

Návrh nástroje pro formování tenké vícevrstvé fólie pro bateriové články

Miloš Zelko

Bakalářská práce
2019

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miloš Zelko**

Osobní číslo: **T16534**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh nástroje na výrobu tenké vícevrstvé fólie pro bateriové články**

Zásady pro vypracování:

- analýza současného stavu
- deformační analýza nástroje
- analýza chování se fólie během výroby
- konstrukční návrh nástroje

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **RAUWENDAAL, Chris. Polymer Extrusion. 4. vyd. Hanser, 2001. 777. ISBN 3-446-21774-6**
2. **TADMOR, Zehev a GOGOS, G. Costas. Principles of Polymer Processing. 2. Vyd. John Wiley & Sons, 2013. 984. ISBN 0470355921**
3. **COLYER, Frederick. Hydraulic, Steam, and Hand Power Lifting and Pressing Machinery (Classic Reprint). Fb&c Limited, 2018. 290. ISBN 0365527076**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Adam Dočkal**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 18. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 16. 4. 2019

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

⁴¹ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy a užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Práce je primárně zaměřena na rozbor tématu plošného tváření tenkostěnných polotovarů, kterými mohou být plechy nebo fólie. Detailně rozebírá různé způsoby zažitého plošného tvarování v průmyslových podmínkách. Dále se věnuje materiálové analýze, do které je zahrnuto chování materiálu pod vlivem vnějšího napětí, jeho přetvoření stanoveným výpočtem, počtu tahů v procesu a nutnosti použití přídržovací desky. Práce rovněž nabízí zpracované téma lisovacího stroje a nástroje určeného pro formování tenkostěnných materiálů, jejich dělení a využití v praxi, stanovení mezních stavů materiálu a nežádoucích účinků, které mohou po překročení těchto mezí nastat. V poslední části teorie je rozepsáno složení vícevrstvé fólie a její využití od běžných případů v domácnosti až po začlenění ve vesmírných programech. Praktická část obsahuje návrh formovacího nástroje, popis lisu, softwaru a společnosti, která se na výrobě podílí.

Klíčová slova: plošné tvarování, lis, lisovací nástroj, vícevrstvá fólie.

ABSTRACT

The thesis is primarily focused on the analysis of thin-walled product shaping, including sheet metals or foils. It describes in detail various ways of established surface shaping in industrial conditions. Furthermore, it deals with material analysis, which includes material behavior under the external stress, its deformation determined by calculation, the number of strokes in the process and the necessity of using a holding plate. The thesis offers a summary for pressing machines and tool designed for forming thin-walled materials. Also includes their division and use in practice, determination of material limit states and undesirable effects that may occur after exceeding the limits. In the last part of the theory, the composition of the multi-layered film and its use from common cases at home to integration in space programs is described. The practical part contains a design of a molding tool, a description of the press, software and company involved in the production.

Keywords: surface forming, press machine, press tool, multilayer foil

Pod'akovanie

Touto cestou by som rád poďakoval vedeniu a konštrukčnému oddeleniu vo firme Manz Slovakia, s.r.o. za poskytnutie témy, trpezlivosť a pomoc pri riešení bakalárskej práce. Tak-
tiež by som rád poďakoval vedúcemu práce pánovi Ing. Adamovi Dočkalovi za cenné rady,
pripomienky a kompletne vedenie práce.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia bakalárskej práce a verzia elektronická nahraná so
IS/STAG sú totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PLOŠNÉ TVÁRNENIE	11
1.1 DELENIE PLOŠNÉHO TVÁRNENIA	11
1.2 ŤAHANIE	12
1.2.1 Obyčajné ťahanie	12
1.2.2 Ťahanie so stenčením steny.....	13
1.2.3 Spätné ťahanie.....	14
1.2.4 Rozširovanie.....	15
1.2.5 Zuzovanie.....	15
1.2.6 Žliabkovanie.....	16
1.2.7 Preťahovanie otvorov	16
1.2.8 Preťahovanie napínaním cez šablonu.....	17
1.2.9 Objemové ťahanie	17
2 ROZBOR PROCESU HLBOKÉHO ŤAHANIA	18
2.1 MEDZNÝ STUPEŇ ŤAHANIA.....	20
2.2 URČENIE POČTU ŤAHOV, SILY A VEĽKOSTI POLOTVARU	21
2.2.1 Počet ťahov	21
2.2.2 Veľkosť polotovaru.....	22
2.2.3 Ťažná sila	23
3 STROJ A NÁSTROJ PRE ŤAHANIE	24
3.1 NÁSTROJ PRE ŤAHANIE	24
3.2 STROJE PRE ŤAHANIE A TECHNOLOGICKÉ POSTUPY ŤAHANIA.....	25
3.2.1 Delenie tvárniacich strojov	25
3.2.2 Technologické postupy ťahania	28
4 MECHANICKÉ SPRÁVANIE MATERIÁLOV	29
4.1 NEDOKONALOSTI VZNIKAJÚCE PRI HLBOKOM ŤAHANÍ	31
4.2 DEFINÍCIA VIACVRSTVOVEJ FÓLIE	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
5 FUKCIA A STAVBA	40
5.1 FUNKCIA LISU.....	40
5.2 STAVBA LISU	40
6 DIZAJN NÁSTROJA	43
6.1 PRVOTNÝ DIZAJN.....	44
6.1.1 Stavba a nástroja	44
6.1.2 Nedostatky prvotného dizajnu.....	45
6.2 NOVÝ DIZAJN	47
6.2.1 Odstránenie nepotrebných/nahradených dielov	47
6.2.2 Ťažníky.....	48
6.2.3 Horná prítlačná platňa	49
6.2.4 Pneumatický prítlak	49
6.2.5 Spodná prítlačná platňa	50

6.3	DEFORMAČNÁ ANALÝZA NÁSTROJA	51
6.4	ANALÝZA VIACVRSTVOVEJ FÓLIE.....	52
6.4.1	Tlakový test.....	54
ZÁVER		56
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY		57
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....		59
ZOZNAM OBRÁZKOV		61

ÚVOD

V súčasnej dobe, ktorá je charakteristická kladením veľkého dôrazu na maximálnu efektivitu práce a znižovanie nákladov, či už z ekonomických alebo ekologických dôvodov, začína tvárnenie a lisovanie rapídne napredovať. Tento proces je založený na hlbšom pochopení plasticity jednotlivých materiálov resp. schopnosti materiálu pružne a trvalo zniesť deformácie vyvolané účinkom vonkajších síl bez porušenia súdržnosti povrchu.

Napriek príchodu nových technológií a materiálov, napr. uhlíkových vlákien, je technológia tvárnenia - spracovávanía plechových dielov - vysoko produktívny proces, ktorý ma svoje opodstatnenie hlavne v sériovej, veľkosériovej a hromadnej výrobe. Veľkou prednosťou je práve efektívne využitie materiálu a čoraz väčšia schopnosť vyrobiť súčiastky s maximálnou presnosťou bez potreby ďalšieho spracovania. Výroba a produkcia zahrňujúca plechové komponenty sa začala vo veľkom využívať už koncom 19. storočia počas priemyselnej revolúcie. Pomocou novo-vyvinutého konceptu montážnej linky a strojov, ako hydraulické lisy, výrobcovia mohli produkovať viac dielov vo väčších sériách. Keďže trh rástol, zvyšoval sa aj profit – prvok, ktorý často predchádza inováciám.

Aktuálny progres technológie tvárnenia ma pozitívny vplyv na ekonomické zaťaženie výroby - minimalizáciou odpadu, spotreby energie, pracovných síl a zvýšením kvality. V prípade predstavy výroby karosérie automobilu alebo lietadla v minulosti sa tento proces môže zdať ako zdĺhavý a vyžadujúci si veľkú zručnosť pracovníkov. Avšak aj napriek tomu existovala malá pravdepodobnosť identickosti dielov a ľahkej nahraditeľnosti v prípade potrebnej výmeny. Obyčajná výroba výfuku motora bola týždňová práca. Dnes je tomu naopak. Výroba a zmontovanie celého automobilu zaberie tímu montážnikov len niečo cez 20 hodín. Z toho dôvodu sa neustále zvyšuje podiel tvárnenia v strojárskom priemysle či už vo svete, alebo na Slovensku. Dominantnou zložkou slovenského a českého priemyslu je práve automobilové odvetvie, kde je tvárnenie využívané vo veľkej miere. Vďaka tomu sa vytvára vysoko konkurenčné prostredie, čo má za následok neustále napredovanie technológie. Zdokonaľujú sa tvárniace stroje a vznikajú nové nekonvenčne spôsoby tvárnenia so širokým uplatnením.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PLOŠNÉ TVÁRNENIE

Lisovanie plechov, tzv. tvárnenie plechov do užitočných tvarov je technológia, ktorá vyžaduje porozumenie širokého spektra subjektov. Z pohľadu manufaktúry ho považujeme za proces, ktorý vďaka transformácii dokáže vytvoriť z daného materiálu využiteľné časti komplexnej geometrie s dobre definovaným tvarom, veľkosťou, presnosťou a toleranciou, vzhľadom a vlastnosťami. Vstupom pre tento proces je väčšinou beztvárny objekt s jednoduchou geometriou. Veľkou výhodou procesov tvárnenia plechov je produkcia malého, v mnohých prípadoch až takmer žiadneho odpadu pri generovaní výslednej časti geometrie vo veľmi krátkom čase, ktorý zväčša zaberie 1 až 2 nárazy lisu. [1]

Tvárnenie plechov patrí medzi progresívne výrobné technológie. Táto vlastnosť tkvie v práve spomínanej zníženej spotrebe vstupného materiálu na konštrukciu, skvalitnenie mechanických vlastností vstupného materiálu v krátkom výrobnom čase, možnosti výroby súčiastok na hotovo, či plnej automatizácii pomocných operácií a úkonov. Z druhového hľadiska, tvaru vstupného materiálu a zmeny hrúbky prierezu môžeme deliť tvárnenie na plošné a objemové [16]. Z dôvodu zamerania sa bakalárskej práce na tvarovanie viacvrstvovej fólie sa budem v ďalšej podkapitole venovať výlučne plošnému tvárneniu.

1.1 Delenie plošného tvárnenia

Plošné tvárnenie je druh tvárnenia, pri ktorom nedochádza k zásadnej zmene hrúbky prierezu východiskového polotovaru. Väčšinou sa využíva pre spracované tenkostenných dielov z plechu alebo fólie. [2]

Plošné tvárnenie ďalej definujú ako:

- Ťahanie
- Ohýbanie
- Kovo-tlačenie (rotačné tvárnenie)

1.2 Ťahanie

Ťahanie je technologický proces, pri ktorom sa z rovinného tenkostenného polotovaru (prístrihu) v jednom alebo viacerých ťahoch vyrobí výtlačok požadovaného tvaru a rozmerov. Ťahanie je veľmi rozšíreným spôsobom spracovania plechových dielov, ktorým možno pomerne jednoducho a presne vyrobiť súčiastky s veľkou tuhosťou pri nízkej hmotnosti. [6]

Typy výtlačkov vyrábané ťahaním:

- Rotačné telesá – valcové, kužeľové, polo-guľové, parabolické a iné, môžu byť s prírubou alebo bez príruby
- Pravouhlé krabice – štvorcové, obdĺžnikové, kombinované
- Výrobky obecných tvarov – časti karosérií, trupy lodí a pod.

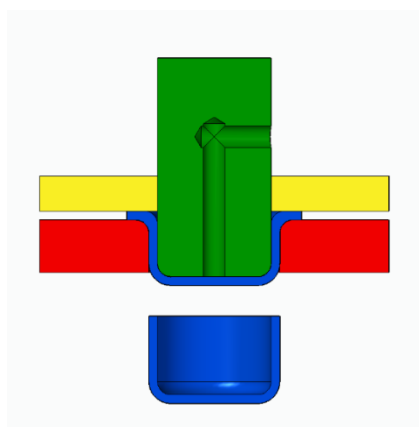
Niektoré druhy ťahania, ako je napríklad žliabkovanie, sa používajú na tvarové spevňovanie (zväčšenie tuhosti) rozmerných súčiastok z plechu (ochranné kryty, bandasky, dekoračné kryty a pod.)

Ťahanie (podľa STN 226001) je možné rozdeliť na niekoľko základných druhov operácií. Tie sú bližšie priblížené v nasledujúcich podkapitolách. [2]

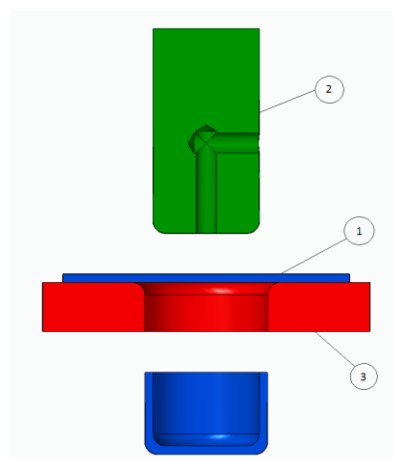
1.2.1 Obyčajné ťahanie

- Ťahanie bez pridržiavača (plytké ťahanie)
- Ťahanie s pridržiavačom (hlboké ťahanie)

Schému ťahania plytkých výtlačkov bez pridržiavača môžeme vidieť na *Obr. 1*. Ťahanie hlbokých výtlačkov s pridržiavačom sa nachádza na *Obr. 2*. Pri obyčajnom ťahaní je ťažná medzera Z , priestor medzi ťažníkom a ťažnicou pre formovanie materiálu, väčšia ako je hrúbka plechu s_0 . Pričom platí $Z = 1,2 * s_0$ [2]



Obr. 1 Schéma obyčejného ťahania
s pridržiavačom

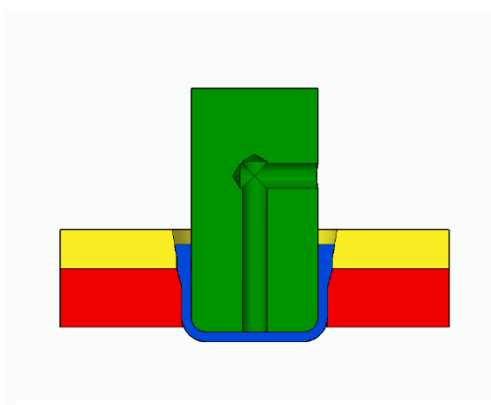


Obr. 2 Schéma obyčejného ťahania
bez pridržiavača

1 - prístrih, 2 - ťažník, 3 - ťažnica

1.2.2 Ťahanie so stenčením steny

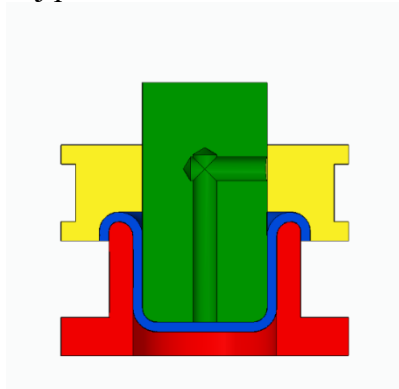
Pri tejto metóde ťahania sa väčšinou používa ako polotovar už zhotovený výtlačok, vyrobený obyčajným ťahaním. Pri ťahaní so stenčením steny dochádza k zmenšeniu prierečného prierezu výtlačku a to stenčením steny, vnútorný priemer sa takmer nemení. Ťažná medzera Z pri ťahaní so stenčením steny musí byť menšia, ako je hrúbka plechu $Z < s_0$. Touto operáciou sa vyrábajú najmä výtlačky rotačného tvaru, u ktorých sa vyžaduje hrubšie a pevnejšie dno, ako je hrúbka steny. Schéma ťahania so stenčením steny vo dvoch ťažniciach je znázornená na Obr. 3. [2]



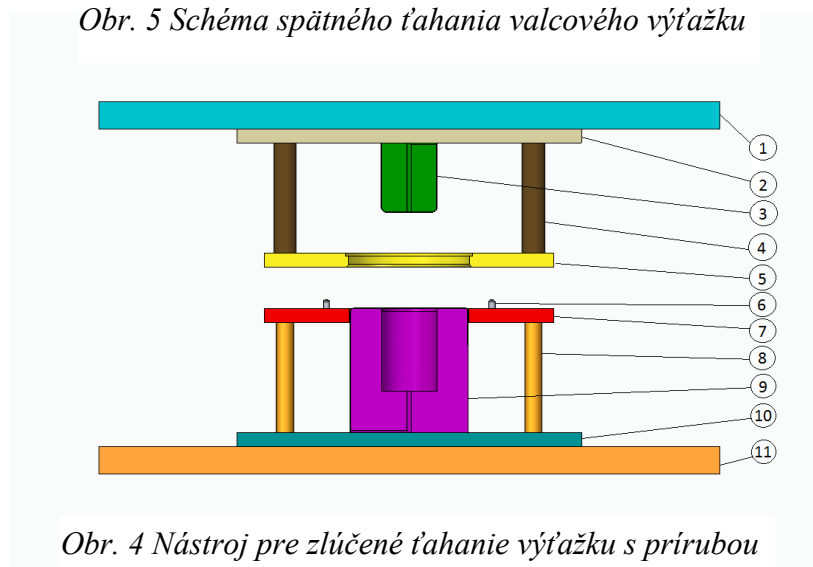
Obr. 3 Schéma ťahania so stenčením

1.2.3 Spätné ťahanie

Ťažná operácia sa vykonáva v protichodnom smere ako pri obyčajnom ťahaní. Spätné ťahanie sa vykonáva ako druhá alebo až následovná operácia, nakoľko ako polotovar je výtlačok vyrobený obyčajným ťahaním. Pri spätom ťahaní dochádza k väčšiemu spevneniu materialu. Touto metódou možno vyrábať aj výtlačky s tvarovou prírubou, výtlačky polgulového tvaru, kopulovitého tvaru a pod. Spätné ťahanie je vhodné najmä na ťahanie tenších plechov do hrúbky 4mm. Pri spätom ťahaní nemožno dosiahnuť väčší koeficient ťahania ako pri obyčajnom ťahaní v druhom ťahu. Výhodou je možnosť prvý ťah a spätý ťah vykonať na jeden zdvih, t.j. použiť tzv. zlúčené späté ťahanie. Schéma spätého ťahania je znázornené na *Obr. 5* a nástroj pre zlúčené ťahanie na *Obr. 4*. [2]



Obr. 5 Schéma spätého ťahania valcového výtlačku

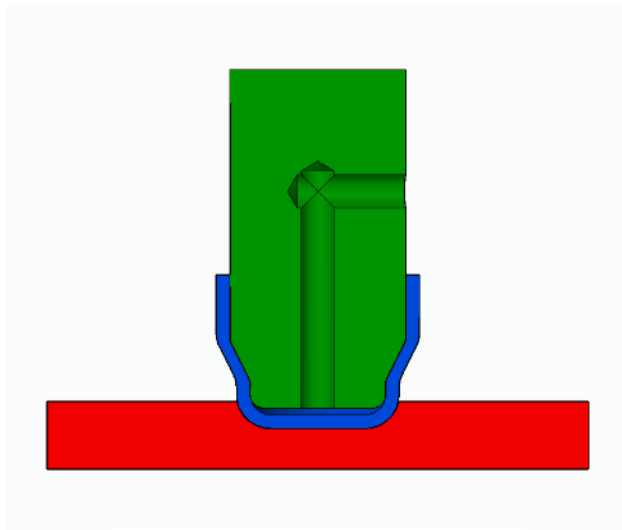


Obr. 4 Nástroj pre zlúčené ťahanie výtlačku s prírubou

1-šmýkadlo lisu, 2-upínacia doska, 3-ťažník pre druhý spätý ťah, 4-stĺpik, 5-ťažnica pre 1. ťah, 6-strediacke kolíky pre rovinný prístrih, 7-pridržiavač pre 1. ťah, 8-ťažník pre 1. ťah a ťažnica pre späté ťahanie, 9-stĺpik pridržiavača, 10- základová doska, 11-stól lisu

1.2.4 Rozširovanie

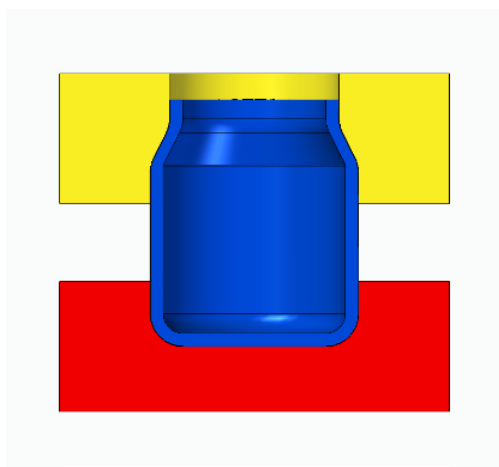
Proces pri ktorom zväčšujeme časť obvodu výt'ažku predtým vyrobeného obyčajným ťahaním. Tento sekundárny úkon sa používa na vyhotovenie rôznych lievikovitých útvarov, nádob a krytov napr. objímok pre svetelné zariadenia. Schéma rozširovania pevným ťažníkom je vyobrazená na *Obr. 6*. [2]



Obr. 6 Schéma pre rozširovanie

1.2.5 Zužovanie

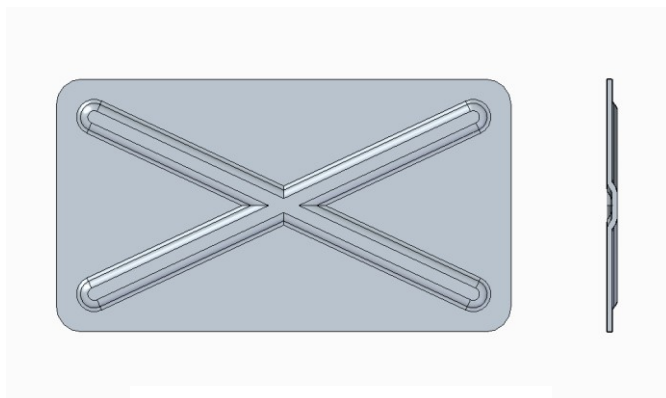
Druh ťahania pri ktorom sa zmešuje časť obvodu výt'ažku už predvyrobeného obyčajným ťahaním. Rovnako ako u rozširovania má tento sekundárny úkon široké využitie napr. v zbrojnom priemysle pre vyhotovenie nábojíc. Schéma zužovania je uvedená na *Obr. 7*. [2]



Obr. 7 Schéma pre zužovanie

1.2.6 Žliabkovanie

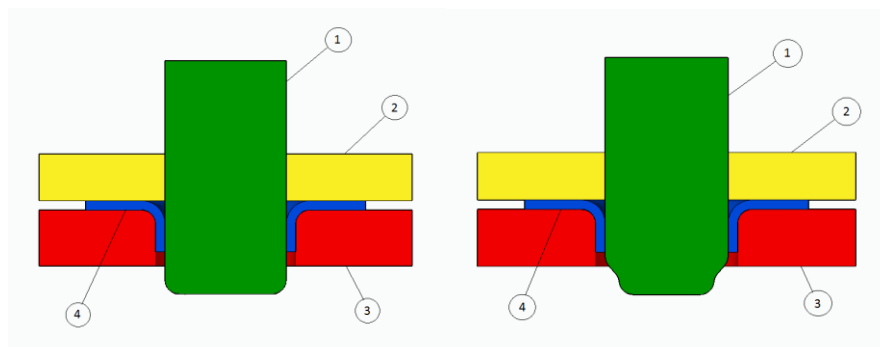
Je proces vytvárania plytkých prelisov (prehĺbenín) na polotovare za účelom zvýšenia tuhosti výtazku. Tento proces je často využívaný na veľkých plechových dieloch kde sa chceme vyhnúť nutnosti navárania prídavných výstuh. Často môžeme tento úkon vidieť práve v automobilovom priemysle pri výrobe komponentov karosérie. Na Obr. 8 je znázornený tvar prelisu vytvorený žliabkovaním. [2]



Obr. 8 Schéma pre žliabkovanie

1.2.7 Preťahovanie otvorov

Operácia zväčšovania už predstrihnutého otvoru a súčasne vytváranie valcovej plochy. Preťahovanie otvorov môže byť bez stenčenia steny podľa Obr. 9 (vľavo) , alebo so stenčením steny podľa Obr. 9 (vpravo). Ak sa pri preťahovaní vyžaduje väčšia výška valcovej časti, ako je možné vyrobiť bez porušenia z rovinného polotovaru, používa sa preťahovanie s predchádzajúcim ťahaním. Tento druh ťahania je často využívaný pri vytváraní závitov v plechových dieloch bez nutnosti dodatočného navárania matic. [2]

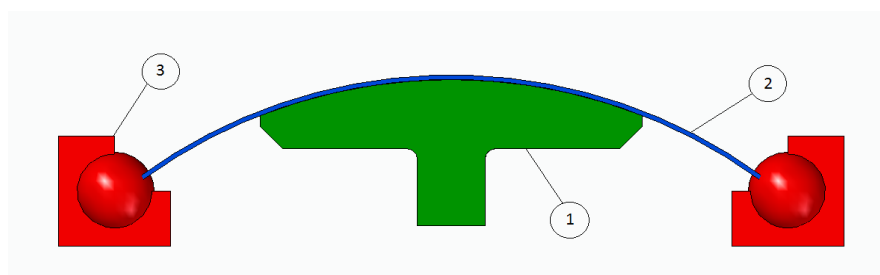


Obr. 9 Schéma preťahovania otvorov bez stenčenia a so stenčením

1-ťažník, 2- pridržiavač, 3- ťažnica, 4- výtazok

1.2.8 Pret'ahovanie napínaním cez šablónu

Ide o tvárnenie rovinného polotovaru upevneného v čelustiach na priestorovú plochu napínaním cez šablónu (ťahadlo). Schéma pret'ahovania napínaním cez šablónu je vyobrazená na *Obr. 10*. Týmto spôsobom sa vyrába napr. blatník nakladných automobilov. [2]

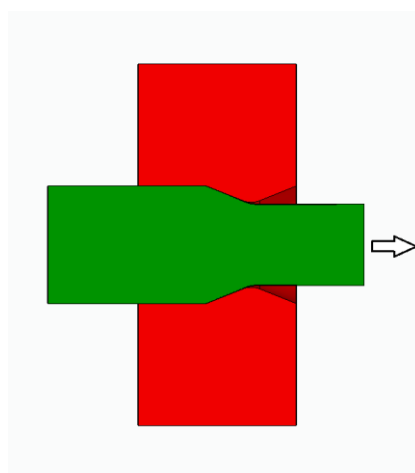


Obr. 10 Schéma pret'ahovania napínaním cez šablónu

1 – šablóna (ťahadlo) , 2 – polotovar, 3 – upínacie čeluste

1.2.9 Objemové ťahanie

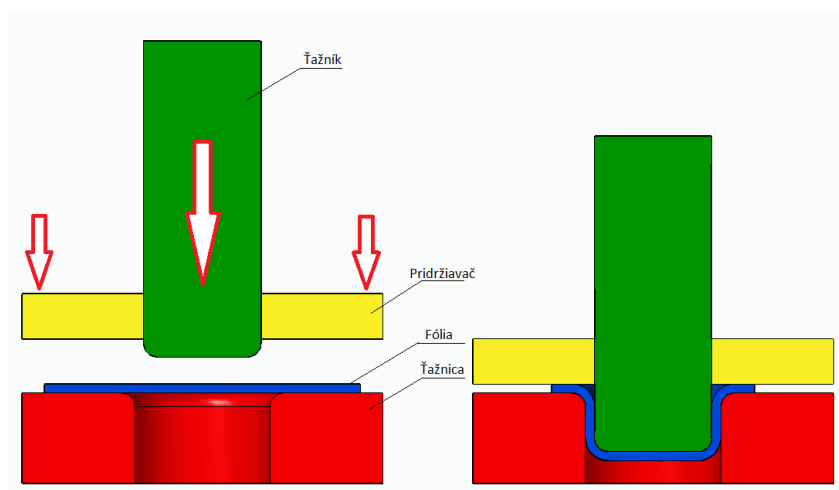
Ťahanie polotovaru cez prievlak za účelom zmenšenia prierezu, prípadne aj zmeny tvaru prierezu. Vo veľkom je tento proces využívaný v oceľiarskom priemysle kde spracovávajú rôzne druhy valcových polotovarov napr. drôtov, tyčí, rúr. Schéma objemového ťahania je uvedená na *Obr. 11*. [2]



Obr. 11 Schéma objemového ťahania

2 ROZBOR PROCESU HLBOKÉHO ŤAHANIA

Hlboké ťahanie je predovšetkým proces formovania plechových a tenkostenných materiálov, pri ktorom je polotovár z plechu radiálne ťahaný do formovacej matrice mechanickými pôsobením ťažníka. Tieto diely zväčša slúžia ako kryty alebo obaly. Základný nástroj pozostáva z troch častí ťažníka, ťažnice a pridržiavača. Proces sa považuje za „hlboký“ ak hĺbka ťahanej časti presahuje jej priemer. To sa dosiahne ťahaním polotovaru sériou matric. Prírubová oblasť (plech v oblasti ramennej oblasti) je zaťažená radiálnym ťažným napätím a tangenciálnym tlakovým napätím v dôsledku pridržiavania materiálu. Toto tlakové napätie (napätie obručou) vedie k zvráskaveniu príruby. Vráskam môžeme predísť použitím pridržiavača, ktorého funkciou je uľahčiť tok kontrolovaného materiálu na rádius matrice. [9]



Obr. 12 Schéma hlbokého ťahania

Celkový rozsah ťahania pozostáva z ideálneho formovacieho zaťaženia a prídavného komponentu na kompenzáciu trenia v kontaktných oblastiach príruby a ohybových síl ako aj nepružných silách na rádiuse matrice. Formovacia záťaž sa prenáša z rádiusu ťažníka cez ťahanú časť steny do oblasti deformácie (príruba plechu). V ťahanej časti steny, ktorá je v kontakte s ťažníkom, je napätie na obruči nulové čím sa dosiahne stav rovinného napätia. V skutočnosti je napätie len približne rovinné. V dôsledku ťahových síl pôsobiacich na časť steny sa vytvára nerovnomerná hrúbka, takže hrúbka steny je najtenšia v mieste kde stena polotovaru stráca kontakt s ťažníkom (na rádiuse ťažníka). [9]

Najtenšie miesto na polotovare určuje maximálne napätie, ktoré sa môže preniesť do deformačnej zóny. Vďaka stálosti objemu materiálu príruha zhrubne a výsledky v kontakte s prídržiačom na vonkajšej hranici skôr ako zvyšnom povrchu. Maximálne napätie ktoré môže byť bezpečne pretransformované z ťažníka na polotovar stanovuje limit maximálnej veľkosti medzery (počiatočný prázdny priemer v prípade rotačne symetrickej súčiastky). Indikátor tvarovateľnosti materiálu je limitný ťahový pomer (LDR), definovaný ako pomer maximálny priemer polotvaru ktorý môže byť bezpečne ťahaný do tvaru „pohára“ bez príruby k priemeru ťažníka. Určenie LDR pre komplexné komponenty je zložité a preto je časť kontrovaná v kritických oblastiach pre ktoré je možná aproximácia. Počas prudkého hlbokého ťahania sa materiál vytvrdzuje a môže byť nevyhnutné žihanie dielov v kontrolnej atmosfére aby sa obnovila pôvodná elasticita materiálu. [9]



Obr. 13 Vzorový príklad postupového formovania súčiastky [19]

Tvárne vlastnosti plechu sú často charakterizované medzným stupňom ťahania, resp. súčiniteľom odstupňovania ťažných operácií, ktorý je pre valcové výtlačky s rovným dnom určený vzťahom:

$$K_{max} = \frac{D_{max}}{d_v} \quad (1)$$

D_{max} - priemer polotvaru (prístrihu) [mm]

d_v - priemer výtlačku [mm]

Hodnoty maximálnych (medzných) stupňov ťahania určujú pre jednotlivé ťažné operácie medzné deformácie. Používajú sa pri návrhu technologického postupu na určenie počtu a odstupňovanie ťažných operácií. Medzné stupne ťahania majú pre jednotlivé ťažné operácie určité hodnoty, ktoré sú funkciou materiálových vlastností, geometrie nástroja a technologických podmienok lisovania. Z ekonomického hľadiska je snaha vyrobiť súčiastku s čo najmenším počtom operácií, preto je potrebné využiť znalosti o plastických vlastnostiach materiálu a vplyve ostatných faktorov na proces ťahania pri jednotlivých ťažných operáciách. [3]

Výška výtlačku pre prvý ťah pri kruhovom výtlačku bez príruby sa určí nasledovne:

$$S_{pol} = \frac{D_0^2 * \pi}{4} \quad (2)$$

$$S_{vyt} = \frac{d_1^2 * \pi}{4} + d_1^2 * \pi * h_1 \quad (3)$$

$$h_1 = \frac{D_0^2 * d_1^2}{4 * d_1} \quad (4)$$

S_{pol} - plocha polotovaru [mm^2]

D_0 - priemer polotovaru [mm]

S_{vyt} - plocha výtlačku [mm^2]

d_1 - priemer výtlačku po prvom ťahu [mm]

h_1 - výška výtlačku po prvom ťahu [mm]

2.1 Medzný stupeň ťahania

Radiálne ťahové napätie narastá pri obyčajnom ťahaní s rastúcou výškou výtlačku. Nakoľko však napätie v mieste prechodu plášťa výtlačku do dna (v nebezpečnom priereze) nesmie prekročiť medzu pevnosti ťahu použitého materiálu, aby nedošlo k porušeniu výtlačku, je pri danom priemere polotovaru obmedzený priemer výtlačku, ktorý sa môže bez porušenia vytriahnuť. Stupeň ťahania v „i-tom“ ťahu K_i teda nesmie prekročiť dovolenú hodnotu stupňa ťahania v „i-tom“ ťahu K_{iD} ktoré sú udané v tabuľkách. [3]

Stupeň ťahania v „i-tom“ ťahu je definovaný nasledovne:

$$K_i = \frac{d_{i-1}}{d_i} \quad (5)$$

kde $i = 1$ až n , n – počet ťahov [-]

d_{i-1} - priemer výťazku v (i-1) ťahu, alebo ak $i = 1$, potom $d_{i-1} = d_0 = D_p$ [mm]

d_i - priemer výťazku v i-tom ťahu [mm]

D_p - priemer polotovaru [mm]

Teda pre prvý ťah ($i = 1$) $K_1 = \frac{d_0}{d_1}$, kde d_1 - priemer výťazku po prvom ťahu, pre 2. ťah ($i = 2$) $K_2 = \frac{d_1}{d_2}$, kde d_2 – priemer výťazku po druhom ťahu atď. [3]

Prevrátená hodnota stupňa ťahania v i-tom ťahu je tzv. súčiniteľ ťahania (alebo aj koeficient ťahania) v i-tom ťahu m_i , ktorý je definovaný nasledovne:

$$m_i = \frac{1}{K_i} = \frac{d_i}{d_{i-1}} \quad (6)$$

pričom musí platiť $m_i \geq m_{iD}$

Kde m_{iD} - dovolení súčiniteľ ťahania v i-tom ťahu [-]

Dovolený (medzný) stupeň ťahania, ako aj dovolený (medzný) súčiniteľ ťahania okrem materiálu závisí od pomernej hrúbky materiálu $\frac{s}{d_0}$, od polomerov zaoblenia ťažnice a ťažníka, od rýchlosti ťahania, spôsobu mazania atď. [3]

2.2 Určenie počtu ťahov, sily a veľkosti polotovaru

2.2.1 Počet ťahov

Na učenie potrebného počtu ťahov na vytiahnutie požadovaného výťazku slúži práve stupeň alebo súčiniteľ ťahania, nakoľko pre celkový stupeň ťahania K_c a celkový súčiniteľ ťahania m_c platia vzťahy:

$$K_c = K_1, K_2, K_3 \dots K_n = \frac{d_0}{d} \quad (7)$$

kde d - priemer konečného (hotového) výťazku [mm]

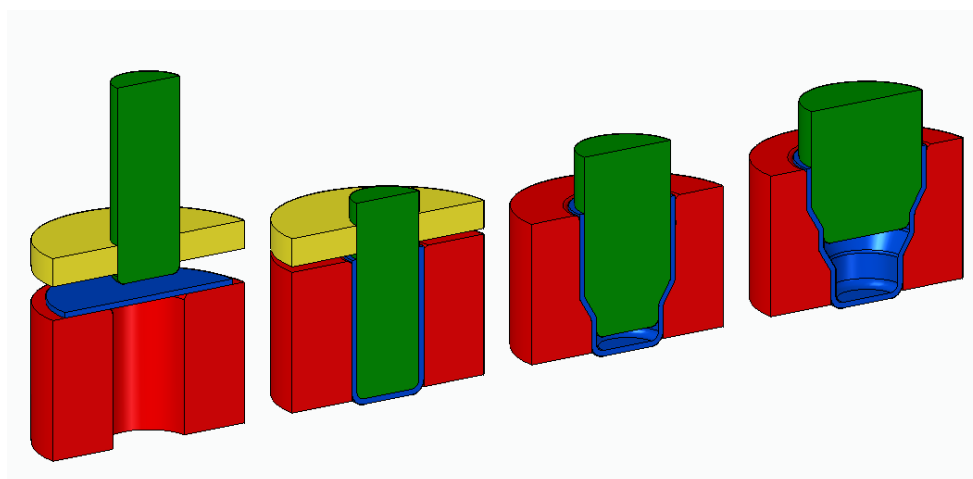
d_0 - priemer polotvaru [mm]

$K_1, K_2, K_3 \dots K_n$ – stupeň ťahania v jednotlivých ťahoch,

$$m_c = m_1 * m_2 * m_3 \dots m_n = \frac{d}{d_0} \quad (8)$$

kde $m_1, m_2, m_3 \dots m_n$ - súčinitele ťahania v jednotlivých ťahoch [-]

Ak je celkový stupeň ťahania na vytiahnutie väčší ako dovolená hodnota stupňa ťahania pre prvý ťah teda $K_c > K_{1D}$, potom sa musí výťazok ťahať na viac ťahov. Pre každý ťah však musí platiť $K_1 > K_{1D}$, $K_2 > K_{2D}$ atď. Pri použití súčiniteľov ťahania musia platiť opačné nerovnosti, teda výťazok sa musí ťahať na viac ťahov, ak $m_c < m_{1D}$ a pre každý ťah musí platiť $m_1 \leq m_{1D}$, $m_2 \leq m_{2D}$ atď. [3]



Obr. 14 Schéma postupového ťahania

2.2.2 Veľkosť polotovaru

Pri určovaní veľkosti polotovaru, najmä pre rotačné ako aj hranaté výťazky, sa vychádza zo zákona konštantnosti objemu. Nakoľko však plechy vykazujú anizotropiu vlastností po vytiahnutí, okraj výťazku nie je rovný, a preto sa k vypočítanému priemeru pripočíta prídavok na odstrihnutie. [3]

Všeobecne pre ťahanie rotačných výtlačkov bez stenčenia steny platí:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \cdot S_{vyt} \quad (9)$$

V prípade ťahania rotačných súčiastok so stenčením steny vychádzame nie z rovnosti plôch ale z rovnosti objemu polotovaru V_P a objemu výtlačku aj s prídavkom na odstrihnutie V . [3]

Polotovar aj s prídavkom na odstrihnutie pri ťahaní so stenčením steny sa určí nasledovne:

$$D_P = \sqrt{\frac{\pi}{4}} \cdot \frac{1,2 \cdot V}{s} \quad (10)$$

Problematika ťahania hranatých výtlačkov je veľmi rozsiahla. Na určenie optimálneho tvaru a rozmerov pre ťahanie zložitejších tvarov sa používajú simulačné programy (Catia, Solid Edge, atď.). [3]

O potrebe pridržiavača rozhoduje materiál, rozmery polotovaru a rozmery výtlačku. Potreba pridržiavača pre prvý ťah sa určí na základe vzťahu medzi pomerom $\frac{d_1}{d_0} \cdot 100$ a hodnotou $U = 50 \cdot \left(C - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{d_0}} \right)$

U – konštanta pridržiavača [-]

C – materiálová konštanta [-]

Ak je $U \geq \frac{d_1}{d_0} \cdot 100$, je potrebné použiť pridržiavač, ak $U < \frac{d_1}{d_0} \cdot 100$ je možné výtlačok ťahať aj bez pridržiavača. [3]

2.2.3 Ťažná sila

Na určenie ťažnej sily F_{TS} sa používajú dve metódy:

- teoreticky – založený na metóde rovníc rovnováhy a podmienok plasticity
- prakticky – založená na približných a empirických vzťahoch

$$F_{TS} = \pi \cdot d_i \cdot s \cdot R_m \cdot k_i \quad (11)$$

3 STROJ A NÁSTROJ PRE ŤAHANIE

Nástroj je umiestnený na tvárniacom stroji – lise. Lis - je mechanický tvárniaci stroj, ktorý slúži k mechanickému spracovaniu a pretvoreniu rôznych produktov tlakom alebo tlakovým rázom. Tento výrobný proces sa nazýva lisovanie.

3.1 Nástroj pre ťahanie

Nástroj na ťahanie sa skladá primárne z troch častí:

- Ťažnica
- Ťažník
- Pridržiavač

Ťažnica je základnou časťou ťahacieho nástroja. Zvyčajne je pevne spojená so spodnou časťou lisu. Od jej parametrov závisí kvalita povrchu výlisku.

Ťažnicu charakterizuje:

- tvar pracovnej plochy
- rádius tvárniacej hrany
- drsnosť
- upevnenie k lisu
- jedno alebo viac-ťahový postup
- tvar a členitosť povrchu

Ťažník (razník) je aktívny prvok, ktorý vykonáva prácu. Je spojený s pohyblivou časťou lisu (často to býva pneumatický alebo hydraulický valec). Postupne vtlačá materiál do ťažnice. Vonkajší priemer je charakteristický tým že je súčasne vnútorným priemerom výťažku. **Pridržiavač** fixuje polotvar a tým umožňuje rovnomerné vťahnutie materiálu do ťažnice. Taktiež zabraňuje vzniku vrások elimináciou tangenciálnych tlakov na okraji polotovaru. [8]

3.2 Stroje pre ťahanie a technologické postupy ťahania

Vývoj technológie tvárnenia sa v posledných desaťročiach 20. storočia zameriava na zvyšovanie výrobnosti, znižovanie potrebných pracovných síl, znižovanie spotreby materiálu, znižovanie spotreby energie, zlepšovanie bezpečnosti práce a hygieny. Poradie týchto aspektov z hľadiska dôležitosti podlieha zmenám v dôsledku vývoja svetových cien a presunov spotreby ľudskej práce v prospech rozvojových krajín a ďalších, predovšetkým politických vplyvov. [7]



Obr. 15 Hydraulický lis

3.2.1 Delenie tvárniacich strojov

Vzhľadom na technologické možnosti môžeme tvárniace stroje deliť na:

- univerzálne
- špecializované
- špeciálne

Univerzálne stroje sú vhodné na uskutočnenie väčšiny technologických operácií danej technologickej triedy.

Špecializované stroje sú určené pre určitý druh technológie, napr. hlboko-ťažné lisy, ohýbacie lisy, kovacie valce a pod.

Špeciálne stroje sú určené len pre určitú technológiu, napr. briketovacie lisy, dierovacie lisy a pod.

Tvárnacie stroje možno charakterizovať aj druhom technologického procesu pre ktorý sú určené:

- tvárnacie stroje pre objemové tvárnenie (za tepla a za studena)
- tvárnacie stroje pre plošné tvárnenie (tvarovanie plechu za tepla a za studena)
- tvárnacie stroje na delenie materiálu (strihanie a lámanie)

Z hľadiska kinematickej stavby tvárnacích strojov ich môžeme rozdeliť podľa rýchlosti pracovných častí stroja v závislosti od pracovného času. Tvárnacie stroje z tohto hľadiska rozdelujeme do šiestich skupín [7]:

- 1) **Mechanické lisy** majú priebeh dráhy v závislosti od času určený kinematickou väzbou pohonu. Najväčšia rýchlosť pracovných častí je do 0,5 m/s. Tieto stroje sa môžu ľahko preťažiť. Pracovný čas mechanických lisov $t_p = 0,01$ až 3s.
- 2) **Buchary** sú tvárnacie stroje, pri ktorých v závislosti od deformačného odporu materiálu mení sa rýchlosť pracovnej časti od maxima do nuly. Maximálna tzv. dotyková rýchlosť je do 20 m/s. Pracovný čas bucharov $t_p = 0,01$ až 0,001 s. Pretvorenie materiálu v bucharoch je na úkor kinematickej energie nazhromaždenej v pohybujúcich sa častiach stroja.
- 3) **Hydraulické lisy** charakterizuje malá rýchlosť barana v_{max} do 0,3 m/s. Pracovný čas $t_p = 0,01$ až 3s. Začiatočná rýchlosť tvárnenia môže byť nulová, alebo ľubovoľná do maximálnej rýchlosti danej pohonom lisu.
- 4) **Tvarovacie stroje** sú stroje na tvarovanie plechu. Ich pohon môže byť mechanický, hydraulický, pneumatický, elektromagnetický a pod. pohyb pracovného mechanizmu môže byť priamočiary alebo rotačný. Sila môže pôsobiť stacionárne alebo nestacionárne. Charakteristické pre ne je konštantná pracovná rýchlosť. ($v = konst.$)

- 5) **Rotačné stroje** sú tvárniace stroje na objemové tvárnenie za tepla aj za studena. Patria k nim kovacie valce, redukovacie stroje a pod. Činný nástroj má konštantnú rýchlosť. ($v = \text{konšt.}$)
- 6) **Impulzné stroje a zariadenia** sú stroje na tvárnenie vysokými rýchlosťami. Pracujú na princípe riadeného výbuchu trhavín, elektródového výboja v kvapaline, impulzného magnetického poľa a horenia plynov. Rýchlosť tlakovej vlny je 300 až 6000 m/s.

Pre ťahanie sa používajú najmä mechanické a hydraulické lisy. Pre ťahanie menej náročných výťažkov sa môžu používať aj univerzálne mechanické (excentrické, kľukové) lisy a hydraulické lisy. Pre náročnejšie výťažky sa používajú mechanické a hydraulické lisy, konštruované pre ťahanie, ktoré sa nazývajú ťažné lisy. [7]

Ťažné lisy sa podľa konštrukcie rozdeľujú na:

- jednočinné – pridržiavač, prípadne vyhadzovač musí byť riešený konštrukciou stroja
- dvojčinné – je možné samostatne ovládať pohyb pridržiavača alebo vyhadzovača
- trojčinné – je možné samostatne ovládať pridržiavač (pridržiavače) a vyhadzovať atď.
- postupové – pre ťahanie v postupových nástrojoch na viac ťahov

Jednotlivé druhy sa líšia najmä ovládaním pridržiavača prípadne vyhadzovača. Pohyb je ovládaný a regulovaný samostatne, preto sa viacčinné lisy používajú pri ťahaní komplexnejších výrobkov. Ich nevýhodou je ale veľká finančná náročnosť. Postupové lisy sa používajú pri ťahaní v postupových nástrojoch na viac ťahov. Pre výrobu jednoduchších súčiastok sa môžu použiť aj univerzálne mechanické alebo hydraulické lisy. [5]

Mechanické ťažné lisy sa oproti bežným univerzálnym excentrickým a kľukovým lisom vyznačujú väčšími zdvihmi, väčším zotrvačníkom a silnejším motorom.

Hydraulické ťažné lisy sa charakterom práce dobre hodia na ťahanie plechov, nakoľko u nich možno plynule riadiť nielen ťažnú, ale najmä pridržiavaciu silu. Nevýhodou hydraulických ťažných lisov je zložitosť hydraulického systému. [7]

3.2.2 Technologické postupy ťahania

Výt'ažky sa môžu ťahať na jeden alebo viac ťahov. Pri ťahaní sa ako polotovary môžu používať jednotlivé prístrihy, pripravené strihaním pásov plechu, tabule plechu, fólie prípadne strihaním zo zvitku, alebo sa pri ťahaní menších výt'ažkov používa ako polotovar priamo pás plechu alebo zvitok a ide o postupové ťahanie z pásu alebo zvitku.

Pri ťahaní z jednotlivých prístrihov sa môžu používať ťažné nástroje (ťahadlá):

- Jednoduché – v tomto prípade sa pre každú operáciu (ťah) použije samostatný nástroj
- Postupové – viac operácií (väčšinou všetky) sa vykonávajú v jednom nástroji, pričom na jednom pracovnom mieste sa vykonáva iba jedna operácia (jeden ťah) na jeden zdvih. t.j. dochádza k prekladaniu polotovarov a jednotlivých medzí výt'ažkov z jedného pracovného miesta na ďalšie
- Zlúčené – na jednom pracovnom mieste sa vykonáva viac operácií (viac ťahov) na jeden zdvih bez prekladania
- Združené – vykonáva sa na jednom alebo viacerých pracovných miestach na jeden zdvih viaceré operácie rôzneho druhu (ťahanie, strihanie, atď.)

Pri postupovom ťahaní z pásu alebo zvitku sa používajú postupové, združené, prípadne aj postupovo-zlúčené nástroje. [7]

4 MECHANICKÉ SPRÁVANIE MATERIÁLOV

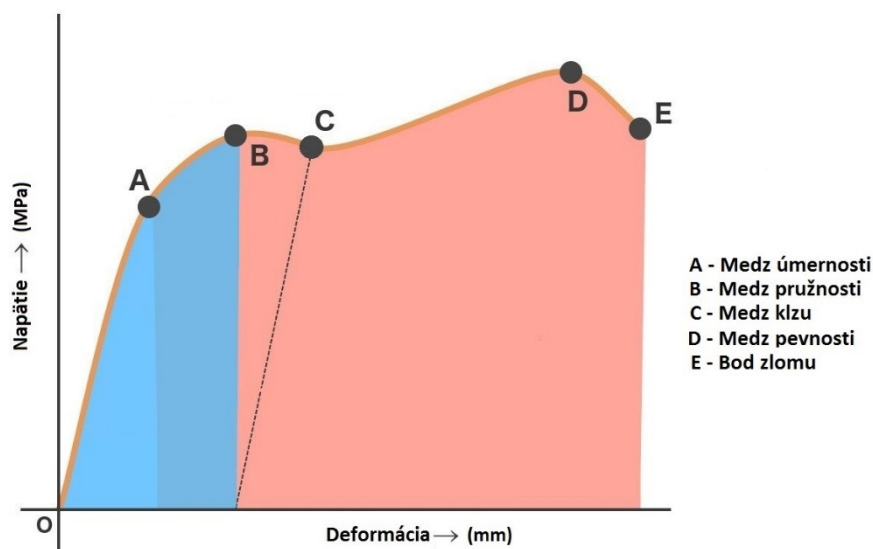
Jedna z najdôležitejších skupín procesov vo výrobe je plastická deformácia. Skupina obsahuje kovanie, valcovanie, extrúziu, ťahanie tyčí a drôtov, a všetky formovacie procesy plechových dielov.

Deformácia kovov je integrálna časť priemyselnej výroby. Napríklad, počas procesu ťahania kusu kovu kedy sa snažíme vyrobiť časť lietadla alebo automobilu je materiál podriadený napätiu. Z toho dôvodu keď je plný kruhový kovový diel vykovany na ozubené koleso je podriadený tlaku.

Sila, tvrdosť, tuhosť, elasticita, plasticita, krehkosť, húževnatosť a poddajnosť sú mechanické vlastnosti používané na meranie správania materiálu pod záťažou. Tieto vlastnosti sú popísané silami a napätiami ktoré materiál musí vydržať a ako týmto silám odoláva. Bežné typy napätí je tlak, ťah, strih, krut alebo kombinácia týchto napätí, ako aj únava materiálu.

Vzťah medzi napätím a namáhaním ktoré materiál ukazuje je známy ako napäťová/námaňová krivka. (Obr. 16) Je unikátna pre každý materiál.

Rozborom napäťovej/námaňovej krivky vieme predpovedať ako sa bude materiál správať. [4]



Obr. 16 Napäťová krivka

Redukcia prierezovej oblasti je daná:

$$\Psi = 1 - \frac{S}{S_0} \quad (12)$$

Šmykové napätie je definované ako:

$$\tau = \frac{F}{S_0} \quad (13)$$

Šmyková deformácia je definovaná ako:

$$\gamma = \frac{a}{b} = \operatorname{tg}\theta \quad (14)$$

Strižné napätie produkuje deformáciu podľa vzťahu:

$$\tau = G * \gamma \quad (15)$$

Mechanické napätie je definované ako pomer vynaloženej sily na plochu:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (16)$$

Poissonov pomer označuje pomer relatívneho predĺženia materiálu k jeho priečnemu skráteniu:

$$\nu = - \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \quad (17)$$

Modul pružnosti v ťahu E, modul pružnosti v šmyku G a Poissonov pomer ν sú definované:

$$E = 2 * G * (1 + \nu) \quad (18)$$

Pomerná deformácia materiálu je pomer predĺženia telesa voči jeho počiatočnej dĺžke:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (19)$$

Lineárny vzťah medzi napätím a deformáciou materiálu je známy ako Hookov zákon:

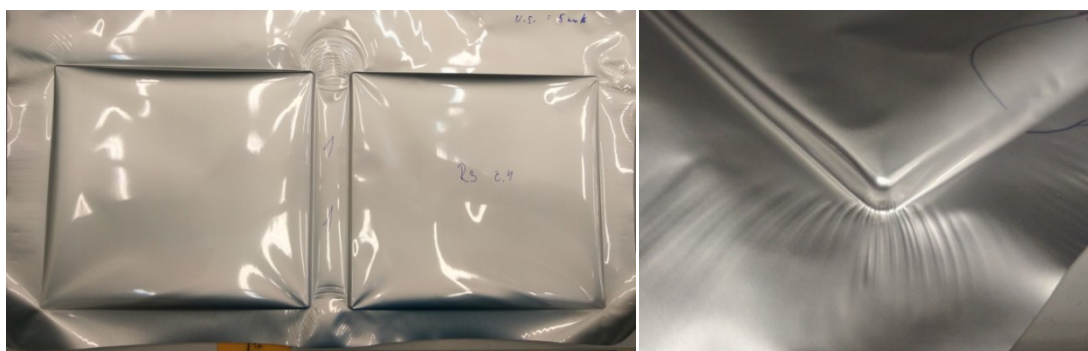
$$\sigma = E * \varepsilon \quad (20)$$

4.1 Nedokonalosti vznikajúce pri hlbokom ťahaní

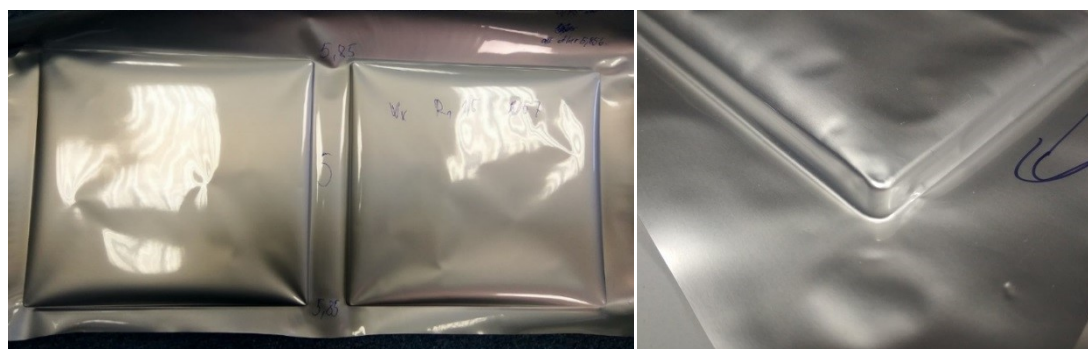
Jedným z primárnych defektov ktoré sa vyskytujú pri operáciách hlbokého ťahania je zvrás-kavenie plechového materiálu, spravidla v stene alebo príruby materiálu. Príruba materiálu podlieha radiálnemu namáhaniu a tangenciálnemu tlakovému namáhaniu počas procesu ťahania čo môže viesť k tvorbe vrások. (Obr. 17) Správnym navrhnutím procesu hlbokého ťahania môžeme predísť tvorbe takýchto nedostatkov. [18]

Faktory ktoré môžu zapríčiniť tvorbu vrások:

- Tlak na pridržiavači plechu alebo fólie
- Hĺbka a rádius dutiny
- Trenie medzi polotovarom, pridržiavačom, ťažníkom a ťažnicou
- Voľa medzi polotovarom, pridržiavačom, ťažníkom a ťažnicou
- Konečná geometria súčiastky
- Rýchlosť ťažníka



Obr. 17 Príklad fólie s povrchovými vadami

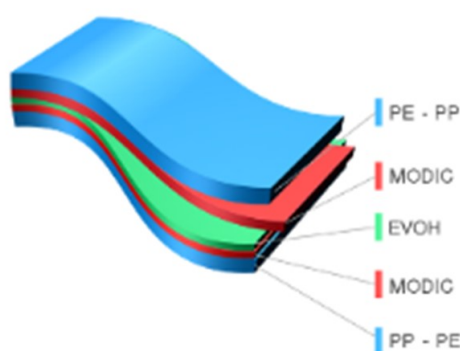


Obr. 18 Príklad fólie po odladení pracovných parametrov

4.2 Definícia viacvrstvovej fólie

Lisovací nástroj produkovaný spoločnosťou Manz a.s. je zameraný výhradne na formovanie viacvrstvovej fólie pre batériové články.

Podľa CPCB (Central Pollution Control Board) sa pod „viacvrstvovým obalom“ rozumie akýkoľvek materiál ktorý sa používa alebo má byť použitý na balenie a ktorý má aspoň jednu hlavnú plastovú vrstvu s jednou alebo viacerými vrstvami tvorenými papierom, kartónom, polymérnymi materiálmi, kovovými materiálmi alebo hliníkovou vrstvou buď vo forme vrstvenej alebo koextrudovanej štruktúry. [17]



Obr. 19 Schéma viacvrstvovej fólie [13]

PE- Polyetylén, PP – Polypropylén, EVOH – etylén vinyl alkohol, MODIC – Mitsubishi chemical performance polymer

Systém viacvrstvovej fólie predstavuje super-izolačný koncept, ktorý je známy už viac ako 30 rokov. Pôvodný návrh bol vyvinutý ako vysoko efektívna izolácia pre kryogénne tankovacie nádoby, súčasne sa používa vo veľkom množstve doplnkových aplikácií, dokonca aj pre teplotné systémy kde teplota dosahuje viac ako 1000 K. [17]

Komerčné využitie super-izolácie pre kryosystémy zvyčajne používa 6 do 12 μm hrubé polyesterové fólie s hliníkovou vrstvou od 5 do 30nm na jednej alebo oboch stranách. Pre aplikácie fólie kde je vyžadovaná vyššia teplota – nad 300 $^{\circ}\text{C}$ sa používa kombinácia pokovovaných polyimidových fólií s rovnakou hrúbkou. Navyše sa pridávajú hliníkové alebo niklové fólie o hrúbke okolo 10 μm . Distančná vrstva vyrobené z rôznych druhov tenkých vla-

kových materiálov (10 až 300 μm) zabraňuje termálnemu kontaktu medzi fóliami. Ako alternatívna sa môžu použiť polyesterové alebo polyamidové fólie bez distančnej vrstvy, pretože pevná vodivosť týchto materiálov ($\lambda = 0,2 \text{ W/m}^*\text{K}$) je oveľa menšia ako pevná vodivosť masívnych kovových fólií ($\lambda=220 \text{ W/m}^*\text{K}$) ktorá značne redukuje bočný prenos tepla. V prípade aplikácie fólií bez distančnej vrstvy, tieto fólie sú buď skrútené alebo odstavajúce z dôvodu poskytnutia koncového kontaktu medzi vrstvami fólie. [17]

Využitie viacvrstvových fólií je obrovské a často sa s ním stretávame v aj v každodennom živote bez toho aby sme si to uvedomovali či už v potravinárskej oblasti vo forme obalov od mlieka, balení pre zubné pasty a rôznych potravín až po stavebný priemysel v podobe izolácií na strechy (Obr. 21). Ovocné šťavy a vína môžu byť uchované po dlhšiu dobu pri izbovej teplote v nádobách tvorených papierom, hliníkovou fóliou a polyetylénovou vrstvou. Tieto obaly sú známe aj po názvom „tetrapack“. Laminovaná fólia s papierom nalepeným na vnútornej strane sa používa na balenie čaju a sladkostí. Tento druh fólie je trikrát vodotesnejší ako štandardná fólia dokonca aj v horúcich klimatických podmienkach: papier absorbuje vlhkosť zatiaľ čo samotná fólia chráni obsah pred inými negatívnymi prvkami. Väčšina spoločnosti uprednostňuje viacvrstvové balenie pretože je ľahké, znižuje objem dopravy, nezaberá veľa priestoru v uskladňovacích priestoroch.



Obr. 20 Príklad využitia viacvrstvovej fólie v potravinárskom priemysle [17]

NASA využíva MLI (multilayer insulation) vo veľkej miere. Tieto materiály si môžeme všimnúť práve v podobe strieborných alebo zlatých fólií ktorými sú potiahnuté satelity. MLI je tvorená z ľahkých reflexných fólií zostavených do jedného celku. Tieto vrstvy sú zvyčajne vyrobené z ľahkých reflexných fólií potiahnutých veľmi tenkými vrstvami hliníka. Presné zloženie závisí od toho, akým podmienkam bude satelit vystavený. Táto izolácia sa používa aj na družiciach predovšetkým na tepelnú reguláciu, chráni jemné palubné prístroje pred extrémnymi teplotami vo vesmíre. V závislosti od svojej dráhy môže byť satelit vystavený teplotám od $-200\text{ }^{\circ}\text{F}$ až po viac ako $300\text{ }^{\circ}\text{F}$. MLI je navrhnutá tak aby odrážala slnečné žiarenie späť do vesmíru a udržiavala prístroje dostatočne chladné. Taktiež plní funkciu izolácie a ako ochrana pred drobnými časticami kozmického odpadu. [14]



Obr. 21 Príklad využitia viacvrstvovej fólie na satelitných zariadeniach [14]

Ich recyklácia a celkový dopad na ekológiu sa v súčasnej dobe dramaticky prejavuje na miere znečistenia. V súčasnosti ani priemysel, ani vláda nenašli vhodnú náhradu / alternatívu pre viacvrstvé balenie, a preto sa niektorí odborníci domnievajú, že úplný zákaz tohto druhu obalov sa môže javiť ako priveľmi drastické rozhodnutie. [17]

Možnosti recyklácie / spracovania plastového odpadu sú všeobecne rozdelené do troch kategórií:

- Primárna recyklácia na rovnaký alebo podobný výrobok
- Sekundárna recyklácia na iný výrobok (zotavenie materiálu)
- Terciárna recyklácia na chemikáliu alebo palivo. Terciárna recyklácia je najvýhodnejšou metódou pre viacvrstvé balenie, pretože oddelenie jednotlivých vrstiev je ťažké a nákladné.

Pyrolýza (tepelná alebo tepelne-katalytická depolymerizácia) a splyňovanie (čiastočné spaľovanie – výroba paliva syngas) sú dve kľúčové technológie, ktoré sa v súčasnosti používajú na terciárnu recykláciu viacvrstvého odpadu z obalov. Konkrétna fólia ktorá bude použitá pri formovacom procese je tvorená vrstvou polypropylénu (PP), polyetylénu (PE) hliníku (Al). Jej využitie je zamerané na balenie pouch batérií. [17]



Obr. 22 Pouch batéria [10]

Pouch batéria (Obr. 22) ponúka veľmi jednoduché, flexibilné a váhovo ľahké riešenie pre dizajn batérií. Na rozdiel od cylindrických alebo prizmatických dosahujú pouch batérie až 90-95% využiteľnosť priestoru vďaka baleniu. Za pozitívum sa považuje odstránenie kovového krytu znižuje váhu ale na druhú stranu článok potrebuje vystuženie a možnosť expan-

dovať v priestore batérie. Pouch batérie sú používané v spotrebiteľských, vojenských a automobilových aplikáciách. Neexistujú štandardizované rozmery článkov preto si každý výrobca navrhuje svoje vlastné. [10]

Tieto články sa vyrábajú dočasným pridaním „plynového vaku“ po stranách. Počas vytvárania pevného elektrolytového rozhrania (SEI) pri prvom nabití plyn uniká do „plynového vaku“. Plynový vak je následne odrezaný a balenie je opätovne uzatvorené ako súčasť dokončovacieho procesu. Vytvárania pevného SEI je kľúčové k dobrému formátovaciemu procesu. Následné zaťaženia by mali produkovať len minimálne plyny, avšak generovaniu plynu, tiež známe ako „gassing“ (*Obr. 23*) sa nedá úplne vyhnúť. Je to spôsobené elektrolytickým rozkladom ako súčasť používania a opotrebenia. Napätie, ako je nabíjanie a prehriatie podporuje tvorbu plynov. Táto kumulácia plynov môže spôsobiť nafúknutie obsahu batérie čo naznačuje nutnosť jej výmeny. V opačnom prípade by mohlo dôjsť k prerušeniu celistvosti obalu, explózií a vznieteniu. [10]



Obr. 23 Príklad batérie deformovanej procesom – gassing [10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

CIEĽ

Cieľom práce je návrh nového lisovacieho nástroja pre tvarovanie viacvrstvovej fólie pre lithium-ion pouch batérie na základe teoretických poznatkov a skúseností s predošlým konceptom. Súčasťou cieľa je odstránenie nedostatkov predošlého riešenia a zvýšenie variability nastavovania nástroja pre docielenie vyššej kvality a produktivity pri výrobe.

Produkčná spoločnosť - Manz Slovakia, s.r.o.

Lis je konštruovaný spoločnosťou Manz Slovakia, s.r.o (*Obr. 24*). Táto spoločnosť sa zaoberá inovatívnymi riešeniami v oblasti robotiky, laserových technológií, metalizácie, mokrých procesov a systémov pohonov. S takmer 30 ročnými skúsenosťami je Manz lídrom v produkcii integrovaných systémov pre výrobu litium-ionových článkov/batérií a solárnych panelov. So sídlom v Nemecku a dcérskymi spoločnosťami po celom svete, Slovensku, Maďarsku, Taliansku, Číne a Taiwane zamestnáva okolo 1700 ľudí s obratom približne 325 miliónov eur. Každá z týchto dcérskych spoločností je zameraná na určitý druh výroby, ktoré sa navzájom môžu dopĺňovať a vytvárať tak funkčný celok v podobe linky pre výrobu batérií. [12]



Obr. 24 Sídlom spoločnosti Manz a.s. v Nemecku [12]

Modelovací software - Solid Edge

Spoločnosť Manz a.s. globálne využíva pre konštrukčný návrh 3D CAD software Solid Edge (Obr. 25). Jedná sa o veľmi populárny modelovací CAD systém vyvinutý spoločnosťou Siemens PLM Software. Obsahuje širokú škálu nástrojov pre 3D modelovanie či už synchronou alebo parametrickou metódou pre plné a plechové diely, možnosť tepelnej alebo záťažovej analýzy a simulácií súčiastok alebo celých zostáv, MKP výpočty, strojársku knižnicu súčiastok, modul pre rámové a potrubné systémy, nástroje pre 3D tlač a vytváranie výkresovej dokumentácie. Jeho hlavnými prednosťami je jednoduchá obsluha, nižšia cena v porovnaní s konkurenciou a malá náročnosť na hardwarové vybavenie. [15]



Obr. 25 Pracovné rozhranie programu Solid Edge [15]

5 FUKCIA A STAVBA

Lisovacie zariadenie je nadizajnované tak že hlavný pohyb nástroja a ťažníkov vykonávajú elektromotory. Následný prítlak je v prvotnej verzii vyvíjaný mechanicky – pružinami, po úprave je to kombinácia mechanického prítlaku s pneumatickým.

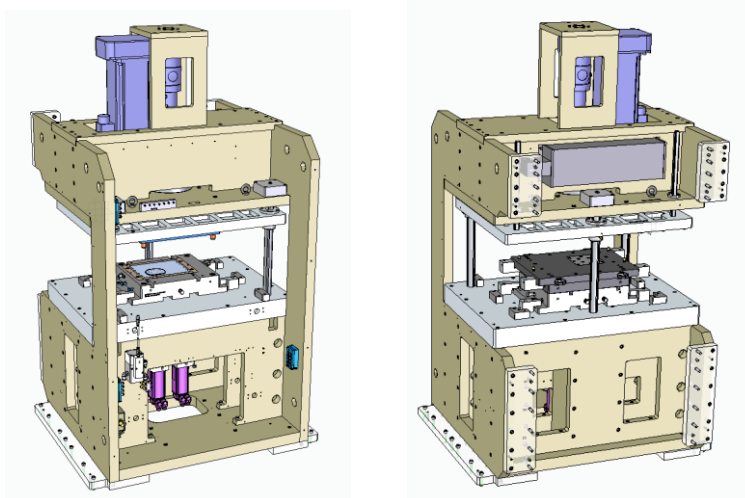
5.1 Funkcia lisu

Celý proces formovania fólie pre pouch batérie začína v zásobníku, kde je fólia odmotávaná navijakom, vedená sériou napínacích valcov a predbežne vyrezaná v strihacom zariadení. Následne je privádzaná do lisu (nástroja na hlboké ťahanie) systémom lineárneho vákuového podávania. Po dopravení fólie do lisu nasleduje formovacia časť. Po vyformovaní je fólia znova odobraná vákuovým podávačom a smeruje k ďalšiemu spracovaniu, ako je vloženie tela batérie, zváranie, nabíjanie atď.

5.2 Stavba lisu

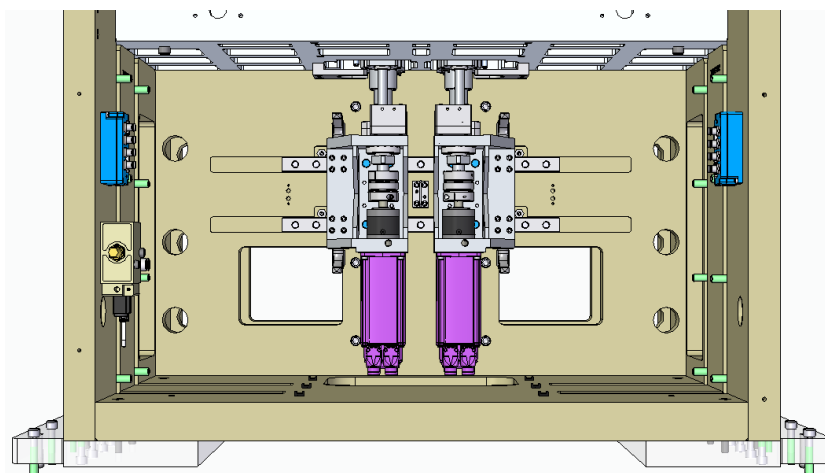
Lis je primárne tvorený:

- pevným rámom
- pohonom
- horným nástrojom
- prítlačnou doskou
- spodným nástrojom



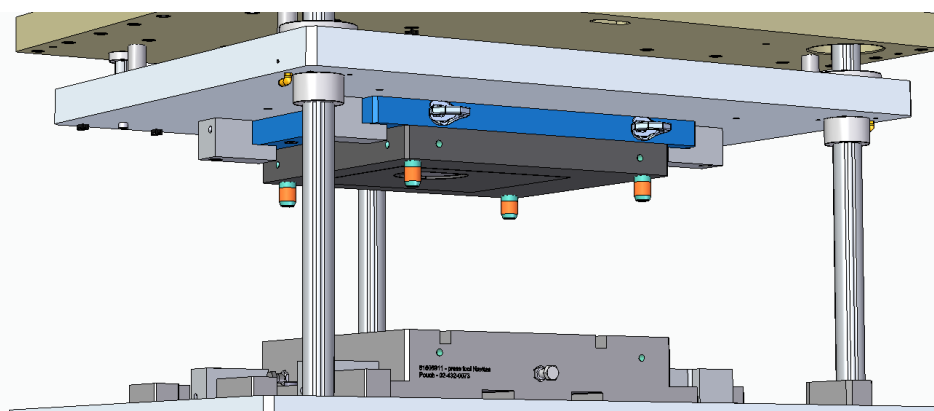
Obr. 26 Kompletné lisovacie zariadenie bez opláštenia

Na dolnej strane nástroja sú umiestnené ťažníky, ktoré sú poháňané dvojicou servomotorov (Obr. 27). Motory s príslušenstvom a držiakom sú uložené na lineárnych vedeniach kvôli možnosti nastavenia polohy v horizontálnom X-ovom smere. Krútiaci moment je cez spojku prenášaný na skrutkový hriadeľ, pohyb nám fixuje pár vertikálne uložených hriadeľov. Ťažníky sú následne vysúvané konštantnou rýchlosťou vertikálne v smere Z-ovej osy.



Obr. 27 Servomotory s uložením pre pohon ťažníkov

Vrchná časť nástroja sa nachádza v hornej lisovacej doske. Tá je upevnená na servomotore a vedená pomocou trojice drážkovaných hriadeľi. Horná strana lisu obsahuje pneumatické valce, ktoré sú umiestnené okolo dutiny. Tieto valce definujú tlak na fóliu, sú riadené proporcionálnymi ventilmi – tento komponent je detailnejšie popísaný v dizajbovej časti.



Obr. 28 Uloženie hornej a spodnej časti nástroja v lise

Ideálne vycentrovanie hornej a spodnej platne je zabezpečené štvoricou centrálnych pinov umiestnených v hornej časti nástroja. (Obr. 28)

Výlisok je z predbežne narezanej fólie vytvorený v nasledujúcich výrobných krokoch:

- 1) Horná doska na lisovanie nástroja sa posunie do pracovnej polohy. Spodná nástrojová kontrastná doska je aktivovaná, aby poskytla potrebný tlak na stlačenie fólie.
- 2) Akonáhle je materiál podržaný servomotorom, spodný nástroj – ťažník sa pohybuje smerom hore – formovanie výrobku za studena.
- 3) Na konci cyklu sa horná prítlačná doska nástroja vráti do pôvodnej polohy, aby bolo možné aktivovať odoberaciu jednotku „Pick and Place“ na vytiahnutie vyformovaného výťažku. Spodný nástroj - ťažník zostáva v hornej polohe, zatiaľ čo odoberacia jednotka preberá výťažok, aby umožnila zarovnanie.
- 4) Akonáhle je vytvorený výťažok držaný pomocou odoberacej jednotky, spodná nástrojová doska a ťažník sa vrátia do počiatočnej polohy.

6 DIZAJN NÁSTROJA

Návrh nástroja pre lisovanie je zložitý proces, pri ktorom konštruktér musí zohľadňovať veľa aspektov ktoré vstupujú do procesu. Tie môžu byť rôzneho charakteru či už výrobného alebo ekonomického.

Proces návrhu prebiehal nasledovne:

- **Vstupné informácie** - konštruktér obdrží od zákazníka vstupné informácie, ktoré obsahujú tvar výrobku a materiál, z ktorého bude vyhotovený (antikorózný plech, fólia, atď.) Samozrejme aj celkový rozpočet vyhradený pre konkrétny projekt, to musí zohľadniť pri voľbe materiálu, opracovania, atď.
- **Návrh ťažníku a ťažnice** – na základe týchto informácií je následne vyhotovený v CAD-software (v našom prípade bol použitý Solid Edge) model tvárnice a tvárniku, ktorý obsahuje opozitný tvar výrobku. Tie musia byť dokonale prebrúsené a zhotovené z odolných materiálov. Vzhľadom nato že tieto súčiastky sú najviac namáhané používajú sa rôzne druhy povrchových úprav. Pri procese dochádza k rázovému namáhaniu tlakom, adhéznemu opotrebeniu atď.
- **Opozitný tvárnik** - tvar výrobku – batérie určuje, či bude v nástroji využitý aj opozitný tvárnik. V prípade, že sa jedná o komplikovanejšiu tvarovú batériu, využíva sa varianta s opozitným tvárnikom, ktorá nám umožní vytvoriť aj viacstupňové obaly. Zároveň slúži na vytlačenie prebytočného vzduchu, ktorý by mohol zostať v priestore medzi ťažníkom a materiálom. Tento vzduch by pri sa pri vysunutí ťažníku mohol stlačiť a zdeformovať, prípadne pretrhnúť materiál. V prípade, že sa jedná o jednoduchý tvar fólie, využijeme variantu, pri ktorej sa ťažník vysúva do voľného priestoru a prebytočný vzduch medzi materiálom a ťažníkom odvádzame odvodušňovacími kanálikmi.
- **Prítlačná platňa** - zložitost' výrobku – batérie nám taktiež ovplyvňuje využitie prítlačnej platne. Tá sa využíva pri rozmernejších a komplikovanejších výrobkoch pre fixovanie a zlepšenie ťahania materiálu po tvárnej hrane. Konštruktér musí nadimenzovať prítlačnú platňu a pohon tak, aby vyvinula dostatočný tlak na pridržanie fólie.

- **Vlastnosti materiálu** - materiál vybraný zákazníkom spĺňa vlastnosti, ktoré sú nevyhnuté pre správnu funkciu a životnosť výrobku. S týmito rôznorodými vlastnosťami musí počítať aj konštruktér pri návrhu nástroja. Ten musí v nástroji zohľadniť pružnosť, pevnosť, krehkosť, húževnatosť atď. Často sa nástroj dodatočne upravuje po vykonaní potrebných pevnostných testov.
- **Upínacie platne** – konečnou časťou, ktorá sa modeluje, sú upínacie platne, na ktorých máme nástroj uložený. Musia byť dostatočne tuhé, aby sa pôsobením tlakov a záťaže nedeformovali.

6.1 Prvotný dizajn

Tento nástroj bol navrhnutý pre zákazníka zaoberajúcim sa výrobou menších lítium-iónových batérií do riadených striel vzduch-zem.

6.1.1 Stavba a nástroja

Nástroj sa skladá z dvoch skupín a to:

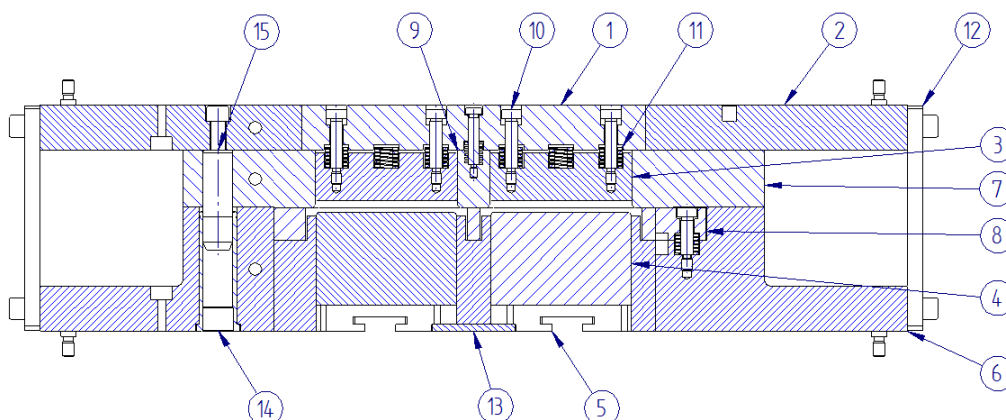
- Horná časť nástroja
- Spodná časť nástroja

Horná časť nástroja

Táto časť sa vyznačuje pohyblivosťou. (Obr. 29) Je tvorená štyrmi komponentami, pružným (11), spojovacím materiálom (10) a vodiacim čapom (15). Základom je horná upínacia platňa (2), slúžiaca pre upevnenie hornej časti nástroja do lisu. V nej je vsadená menšia pomocná tvarníková platňa (1), ktorej funkciou je uľahčiť prístup k dvojici opozitných tvárnikov (3) v prípade, že by bolo nutné ich vymeniť alebo vymeniť ich odpruženie. Opozitné tvárniky sú vsadené do hornej prítlačnej platne (7), ktorá je taktiež pripevnená o hornú upínaciu platňu.

Spodná časť nástroja

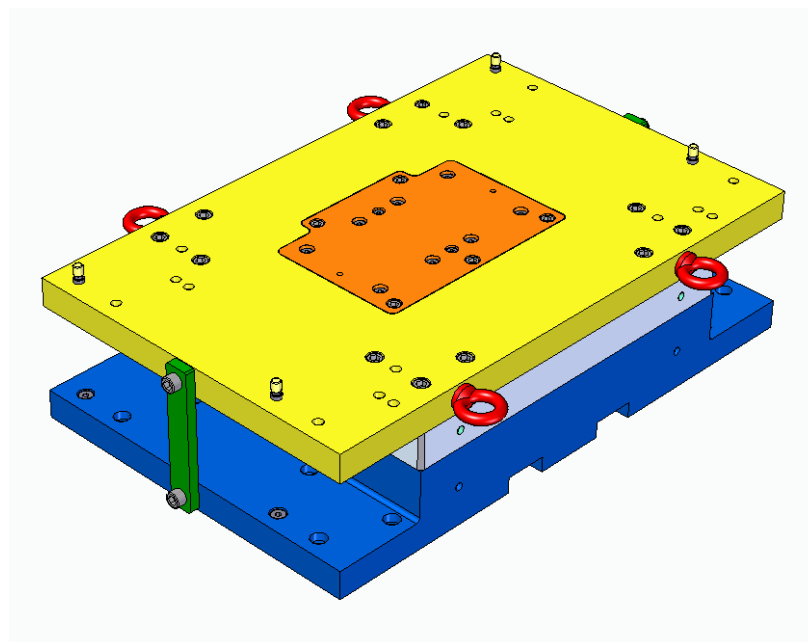
Spodná časť (Obr. 29) je statická a tvorená zhodne štvoricou komponentov, pružným a spojovacím materiálom. Spodná upínacia platňa (6) je prichytená na lis. V nej je vsadená spodná prítlačná platňa (8). Spolu s hornou prítlača a fixuje fóliu. Za najdôležitejšiu časť môžeme považovať ťažníky (4) ktoré sú vyhotovené v tvare batérie. Vedené sú pomocou držiakov s T drážkou (5). Súčasťou sú aj prevozné platne (13,12) ktoré slúžia na zafixovanie nástroja vcelku pri montážnych prácach alebo prevoze a vodiace puzdro (14).



Obr. 29 Rez starým nástrojom

6.1.2 Nedostatky prvotného dizajnu

Nevýhoda tohoto dizajnu tkvie vo veľmi obťažnej regulácii prítlačnej sily. Proces nastavovania hlbokého ťahania viacvrstvovej fólie, ktorý je sám o sebe zdĺhavý, zahŕňa individuálne doladenie tejto sily v jednotlivých miestach formovacieho nástroja. K najväčšej deformácii fólie dochádza práve na okrajoch tvarovacích ťažníkov. Čím je rádius na hranách menší, tým je deformácia väčšia. V prípade, že je prítlačná sila malá, môže to mať za následok vznik nežiaducich vrások a naopak v prípade, že by bola sila priveľká, dôjde k prekročeniu medze pevnosti jedného z materiálov, ktoré tvoria fóliu a vznikne trhlina.



Obr. 30 Náhľad na starý nástroj

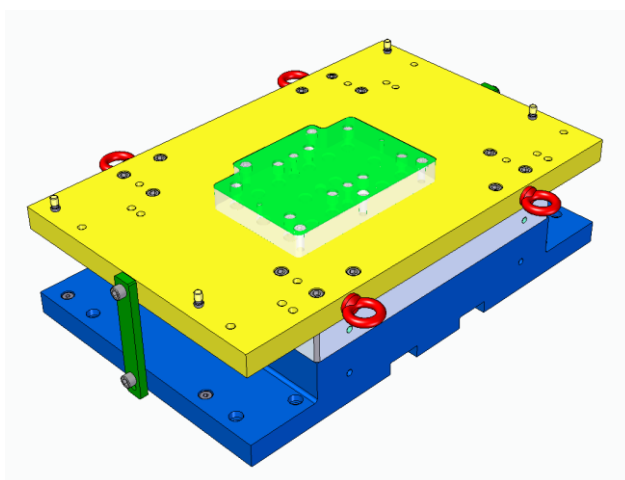
Ladenie si vyžaduje desiatky pokusov, neustálu výmenu pružín v jednotlivých miestach, ich kombináciu atď. Demontáž spodnej prítlačnej platne, pod ktorou sú pružiny uložené, nám túto výmenu značne spomaľuje. Takého manipulovanie s nástrojom môže predĺžiť proces ladenia až na niekoľko dní. Našou prioritou je čas eliminovať či už pre zníženie nákladov, alebo zvýšenie efektivity práce. Sekundárnym problémom, s ktorým sa stretávame, sú samotné pružiny. Je pevne daný maximálny priemer a hĺbka diery. Kusová výroba pružín na zákazku by bola finančne neefektívna a preto musíme pracovať s normalizovanými dielmi, ktoré nastavovanie do určitej miery limitujú.

6.2 Nový dizajn

Tento návrh nástroja bol určený pre nového zákazníka ktorý sa orientuje v automobilovom priemysle. Požadovaná batéria musí mať väčšiu kapacitu čiže aj väčší rozmer. Z toho dôvodu museli byť upravené rozmery všetkých komponentov, niektoré museli byť odstránené alebo nahradené inou variantnou.

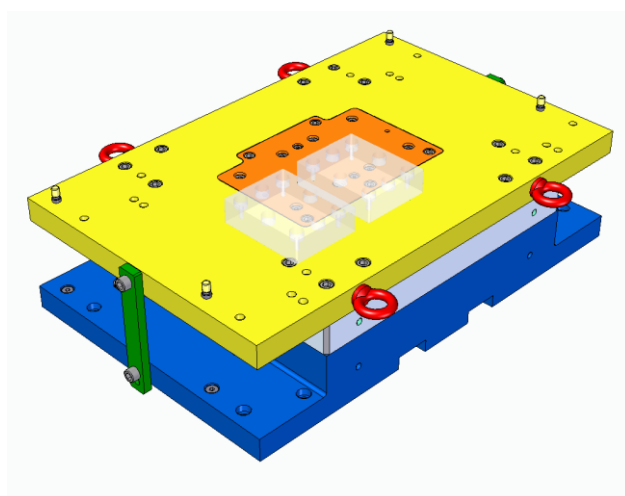
6.2.1 Odstránenie nepotrebných/nahradených dielov

Odstránenie pomocnej tvárnikovej platne spoločne s pružinovým prítlačným systémom z dôvodu náhrady mechanického prítlaku pružín novým pneumatickým systémom. (*Obr. 31*)



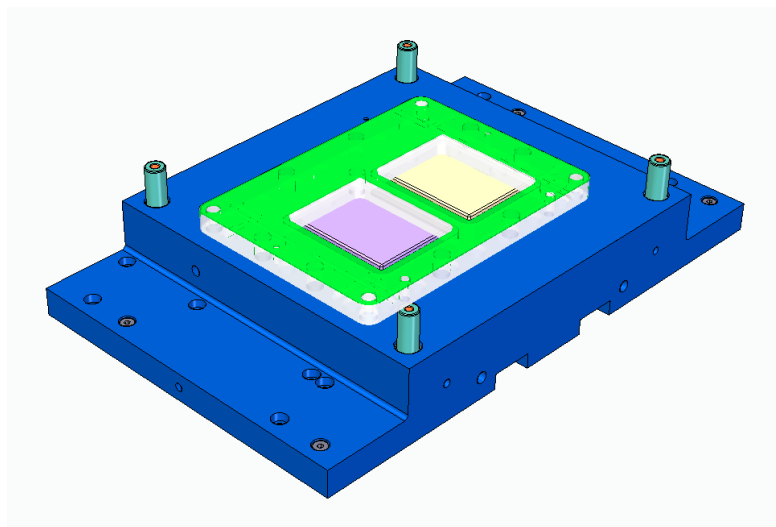
Obr. 31 Náhľad na pomocnú tvárniková platňu

Odstránenie dvojice opozitných tvárnikov z dôvodu nepotrebnosti nakoľko v novom prevedení bude nástroj fungovať iba so spoznými ťažníkmi ktoré budú vtlačané do voľného priestoru. (*Obr. 32*)



Obr. 32 Náhľad na opozitné tvárniky

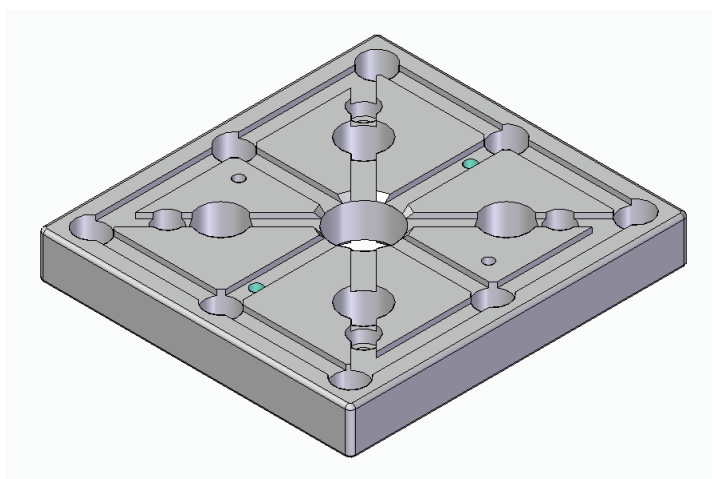
Odstránenie spodnej prítlačnej platne s pružinovým prítlačným systémom z rovnakého dôvodu ako horného a to výmena prítlačného systému. (Obr. 33)



Obr. 33 Náhľad na spodnú prítlačnú platňu

6.2.2 Ťažníky

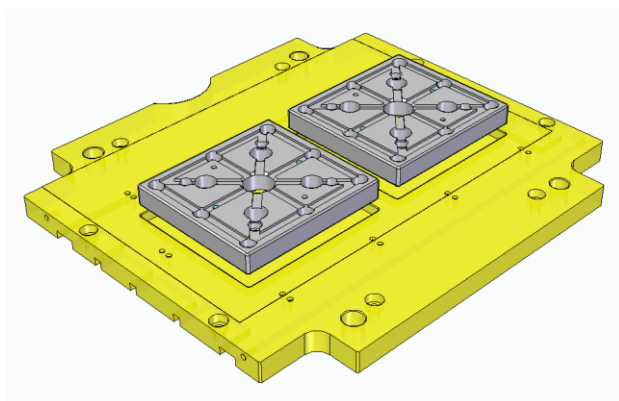
Starý dizajn obsahoval dvojicu opozitných tvárnikov, ktoré napomáhali pri formovaní fólie. Vzhľadom na jednoduchý tvar batérie ich zachovanie nebolo potrebné. Po ich odstránení nám vznikol problém s nahromadeným vzduchom medzi ťažníkom a fóliou. Preto bolo potrebné vyfrézovanie do ťažníka odvodušňovacie kanály. (Obr. 34)



Obr. 34 Ťažník s odvodušňovacími kanálmi

6.2.3 Horná prítlačná platňa

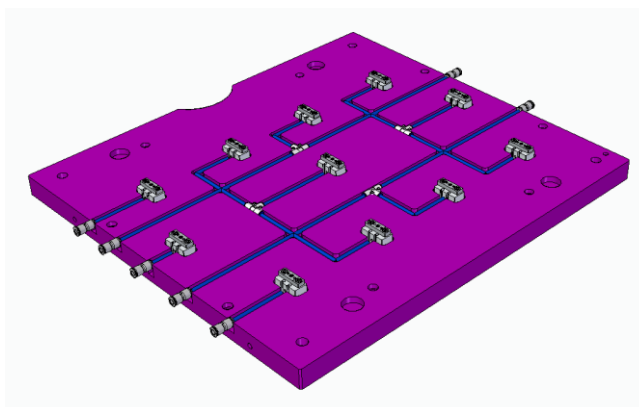
Odstránenie opozitných tvárnikov sme kompenzovali upravením hornej prítlačnej platne (Obr. 35) kde sme vyfrézovali dutinu v tvare vonkajších rozmerov batérie a otvoru pre od-vzdušnenie. V mieste prítlaku a na rádiuse je táto platňa brúsená pre dosiahnutie čo najmenšej trecej sily medzi polotovarom a stykovými plochami.



Obr. 35 Prítlačná platňa s ťažníkmi

6.2.4 Pneumatický prítlak

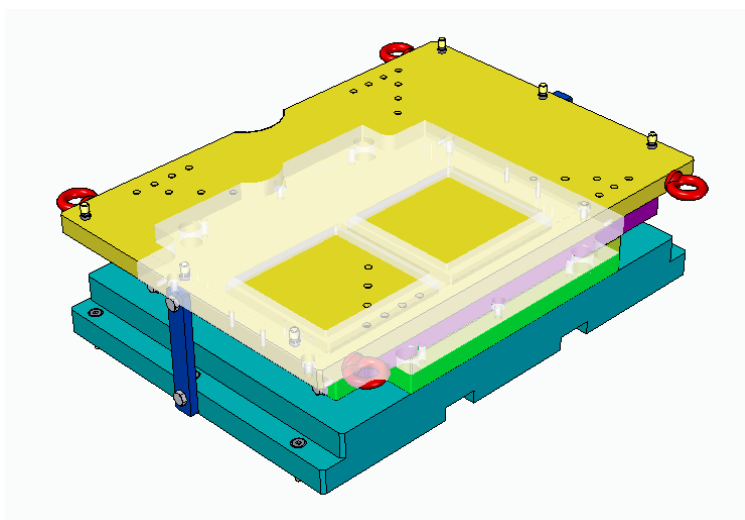
Ako veľmi dôležitý faktor pre odstránenie vrások na fólií sa ukázalo správne rozloženie sily pôsobiacej skrz prítlačnú platňu na plochu fólie. Preto sme pridali možnosť regulovať prítlak pomocou pneumatických valcov uložených v hornej časti nástroja (Obr. 36). Pre zakomponovanie tohto systému nám v hornej časti pribudla platňa na uchytenie a vedenie pneumatických rozvodov. Po pritlačení horného nástroja privedieme do pneumatických valcov vzduch a prítlak rozložíme po celom povrchu. Tento tlak môžeme upravovať pomocou pneumatických regulačných ventilov.



Obr. 36 Rozloženie pneumatických válov

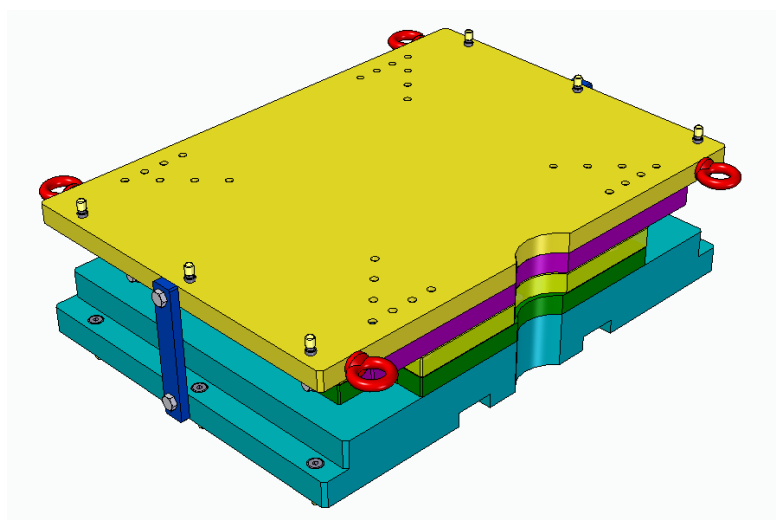
6.2.5 Spodná prítlačná platňa

V predchádzajúcom prevedení bol spodná prítlačná platňa integrovaná v upínacej platni. Od tohto riešenia bolo upustené, zvolili sme klasické upevnenie na upínaciu platňu. (Obr. 37) Dôvodom sú väčšie rozmery batérie, zníženia nákladov na opracovanie. Táto platňa je podobne ako horná na stykových plochách s polotovarom zrkadlovo brúsená.

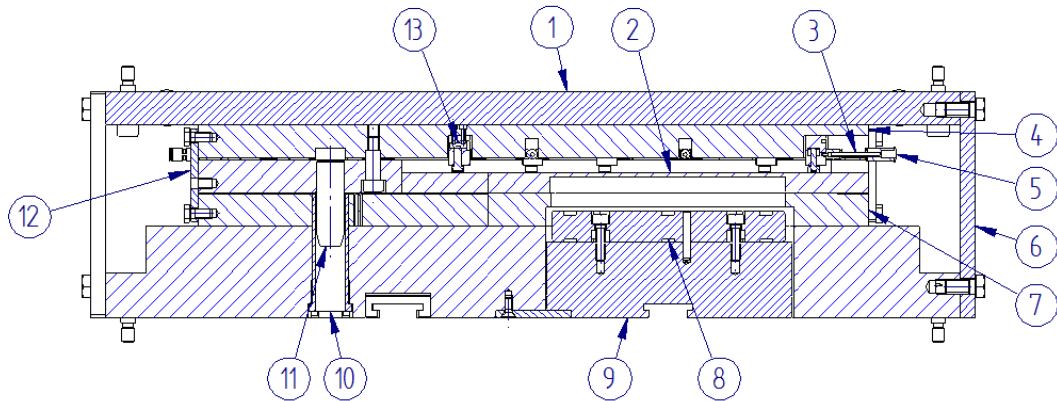


Obr. 37 Nová prítlačná platňa

Po implementovaní týchto zmien je nástroj pripravený na odskúšanie. Výhodou oproti predchádzajúcemu riešeniu je, že pri menšom doladovaní prítlaku nie je potrebné nástroj rozobrať a meniť pružiny, čím sa šetrí čas pri testovaní. Samozrejme došlo aj k zvýšeniu maximálnej možnej prítlačnej sily, každý z kompaktných pneumatických valcov je schopný vyvinúť maximálnu silu 68 N.



Obr. 38 Náhľad na nový nástroj

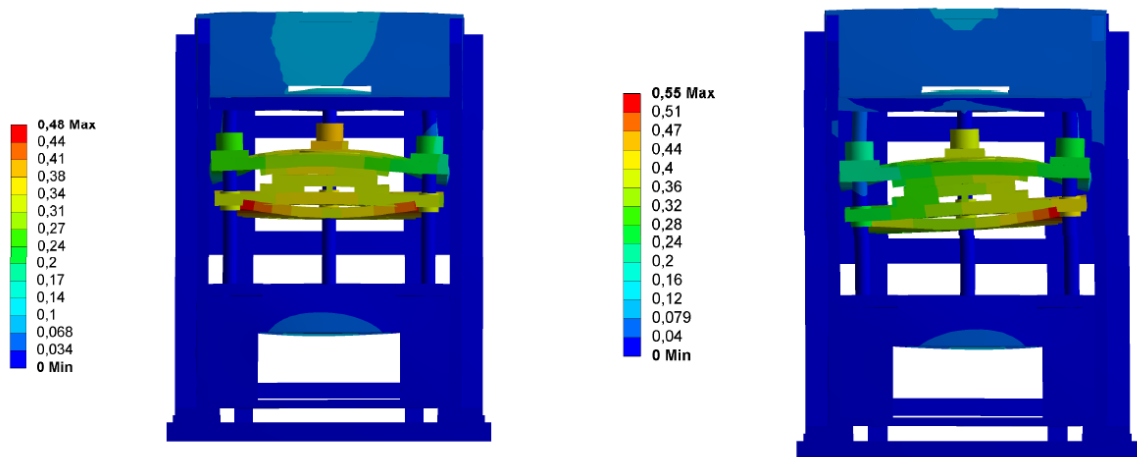


Obr. 39 Rez novým nástrojom

1) Horná upínacia platňa, 2) Horná prítlačná platňa, 3) Pneumatické rozvody, 4) Platňa s pneumatikami 5) Pneumatická rýchlo-spojka, 6) Rozperná platnička, 7) Spodná prítlačná platňa, 8) Ťažník, 9) Vedenie ťažníkov, 10) Vodiace puzdro, 11) Vodiaci čap, 12) Rozperná platnička, 13) Pneumatický valec

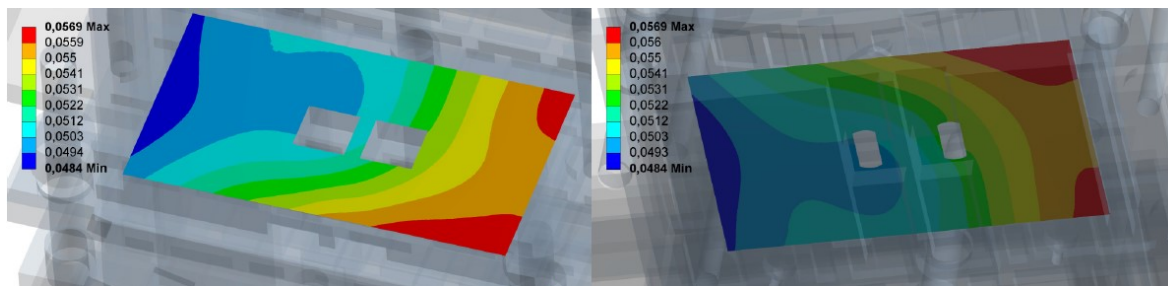
6.3 Deformačná analýza nástroja

Lisovací stroj a nástroj počas fungovania podlieha veľkým namáhaniam, primárne tlakové zaťaženia, ktoré môžu mať značne negatívne účinky na jeho životnosť. Preto je vhodné pred začatím výroby a uvedenia do praxe vykonať deformačnú analýzu lisu a nástroja.



Obr. 40 Deformačná analýza lisovacieho zariadenia

Po vyhotovení analýzy lisovacieho zariadenia (Obr. 40) sme zistili že pri maximálnom zaťažení vyvolanom horným servomotorom vznikne na nosných platniach priehyb max. 0,048 mm. V prípade že by sme mali pevný prítlak a nie pomocou odpružených elementov mohla by táto deformácia ovplyvniť rozloženie sily na prítlačných platniach (Obr. 41).

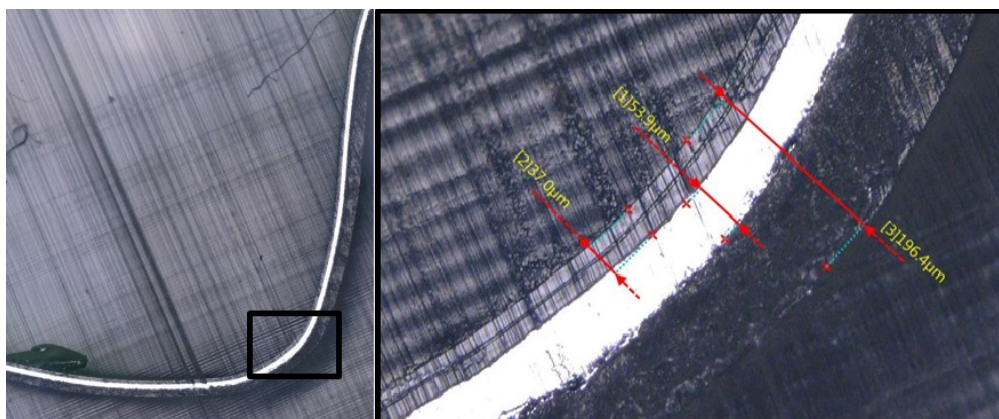


Obr. 41 Simulácia rozloženia sily na pevnom prítlačku

Kontrolu ťažníkov nie je potrebné vykonávať vzhľadom nato že tlak ktorý je na ne vyvíjaný pri procese hlbokého ťahania je minimálny resp. je to odpor formovaného materiálu. Ťažníky sú vysúvané buď do prázdneho priestoru alebo do odpružených tvárnikov.

6.4 Analýza viacvrstvovej fólie

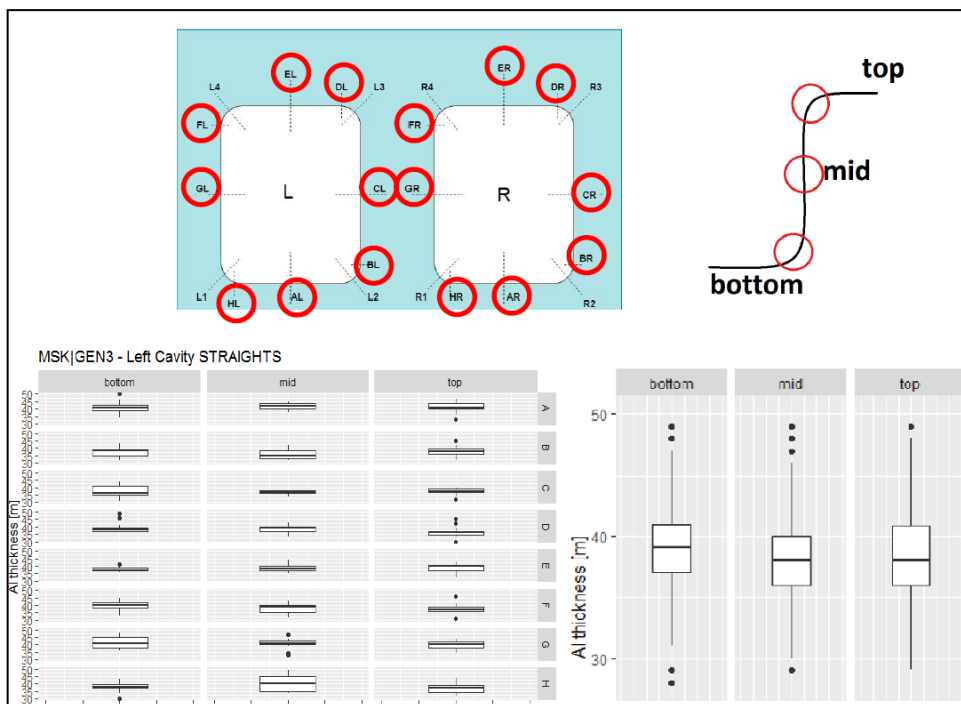
Analýza tvárnenia sa vykonáva pre zistenie praktických poznatkov správania sa viacvrstvovej fólie pod zaťažением v konkrétnych podmienkach. Preskúmaním výsledkov nám pomôže stanoviť ideálne parametre pre formovanie.



Obr. 42 Snímka fólie pod 3D mikroskopom

Skúška bola vykonaná na 1050 pokusných vzorkách (počet vzoriek bol definovaný na základe cyklov stroja, prestojov, počte vyrobených kusov za pracovnú smenu a kvality), vďaka čomu sme získali relevantné hodnoty a eliminovali prípadné nedostatky zdrojov neistoty merania. Fóliu sme podrobili pôsobeniu tlakovej záťaže na lisovacom zariadení. Na najviac namáhaných miestach boli vykonané rezy (bottom, middle, top) a zaliate do živice pre zlepšenie stability pri meraní. Po vytuhnutí v živici boli vzorky prebrúsené a detailne analyzované pod 3D mikroskopom VHX5000 (Obr. 42). Skúmali sme kritické stenčenie fólie.

Pri meraní bol kladený dôraz na kontrolu 3 základných vrstiev fólie a to polyetylénová, polypropylénová a hliníková. Plastové vrstvy PE a PP vytvárajú pevný a pritom flexibilný obal zatiaľ čo hliníková vrstva slúži na výstuž a formovanie. V prípade kritického stenčenia tejto vrstvy môžu vznikať mikrotrhliny, ktoré majú negatívny dopad na bezpečnosť článku. Toto poškodenie by mohlo mať fatálne následky. Kontakt lítia v batérii s vonkajším prostredím by spôsobil prudkú horľavú až výbušnú reakciu.

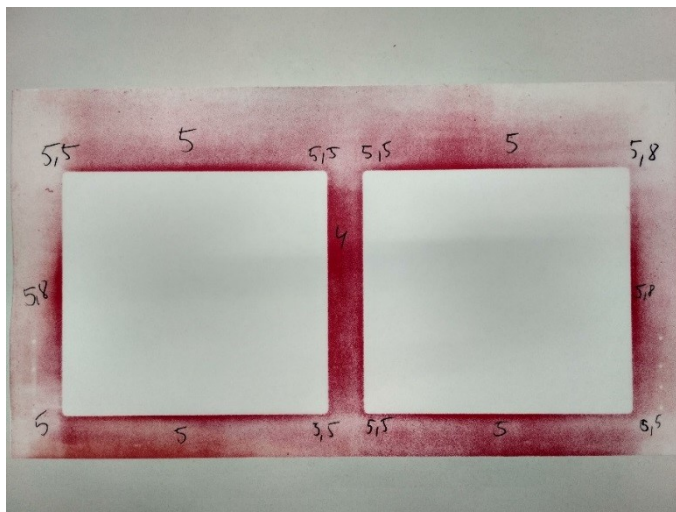


Obr. 43 Analýza stenčenia viacvrstvovej fólie

Vpravo dole na Obr. 43 môžeme vidieť hodnoty namerané vo vyšetrovaných miestach, vodorovná čierna čiara zobrazuje modus merania. Najlepšie výsledky sme dosiahli pri použití formovacej sily cca 6000 N v krajných oblastiach L1-4/R1-4 a cca 5500 N v stredných oblastiach pôsobenia prítlaku EL/CL. Pri tejto sile bol zaznamenaný najmenší výskyt nedokonalostí – vrások a súčasne nedochádzalo k nehomogénemu rozloženiu hrúbky materiálu a nedochádzalo ku kritickej, plastickej deformácii hliníkovej vrstvy.

6.4.1 Tlakový test

Pre vyhodnotenie kontroly účinnosti prítlaku pneumatických valcov sa používa skúška two-sheet tlakovou fóliou. Táto fólia sa skladá z dvoch častí. Jedná sa o priehľadnú fóliu ktorú uložíme do nástroja ako prvú a následne na ňu nanášame druhú fóliu ktorá obsahuje červený pigment. Po pritlačení sa pigment z hornej fólie uvoľní a na priehľadnej fólii nám zanechá viditeľné znaky. Na *Obr. 44* môžeme vidieť rozloženie prítlačnej sily pôsobiacej na fóliu.

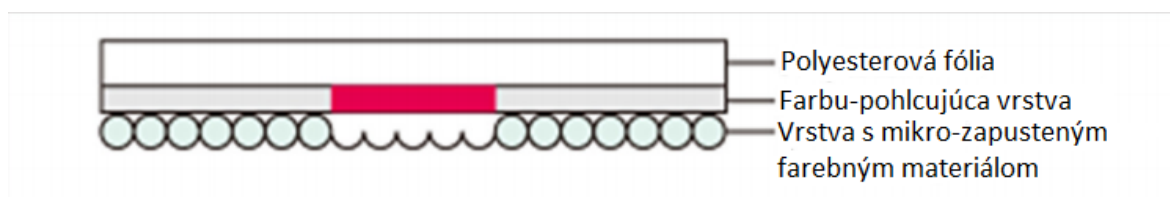


Obr. 44 Vzor tlakovej fólie po otestovaní

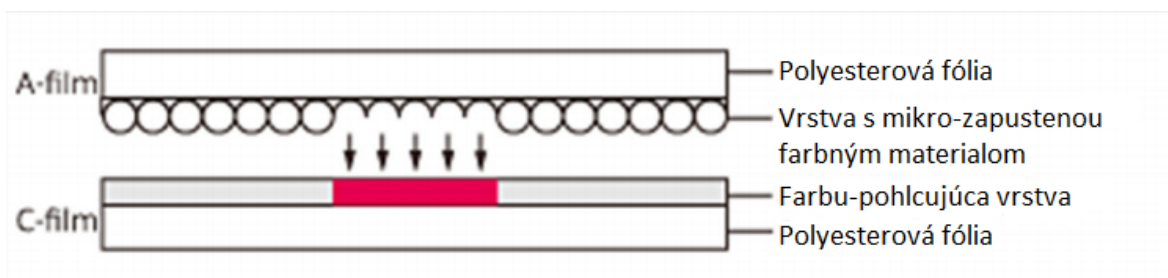
Najzačervenanější miesta nám signalizujú miesta kde bol tlak najväčší. Týmto spôsobom si vieme overiť prípadné nerovnosti alebo vady prítlaku na forme.

Delenie tlakových fólií:

Tlaková fólia „Prescale“ od firmy Fujifilm sa delí na dva typy. Mono-sheet (*Obr. 45*) sa skladá z polyesterového základu na ktorom je potiahnutý s mikro-zapúzdreným farebným materiálom navrstveným na vrchu. Two-sheet typ (*Obr. 46*) je tvorený dvomi polyesterovými základňami. Jedna je potiahnutá s mikro-zapusteným farebným materiálom a druhá s farbu-pohlcujúcou vrstvou. Používajú sa dve fólie obrátené voči sebe. [11]



Obr. 45 Vzor mono-sheet tlakovej fólie [11]



Obr. 46 Vzor two-sheet tlakovej fólie [11]

Táto fólia má využitie napr. :

- Automobilový priemysel - nastavenie pôsobiaceho tlaku a vyvažovanie rôznych súčastok
- LCD - nastavenie pôsobiaceho tlaku pri lepení polarizéru a tmelení ACF/TCP
- Semikonduktory - nastavenie leštiaceho prítlaku v CMP procese
- Dosky plošných spojov – nastavenie laminačného tlaku suchého filmu (DFR)

ZÁVER

Prvá kapitola s názvom „Plošné tvárnenie“ popisuje všeobecné informácie pre pochopenie procesu spojeného s tvárnením tenkostenných polotovarov. Nasledujúca kapitola „Rozbor procesu hlbokého ťahania“ sa zaoberá rozborom technológie hlbokého ťahania, ktorá je využívaná pri formovaní dutín obalov pre batériové články. V tretej kapitole „Stroj a nástroj pre ťahanie“ je rozpísané delenie strojov určených pre plošné a objemové tvárnenie. Táto časť slúži k objasneniu jednotlivých komponentov a strojov ktoré sú súčasťou tvárniaceho deja. Štvrtá kapitola „Mechanické správanie materiálov“ je zameraná na opis správania tenkostenných materiálov pod napätím a ich využitie v spoločnosti.

Po prevedení úprav na lisovacom nástroji a vykonaní tlakových skúšok sme zaznamenali značné zlepšenie povrchu tvarovanej fólie. Vzhľadom nato že sme získali možnosť variabilne meniť prítlak pomocou digitálne riadených regulačných ventilov na pneumatických valcoch je výsledný povrch fólie dostatočne fixovaný v každom bode. Tým sme docielili hladký povrch bez vrások ktorý spĺňa všetky štandardy ktoré zákazník požaduje pre obal batérie či už z estetických alebo praktických dôvodov. Druhým ale nie menej cenným zlepšením je úspora času pri odladení a zaznamenávaní procesu nastavovania. Údaje získané pri prvotnom nastavení na konkrétnom materiály a tvare batérie si zákazník uchová a pri opätovnej výrobe ich môže využiť. Taktiež demontáž dielov už nie je viac potrebná, všetky korekcie môže obsluha vykonávať z bezpečnej vzdialenosti a okamžite čím dosiahneme väčšiu pracovnú efektivitu.

V budúcnosti pri návrhu nástroja pre nového zákazníka by bolo vhodné sa detailnejšie zaoberať inovatívnejšími spôsobmi obrábania a leštenia povrchov pre odstránenie problémov s kvalitou. Taktiež by malo byť našim cieľom úspora nákladov a to analýzou materiálov použitých na konštrukciu nástroja bez dopadu na kvalitu výrobku.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

Knihy:

- [1] ALTAN, Taylan a A. Erman TEKKAYA. *Sheet metal forming*. Materials Park, Oh: ASM International, 2012. ISBN 1615038426
- [2] BAČA, Jozef. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2000. Edícia skrípt. ISBN 80-227-1339-2
- [3] BÍLIK, Jozef, Mária KAPUSTOVÁ a Anton ULÍK. *Technológia tvárnenia: návody na cvičenie*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2004. Edícia skrípt. ISBN 80-227-2099-2
- [4] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, c2004. ISBN 08-311-3182-9
- [5] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9
- [6] HRIVŇÁK, Andrej. *Technológia plošného tvárnenia: návody pre cvičenia*. Bratislava: Alfa, 1989. ISBN 80-050-0439-7
- [7] KOVÁČ, Andrej a Milan JENKUT. *Tvárniace stroje*. Bratislava: Alfa, 1978. Edícia strojárskej literatúry (Alfa). ISBN 80-050-0126-6
- [8] SPIŠÁK, E. *Matematické modelovanie a simulácia technologických procesov: Ťahanie*. Košice : TYPOPress, 2000. ISBN 80-7099-530-0
- [9] TODD, Robert H., Dell K. ALLEN a Leo ALTING. *Manufacturing processes reference guide*. New York: Industrial Press, 1994. ISBN 08-311-3049-0

Online:

[10] Battery University [online]. Copyright, © 2019 Isidor Buchmann [cit. 2019-5-7].

Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells

[11] Fujifilm [online]. Copyright, © 2019 Fujifilm Corporation [cit. 2019-5-7].

Dostupné z: <https://www.fujifilm.com/products/prescale/prescalefilm/>

[12] Manz a.s. [online]. Copyright, © 2019 Manz a.s. [cit. 2019-5-7]

Dostupné z: <https://www.manz.com/worldwide/worldwide-production-detail/208/>

[13] Mitsubishi Chemical [online]. Copyright, © 2016 MCPP [cit. 2019-5-7]

Dostupné z: <https://www.mcgp-global.com/en/america/applications/segment/flexible-packaging/>

[14] National Oceanic and Atmospheric Administration [online]. Copyright, © 2016 NOAA [cit. 2019-5-7]

Dostupné z: <https://www.nesdis.noaa.gov/content/good-gold-are-satellites-covered-gold-foil>

[15] Siemens [online]. Copyright, © 2019 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. [cit. 2019-5-7]

Dostupné z: <https://solidedge.siemens.com/cs/>

[16] Strojárska technológia [online]. 2009 [cit. 2019-5-7]

Dostupné z: <http://www.strojarskatechnologia.info/13-rozdelenie-technologicky-tvarniacich-procesov/>

[17] Sustainability Outlook [online]. 2016 [cit. 2019-5-7]

Dostupné z: <http://www.sustainabilityoutlook.in/content/innovate-or-perish-case-multi-layered-packaging-757333>

[18] Thomas Net [online]. Copyright, © 2019 Thomas Publish. Comp. [cit. 2019-5-7]

Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/wrinkling-during-deep-drawing>

[19] Trans-matic [online]. Copyright, © 2019 TRANS-MATIC MANU.,INC.

Dostupné z: <http://transmatic.com/capabilities/deep-draw-process/>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Ψ	Redukcia prierezovej oblasti	[-]
s, s_0	Prierez polotovaru	[mm]
τ	Šmykové napätie	[MPa]
G	Modul pružnosti v šmyku	[MPa]
F	Pôsobiacia sila	[N]
γ	Šmyková deformácia	[-]
τ	Strižné napätie	[MPa]
σ	Mechanické/normálové napätie	[MPa]
ν	Poissonov pomer	[-]
ε_y	Relatívne predĺženie v Y	[-]
ε_x	Relatívne predĺženie v X	[-]
E	Modul pružnosti v ťahu	[MPa]
ε	Pomerná deformácia	[-]
l	Dĺžka polotovaru	[mm]
Δ	Delta – zmena množstva/veľkosti	[-]
v_{max}	Maximálna rýchlosť	[m/s]
t_p	Pracovný čas	[s]
K_c	Stupeň ťahania	[-]
d	Priemer polotovaru	[mm]
m_c	Súčiniteľ ťahania	[-]
Z	Ťažná medzera	[mm]
K	Kelvin	[K]

λ	Pevná vodivost' materiálu	[-]
F	Fahrenheit	[°F]
R_m	Medza pevnosti materiálu	[MPa]
k_i	Súčiniteľ závislý od stupňa ťahania	[-]
s	Hrúbka polotovaru	[mm]
h_i	Výška výt'ažku	[mm]
F_{TS}	Ťažná sila	[N]

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1 Schéma obyčajného ťahania s pridržiavačom</i>	13
<i>Obr. 2 Schéma obyčajného ťahania bez pridržiavača</i>	13
<i>Obr. 3 Schéma ťahania so stenčením</i>	13
<i>Obr. 4 Nástroj pre zlúčené ťahanie výťažku s prírubou</i>	14
<i>Obr. 5 Schéma spätného ťahania valcového výťažku</i>	14
<i>Obr. 6 Schéma pre rozširovanie</i>	15
<i>Obr. 7 Schéma pre zužovanie</i>	15
<i>Obr. 8 Schéma pre žliabkovanie</i>	16
<i>Obr. 9 Schéma preťahovania otvorov bez stenčenia a so stenčením</i>	16
<i>Obr. 10 Schéma preťahovania napínaním cez šablónu</i>	17
<i>Obr. 11 Schéma objemového ťahania</i>	17
<i>Obr. 12 Schéma hlbokého ťahania</i>	18
<i>Obr. 13 Vzorový príklad postupového formovania súčiastky [19]</i>	19
<i>Obr. 14 Schéma postupového ťahania</i>	22
<i>Obr. 15 Hydraulický lis</i>	25
<i>Obr. 16 Napäťová krivka</i>	29
<i>Obr. 17 Príklad fólie s povrchovými vadami</i>	31
<i>Obr. 18 Príklad fólie po odladení pracovných parametrov</i>	31
<i>Obr. 19 Schéma viacvrstvovej fólie [13]</i>	32
<i>Obr. 20 Príklad využitia viacvrstvovej fólie v potravinárskom priemysle [17]</i>	33
<i>Obr. 21 Príklad využitia viacvrstvovej fólie na satelitných zariadeniach [14]</i>	34
<i>Obr. 22 Pouch batéria [10]</i>	35
<i>Obr. 23 Príklad batérie deformovanej procesom – gassing [10]</i>	36
<i>Obr. 24 Sídlo spoločnosti Manz a.s. v Nemecku [12]</i>	38
<i>Obr. 25 Pracovné rozhranie programu Solid Edge [15]</i>	39
<i>Obr. 26 Kompletné lisovacie zariadenie bez opláštenia</i>	40
<i>Obr. 27 Servomotory s uložením pre pohon ťažníkov</i>	41
<i>Obr. 28 Uloženie hornej a spodnej časti nástroja v lise</i>	41
<i>Obr. 29 Rez starým nástrojom</i>	45
<i>Obr. 30 Náhľad na starý nástroj</i>	46
<i>Obr. 31 Náhľad na pomocnú tvárnikovú platňu</i>	47
<i>Obr. 32 Náhľad na opozitné tvárniky</i>	47

<i>Obr. 33</i> Náhl'ad na spodnú prítlačnú platňu	48
<i>Obr. 34</i> Ťažník s odvzdušňovacími kanálmi	48
<i>Obr. 35</i> Prítlačná platňa s ťažníkmi	49
<i>Obr. 36</i> Rozloženie pneumatických válov	49
<i>Obr. 37</i> Nová prítlačná platňa.....	50
<i>Obr. 38</i> Náhl'ad na nový nástroj	50
<i>Obr. 39</i> Rez novým nástrojom.....	51
<i>Obr. 40</i> Deformačná analýza lisovacieho zariadenia	51
<i>Obr. 41</i> Simulácia rozloženia sily na pevnom prítlaku.....	52
<i>Obr. 42</i> Snímka fólie pod 3D mikroskopom.....	52
<i>Obr. 43</i> Analýza stenčenia viacvrstvovej fólie.....	53
<i>Obr. 44</i> Vzor tlakovej fólie po otestovaní	54
<i>Obr. 45</i> Vzor mono-sheet tlakovej fólie [11]	54
<i>Obr. 46</i> Vzor two-sheet tlakovej fólie [11]	55