

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

**Ústav strojírenské technologie**

Tvařitelnost sendvičových přístřihů v plošném tváření

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Autor:** Vladimír Vlk

**Studijní program:** Teoretický základ strojírenského inženýrství

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Valeš

**Praha 2018**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vik** Jméno: **Vladimír** Osobní číslo: **439177**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojírenského inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Tvařitelnost sendvičových přístřihů v plošném tváření**

Název bakalářské práce anglicky:

**Formability of sandwich sheets in sheet metal forming**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznámení s problematikou
2. Základní principy technologií plošného tváření
3. Návrh, realizace a vyhodnocení experimentu
4. Závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Michal Valeš, ústav strojírenské technologie FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

**Ing. František Tatíček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**


Datum zadání bakalářské práce: **19.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2018**

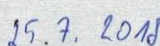
  
Ing. Michal Valeš  
podpis vedoucí(ho) práce

  
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

  
**15.7.2018**

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Tvařitelnost sendvičových přístřihů v plošném tváření“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Michala Valeše, s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne.....

.....

podpis

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

## Fakulta strojní

### Ústav strojírenské technologie

- Autor bakalářské práce:** Vladimír Vlk
- Studijní program:** Teoretický základ strojírenství
- Název bakalářské práce:** Tvařitelnost sendvičových přístřihů v plošném tváření
- Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Michal Valeš
- Konzultant:** Ing. František Tatíček, Ph.D.
- Rozsah bakalářské práce:** 32 stran

#### **Anotace:**

Tato práce se zabývá problematikou plošného tváření ve výrobě karoserií. První část této práce se zaměřuje na dnes používané technologie plošného tváření a materiálové možnosti v tomto odvětví. Druhá část práce se konkrétněji zabývá zkoumáním možnosti využití sendvičového materiálu Litecor<sup>®</sup> od společnosti ThyssenKrupp Steel Europe AG při výrobě částí karoserií. Za účelem vyhodnocení tohoto materiálu jsme provedli experiment tahové zkoušky a lisování výlisku s ostrou designovou hranou.

#### **Klíčová slova:**

Plošné tváření, sendvičový materiál, Litecor, úspora hmotnosti karoserií

# **CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE**

## **Faculty of mechanical engineering**

### **Department of manufacturing technology**

<b>Author of bachelor thesis:</b>	Vladimír Vlk
<b>Study programme:</b>	Theoretical fundamentals of mechanical engineering
<b>Title of bachelor thesis:</b>	Formability of sandwich sheets in sheet metal forming
<b>Supervisor of bachelor thesis:</b>	Ing. Michal Valeš
<b>Consultant:</b>	Ing. František Tatíček, Ph.D.
<b>Range of bachelor thesis:</b>	32 pages

#### **Annotation:**

This thesis is mainly focused on sheet metal forming in the process of bodywork production. First part of this thesis describes the forming technologies, which are used nowadays, and the possible use of various materials. Second part focuses on lightweight sandwich material Litecor<sup>®</sup>, created by the company ThyssenKrupp Steel Europe AG, and its use in the production of bodywork. In order to evaluate feasibility of Litecor<sup>®</sup>, two experiments were performed. First one was tensile test and the second was a stamping with a sharp design edge.

#### **Keywords:**

Sheet metal forming, sandwich material, Litecor, weight reduction of bodywork

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Valešovi za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Františku Tatičkovi, Ph.D. za cenné konzultace ohledně tématu bakalářské práce.

# Obsah

1	Úvod.....	9
2.1	Princip tváření .....	10
2.2	Rozdělení.....	10
2.2.1	Tváření za studena.....	11
2.2.2	Tváření za tepla .....	11
2.2.3	Objemové tváření .....	12
2.2.4	Plošné tváření .....	12
3	Technologie plošného tváření.....	13
3.1	Stříhání .....	13
3.1.1	Princip stříhání.....	13
3.1.2	Střížná síla .....	14
3.1.3	Střížná vůle.....	15
3.2	Ohýbání.....	15
3.2.1	Princip ohýbání.....	15
3.2.2	Odpružení .....	16
3.2.3	Minimální poloměr ohybu.....	16
3.3	Tažení.....	17
3.3.1	Princip tažení .....	17
3.3.2	Vznik vlnění .....	18
4	Materiálové možnosti výroby karoserií .....	19
4.1	Hliníkové slitiny.....	19
4.2	Kompozitní materiály.....	19
4.3	Sendvičový plech Litecor®.....	20
5	Technické specifikace plechu Litecor® .....	21
5.1	Vrchní plech.....	21
5.2	Plastové jádro .....	22
6	Experimenty a jejich vyhodnocení .....	23
6.1	Příprava materiálu .....	23
6.2	Experiment zkoušky tahem .....	24
6.2.1	Průběh experimentu.....	24
6.2.2	Dílčí závěr .....	27
6.3	Experiment lisování .....	28
6.3.1	Průběh experimentu.....	28

6.3.2	Dílčí závěr .....	30
7	Závěr .....	31
8	Seznam použité literatury .....	32
10	Seznam příloh .....	34



# 1 Úvod

V automobilovém průmyslu, stejně jako v jiných odvětvích, se objevují stále nové technologické možnosti s cílem celkového zlepšení výsledných produktů. Významné jsou zejména nové materiály, které mohou podstatným způsobem měnit vlastnosti produktů. V současné době se jako velmi vhodné materiály pro náhradu ocelí jeví kompozity.

Kompozity jsou v automobilovém průmyslu velmi perspektivní materiál, který bude pravděpodobně v budoucnu hrát velkou roli. Největší výhodou kompozitních materiálů je kombinace vlastností materiálů, ze kterých se daný kompozit skládá.

Oceli jsou při výrobě karoserií stále nejpoužívanější materiál z prostého důvodu. Jsou levné, vhodné pro různé technologie tváření, mají vhodné mechanické vlastnosti a jsou poměrně snadno recyklovatelné. Na druhou stranu jsou ale ve srovnání s kompozitními materiály podstatně těžší, což se při výrobě karoserií velmi zohledňuje.

Mezi kompozitními materiály můžeme najít sendvičový materiál Litecor<sup>®</sup> od společnosti ThyssenKrupp Steel Europe AG, který v této práci budeme podrobněji studovat. Skládá se ze dvou vnějších krycích plechů a polymerového jádra. Tento sendvičový materiál byl vzhledem ke svému potenciálu použit automobilkou Volkswagen pro konstrukci kapot pro sérii automobilů Volkswagen Polo RS. Výhodou tohoto materiálu je především jeho hmotnost oproti běžně používaným ocelím při výrobě karoserií.

Zavedení nového materiálu do sériové výroby ovšem předchází řada experimentů. V těchto experimentech je nutno dopodrobna prozkoumat daný materiál a veškeré jeho vlastnosti. V první řadě je nutné zjistit, zda je svými mechanickými vlastnostmi schopen původní materiál nahradit. Dále je zapotřebí zjistit, jak se tento materiál bude chovat při různých podmínkách tváření.

Tato práce se skládá z rešeršní části, kde popisují základní technologie tváření, a z praktické části, ve které byly provedeny experimenty s materiálem Litecor<sup>®</sup>. Experimenty nejsou dostatečné pro celkové ohodnocení vlastností materiálu Litecor<sup>®</sup>, umožní ale, udělat si základní představu o tom, jak se v daných podmínkách tváření bude materiál chovat. Cílem experimentální části je porovnání chování sendvičového materiálu s hlubokotažnou ocelí v procesu tváření. Celkové vyhodnocení se zabývá otázkou nahrazení současně používaných ocelí materiálem Litecor<sup>®</sup>.

## 2 Tváření kovů

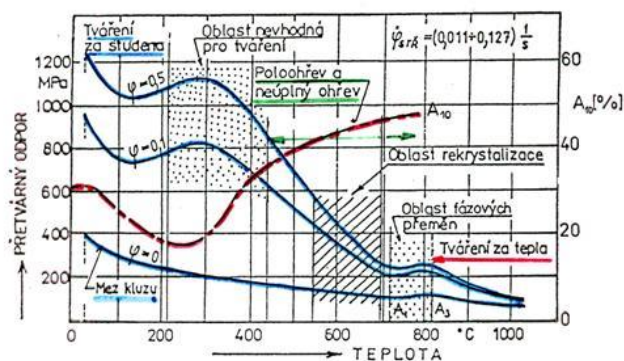
Technologie tváření je proces, při kterém se snažíme u polotovaru dosáhnout požadovaného, předem stanoveného tvaru. Tváření kovů představuje trvalou změnu tvaru polotovaru působením vnějších sil, aniž by došlo k porušení materiálu. Technologie tváření se snaží především dosáhnout vysoké kvality výrobku, snížit náklady na výrobu a optimalizovat dobu trvání tvářecího procesu. [1]

### 2.1 Princip tváření

Tvářené materiály jsou omezené schopností snášet plastické (trvalé) deformace, které se za určitých podmínek pro různé materiály mění. Reakce materiálu na působení zatěžující síly vyplývá z velikosti zatěžující síly, vlastností tvářeného materiálu a podmínek zatěžování. Je ovlivněna chemickým složením, okolními podmínkami a způsobem zatěžování. Také zde hraje velkou roli vnitřní stavba materiálu. Proces tváření začíná po překročení meze pružnosti, kdy dochází k plastické deformaci. Při tomto procesu se ovšem nesmí překročit mez pevnosti. Proto se pro tváření volí materiály, které mají tyto meze co nejdále od sebe. [1]

### 2.2 Rozdělení

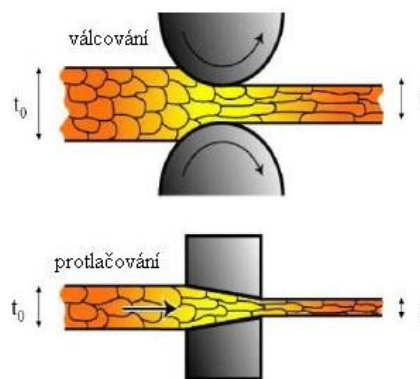
Technologie tváření má 2 základní způsoby dělení. Prvním je rozdělení podle teploty, při které dochází ke tváření. Zde zavádíme pojmy tváření za tepla, za studena a za poloohřevu. Hranicí mezi těmito procesy je rekrystalizační teplota. Druhým způsobem můžeme tváření rozdělit na tváření plošné a objemové. Rozdělení technologií tváření, včetně názvosloví, je jasně definováno podle platné normy ČSN 22 6001.



Obr. 1.: Rozdělení tváření podle teploty [9]

### 2.2.1 Tváření za studena

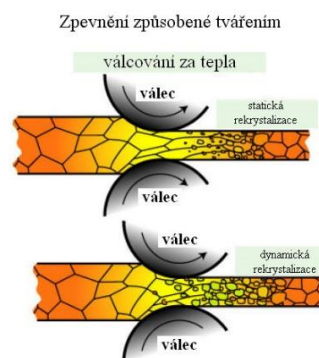
Pokud tváření probíhá za teplot, které jsou nižší než rekrytalizační teplota, jedná se o tváření za studena. Rekrytalizační teplota se pohybuje přibližně okolo 0,4 termodynamické teploty tavení [K]. Při tváření za studena dochází k deformaci zrn, které se protahují ve směru tváření. Dále se zvětšuje počet mřížkových poruch, díky čemu dochází ke zpevňování materiálu a zvyšování křehkosti. Díky tomuto se proces tváření za studena obvykle dělí na více kroků. Při vysoké křehkosti je nutné provést rekrytalizační žíhání, které probíhá nad rekrytalizační teplotou. Tímto procesem se tvar zrn vrací do podoby před tvářením a materiál je možné znovu tvářet. [2]



Obr. 2.: Změna tvaru zrn při tváření za studena [9]

### 2.2.2 Tváření za tepla

Tváření za tepla probíhá nad rekrytalizační teplotou. Díky tomu v materiálu dochází ke dvěma dějům zároveň: zpevňování a rekrytalizaci. Podle podmínek tváření může být průběh rekrytalizace úplný, nebo pouze částečný s tím, že dokončení rekrytalizace probíhá po dokončení procesu tváření. Tento průběh je závislý na deformační rychlosti. Ve většině případů je rekrytalizace pouze částečná a dochází ke zpevnění materiálu. [2]



Obr. 3.: Tváření nad rekrytalizační teplotou [9]

### **2.2.3 Objemové tváření**

Při objemovém tváření je polotovár zatěžován takovým způsobem, že dochází k deformaci ve všech třech osách souřadného systému. K deformaci dochází ve většině až celém objemu polotovaru. Mezi polotovary používané pro objemové tváření řadíme ingoty, kaloty, bramy, špalky a tyče různých průřezů. Objemové tváření se dále dělí na válcování, kování, protlačování a tažení drátů. [3]

### **2.2.4 Plošné tváření**

Plošné tváření se od objemového liší převážně tím, že se znatelně mění tvar, zatímco průřez se mění jen minimálně. Materiál si zároveň zachovává původní mechanické vlastnosti. Jako polotovary pro plošné tváření se používají plechy a pásy. Plošné tváření lze dále dělit na stříhání, ohýbání a tažení. Tato práce se zabývá plošným tvářením, a proto se tímto tématem budeme zabývat v další kapitole. [3]

## 3 Technologie plošného tváření

### 3.1 Stříhání

Pod pojmem stříhání rozumíme dělení materiálu dvěma protilehlými břity nožů bez vzniku třísek. Technologie stříhání se snaží docílit co nejvyšší přesnosti a kvality střížné plochy. Kvalita střížné plochy může být ovlivněna například velikostí střížné mezery, kvalitou střížného nástroje, vlastnostmi stříhaného materiálu a volbou způsobu stříhání. [5]



Obr. 4.: Průběh procesu stříhání [9]

#### 3.1.1 Princip stříhání

Stříhání začíná dosednutím střížného nástroje na stříhaný materiál. Průběh stříhání materiálu ve střížných nástrojích lze rozdělit do 3 základních fází [6]:

V první fázi dochází pouze k pružné deformaci materiálu, jelikož napětí v materiálu je nižší než mez pružnosti. Střížník vniká do stříhaného materiálu do hloubky přibližně 5-8 % z celkové tloušťky. V této fázi je materiál namáhán silou na ploše mezi střížníkem a střížnicí, což vyvolá vznik silové dvojce a materiál je namáhán na ohyb. Díky tomuto pak dochází k zaoblení hrany materiálu.

Ve druhé fázi napětí překračuje mez pružnosti a v materiálu dochází k plastické deformaci. Hloubka vniku střížníku v této fázi se pohybuje mezi 10-25 % celkové tloušťky materiálu.

Ve třetí fázi hodnota napětí překračuje mez pevnosti. V místech u hran střížníku a střížnice dochází ke vzniku mikrotrhlin. Vznik trhlin je velmi ovlivněn mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu. Tyto trhliny se následně protahují až do oddělení materiálu. Odtržení materiálu nastává dříve, než střížník projde celou dráhu stříhu a materiál je střížníkem vytlačen. U křehkých materiálů k odtržení dochází výrazně dříve, než u materiálů houževnatých.

### 3.1.2 Střížná síla

V případě rovnoběžných nožů se střížná síla určí ze vztahu [4]:

$$F_{\max} = A \cdot \tau_{ps} \cdot K_1 \cdot K_2$$

Kde:

$A$ .....střížná plocha,  $A = b \cdot s$  [mm<sup>2</sup>]

$b$ .....šířka plechu [mm]

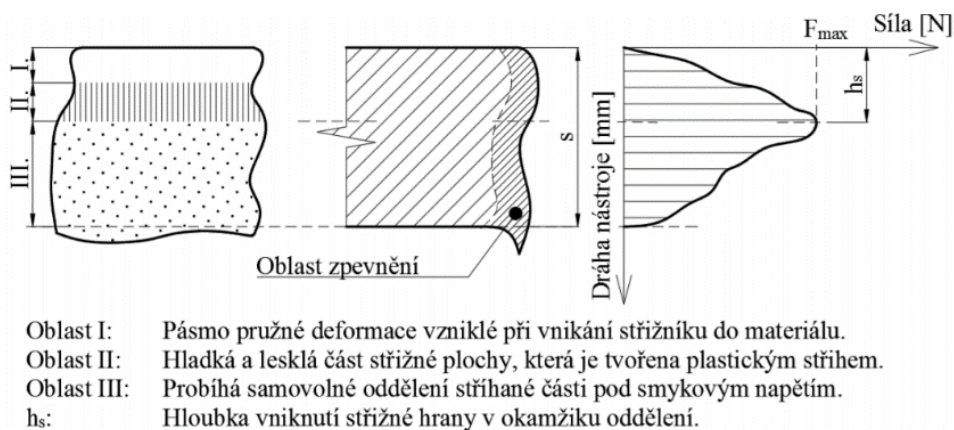
$s$ .....tloušťka plechu [mm]

$\tau_{ps}$ .....střížná pevnost [N·mm<sup>-2</sup>]

$K_1$ .....součinitel vyjadřující hloubku vniknutí nože do materiálu (0,2 - 0,6) [-]

$K_2$ .....součinitel vyjadřující otupení, vůle a jakosti povrchu nože (1,2 - 1,5) [-]

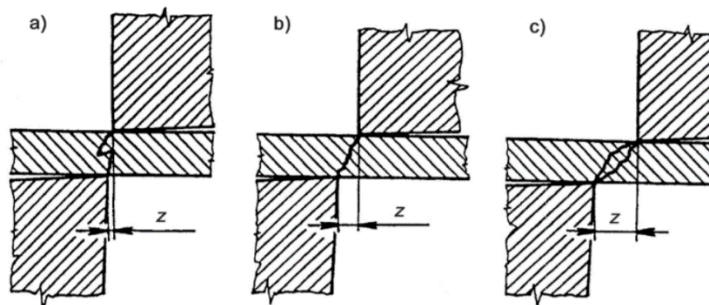
Označení  $F_{\max}$  zavádíme z důvodu, že se střížná síla v průběhu stříhání mění, a tímto vztahem získáme hodnotu maximální.



Obr. 5.: Změna střížné síly [16]

### 3.1.3 Střížná vůle

Vzdálenost mezi pracovní částí kruhového střížníku a střížnice nazýváme střížná vůle. Poloviční vzdálenost pak nazýváme střížná mezera. Při optimální střížné vůli se při stříhu trhliny z obou stran setkají a dojde k oddělení při minimální střížné síle. Pokud je zvolená vůle příliš malá či velká, kvalita střížné plochy se snižuje. [4]



Obr. 6.: Kvalita stříhu podle střížné mezery [19]

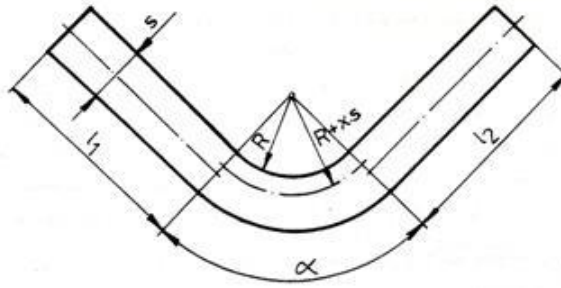
Střížné vůle (mezery) pro různé materiály se dají nalézt v tabulkách či normách.

## 3.2 Ohýbání

Ohýbání, stejně jako ostatní technologie tváření, překračuje mez pružnosti a dosahuje plastické deformace, doprovázené deformací elastickou. Jde o proces, při kterém deformujeme materiál do potřebného úhlu s různým zaoblením hran. Ohýbání se provádí buď na ručních strojích, nebo strojně. Mezi strojní způsoby řadíme lisy s ohýbacím nástrojem, ohraňovací lisy či ohýbací stroje. [7]

### 3.2.1 Princip ohýbání

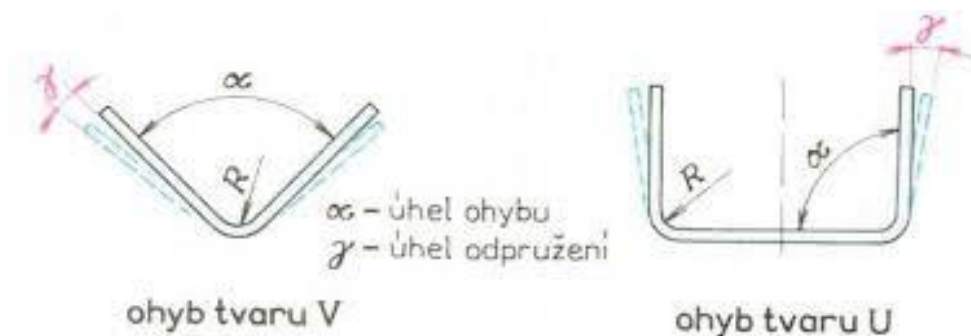
Při ohýbání se v materiálu projevují různé druhy napětí. Na vnitřní straně ohýbaného materiálu působí tlaková napětí, zatímco na vnější straně působí napětí tahová. Oblast mezi stlačovanými a natahovanými vrstvami nazýváme neutrální vrstva. V této vrstvě nepůsobí ani tahové ani tlakové napětí, je tedy bez napětí. Tato vrstva se před ohýbáním nachází uprostřed ohýbaného materiálu, při ohybu se poté posouvá směrem k vnitřní straně materiálu. [7]



Obr. 7.: Posun neutrální vrstvy [9]

### 3.2.2 Odpružení

Odpružení vnímáme jako nežádoucí deformaci, která nastává po ukončení procesu ohýbání. Po uvolnění deformačních sil při ohýbání se tvářený materiál vlivem elastické deformace kolem neutrální osy vychýlí o úhel  $\gamma$ . Tento úhel obvykle bývá v rozmezí 3 až 15°. U malých ramen je tento jev méně závažný, ačkoliv s rostoucí délkou ramen se z něho stává problém. Použití prolisů či kalibrace dokáže tento problém v podstatné míře eliminovat. [7]



Obr. 8.: Grafické znázornění odpružení [17]

### 3.2.3 Minimální poloměr ohybu

Volba minimálního poloměru má dvě kritéria. Kvůli zpětnému odpružení je pro nás vhodný co nejmenší poloměr. Ovšem s ohledem na tvárnost materiálu je nutné volit poloměr větší, aby nedocházelo ke vzniku trhlin. V ideálním případě tedy volíme nejmenší možný poloměr, při kterém nedochází k porušení struktury materiálu. [5]



$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right)$$

$s$ .....tloušťka ohýbaného materiálu

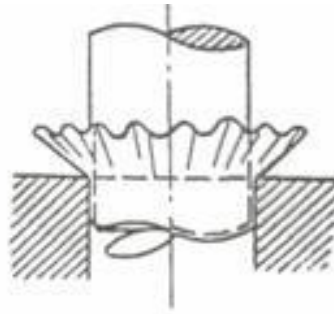
$\varepsilon_c$ .....mezní prodloužení, při jehož překročení dojde k porušení ohýbaného materiálu

### **3.3 Tažení**

Tažení je technologický proces, při kterém se při jednom či více kroců vyrobí duté těleso. Jako polotovar se používá rovinný plech, ze kterého se poté vyrobí výtazky převážně jednoduchého rotačního tvaru. Výtazek může ovšem být i hranatý a může obsahovat složitější a nesymetrické tvary. Tažení se dále může dělit na tažení bez ztenčení stěny a se ztenčením. [5]

#### **3.3.1 Princip tažení**

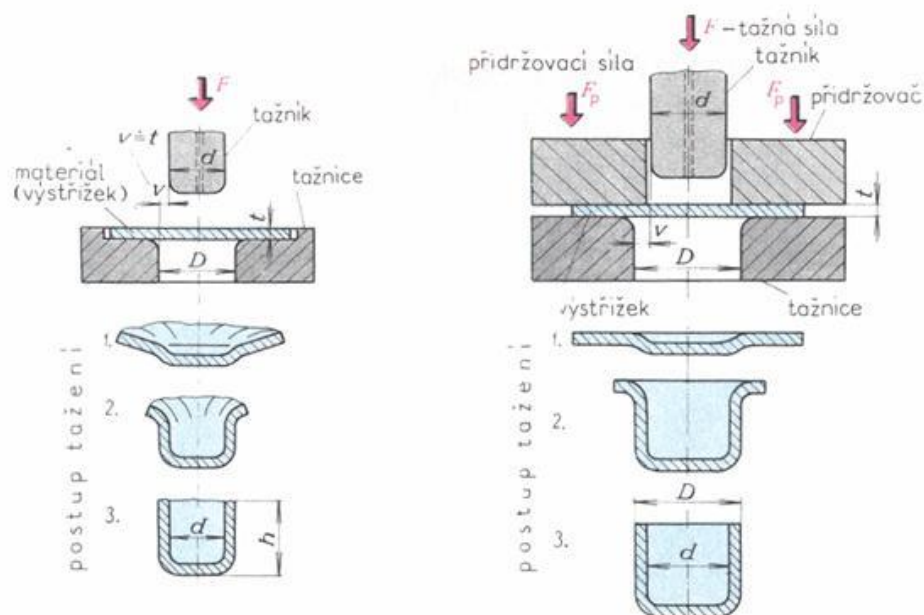
Při procesu tažení polotovar mění svůj tvar posouváním materiálu tlačenoho tažníkem přes hranu tažnice. Tloušťka materiálu se za normálních podmínek tažení téměř nemění. Při tažení vyšších nádob vstupuje více materiálu, který má poté snahu se vlnit. Zároveň se zvyšuje tečné napětí, roste tažná síla a hrozí možnost utržení dna výtazku. Tažení je nutné provádět ve více operacích. Kvalitu výtazku můžeme ovlivnit například optimalizací tažné síly, tažné mezery, zaoblením tažníku či namazáním. [8]



Obr. 9.: Vlnění a následné odtržení dna [9]

### 3.3.2 Vznik vlnění

Při tažení s vysokým stupněm deformace postupuje čím dál více materiálu do vnitřní části tažnice. To má za následek snahu materiálu se v místě příruby vlnit. Vzniku vln lze zabránit vhodnou volbou tažné mezery nebo použitím přidržovače. V tomto případě ovšem dochází k pěchování materiálu. Při použití přidržovače je nutné znát velikost měrného tlaku přidržovače. Ten závisí na pevnosti použitého taženého materiálu a jeho tloušťce. V praxi se pohybuje v rozsahu mezi 1 až 3 MPa. Přidržovací síla se rovná součinu měrného přidržovacího tlaku a činné plochy přidržovače. [9]



Obr. 10.: Tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo) [9]

## 4 Materiálové možnosti výroby karoserií

Výrobní technologie se každým rokem mění a to převážně díky použití nových materiálů. V dnešní době se nejvíce uplatňují oceli a další materiály, které již jsou v literatuře dostatečně popsány. Stále více začínají být ovšem využívány perspektivní materiály, jako např. hliníkové, kompozitní, sendvičové či plastové, a to hlavně za účelem snižování hmotnosti karoserií. Ocelové karoserie používané v dnešní době jsou téměř celé recyklovatelné. U kompozitních a plastových dílů je recyklovatelnost podstatně omezená, což je z ekologického hlediska problém. Z těchto materiálů má každý různé vlastnosti, ať už tvařitelnost, recyklovatelnost nebo vyrobitelnost. [15]

### 4.1 Hliníkové slitiny

Již řadu let se v automobilovém průmyslu zvyšuje využití slitin hliníku. V roce 2009 tyto slitiny zaujímali přibližně 9% celkové hmotnosti moderních aut té doby. Jejich nízká hustota a vysoká odolnost proti korozi z nich činí velmi vhodný materiál na výrobu částí karoserií. Dnes nachází největší uplatnění při výrobě pohonných ústrojí. Nevýhoda hliníku je ovšem jeho pořizovací cena a ekologické hledisko. Výroba je energeticky náročná a dochází při ní k produkci toxických látek. [10][11]

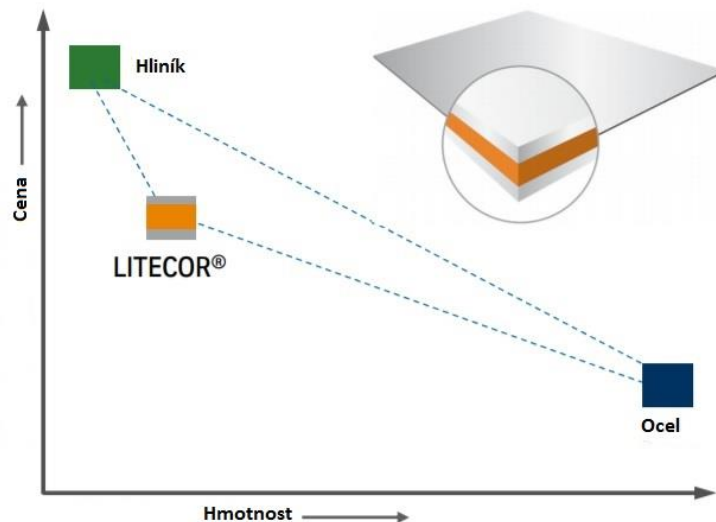
### 4.2 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály se ve výrobních procesech již nějakou dobu používají a jejich užití stále roste. Tyto materiály mají dvě základní, chemicky odlišné složky. První složka, která se nazývá výztuž, je pevná, tvrdá a tuhá. Druhá složka se nazývá matrice. Je poddajnější než výztuž a zastává funkci jejího pojiva. V oblasti strojírenství jsou nejrozšířenější materiály mikrokompozitní, kde se největší příčné rozměry výztuže pohybují v rozmezí 1 až 100  $\mu\text{m}$ . [12]

Z kompozitních materiálů jsou pravděpodobně nejvýznamnější uhlíkové kompozity. Uhlíkový kompozit se vyrábí z uhlíkových vláken, která zastávají funkci výztuže, a epoxidové pryskyřice, která má funkci pojiva. Uhlíková vlákna jsou pevná a tuhá a pryskyřice lehká a snadno tvarovatelná. V kombinaci tvoří tyto dvě složky materiál s velmi pozitivními vlastnostmi. Výhody uhlíkových kompozitů jsou nízká hmotnost, pevnost a odolnost vůči vnějším vlivům. Mezi nevýhody řadíme poměrnou křehkost, elektrickou vodivost a vysokou cenu. [13]

### 4.3 Sendvičový plech Litecor®

Snaha o snižování hmotnosti karoserií dlouho uvažovala hliník a uhlíková vlákna jako nejlepší možný způsob. Před pár lety však společnost ThyssenKrupp Steel Europe přišla s jiným řešením, materiálem Litecor®. Litecor® je sendvičový materiál s polymerovým jádrem mezi dvěma ocelovými plechy. Výsledný produkt je znatelně lehčí než standartní ocelové plechy a zároveň odolný vůči nežádoucím deformacím. [14]



Obr. 11.: Poměr cena/hmotnost materiálu Litecor®, hliníku a oceli (viz. Příloha 2)

Další výhodou materiálu Litecor® je možnost přizpůsobení tloušťek všech tří vrstev, takže můžeme dosáhnout nepravidelné struktury, která bude vyhovovat možným specifickým požadavkům. Také má téměř shodnou tepelnou roztažnost jako ocelové plechy, tudíž se dá snadno integrovat do ocelových karoserií. [14]

Společnost ThyssenKrupp Steel Europe spolupracovala s automobilkou Volkswagen na vývoji a zapojení tohoto materiálu v sériové výrobě. Pro model auta Volkswagen Polo R WRC bylo v roce 2013 vyrobeno 2500 kapot, které vážili o téměř 2 kilogramy méně než předchozí sériově vyráběné kapoty. Již dříve se ukázalo, že moderní sendvičové materiály jsou vhodné pro snižování hmotnosti větších panelů s velkými tuhostními požadavky, jako třeba kapoty, dveře a střechy. Podle analýzy projektu „InCar Pus“ by se použitím prvků v karoseriích z materiálu Litecor® dalo dosáhnout úspory hmotnosti až 19 kilogramů za menší cenu než u hliníku. [14]

## 5 Technické specifikace plechu Litecor®

V našich měřeních budeme pracovat s materiálem Litecor® C. Skládá se z plastového jádra o tloušťce 0,4 mm a dvou krycích plechů o tloušťce 0,2 mm. Mechanické vlastnosti pro tento materiál byly zjištěny zkouškou tahem dle normy ČSN EN ISO 6892. (viz. Příloha 1)

Tabulka 1: Mechanické vlastnosti materiálu Litecor®

Rp0,2 [MPa]		Rm [MPa]		A80 [%]
min	max	min	Max	min
120	180	190	240	28

### 5.1 Vrchní plech

Vrchní plech je z vysokopevnostní IF oceli HC220Y a je elektrolyticky pozinkován.

Tabulka 2: Chemické složení vrchního plechu (viz. Příloha 1)

C max	Si max	Mn max	P max	S max	Al min	Ti max	Nb max
0,01%	0,3%	0,9%	0,08%	0,025%	0,01%	0,12%	0,09%

Samotný plech dosahuje podle normy DIN EN ISO 6892-1:2009 těchto mechanických vlastností.

Tabulka 3: Mechanické vlastnosti vrchního plechu (viz příloha 1)

Rp0,2 [Mpa]	Rm [Mpa]	A80 [%]
240-300	350-410	29-39

## 5.2 Plastové jádro

Jádro je vyrobeno z polyetylenu/polyamidu o tloušťkách od 0,3 mm s těmito vlastnostmi:

-teplota tání: 220°C

-hustota: 1,03 g/cm<sup>3</sup>

-teplota krystalizace: 192°C

- modul pružnosti v tahu: 860 MPa (Při teplotě 23°C, vlhkosti 50% a rychlosti deformace 1mm/min)

-teplota rozkladu: nad 300°C

-měrná tepelná kapacita: 2,22 J/gK

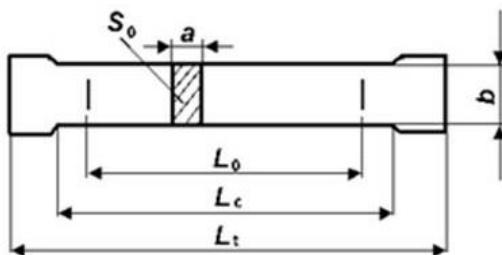
## 6 Experimenty a jejich vyhodnocení

Experiment se zabývá otázkou, jak se sendvičový plech Litecor® chová v tvářecích procesích a jak je tento materiál následně ovlivněn. Dále je řešena soudržnost jednotlivých vrstev sendvičového plechu a jejich případnou delaminací.

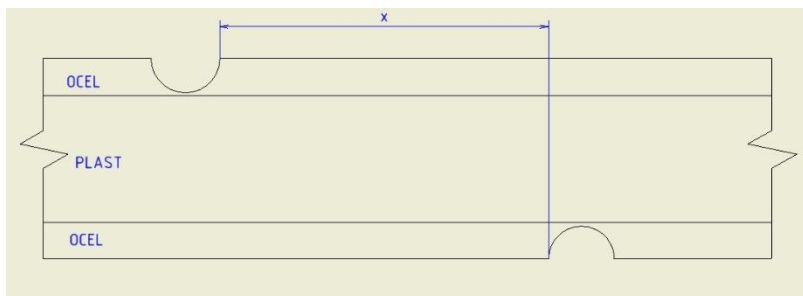
### 6.1 Příprava materiálu

Před zahájením experimentu bylo potřeba si pečlivě připravit zkušební vzorky. Přístřihy jsme nastříhali pomocí tabulových nůžek z tabulí plechu Litecor® o tloušťce 0,8 mm.

Jako první byly odebrány přístřihy pro zkoušku tahem. Na tento experiment jsme potřebovali přístřihy o délce 235 mm a šířce 45 mm. Tyto přístřihy jsme vystříhali ve směru válcování a ve směru příčném ke směru válcování. Z těchto přístřihů jsme pak následně vystříhali tvar vzorku ke zkoušce tahem, který se řídí normou ČSN EN ISO 6892-1. Výsledné zkušební vzorky měli celkovou délku 235 mm, šířku zkoumané oblasti 20,57 mm a tvar průřezu byl obdélníkový. Vzorky byly následně upraveny tak, že došlo k porušení ocelové části vzorku z obou stran, porušení bylo přesazeno o vzdálenost  $x$  (viz Tabulka 4). Při porušení ocelové části byl kladen důraz na to, aby nedošlo k poškození polymerové vrstvy.



Obr. 12.: Plochá zkušební tyč [18]



Obr. 13.: Přesazení porušení zkušební vzorku

Tabulka 4: Rozměry zkušebních vzorků

vzorek	x [mm]	b [mm]	L <sub>0</sub> [mm]
A1	2,27	20,57	30,23
A2	3,30	20,57	30,05
A3	4,14	20,57	30,10
A4	5,15	20,58	29,87
B1	5,31	20,57	30,05
B2	4,28	20,58	29,95
B3	2,91	20,58	29,88
B4	1,81	20,57	30,77

x – přesazení drážek [mm]

b – šířka vzorku [mm]

L<sub>0</sub> – měřená délka vzorku [mm]

A – vzorky odebrané v příčném směru válcování

B – vzorky odebrané ve směru válcování

Dále jsme připravili přístřihy do lisovacího nástroje s ostrou designovou hranou. Z tabulí jsme pomocí tabulových nůžek připravili přístřihy o délce 265 mm a šířce 235 mm. Směr válcování zde byl rovnoběžný s kratší stranou přístřihu.

## 6.2 Experiment zkoušky tahem

V tomto experimentu jsme zkušební vzorky podrobili zkoušce tahem, definované dle normy ČSN EN ISO 6892. Při této zkoušce se za normálních podmínek zatěžuje zkušební těleso do lomu, z čehož můžeme dále určit vlastnosti analyzovaného materiálu. Hlavním cílem tohoto experimentu bylo zjistit, jaký vliv má velikost přesazení porušení vzorku na celkovou soudržnost jednotlivých vrstev materiálu Litecor®.


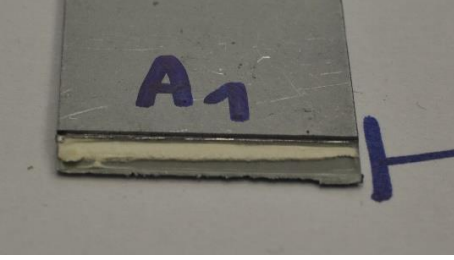
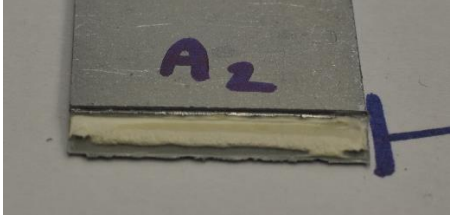
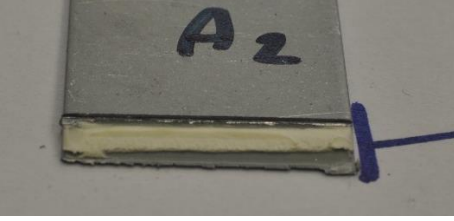


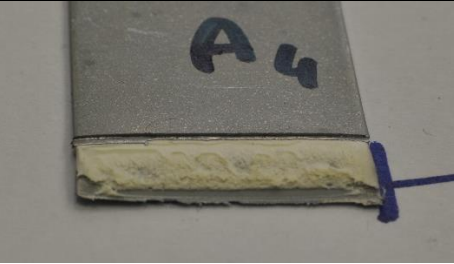
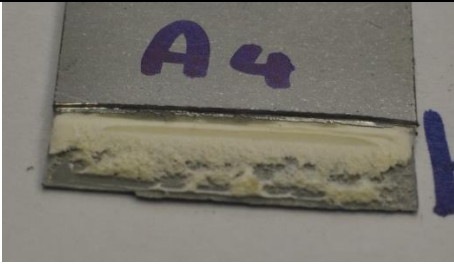
### 6.2.1 Průběh experimentu

Tento experiment jsme prováděli na zkušebním trhacím stroji LabTest 5.100SP1 od firmy LaborTech, který se nachází v laboratoři mechanických zkoušek Ústavu strojírenské technologie.

U vzorků A1 a A2 jsme vyzorovali, že se tyto vzorky přetrhli v jedné rovině, a zároveň jsme pozorovali delaminaci po celé šířce vzorku. U vzorku A3 taktéž došlo k delaminaci v celé šíři, nicméně polymerová vrstva již nebyla rovně přetržena. Vzorek A4 vykazoval známky delaminace pouze na krajích vzorku. (viz Tabulka 5)



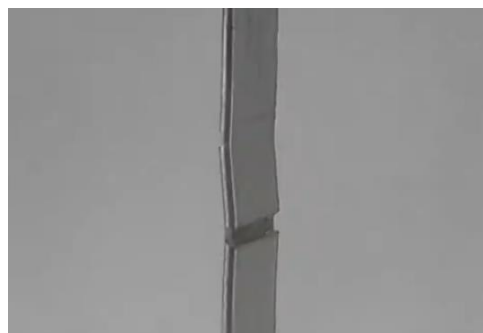
Tabulka 5: Vzorky A po tahové zkoušce

Vzorek	1. strana	2. strana
A1		
A2		
A3		
A4		

U vzorku B1 se na jedné straně vrstva plechu přetrhla v místě ležící proti drážce z druhé strany. Na druhé straně došlo v obdobném místě pouze ke ztenčení stěny. Výraznou delaminaci jsme zde nepozorovali. Průběh trhání vzorku B1 je zachyceno na obrázku 14 až 19. Zbylé tři vzorky vykazovaly podobné vlastnosti, jako vzorky typu A při porovnání vzorků podle vzdálenosti drážek (viz Tabulka 6).



Obr. 14.: Zkoušení vzorku B1 - 1 (začátek zkoušky)



Obr. 15.: Zkoušení vzorku B1 - 2



Obr. 16.: Zkoušení vzorku B1 - 3



Obr. 17.: Zkoušení vzorku B1 - 4

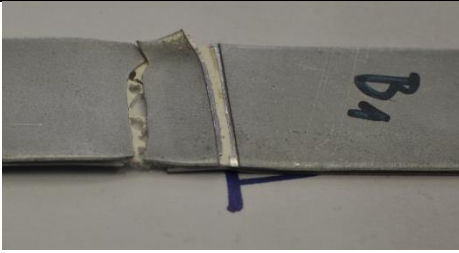

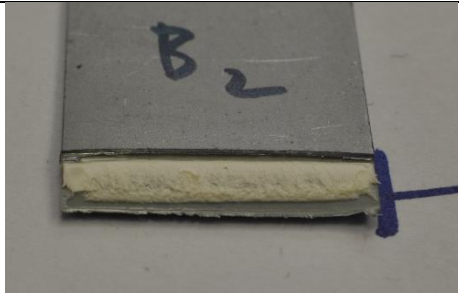
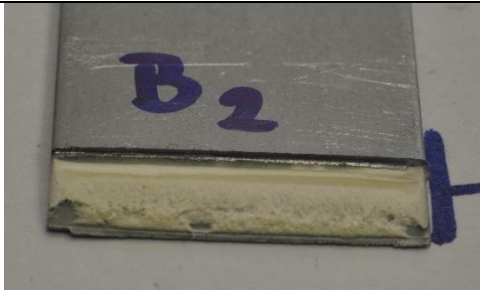
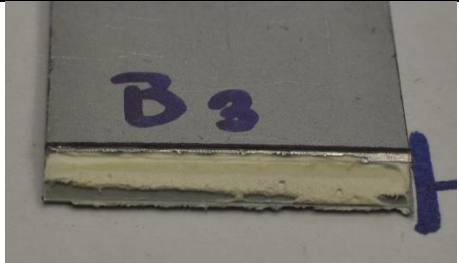
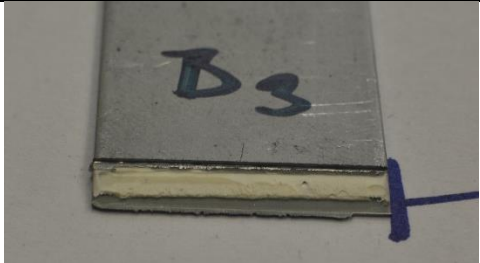
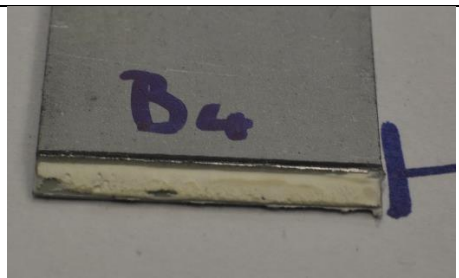
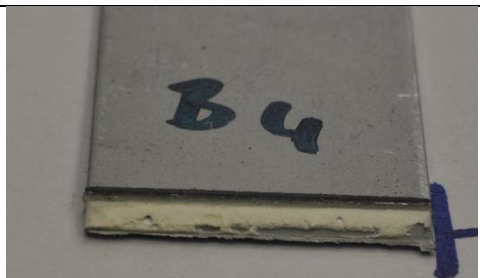


Obr. 18.: Zkoušení vzorku B1 - 5



Obr. 19.: Zkoušení vzorku B1 - 6 (konec zkoušky)

Tabulka 6: Vzorky po tahové zkoušce 2

Vzorek	1. strana	2. strana
B1		
B2		
B3		
B4		

## 6.2.2 Dílčí závěr

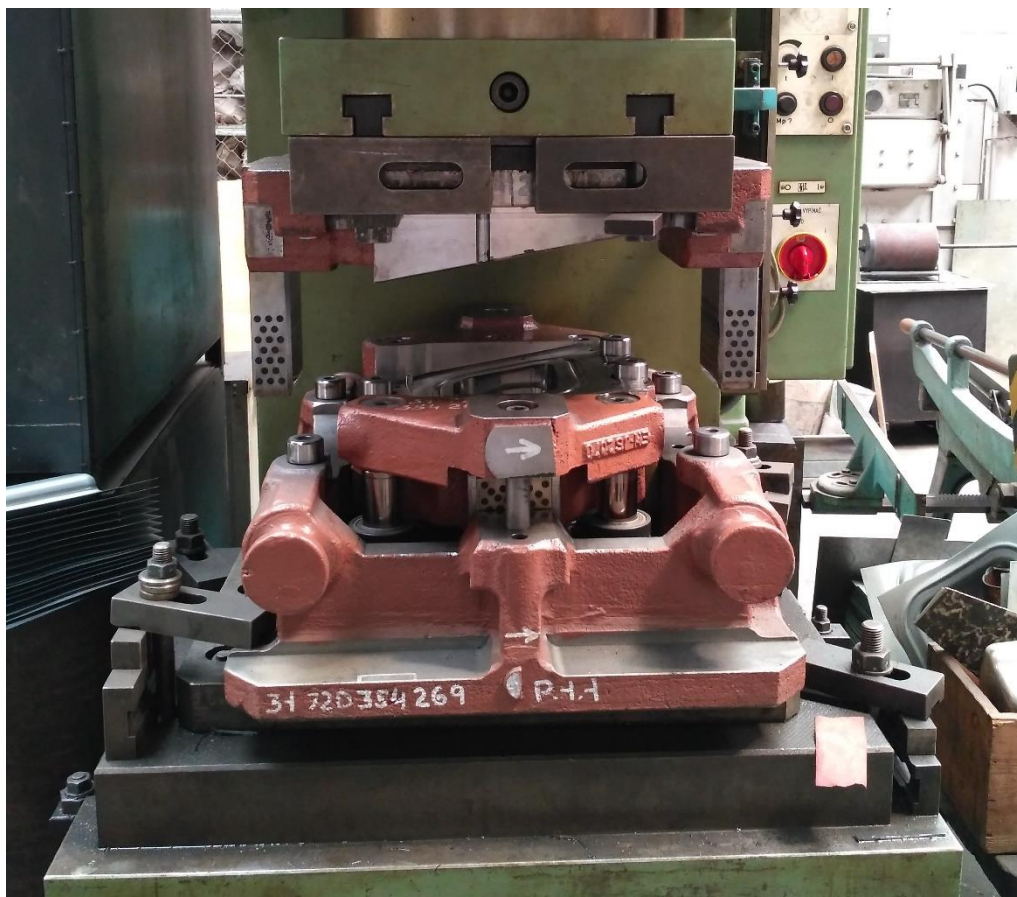
Z námi provedeného experimentu jsem vyvodil následující. Při narušení vrchních ocelových vrstev se materiál v oblasti mezi místy narušení chová různě v závislosti na vzdálenosti těchto narušení. U vzorků s menší vzdáleností narušení došlo k čistému a rovnému porušení polymerové vrstvy a zároveň k delaminaci vrstev z obou stran. U vzorků s větší vzdáleností vrstvy vykazovaly lepší soudržnost a polymerová vrstva se trhala nerovnoměrně po celé ploše přetržení. Rozdíl mezi vzorky zatěžovanými ve směru válcování a vzorky zatěžovanými kolmo na směr válcování není viditelný.

## 6.3 Experiment lisování

Jako druhý experiment jsme provedli lisování ostré designové hrany. V tomto experimentu jsme sledovali chování materiálu Litecor® v procesu lisování. Převážně nás zajímalo, jak se bude lišit výlisek ze sendvičového materiálu od výlisku z oceli DP500. Cílem tohoto experimentu bylo zhodnotit lisovatelnost sendvičového materiálu za různých podmínek.

### 6.3.1 Průběh experimentu

Tento experiment jsme prováděli na zkušebním nástroji, umístěném v lisu PYE 250. Zkušební nástroj byl poskytnut firmou ŠKODA AUTO, a.s. a slouží ke zkoumání opotřebování jeho funkčních částí a vlivu tohoto opotřebování na kvalitu výlisku. Testované vzorky byly do lisu umístěny tak, že směr válcování byl rovnoběžný s kratší stranou přístříhu.



Obr. 20.: Nástroj umístěný v lisu PYE 250

Experiment probíhal za těchto podmínek: plech byl založen do nástroje a vylisován. Výlisky se lišily přítomností maziva a zdvihem. Zkoušku jsme realizovali s plným zdvihem, a dále pak 10,7 mm a 5,5 mm před dolní úvratí. To bylo zajištěno vložení vzdálených podložek na přidržovač.

V první části experimentu jsme lisování končili se zdvihem 10,7 mm před dolní úvratí. Vzorek byl naolejován a nedošlo k žádnému porušení materiálu. Vizuálně nebylo pozorovatelné ani výrazně ztenčení stěny.

V druhé části jsme lisování končili se zdvihem 5,5 mm před dolní úvratí. Zde jsme lisovali přístřihy naolejované a nenaolejované. V obou případech se na výlisku neobjevily žádné trhliny ani viditelné ztenčení. Ve třetí části došlo k vylisování maximální výšky výtažku. U tohoto vzorku došlo k výraznému porušení po celé délce delší strany a obou kratších. (viz obr. 22)

V poslední části experimentu jsme podle stejných parametrů zkoušeli přístřihy z oceli DP500. Šířka i délka přístřihů byla stejná jako u sendvičových vzorků, ovšem tloušťka byla 0,6 mm. Delší strana přístřihu byla rovnoběžná se směrem válcování. U výlisků se zdvihem 10,7 a 5,5 mm nebyly na první pohled vidět jakékoliv vady, a to jak pro olejované vzorky, tak pro nenaolejované. Lisování na doraz již ukázalo rozdíl mezi vzorky, které byly naolejované a těmi které nebyly. Zatímco naolejovaný vzorek na první pohled působil neporušeně, u druhého se objevily praskliny na kratších stěnách výlisku.





Obr. 21.: Výlisek se zdvihem 5,5 mm (sendvič)



Obr. 22.: Výlisek lisovaný na maximální konstrukční výšku (sendvič)



Obr. 23.: Výlisek z oceli lisovaný na maximální konstrukční výšku bez přítomnosti maziva

### 6.3.2 Dílčí závěr

Z experimentu jsme usoudili, že sendvičový plech Litecor® se při plošném tváření chová jinak než běžné hlubokotažné oceli. Výlisek ze sendvičového materiálu, který nejevil známky porušení, se nám podařilo zhotovit při zdvihu 5,5 mm bez ohledu na to, zda byl přístřih namazaný. Při lisování na doraz již výlisek byl prasklý po většině délky obvodu dna nádoby. Zároveň byly tyto výsledky horší než u výlisků z vysokopevnostní oceli, u které se nám povedlo zhotovit vyhovující výlisek s maximální konstrukční výškou za přítomnosti maziva.

## 7 Závěr

Tato práce se zabývá chováním a vlastnostmi sendvičového materiálu Litecor<sup>®</sup> v procesech plošného tváření za studena, které se používají pro výrobu karoserie automobilu, či ověřují další vlastnosti, které na proces tváření mají vliv. V první části této práce je stručně popsána technologie tváření. Podrobněji je popsáno tváření plošné. Dále je zde krátký souhrn toho, které materiály se v současné době považují za vhodné pro snižování hmotnosti karoserií. Jedním z těchto materiálů je sendvičový materiál Litecor<sup>®</sup>. Tomuto materiálu je věnována celá kapitola, kde jsou podrobněji rozpracovány technické specifikace tohoto materiálu.

Druhá část práce je zaměřena na dva experimenty, a to namáháním zkušebních vzorků tahem a lisováním ostré designové hrany. Při experimentu tahové zkoušky byl lokálně v celé šířce odstraněn vrchní plech v různých vzdálenostech od sebe a zkoumal se vliv této vzdálenosti na soudržnost jednotlivých vrstev. Při experimentu lisování ostré designové hrany jsme se pokoušeli zhotovit vyhovující výlisek, kdy jsme kombinovali změnu konstrukční výšky a přítomnost či absenci maziva. V tomto experimentu bylo patrné, že sendvičový materiál Litecor<sup>®</sup> se chová lehce hůře než běžně používané oceli.

Po dokončení a následném vyhodnocení obou výše uvedených experimentů se neobjevil žádný výrazný problém, který by z hlediska tvařitelnosti vylučoval použití sendvičového materiálu Litecor<sup>®</sup> v sériové výrobě. Tento materiál se při testování tahem a lisováním jevil jako velmi vhodná alternativa pro budoucí využití v automobilovém průmyslu. Ačkoliv v procesech plošného tváření neměl tak dobré výsledky jako běžně používané oceli, v případě správně optimalizace výrobního procesu je dokáže nahradit. Dalším problémem tohoto materiálu je jeho lakování a svařitelnosti. Pokud by se podařilo tyto problémy minimalizovat, je využití v sériové výrobě možné. Problematika řešená v této práci stojí za pokračování, a v následujícím studiu plánuji v tomto výzkumu pokračovat.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] NĚMEC, Milan et al. *Základy strojírenské technologie I.* 3. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 800106056X;9788001060568;.
- [2] PEJČOCH, Osvald, Boris SOMMER a Milan ŽÍDEK. *Tváření kovů I pro 3. ročník SPŠ hutnických.* 1. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit, 1978.
- [3] PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. Úvod do tváření I. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 80-7078-877-1.
- [4] BŘEZINA, Richard, Jiří PETRUŽELKA a Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Katedra mechanické technologie. *Úvod do tváření II.* 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002. ISBN 9788024800684;8024800683;.
- [5] DVOŘÁK, Milan et al. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření.* Vyd. 4., v Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 9788021434257;8021434252;.
- [6] Akademie tváření: Stříhání. MM průmyslové spektrum [online]. [cit. 2018-30-07]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
- [7] Akademie tváření: ohýbání. MM průmyslové spektrum [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: [https://www.mmspektrum.com/content/100716\\_Akademie\\_tva%C5%99eni\\_oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD\(1\).pdf](https://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tva%C5%99eni_oh%C3%BDb%C3%A1n%C3%AD(1).pdf)
- [8] Akademie tváření: Hluboké tažení. MM průmyslové spektrum [online]. [cit. 2018-30-07]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>
- [9] Technologie tváření kovů. Katedra strojírenské technologie [online]. Liberec : TUL [cit. 2018-30-07]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/obsah\\_kovy.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm)
- [10] GEORGE, Patrick E. *Top 5 Materials Used in Auto Manufacturing* [online]. 8.10.2009 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/auto-manufacturing/5-materials-used-in-auto-manufacturing.htm>
- [11] *Příručka o hliníku.* Vyd. 1. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1969.
- [12] *Kompozitní materiály* [online]. 2014 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: [http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/6\\_kompozitni-materialy.pdf](http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/6_kompozitni-materialy.pdf)
- [13] *KARBON* [online]. [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.carbonstar.cz/karbon.html>



- [14] *Weight reduction with steel: LITECOR from ThyssenKrupp Steel Europe joins the race* [online]. 2014-10-20 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/newsroom/press-releases/press-release-6552.html>
- [15] ŠANOVEC, Jan a Tomáš PILVOUSEK. *Lehké konstrukce karoserií osobních automobilů* [online]. 2016-03-08 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/en/newsroom/press-releases/press-release-6552.html>
- [16] AMBROŽ, Oldřich. *Technologie slévání, tváření a spojování: laboratorní cvičení*. Brno: VUT Brno, 1989. ISBN 8021400439.
- [17] KUBÍČEK, Miroslav. *Tváření: Ohýbání* [online]. In: . SPŠ Brno, 2013, s. 14 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: [http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY\\_32\\_INOVACE\\_20-13.pdf](http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-13.pdf)
- [18] NĚMEČKOVÁ, Ludmila. *ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ* [online prezentace]. [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3118719/>
- [19] ČADA, Radek. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – V PŘÍKLADECH: Stříhání plechu* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2018-07-30]. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_005/](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_005/)

# 10 Seznam příloh

Příloha 1: Technické informace Litecor® (DE)

Příloha 2: Technologické informace ThyssenKrupp (DE)