapitole** při řešení pohybu svarového rozhraní při hlubokém tažení se autor podrobně zabývá technologickým řešením těchto problémů cestou brzdících žeber, stupňovým přidržovačem, svěrnými kolíky, segmentovými přidržovači, poddajným přidržovačem až po vícevrstvý elastický přidržovač. Zajímavé a přínosné je predikování pohybu čáry rozhraní na dně a na bocích výtažku pomocí programu DYNAFORM.

Připomínka: 6.) *Schémat napjatosti a deformaci, jsou vázána zákonitostmi teorie plasticity. Takže např. ve dně výtažku je dvouosý tah  $\sigma_1$ - $\sigma_2$ , (nesprávně na obr. 12.10.)*

Konečně ve **třinácté kapitole** je pojednáno o experimentálním zjišťování mechanických vlastností vysoko pevnostní oceli TRIP 780 CR. Křivky závislosti základního přetvárného odporu na logaritmické deformaci Obr.13.6 a Obr.13.7 jsou získány kvázistatickými zkouškami. Simulace v prostředí DYNAFORM 5.2, jakož i proces tažení mají dynamický charakter.

Otázka 1.) *Jakých rychlostí deformace bylo při simulacích v procesu tažení dosaženo?*

Ve **čtrnácté kapitole** se autor zabývá měřením lokálních přetvoření na výtažcích. Nejprve stručně ale výstižně popisuje možné metody měření přetvoření na výliscích, (manuální a automatické). Podrobněji pojednává o optické metodě a především metodou 3D fotogrammetrie, které jsou na pracovišti ÚTM používány. Výsledky těchto měření na předmětném B-sloupku jsou ve srovnání s hodnotami se simulací v DYNAFORM vyneseny do průběhů viz obr.14.11. Vcelku lze souhlasit, že tvar křivek průběhu přetvoření tloušťky plechu potvrzuje v celku dobrou shodu simulace a fotogrammetrického měření na reálném experimentu.

Připomínka: 7.) *Vyhodnocení hlavních přetvoření  $\varphi_1$  a vedlejších přetvoření  $\varphi_2$  z poloos elipsy je v pořádku pokud obě poloosy elipsy jsou větší než poloměr kružnice (dvouosý tah). V případě dle obr.4.49, kdy vedlejší poloosa je menší než poloměr kružnice dle teorie plasticity platí, že  $\varphi_1 \geq \varphi_2 \geq \varphi_3$  a současně  $\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0$ , pak je třeba dodržet, že  $|\varphi_2| \leq |\varphi_3|$ , viz také Připomínka 3.*

Připomínka: 8) *Ve vztahu (51) na str.104 místo  $\varphi_2$ , správně patří  $\varphi_3$ .*

V **patnácté kapitole** je zkoumán vliv plošné anizotropie na vlastnosti výlisků, které jsou taženy ze svařovaných polotovarů plechů z dvoufázové oceli HCT600X s různou orientací ke směru válcování dle Obr.15.1. Celkově lze souhlasit s hodnocením a dílčími závěry k vedeným výsledkům experimentálních zkoušek.

V **šestnácté kapitole** je přehled výsledků tažení svařovaných kombinovaných polotovarů s nerovnoměrnými mechanickými vlastnostmi (kombinace hlubokotažné oceli DC01 s dvoufázovou ocelí HCT 600X). Fotogrammetrickým měřením přetvoření byla získána dobrá shoda z výsledky simulace, jak je zřejmé z Obr.16.10. Simulační program v explicitním FEM kódu LS DYNA je považován za vhodný k predikci tvařitelnosti kombinovaných polotovarů.

Připomínka: 9) *U obrázků s výstupy simulací, obr.16.4 a obr.16.7 je špatná čitelnost velmi drobných popisů úrovní sledovaných parametrů.*

V **sedmnácté kapitole** pak autor posuzuje **vliv základních charakteristik napětí-deformace na celkovou tvařitelnost** laserem svařovaných kombinovaných polotovarů. Pro tato posouzení byla vybrána dvoufázová ocel HCT 600X pro níž jsou na Obr.17.2 uvedeny extrapolované křivky základního přetvárného odporu, zřejmě bez vlivu rychlosti deformace, pro běžné orientace ke směru válcování (0°; 45° a 90°). Simulované výsledky z oblasti svarů jsou významně odlišné od reálného experimentu a autor doporučuje zvážit jiné přístupy k dosažení potřebné shody.

**Osmnáctá kapitola** je přehledným souhrnem dílčích závěrů jednotlivých kapitol.

### **Celkové hodnocení - závěry.**

Habilitační práce prezentuje výsledky dlouhodobé vědecké činnosti na ÚTM-SjF STU. Zvolený námět a motivace volby problematiky je v souladu s aktuálními celosvětovými trendy v oblasti strojírenských technologií a materiálů. Vychází z řady publikovaných výsledků autorem a se spoluautory a v celku splňuje vytýčené cíle.

Habilitační práce je sestavena v souladu s obecnými požadavky, s formální i jazykovou úrovní a počítačovou podporou při zpracování textové a grafické části. Přehlednost práce poněkud snižuje množství 18 ti hlavních kapitol.

Habilitační práce Ing. Alexandera Schreka, PhD. představuje ucelený rozbor poznatků z technologie hlubokého tažení kombinovaných polotovarů plechů z pevnostních ocelí, které jsou svařovány laserem, a jsou používány při výrobě skeletu karoserií automobilů. Převážná část obsahu práce je směřována do oblasti praktického využití při výrobě automobilů ale je významná a použitelná i v pedagogickém procesu, tj. např. při výuce speciálních technologií a nekonvenčních technologií.

Hlavní část habilitační práce je v souladu se základním cílem postaveno na experimentálním ověření vlastností kombinovaných polotovarů z vybraných pevnostních ocelí a odlišností ve tvařitelnosti při jejich tažení do výlisků s nerozvinutelnými tvary.

Z přehledu publikací je zřejmé, že předmětný obsah byl na potřebné úrovni publikován v tuzemsku i zahraničí v recenzovaných vědeckých publikacích.

Z předložené habilitační práce a publikační činnosti plyne, že Ing. Alexander Schrek, PhD. je v oboru strojírenské technologie a materiály vědecko-pedagogickou osobností s velmi dobrými didaktickými schopnostmi a vědeckou erudicí. Habilitant je v uvedeném oboru přínosem pro Ústav technologií a materiálů, Stojníckej fakulty, Slovenskej Technickej univerzity v Bratislavě.

Habilitační práce a dosavadní výsledky vědecké a pedagogické činnosti a jejich uznání vědeckou a odbornou komunitou v tuzemsku i v zahraničí splňují požadavky §76 ods. 10, Zákona o vysokých školách č. 131/2002 Z.z. a §1ods. 8 Vyhlášky Ministerstva školstva Slovenskej republiky č. 6/2005 Z.z. o získavania vedecko-pedagogických titulov docent.

Doporučuji Vědecké radě Strojníckej fakulty, Slovenskej Technickej univerzity v Bratislavě. udělit Ing. Alexanderu Schrekovi, PhD. vědecko-pedagogický titul docent pro obor 5.2.7 "Strojárska technológia a materiály".

V Brně, dne 8. září 2015

*Prof. Ing. Milan Forejt, CSc.*