



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY OLEJOVÉHO FILTRU

PRODUCTION CONCEPT OF OIL FILTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Machara

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Miroslav Machara**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh výroby olejového filtru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o vypracování technologického postupu výroby těla olejového filtru, který bude použit u nákladního automobilu. Součástí je válcového tvaru bez příruby a bude vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny s využitím konvenčního nástroje.

Cíle bakalářské práce:

Vypracování literární studie na technologii výroby součástí. Součástí bakalářské práce bude zpracování postupu výroby doplněné technologickými a kontrolními výpočty, návrh sestavy nástroje a lisovacího stroje, závěry se zhodnocením navrhované technologie.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.

TSCHÄETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. 404 s. ISBN 3-540-33216-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá vypracovaním literárnej štúdie technológie ťahania a návrhom výroby krytu olejového filtra nákladného automobilu pomocou technológie hlbokého ťahania. Kryt je zhotovený z ocele 11 301 s hrúbkou 2 mm. Výrobná dávka je stanovená na 100 000 kusov. Technológia výroby hlbokého ťahania bola pomocou analýzy zvolená ako najvhodnejšia. Nástroj s jeho technickou dokumentáciou hlavných častí bol skonštruovaný pre hydraulický lis DNP 80. Overenie návrhu a vyrobiteľnosť sú podložené simuláciou.

Kľúčové slová

kryt, nástroj, lis, hlboké ťahanie, simulácia

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the development of a literary study of drawing technology and a proposal for the production of a truck oil filter cover using deep drawing technology. The cover is made of 11 301 steel with a thickness of 2 mm. The production batch is set at 100,000 pieces. The production deep drawing technology was selected as the most suitable with the help of analysis. The tool with its technical documentation of the main parts was designed for the DNP 80 hydraulic press. Design verification and manufacturability are supported by simulation.

Keywords

cover, tool, press, deep drawing, simulation

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

MACHARA, Miroslav. *Návrh výroby olejového filtru* [online]. Brno, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/154177>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Návrh výroby olejového filtru vypracoval samostatne s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácií a pod vedením vedúceho práce.

Brno, 22.05.2024

Miroslav Machara

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem vedúcej mojej bakalárskej práce, pani Ing. Michaele Císařovej, Ph.D., za cenné rady a pripomienky týkajúce sa bakalárskej práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať pánovi Ing. Janovi Řiháčkovi, Ph.D, za pomoc pri tvorení simulácie. Za podporu pri písaní práce by som sa chcel poďakovať svojej priateľke a celej rodine.

OBSAH

Zadanie práce

Abstrakt

Bibliografická citácia

Čestné prehlásenie

Poďakovanie

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR SÚČIASTKY	10
1.1 Varianty výroby	11
2 PROCES ŤAHANIA	13
2.1 Technologickosť	14
2.2 Veľkosť kruhového prístrihu	15
2.3 Počet ťažných operácií a ťažná medzera	16
2.4 Voľba pridržiavača	18
2.5 Nástroj	20
2.6 Sila a práca	21
2.7 Mazivá, vady a rekryštalizačné žihanie	24
2.8 Stroje	26
2.9 Návrh výroby prístrihu a nástrihovú plán	27
3 NÁVRH VÝROBY	29
3.1 Prístrih a počet ťažných operácií	30
3.2 Výpočet ťažnej medzery, polomeru zaoblenia ťažnice a ťažníku	31
3.3 Pridržiavač	32
3.4 Nástrihovú plán a využitie materiálu	33
3.5 Výpočet celkovej sily a práce	35
3.6 Voľba stroja, ťažný nástroj a mazivo	39
3.7 Overenie pomocou simulácie	42
ZÁVER	46

Zoznam použitých zdrojov

Zoznam použitých symbolov a skratiek

Zoznam príloh

Zoznam výkresov

ÚVOD

Pre formovanie kovov a docielenie finálneho tvaru súčiastky sa používajú rôzne technológie. Výroba zložitejších súčiastok však často využíva kombináciu technológií, ktorými sú tvárnenie, odlievanie, obrábanie a zváranie. Tvárnenie využíva pôsobenie síl k presúvaniu materiálu, a taktiež patrí medzi najekonomickejšiu technológiu, pretože využíva takmer celý polotovar k výrobe finálnej súčiastky. Delí sa podľa viacerých kritérií. Z hľadiska zmeny tvaru materiálu na objemové, pri ktorom dochádza k podstatnej zmene hrúbky prierezu materiálu, a na plošné, pri ktorom nedochádza k podstatnej zmene hrúbky prierezu materiálu. Fakt, že pri tvárnení nedochádza k tvorbe zvyškového materiálu nesie so sebou výhodu vysokej využiteľnosti materiálu.

Technológia tvárnenia má významné postavenie vo výrobe polotovarov a hotových výrobkov. Značný pozitívny fakt je vysoká efektivita, ktorá sa uplatňuje najmä u sériovej a hromadnej výroby. Technický rozvoj sa v súčasnosti zaoberá najmä vylepšovaním a zdokonaľovaním existujúcich postupov.

Efektívnou a často využívanou technológiou tvárnenia je hlboké ťahanie. Pri využívaní plechu ako polotovaru sa 70 % dielcov vytvára v lisovniach. Výtlačky možno nájsť v každej modernej domácnosti. Medzi najčastejšie odvetvia priemyslu, pre ktoré sú súčiastky vyrábané hlbokým ťahaním, patria automobilový, letecký a vesmírny priemysel. Príklady súčiastok vyrobených hlbokým ťahaním sú znázornené na obr. 1. [1; 2; 3; 4]

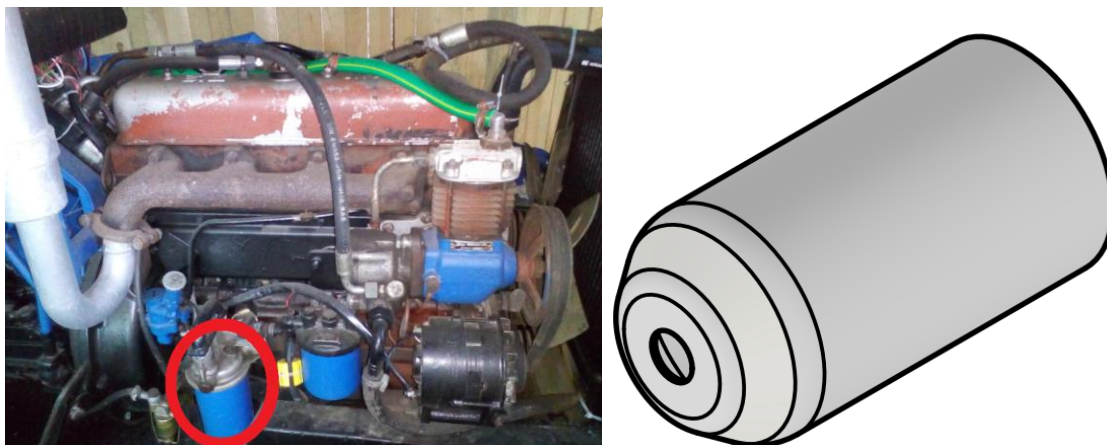


Obr. 1 Príklady výrobkov zhotovených hlbokým ťahaním [5; 6; 7].

1 ROZBOR SÚČIASTKY

Riešenou súčiastkou je kryt olejového filtra na motore nákladného automobilu. Je umiestnený na obr. 2 vo svojej funkčnej polohe spolu s jeho 3D modelom. Zabezpečuje správnu polohu filtra a slúži taktiež na zabránenie úniku motorového oleja, ktorý ním prechádza pod tlakom. Pracuje vo vlhkom a vibrujúcom prostredí.

Je jednoduchého symetrického tvaru s vnútorným priemerom 91 mm, hrúbkou steny 2 mm a hĺbkou 165 mm. Dno má rovné, prechádzajúce pod uhlom 55° do stien. Drsnosť povrchu nemusí byť kvalitná a preto nie je potrebné pridávať geometrické a technologické tolerancie. Využívajú sa všeobecné tolerancie ISO 2768 – mK. Výrobná séria je stanovená na 100 000 ks.



Obr. 2 Umístění krytu na motore a jeho parametre [8].

Pre výrobu pomocou hlbokého ťahania je možné využiť hlboko ťažné materiály spĺňajúce vyrábanú hrúbku 2 mm. Využitie ocele by malo byť v oblasti tvárnenia. Medzi vhodné varianty patria najmä konvenčne využívané a overené ocele z automobilového priemyslu. Dôležitým faktorom pri výbere sú aj mechanické a chemické vlastnosti, ktoré ovplyvňujú jej správanie pri procese výroby. Uvažuje sa o výbere zo skupiny mäkkých ocelí. Taktiež by mala mať aj zaručenú zvárateľnosť.

Potrebné parametre spĺňa mnoho materiálov, najvhodnejší a zároveň zvolený materiál je oceľ DC03 značená ako 1.0347. Podľa ČSN značenia ide o oceľ 11 301. Mechanické vlastnosti a chemické zloženie sú definované v tabuľkách 1 a 2. Jedná sa o nelegovanú, akostnú oceľ, ktorá je vhodná pre technológiu výroby hlbokým ťahaním. [9]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti ocele 11 301 [9].

Pevnosť v ťahu R_m [MPa]	Medza klzu R_e [MPa]	Ťažnosť [%]
360	230	31

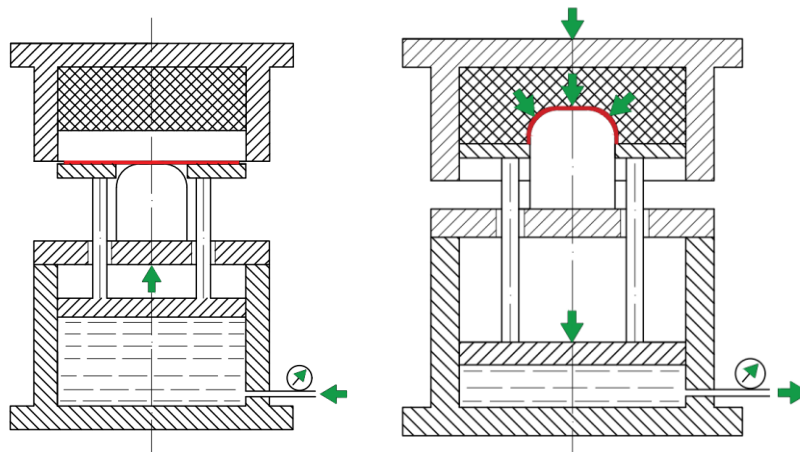
Tab. 2 Chemické zloženie ocele 11 301 [9].

C [%] max.	Mn [%] max.	P [%] max.	S [%] max.
0,08	0,40	0,025	0,025

1.1 Varianty výroby

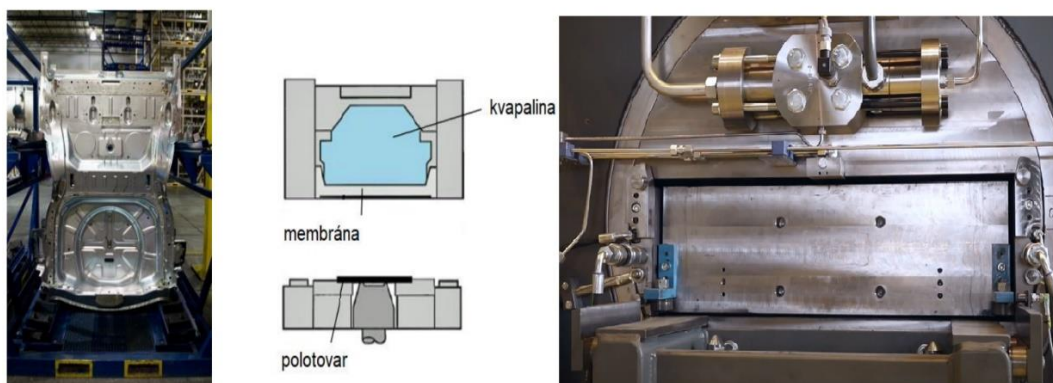
Pri voľbe vhodnej technológie výroby je potrebné zhodnotiť mnoho faktorov. Musí sa dbať na splnenie najvhodnejších technologických a taktiež ekonomických podmienok. Hlavným parametrom je ako zvyčajne cena, ktorá je kľúčová pri výbere technológie. Po úvahe je možné hneď vylúčiť tvárniace metódy so stenčením steny, pretože sa jedná o konštantnú hrúbku steny. Z hľadiska využiteľnosti materiálu sú technológie trieskového obrábania nevhodné. Veľmi neefektívne je taktiež danú súčiastku odlievať, pretože by to značne zvýšilo náklady. So zohľadnením parametrov, počtu kusov a ekonomickosti pripadajú do úvahy tieto technológie:

- Marform (obr. 3) – priebeh ťahania spočíva v posune hornej dosky s elastomerom smerom k dolnej, na ktorej sa nachádza pridržovač, polotovar a ťažník. Posuvom sa pomocou elastomeru vyformuje hotový výrobok. Výhodou je nutnosť výroby iba oceľového ťažníku. Splňa kritéria pre výrobu avšak pre obmedzenú životnosť gumených súčiastok sa metóda nehodí pre výrobu krytu. [10]



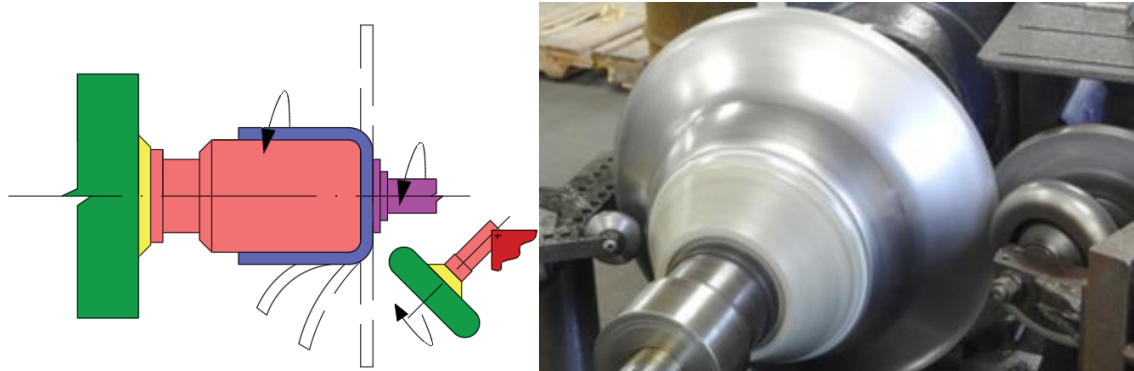
Obr. 3. Ťahanie Marform [10].

- Hydroform – uzatvorená komora s kvapalinou sa pohybuje smerom dole a po dotyku s pridržovačom sa ťažník vtlačá do ťažnice a formuje výrobok. Výhodou je možnosť flexibility výroby. Splňa kritéria pre výrobu, avšak pre zložitosť tesniaceho systému, počiatočnú cenu a záverečnú kalibráciu sa metóda vylučuje. Príklad metódy je zobrazený na obr. 4. [10]



Obr. 4 Metóda Hydroform [10; 11].

- Kovotlačenie – metóda spočíva v tvárnení plechu pomocou dosadajúcej kladky. Plech je pritláčaný na model špeciálnou kladkou a vykonáva rotačný pohyb. Výhodou je nižšia vstupná cena nástroja oproti bežnému ťahaniu. Splňa kritéria pre výrobu, avšak pre veľký počet vyrábaných kusov sa metóda vylučuje. Základný princíp a príklad výtlačku je zobrazený na obr. 5. [12]



Obr. 5 Princíp kovotlačenia [12].

- Konvenčné ťahanie (obr. 6) – nástroj má 2 hlavné časti, a to ťažník a ťažnicu, ktoré sú vyrobené spravidla z nástrojovej ocele. Po položení rondelu na ťažnicu sa začne ťažník vtlačať do ťažnice a modelovať výtlačok. Vznik deformácií ako, napr. tvorba vln, sa dá obmedziť použitím pridržovača. Nevýhodou je obstarávacía cena nástroja, ten má však na druhú stranu dlhú životnosť. Kryt je možné vyrobiť. [13]

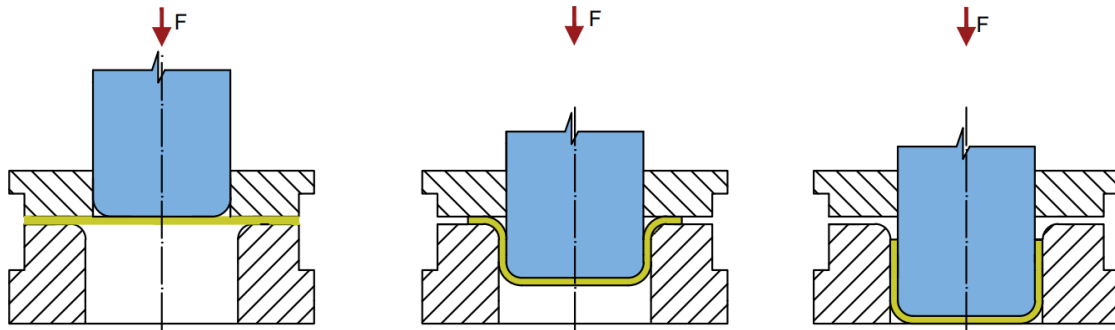


Obr. 6 Konvenčné ťahanie [14; 15].

Na základe rozboru zadania, posúdením geometrie a ekonomickosti sa ako najvhodnejšia metóda výroby javí hlboké ťahanie bez stenšenia steny. Na to bude zameraná teoretická a návrhová časť práce.

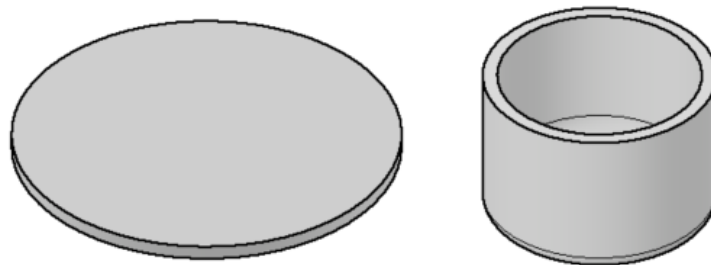
2 PROCES ŤAHANIA

Ťahanie sa radí medzi metódy výroby plošného tvárnenia. Je to technologický proces, ktorý umožňuje vytvoriť z rovinného plechu (prístrihu) v jednej alebo vo viacerých ťažných operáciách duté teleso. Jedná sa o jeden z najrozšírenejších spôsobov spracovania plechu, pomocou ktorého sa dajú jednoduchým spôsobom zhotoviť rôzne priestorové súčiastky, ktorými sú napr. valcované alebo hranaté výťažky bez podstatnej zmeny hrúbky pôvodného materiálu. Postup ťahania je zobrazený na obr. 7. Vstupným polotovarom pre ťahanie je rovinný prístrih s priemerom D a hrúbkou s , ktorý je zobrazený na obr. 8. [1; 13]



Obr. 7 Schéma ťahu [1].

Výťažky vyrobené ťahaním sú veľmi rôznorodé, od miniatúrnych súčiastok pre elektrotechnický priemysel až po obrovské, využívané v oblasti automobilov a vesmírneho programu. Pri ťahaní teoreticky nedochádza k zmene hrúbky steny, aj keď v praxi však dôjde k určitým zmenám, najmä k zväčšeniu hrúbky v rohoch na úkor zoslabenia stien. Technológia spočíva vo vtláčení polotovaru - prístrihu ťažníkom do ťažnice. Rozmery a tvar ťažnice a ťažníku sú závislé od rozmerov výťažku. Pri väčších priemeroch sa spravidla používa pridržovač k zabráneniu zvlnenia a deformácií polotovaru. [13, 16; 17]



Obr. 8 Kruhový prístrih a výťažok [2].

K základných operáciám ťahania patria:

- ťahanie so stenčením steny – rozdielne hrúbky stien a dna
- ťahanie bez stenčenia steny
- spätné ťahanie

Jedná sa o proces, pri ktorom sa najčastejšie tvoria výťažky s väčšou výškou ako priemerom výťažku. U viac operačného ťahania sa každým ďalším ťahom priemer polotovaru znižuje a výška zväčšuje, až kým nie je dosiahnutý požadovaný finálny rozmer výťažku. [2]

2.1 Technologickosť

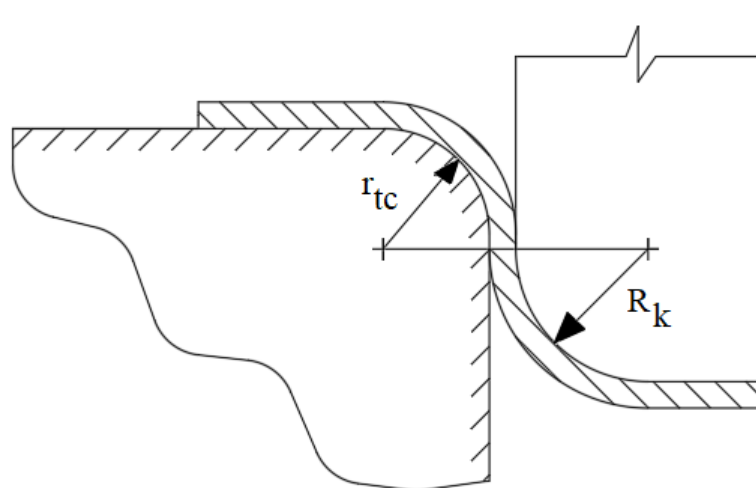
Pri výrobe súčiastok pomocou hlbokého ťahania je potrebné zohľadňovať ich technické vlastnosti. Do technologickosti patria rôzne pravidlá a odporúčania. K základným technologickým vstupom patria [1; 2; 4]:

- Voľba materiálu – vhodným polotovarom pre technológiu hlbokého ťahania je oceľ, ktorá spĺňa podmienky hlboko ťažnosti. Musí mať taktiež vhodné geometrické a rozmerové tolerancie. Ďalším faktorom pri výbere je jej cena a ekonomické zhodnotenie.
- Rotačný tvar – výtlačok musí spĺňať tvar jednoduchej symetrickej súčiastky bez výrazných zmien priemeru.
- Použitie pridržovača – najčastejšou príčinou býva prevencia vzniku defektov a vád, medzi ktoré patrí napríklad zvlnenie.
- Presnosť a drsnosť – stupeň presnosti je obmedzený technológiou hlbokého ťahania na IT 11, prípadne IT 12 a s kalibráciou do IT7. Drsnosť býva spravidla blízka hodnote Ra 6,3.
- Príruba – pri technologickosti treba zohľadniť, či výtlačok obsahuje prírubu a prispôbiť jej ďalšie technologické výpočty.
- Kuželovitý plášť – spôsobuje ho ťažná medzera, prípadne odpruženie.
- Zaoblenie dna výtlačku (obr. 9) – u súčiastok so zaobleným dnom je potrebné skontrolovať výpočtom ich minimálnu hodnotu rádiusu. Polomer zaoblenia pre priemer výtlačku od 10 do 100 mm musí vyhovovať podľa vzorca:

$$R_k \geq (3 \div 4) \cdot s_0, \quad (2.1)$$

kde: s_0 - hrúbka steny [mm],

R_k - zaoblenie dna výtlačku [mm].



Obr. 9 Zaoblenie dna výtlačku [1].

2.2 Veľkosť kruhového prístrihu

Pri voľbe veľkosti kruhového prístrihu je nutné stanoviť čo najpresnejšiu hodnotu. Pri zvolenej malej hodnote kruhového prístrihu by bolo nemožné vyrobiť súčiastku, pretože by bol nedostatok materiálu, a naopak, pri zvolení veľkého, by zostal veľký odpad a tým pádom by sa zvýšili náklady na odstrihnutie prebytku. Kruhový prístrih možno určiť odlišnými spôsobmi. Najrozšírenejšie výpočty u konštantnej hrúbky steny sú pomocou zákona zachovania objemu, ktorý vychádza z rovnosti plochy polotovaru a plochy výťažku. [1;2]

Najrozšírenejšie možnosti výpočtu:

- Pomocou metódy zachovania objemu, možno rozdeliť súčiastku na tri hlavné časti, ktorými sú plocha dna výťažku, plocha plášťa a plocha zaoblenia dna výťažku. Pomocou nich určiť plochu prístrihu zo vzorca [2]:

$$S_c = S_d + S_p + S_z, \quad (2.2)$$

kde: S_c – celková plocha prístrihu [mm^2],

S_d – plocha dna výťažku [mm^2],

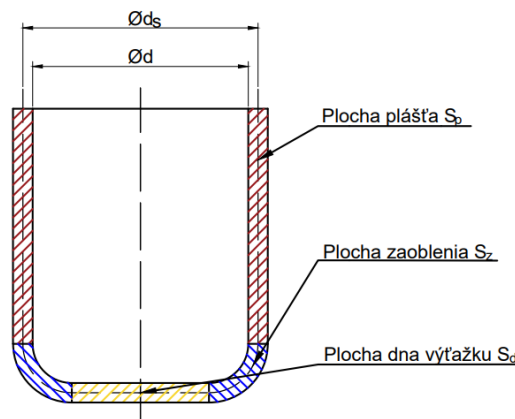
S_p – plocha plášťa [mm^2],

S_z – plocha zaoblenia [mm^2].

Výsledný priemer sa vypočíta zo vzťahu [2]:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}}, \quad (2.3)$$

kde: D_0 – priemer prístrihu [mm].



Obr. 10 Plochy a polomer výťažku [4].

- Pomocou výpočtu základných plôch (obr. 10) so zohľadnením zaoblenia výťažku [2]:

$$D_0 = \sqrt{d_s^2 + 4 \cdot d_s \cdot h - 1,72 \cdot d_s \cdot R_k}, \quad (2.4)$$

kde: d_s – stredný priemer výťažku [mm],

h – výška výťažku [mm].

- Výpočet pomocou programu Autodesk Inventor Professional 2024, ktorý automaticky vypočíta presnú plochu modelu, ktorý je v ňom zhotovený. Táto metóda je v poslednej dobe najrozšírenejšia, pretože odpadá potreba zložitého výpočtu a po získaní plochy sa použije vzorec (2.3) a vypočíta sa výsledný priemer prístrihu.

Pri výpočtoch však nemožno zabudnúť na prídavok na odstrihnutie, ktorý sa volí podľa normy ČSN 22 7301 (2 ÷ 7) % z celkového priemeru, prípadne pre jeden ťah 3 % a pre každý ďalší 1 %. Prídavok je nutný vzhľadom na anizotropné vlastnosti plechov. Pre dosiahnutie konečného priemeru prístrihu sa vychádza zo vzorca [1; 2]:

$$D_0' = D_0 + w, \quad (2.5)$$

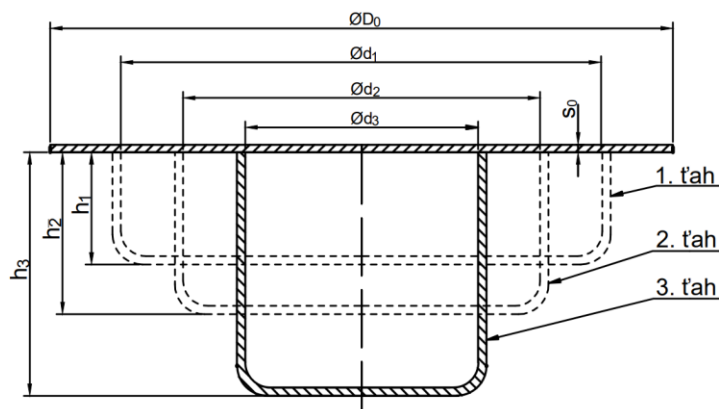
kde: D_0' – výsledný priemer rondelu s prídavkami na odstrihnutie [mm],

w – prídavok na odstrihnutie [mm].

Pre zjednodušenie výpočtov sa konečný priemer prístrihu D_0' zaokrúhľuje na najbližšie vyššie celé číslo.

2.3 Počet ťažných operácií a ťažná medzera

Ak sa nepodarí dosiahnuť finálny rozmer jednou ťažnou operáciou, musí sa zvoliť ďalšia. Dosiahnutie finálneho tvaru súčiastky vyžaduje u hlbokého ťahania najčastejšie 1 ÷ 5 ťahov (obr. 11). Na počet ťahov má vplyv mnoho faktorov, ktorými sú napr. hrúbka materiálu, zložitost' tvaru a veľkosť výt'ážku. V praxi je snaha docieľiť čo najmenší počet ťahov s čo najpresnejšími rozmermi a drsnosťami. Taktiež je žiadúce vytvoriť čo najväčšie pretvorenie v jednom ťahu. [1; 2; 3; 4]



Obr. 11 Viac operačné ťahanie [1].

Zmenšenie počiatocného priemeru prístrihu zabezpečuje súčiniteľ ťahania. Je ovplyvňovaný rôznymi faktormi, ako napr. geometria ťažníka a ťažnice, hrúbka materiálu a postup ťahania. Súčiniteľ býva bežne volený v rozmedzí 0,55 ÷ 0,88 a každým ďalším ťahom rastie. Je to spôsobené stratou plasticity materiálu. [1; 2]

Pomerná hrúbka polotovaru [1]:

$$P_h = \frac{s_0}{D_0'} \cdot 100, \quad (2.6)$$

kde: P_h – pomerná hrúbka polotovaru [%].

Pomocou pomernej hrúbky polotovaru možno určiť z tab. 3 súčiniteľ ťahania.

Tab. 3 Hodnoty súčiniteľa ťahania [4].

Ťažná operácia	Súčiniteľ ťahania	Pomerná hrúbka P_h					
		2,0-1,5	1,5-1,0	1,0-0,6	0,6-0,3	0,3-0,15	0,15-0,08
1	m_1	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60	0,63
2	m_2	0,75	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82
3	m_3	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84
4	m_4	0,80	0,81	0,82	0,83	0,85	0,86
5	m_5	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88

Niektoré štáty používajú namiesto súčiniteľa ťahania stupeň ťahania, ktorý je iba obrátenou hodnotu a taktiež je bezrozmerný. Potrebný počet ťažných operácií sa určí pomocou:

- výpočtu výrobitel'ného priemeru výťazku pre 1. operáciu [4]:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0', \quad (2.7)$$

kde: d_1 – výrobitel'ný priemer pre 1. operáciu [mm],

m_1 – súčiniteľ ťahania pre 1. ťah [-].

Ak vypočítaná hodnota priemeru nie je menšia ako finálny priemer výťazku, pokračuje sa ďalšou ťažnou operáciou.

- výpočtu výrobitel'ného priemeru výťazku pre n-tú operáciu [4]:

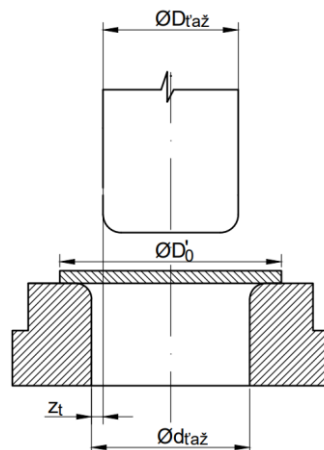
$$d_n = m_n \cdot d_{n-1}, \quad (2.8)$$

kde: m_n – súčiniteľ ťahania pre n-tý ťah [-].

d_n – výrobitel'ný priemer pre n-tú operáciu [mm],

d_{n-1} – výrobitel'ný priemer pre n-1 operáciu [mm].

Ťažná medzera je zobrazená na obr. 12 a nachádza sa medzi ťažnicou a ťažníkom. Pri ťahaní bez stenčenia steny sa kvôli zníženiu ťažnej sily a zohľadneniu tolerancií hrúbky plechu najčastejšie volí väčšia ťažná medzera ako je hrúbka materiálu. Zvolená malá ťažná medzera by mohla mať za následok zvýšenie potrebnej ťažnej sily a mohlo by sa stať, že by sa výťazok nepodarilo vytiahnuť alebo by mohlo dôjsť k pretrhnutiu dna. Naopak pri veľkej ťažnej medzere by mohlo vzniknúť vlnenie a k tvorbe sekundárnych vlín v stene výťazku. [1; 4]



Obr. 12 Zobrazenie ťažnej medzery [1].

Ťažnú medzeru možno vypočítať rôznymi spôsobmi. Medzi tie najpoužívanéjšie patria:

- Pomocou normy ČSN 22 7301 zo vzťahu [1; 18]:

- Pre prvý ťah:

$$z_t = (1,2 \div 1,3) \cdot s_0, \quad (2.9)$$

kde: z_t – ťažná medzera [mm].

- Pre ďalšie ťahy:

$$z_t = (1,1 \div 1,2) \cdot s_0. \quad (2.10)$$

- Pomocou Oehlera [2]:

$$z_t = s_0 + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}, \quad (2.11)$$

kde: k – materiálový súčiniteľ; pre oceľ $k = 0,07$ [-].

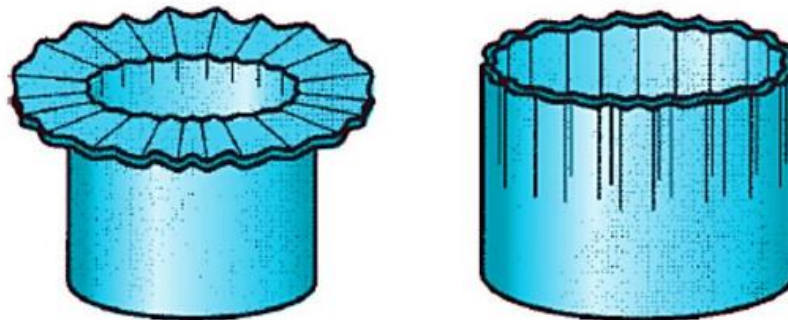
Odporúčaná ťažná medzera v závislosti na hrúbke plechu je zobrazená v tab. 4.

Tab. 4 Ťažná vôľa pri ťahaní plechu [2].

Hrúbka plechu [mm]	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	3
Ťažná medzera [mm]	0,45	0,65	0,9	1,2	1,4	1,75	2,4	3,5

2.4 Voľba pridržiavača

Pridržiavač slúži najčastejšie na zabránenie vzniku tvorby vln v plechu (obr. 13). U menších výťažkov, ktoré majú pomerne veľkú hrúbku plechu, je takmer vždy nepotrebný. Použitie zvyšuje náklady na výrobu a, preto je dôležité správne zvoliť, či je alebo nie je potrebné ho použiť. Pritláča prístrih k ťažnici a zabraňuje vzniku nerovnomernosti. [1, 2]



Obr. 13 Zvlnenie plechu [19].

Empirický vzťah pre nutnosť zistenia použitia pridržiavača:

Podľa ČSN 22 7301 [1; 18]:

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D'_{t_0}}} \right), \quad (2.12)$$

kde: k_p – súčiniteľ určujúci nutnosť použitia pridržiavača [-],

Z – materiálová konštanta pre hlboko ťažnú oceľ; $Z = 1,9$ [-].

$$k_p \geq \frac{d_1}{D_{0'}} \cdot 100 \quad (2.13)$$

Ak vzorec 2.13 platí, je potrebné použiť pridržiavač, avšak ak neplatí, nie je nutné použiť pridržiavač.

Minimálny priemer pridržiavača pre 1. ťažnú operáciu [1]:

$$d_{p1min} = d_1 + 2 \cdot r_{tc1}, \quad (2.14)$$

kde: r_{tc1} – polomer zaoblenia ťažnice v prvom ťahu [mm],

d_{p1min} – minimálny priemer pre 1. ťažnú operáciu [mm].

Výpočet plochy pridržiavača v prvej ťažnej operácii [4]:

$$S_{v1} = \frac{\pi \cdot (D_{o'}^2 - d_{p1}^2)}{4}, \quad (2.15)$$

kde: S_{v1} – plocha pridržiavača v 1. ťažnej operácii [mm^2].

Pre zistenie tlaku pridržiavača sa najčastejšie využívajú tabuľky získané praxou. Podľa tab. 4 možno určiť tlak **p**.

Tab. 5 Výber z doporučených veľkostí tlaku pridržiavača [2].

Hrúbka ťahaneého plechu [mm]	Tlak pridržiavača [MPa]			
	Ťahaný materiál			
	Oceľový plech		Mosadz, tombak	Hliník
	Tvrдый	Hlboko ťažný		
1	2,7	1,8 ÷ 2,3	1,8	1,4
1,5	2,7	1,8 ÷ 2,2	1,7	1,35
2	2,6	1,8 ÷ 2,1	1,7	1,3
2,5	2,5	1,8 ÷ 2,1	1,6	1,25
3	2,5	1,9 ÷ 2,1	1,6	1,2
3,5	2,4	1,9 ÷ 2,0	1,5	1,2

Pridržiavacia sila v prvej ťažnej operácii [4]:

$$F_{p1} = p_1 \cdot S_{v1}, \quad (2.16)$$

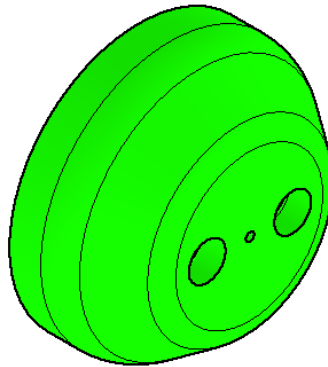
kde: p_1 – tlak pridržiavača v prvej ťažnej operácii [MPa].

Pre najjednoduchší spôsob výpočtu funkčnej plochy pridržiavača, ktorá bude v styku s výťažkom, sa použije program Autodesk INVENTOR Professional. Patrí medzi najlepšie voľby pri výpočtoch vďaka jeho presnosti, ktorú bežným výpočtom nedosiahneme.

2.5 Nástroj

Nástrojom pri hlbokom ťahaní je ťahadlo. Hlavné časti, ktoré pretvoria kruhový prístrih na výťazok, sú ťažník a ťažnica. Pri hlbokom ťahaní väčších výťazkov je nástroj vyrobený z dvoch častí. Je to spôsobené väčším opotrebením funkčnej časti, často vyrábanej z nástrojovej ocele, ktorá výrazne zvyšuje cenu. Výťazky musia byť čo najpresnejšie preto sa ťažník a ťažnica musia vyrábať veľmi presne a precízne. Vo väčšine prípadov je súčasťou nástroja aj pridržiavač, ktorý zabezpečuje správny chod pri ťahaní. [1; 4]

Ťažník (obr. 14) - jedná sa o základnú časť nástroja pri hlbokom ťahaní. Jeho funkčná časť sa zhotovuje z pevnejšieho a kvalitnejšieho materiálu, najčastejšie z nástrojovej ocele, pričom telo sa zhotovuje z bežnej konštrukčnej ocele. Hraničný priemer, pri ktorom sa ťažník skladá z dvoch častí, je 30 mm. Dôvodom je najmä cena. Pri opotrebovaní nie je potrebné meniť celý ťažník, ale iba stykovú funkčnú časť. Musí byť zabezpečené presné kopírovanie vnútorného tvaru a rozmerov výťazku. Pri konštrukcii je potrebné vytvoriť odvzdušňovacie otvory pre zabránenie vzniku pretlaku. [3, 4, 20]



Obr. 14 Príklad funkčnej časti ťažníku

Pre získanie hodnôt polomerov zaoblenia ťažníku sa najčastejšie využíva norma ČSN 22 7301.

Tab. 6 Polomery zaoblenia ťažníku podľa ČSN 22 7301 [1; 18].

Polomer zaoblenia ťažníku r_{tk}	Veľkosť výťazku
$(3 \div 4) \cdot s_0$	$(10 \div 100) \text{ mm}$
$(4 \div 5) \cdot s_0$	$(100 \div 200) \text{ mm}$
$(5 \div 7) \cdot s_0$	200 mm a viac

Ťažnica – jej úlohou je zabezpečiť vonkajší tvar a rozmer výťazku. Model ťažnice je zobrazený na obr. 15. Najdôležitejším faktorom pri navrhovaní ťažnice je polomer zaoblenia. Pri nesprávnom zvolení polomeru zaoblenia môže dôjsť k napätiam v ťahanom materiály a tým pádom aj k vzniku vád. Ťažnice sa vyrábajú delené alebo celistvé. Ak sa jedná o ťahanie plechov hrubších, je potrebná úprava tvaru ťažnice, s dôvodu možnosti vzniku vyššieho pretvorenia. Polomer zaoblenie možno určiť viacerými spôsobmi [1, 2, 3, 39, 40]:

- ťahanie na jednu ťažnú operáciu [4]:

$$r_{tc} = (6 \div 10) \cdot s_0, \quad (2.17)$$

kde: r_{tc} – polomer zaoblenia ťažnice [mm].

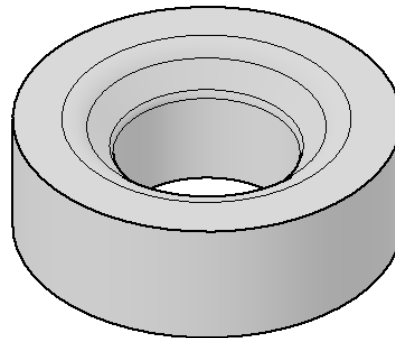
- ťahanie na viac ťažných operácií [4]:

- prvý ťah:

$$r_{tc} = (8 \div 10) \cdot s_0. \quad (2.18)$$

- ďalšie ťahy:

$$r_{tc} = (6 \div 8) \cdot s_0. \quad (2.19)$$



Obr. 15 Model ťažnice pre hlboké ťahanie

2.6 Sila a práca

Sila je najdôležitejším faktorom pri výbere stroja pre tvárnenie. Musí byť čo najpresnejšie vypočítaná, pretože ak by bola potrebná sila vyššia ako maximálna sila, ktorú vykoná zvolený stroj, mohlo by dôjsť k tomu, že by stroj nedokázal dotiahnuť výtlačok. Celková sila sa skladá zo súčtu troch zložiek síl, ktorými sú sila ťažná, pridržiavacia a vyhadzovacia [1; 2]:

$$F_c = F_t + F_p + F_v, \quad (2.20)$$

kde: F_c – celková sila [N],

F_t – ťažná sila [N],

F_p – pridržiavacia sila [N],

F_v – vyhadzovacia sila [N].

Ťažnú silu v prvej ťažnej operácií možno vypočítať pomocou:

- Súčiniteľa vplyvu ťahania [4]:

$$F_t = R_m \cdot \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot c, \quad (2.21)$$

kde: R_m – medza pevnosti [MPa],

d_s – stredný priemer výtlačku [mm],

c – súčiniteľ vyjadrujúci vplyv súčiniteľa ťahania m (tab. 7) [-].

Tab. 7 Vybrané hodnoty koeficientu c pre prvý ťah [1].

m_1	0,55	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,70	0,72	0,75	0,80
c [-]	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,40

- Pomocou maximálneho deformačného odporu (Šofman) [22]:

$$\sigma_{dmax} = \sigma_{zmax} = \sigma_{ps} \cdot \left(\xi \cdot \ln \frac{R}{\rho} + \frac{f \cdot F_{p1}}{\sigma_{ps} \cdot \pi \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{s_0 + 2 \cdot r_{tc1}} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot f) \quad (2.22)$$

kde: ξ – Lodeho súčiniteľ pri ťahaní [-],

f – súčiniteľ trenia [-],

R – polomer zmenšeného priemeru [mm],

ρ – polomer zakrivenia plochy [mm],

σ_{ps} – stredná hodnota pretváraného odporu podľa Šofmana;

$$\sigma_{ps} = \frac{R_m}{1 - \Psi_{krč}} \cdot \left[\frac{1 - 0,5 \cdot (\rho' + \frac{m_1}{\sqrt{1 - \rho'^2 + m_1^2}})}{\Psi_{krč}} \right]^{1 - \Psi_{krč}}, \quad (2.23)$$

kde: $\Psi_{krč}$ – koeficient ťažnej operácie [-],

ρ' – zmenšenie vnútorného priemeru; $\rho' = \frac{D}{D_0}$.

Pre druhé alebo ďalšie ťahy možno taktiež použiť vzorec [4]:

$$F_t = 2 \cdot \pi \cdot d_s \cdot \left(1,2 \cdot \frac{d_s}{d_{s-1}} \cdot t \cdot R_m \right). \quad (2.24)$$

kde: d_{s-1} – stredný priemer výťazku z predchádzajúcej ťažnej operácie [mm].

Pre druhé alebo ďalšie ťahy možno taktiež použiť Šofmanov vzorec [22]:

$$\sigma_{pIII} = 1,1 \cdot \sigma_{pst} \cdot \left(\left(1 + \frac{tg\alpha}{f} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{R_{n2}}{R_{n1}} \right)^{\frac{f}{tg\alpha}} \right) + \left(\ln \frac{r_{n1}}{R_{n1}} + \frac{s_0}{2 \cdot R_\rho} \right) \cdot \left(\frac{R_{n2}}{R_{n1}} \right)^{\frac{f}{tg\alpha}} + \frac{s_0}{2 \cdot r_{tcn} + s_0} \right) \cdot (1 + f \cdot \alpha'). \quad (2.25)$$

kde: σ_{pIII} – deformačný ťažný odpor [MPa],

α – optimálny uhol kužeľa ťažnice (°),

α' – optimálny uhol kužeľa ťažnice (rad),

R_{n1} – polomer zaoblenia strednice [mm],

R_{n2} – polomer zaoblenia strednice [mm],

r_1 – stredný polomer výťazku [mm],

R_ρ – polomer zakrivenia strednice [mm].

Výslednú ťažnú silu pre prvú ťažnú operáciu možno vypočítať zo vzorca [22]:

$$F_{t1} = \sigma_z \cdot \pi \cdot d_{s1} \cdot s_0. \quad (2.26)$$

Výslednú ťažnú silu pre ďalšie ťažné operácie možno vypočítať zo vzorca [22]:

$$F_t = \sigma_{pIII} \cdot \pi \cdot d_{s1} \cdot s_0. \quad (2.27)$$

Vyhadzovací silu možno vypočítať zo vzorca [2]:

$$F_v = k_v \cdot x_s, \quad (2.28)$$

kde: k_v – tuhosť pružiny vyhadzovača [N · mm],

x_s – stlačenie pružiny [mm].

Niektoré hydraulické lisy majú samostatne ovládané vyhadzovače s určitou maximálnou vyhadzovacou silou. Ako kontrolný výpočet pre potrebnú vyhadzovaciu silu sa spravidla využíva znásobenie potrebnej ťažnej sily hodnotou 0,2. [2]

Pre kontrolný výpočet sa musí vypočítať aj kritická sila – sila na pretrhnutie dna výtlačku, ktorej vzorec je [2]:

$$F_{krit} = R_m \cdot \pi \cdot d_s \cdot s_0. \quad (2.29)$$

Potrebná ťažná sila musí byť vždy menšia ako sila kritická. Ak by bola kritická sila menšia ako sila ťažná, mohlo by dôjsť k pretrhnutiu dna výtlačku. Graf zobrazujúci vzťah pôsobenia skutočnej sily ku ťažnej sile je zobrazený na obr. 16. [1]



Obr. 16 Sily pri ťahaní [1].

Maximálna práca a výška výtlačku [1; 4]:

$$A_{max} = \frac{F_c \cdot r \cdot h_n}{1000}, \quad (2.30)$$

kde: r – koeficient zaplnenia plochy (0,6 ÷ 0,8), pre ťahanie bez kalibrácie sa volí $r = 0,66$ [-],

h_n – výška výtlačku v n -tej operácii [mm].

Hĺbka ťahu rovného dna sa vypočíta pomocou vzorca:

$$h_n = \frac{S_o - S_d}{\pi \cdot d_n}, \quad (2.31)$$

$$\text{kde: } S_o = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4},$$

$$S_d = \frac{\pi \cdot d_n^2}{4}.$$

Plocha prechodového kužeľa u dna výtlačku pri zanedbaní rádiusu [4]:

$$S_k = \pi \cdot \left(\frac{d_n}{2} + \frac{d_{n+1}}{2} \right) \cdot \frac{d_n - d_{n+1}}{2 \cdot \cos \beta}, \quad (2.32)$$

kde: S_k – plocha prechodového kužeľa [mm²],

β – uhol zrazenia dna [°].

Plocha valcového plášt'a sa určí zo vzorca [1]:

$$S_p = S_c - (S_d + S_k), \quad (2.33)$$

Výška valcového plášt'a sa určí zo vzťahu [4]:

$$h_p = \frac{S_{vp}}{\pi \cdot d_n} \quad (2.34)$$

kde: h_p – výška valcového plášt'a [mm]

Celková výška výt'ažku pri n-tej ťažnej operácii so zrazením dna sa vypočíta zo vzorca [4]:

$$h_n = h_p + \left(\frac{d_n - d_{n-1}}{2}\right) \cdot tg \cdot \alpha. \quad (2.35)$$

2.7 Mazivá, vady a rekryštalizačné žihanie

Pri hlbokom ťahaní vzniká medzi nástrojom a ťahaným materiálom trenie, ktoré je spôsobené zvýšeným tlakom. Je nežiadúce v oblasti kontaktu pridržiavača a polotovaru, avšak pri kontakte ťažníka a polotovaru je žiadúce. Úlohou mazania je eliminovať, prípadne odstrániť trenie. Základnou požiadavkou na mazivo je jeho mazacia schopnosť. Musí dokonale pokryť ťahanú plochu výt'ažku a jemný, homogénny mazací film. Tento film musí odolávať tlakom až do 3500 MPa, pri ktorých sa nesmie porušiť. Medzi ďalšie základné požiadavky pre mazivo patria [2]:

- schopnosť znížiť trenie – trenie musí byť znížené na úroveň, pri ktorej nedôjde k porušeniu ťahaného materiálu,
- eliminovať opotrebenie ťažidla,
- zabrániť zadretiu a poškrabaniu ťahaného povrchu,
- vysoká súdržnosť.

Pri ľahšom tvárnení do 600 MPa sa používajú čisté kvapalné mazivá, zatiaľ čo u väčších tlakov je potrebné použiť v mazive jemnú tuhú látku – plnidlo. Plnidlo pri ťahaní ocelí obsahuje najčastejšie zmesi repkového oleja, plavenej kriedy, mastenca, vločkového grafitu, vosku a fermežovej farby. Pri ťahaní špeciálnych kremíkových ocelí sa používa ako mazivo parafín (obr. 17). Podľa skupenstva sa mazivá delia na plynné, kvapalné, plastické a tuhé. [1; 2]



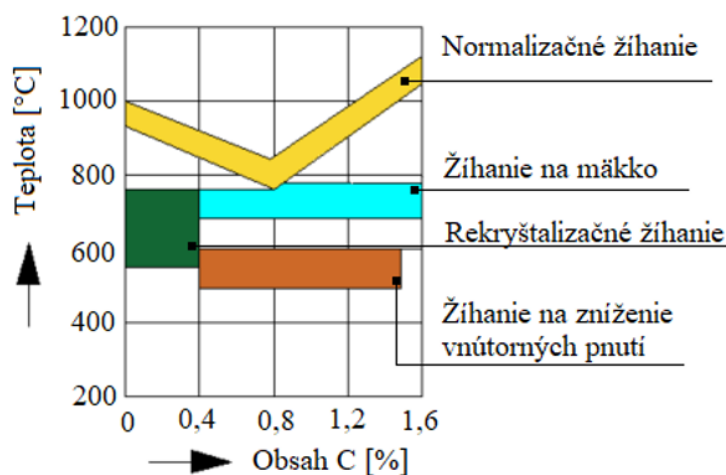
Obr. 17 Parafínový vosk a práškový mastenec [23; 24].

Vady pri ťahaní – patria k nežiadúcim výstupom ťahania. Často sú spôsobené zlým návrhom a výpočtom. Medzi hlavné vady patria zvlnenie a pretrhnutie steny výťažku (obr. 18). Pri zvlnení môže dôjsť k porušeniu alebo zničeniu nástroja. Prevenciou u väčších hrúbok výťažkov je použitie pridržiavača, ktorý čiastočne zabráňuje zvlneniu. Pretrhnutie steny môže nastať pri nesprávne zvolených vstupných podmienkach, ktorými sú napríklad zle zvolené polomery zaoblenia nástroja alebo nesprávna voľbe sily. [25; 26]



Obr. 18 Zvlnenie a pretrhnutie steny [27].

Rekryštalizačné žíhanie - v teoretickej rovine sa obnova plasticity ocele vykonáva po 4 ťažných operáciách. Praxou sa však zistilo, že ako prevencia proti vzniku defektov pri ťahaní je vhodné vykonať rekryštalizačné žíhanie už po tretej ťažnej operácii. Úlohou je zabezpečiť odstránenie deformovaných zŕn, ktoré vznikli tvárnením za studena a zabezpečiť vznik nových bez znaku predchádzajúcej deformácie. Rekryštalizačné žíhanie je využívané najmä u ocelí s nižším obsahom uhlíku. Vykonáva sa v oblasti teplôt $550 \div 700$ °C. Rozmedzia teplôt jednotlivých žíhaní sú zobrazené na obr. 19. Výdrž na teplote býva spravidla medzi rozmedzím niekoľkých sekúnd až niekoľkých hodín v závislosti na stupni predchádzajúcej deformácie. K zabráneniu oxidácií povrchu sa využíva žíhanie v ochrannej atmosfére. Výsledkom je obnova plasticity a zotavenie deformovaných zŕn materiálu. Pri viacnásobnom využití rekryštalizácie je potrebné použiť normalizačné žíhanie, pretože by veľkosť zrna mohla klesnúť pod odporúčanú hodnotu a mohlo by dôjsť k zhoršeniu tvárnenia. Najčastejšie sa rekryštalizačné žíhanie uplatňuje pri hlbokom ťahaní na viac ťahov pri výrobe nábojníc alebo hlbokých krytov. Rekryštalizačné žíhanie a jeho teplota sú znázornené na obr. 19. [28; 29]



Obr. 19 Zobrazenie žíhaní v oblasti ich teplôt [28; 29].

2.8 Stroje

Pri výbere stroja sú hlavnými kritériami potrebná menovitá ťažná sila a práca. Ak by sa zvolil stroj s nižšou silou a prácou než je potrebná, nedošlo by k dokončeniu výtlačku. Naopak, ak by sa zvolil stroj s vyššou silou a prácou než je potrebná, bol by zbytočne drahší. Pre technológiu hlbokého ťahania sa využívajú ťažné lisy. Sú to zariadenia, ktoré prenášajú a transformujú energiu na prácu a tlak barana. Rozsah veľkosti menovitej sily lisu býva od 10 do 1000 t. Z hľadiska prenosu a transformácie energie sa lisy pre hlboké ťahanie delia na:

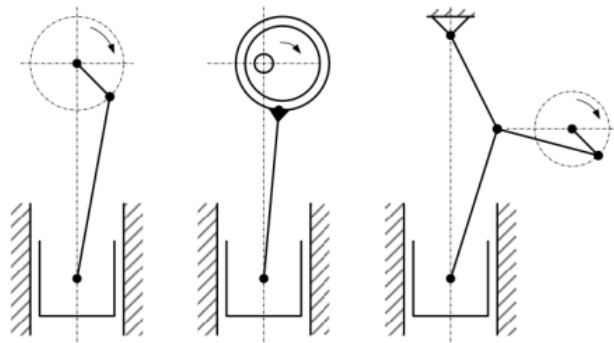
- Mechanické (obr. 20) – pracujú s priamočiarym vratným pohybom. Mechanické lisy žiaria v operáciách, ktoré vyžadujú vysokú rýchlosť a presnosť. Sú to najrozšírenejšie tvárniace stroje. Do základných parametrov patrí menovitá sila a dráha, na ktorej môže sila pôsobiť. Môžu byť zaťažené obmedzujúcou silou v určitej vzdialenosti – menovitý zdvih. Hlavnú tvárniacu silu však vždy dosiahnu až pred dolnou úvratňou. Podľa využiteľnosti mechanizmov sa delia na jednočinné, dvojčinné a viacčinné [1; 30; 31].



Obr. 20 Mechanický lis 500 PKZZ 2500 [30].

Podľa veľkosti menovitej sily ich možno rozdeliť na:

- Lhké – menovitá sila do 0,5 MN,
 - Stredné – menovitá sila v rozmedzí (0,5 ÷ 5) MN,
 - Ťažké – menovitá sila väčšia ako 5 MN.
- Hydraulické (obr. 22) – základným prvkom je pracovný tlak kvapaliny. Dokážu pôsobiť konštantnou silou a konštantnou rýchlosťou. Využívajú princípy Pascalovho zákona, ktorý sa zaoberá rozložením tlaku v kvapaline vo všetkých smeroch rovnako. U hydraulického lisu sa často využívajú kľukové, výstredníkové a kolenové mechanizmy (obr. 21). Najčastejším využívaným mechanizmom je kľukový. Ako kľuka sa môže využiť výstredník, vačka alebo rameno pracovného hriadeľa. Dokážu vyvodiť silu až 1 000 MN. Oproti mechanickým lisom sa však ťažšie hľadajú poruchy, z čoho vyplýva zložitejšia údržba, konštrukcia a taktiež väčšie počiatkové náklady pri rovnakej menovitej sile. Výhodou je ich možnosť mechanizácie a automatizácie. Pomocou ovládania nástroja sa delia na jednočinné, dvojčinné a trojčinné. [31]



Obr. 21 Schematické zobrazenie mechanizmov [31].

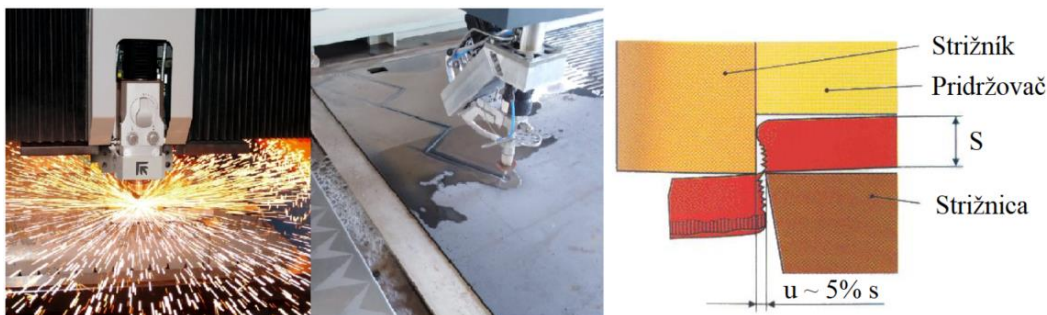


Obr. 22 Hydraulický lis Mossini [32].

2.9 Návrh výroby prístrihu a nástrihový plán

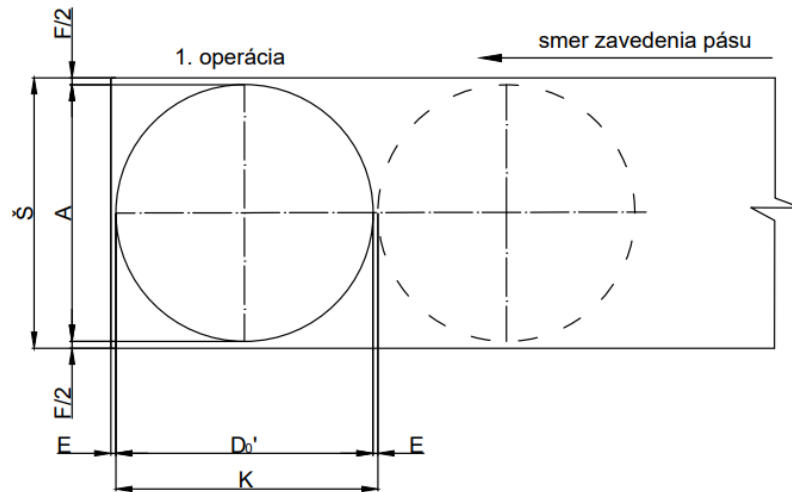
Prístrih možno vyrobiť rôznymi technológiami, kde každá má svoje výhody a nevýhody. Pri výbere vhodnej technológie sa zohľadňuje najmä ekonomickosť. Možnosti výroby:

- Laser (obr. 23) – natavením časti materiálu sa prístrih oddelí od polotovaru. V procese pálenia sa využíva argón, kyslík, dusík alebo hélium. Dokáže veľmi rýchlo vyrábať výpalky. Má dobrú kvalitu povrchu rezu a vysokú presnosť. Jeho obstarávacía cena je však veľmi vysoká. [33]
- Vodný lúč (obr. 23) – odoberanie materiálu pomocou vysokej rýchlosti a veľkej kinetickej energie. Pre zvýšenie účinku sa využíva abrazívum. Veľkou nevýhodou je, že pri dotyku pracovnej kvapaliny s polotovarom často dochádza ku korózií. Obstarávacía cena, rovnako ako u laseru, je tiež vysoká. Presnosť obrábania je približne 0,04 mm. [34]
- Strihanie (obr. 23) – tvárnenie za tepla i studena. Jedna z najrozšírenejších technológií tvárnenia. Je často využívaná pre prípravu polotovaru pre ďalšie operácie. Má vysokú produktivitu a je vhodná pre veľké série. Presnosť klasického strihania je približne 0,1 mm. [35]



Obr. 23 Technológie laseru, vodného lúča a strihania [33; 34; 35].

Polotovar (plech) pre vystrihovovanie je dodávaný vo forme zvitkov a tabuli. Pre použitie zvitku je potreba mať v prevoze rovnacie a podávacie zariadenia. Zvitky sú pripravené presne na rozmer stanovený z nástrihového plánu. Voľba nástrihového plánu (obr. 24) spočíva v správnej voľbe medzier a okrajov medzi jednotlivými kusmi. U zvitkov sa jedná väčšinou o jednoradé rozloženie. [4]



kde: K – veľkosť kroku [mm],

\check{S} – šírka zvitku [mm],

E – veľkosť mostu [mm],

$\frac{F}{2}$ – veľkosť okraja [mm],

$A = D_0'$ – priemer prístrihu [mm].

Obr. 24 Nástrihový plán [35].

Koeficienty F a E sa odčítavajú z nomogramu pre priame strihanie (príloha 2) pomocou najväčšieho priemeru a hrúbky plechu. Pomocou nich možno vypočítať [4]:

- Veľkosť kroku:

$$K = D_0' + E \quad (2.36)$$

- Šírku plechu:

$$\check{S} = A + F \quad (2.37)$$

Počet prístrihov z jedného zvitku je daný podľa vzťahu [4]:

$$n_z = \frac{L_z}{K}, \quad (2.38)$$

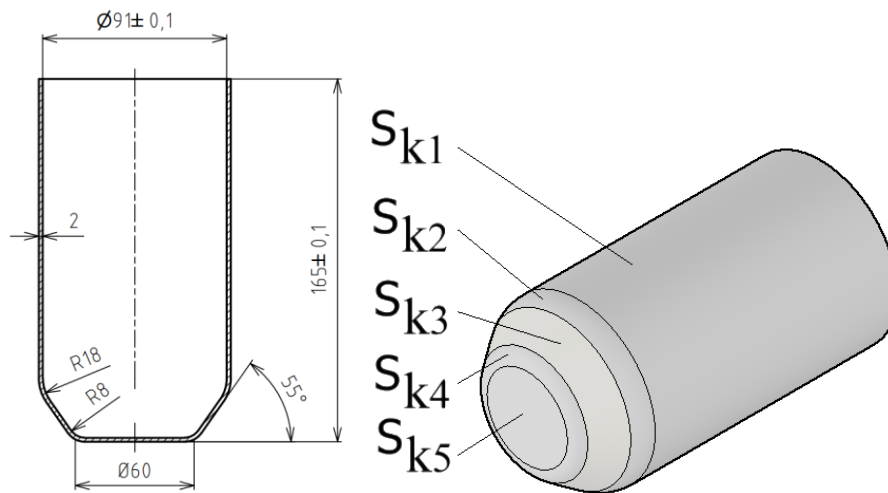
kde: L_z – dĺžka zvitku [mm].

Vzorec pre výpočet percentuálnej využiteľnosti zvitku [4]:

$$v_z = \frac{n_z \cdot S_c}{\check{S} \cdot L_z} \cdot 100 \quad (2.39)$$

3 NÁVRH VÝROBY

Vyrábanou súčiastkou je kryt olejového filtra, ktorý má za úlohu zabráňovať úniku pracovnej kvapaliny a udržiavať filter v správnej polohe. Ako materiál bola zvolená oceľ DC03 s konštantnou hrúbkou steny 2 mm. Počet vyrábaných kusov je stanovený na hodnotu 100 000. Kryt zobrazený na obr. 25 sa bude vyrábať metódou hlbokého ťahania bez stenčenia steny. Po vytiahnutí sa odstrihne prebytok materiálu a vystrihne sa otvor pre skrutku, ktorá na pevno udržuje kryt v bloku motora (obr. 2). Konečný výtlačok sa bude odhadom ťahať na štyri ťažné operácie. Úvaha vychádza z faktu, že výška je takmer dvojnásobkom priemeru krytu.



Obr. 25 Parametre krytu a označenie plôch

Pre prevenciu vzniku chýb je potrebné zhodnotiť technologickosť:

- Materiál – ako materiál sa zvolila oceľ 11 301. Jedná sa o nelegovanú uhlíkovú oceľ vhodnú pre výrobu hlbokých súčiastok. Je teda vhodná pre technológiu výroby hlbokého ťahania. Jej vlastnosti sú uvedené v tabuľkách 1, 2 a materiálovom liste v prílohe č.1.
- Rotačný tvar – výtlačok spĺňa tvar jednoduchej symetrickej súčiastky rotačného tvaru s konštantnou hrúbkou steny 2 mm. Skladá sa z valcovej plochy, zrazenia, rádiusov a dna výtlačku.
- Zvlnenie prístrihu – pre zabráneniu vzniku zvlnenia bude kryt podrobený kritériu na zistenie nutnosti použitia pridržiavača, ktorý zabraňuje zvlneniu prístrihu.
- Presnosť a drsnosť – je závislá od technológie hlbokého ťahania. Dosiaditeľná presnosť pri hlbokom ťahaní je IT 11 až IT 12 a drsnosť Ra 6,3. Parametre dosiahnuté hlbokým ťahaním sú postačujúce pre výrobu krytu.
- Príruba – nenachádza sa na kryte, preto sa nezohľadňuje.
- Kužeľovitý plášť – obmedzí sa pri zvolení správnej ťažnej medzery.
- Zaoblenie dna výtlačku – zaoblenia dna výtlačku musí zodpovedať minimálnemu zaobleniu dna výtlačku podľa vzorca (2.1):

$$(3 \div 4) \cdot s_0 = 3,5 \cdot 2 = 7 \text{ mm}$$

$$8 \text{ mm} \geq 7 \text{ mm}$$

Zaoblenie dna výtlačku je väčšie ako minimálne zaoblenie, a preto vyhovuje.

3.1 Prístrih a počet ťažných operácií

Najjednoduchším spôsobom ako vypočítať priemer prístrihu, je použitie pomocných grafických programov. V programe Autodesk Inventor Professional sa získala plocha krytu (tab. 7), ktorá bola po zaokrúhlení približne $S \doteq 50\,354,2 \text{ mm}^2$. Táto plocha sa skladá zo súčtu plôch zaoblení, plášťa zrazenia a dna výťazku po strednici.

Tab. 7 Hodnoty plôch krytu.

	S_{k1}	S_{k2}	S_{k3}	S_{k4}	S_{k5}	súčet
Plocha [mm^2]	39 063,3	3306,5	4490,2	1562,9	1931,3	50 354,2

Z plochy výťazku sa vypočíta priemer podľa vzorca (2.3):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50354,2}{3,14}} = 253,3 \text{ mm}$$

Vypočítaný priemer prístrihu je $D_0 = 253,3 \text{ mm}$. K tomuto priemeru sa pripočíta prídavok na odstrihnutie materiálu, ktorý je spravidla $(2 \div 7) \%$ z vypočítaného priemeru a následne sa sčíta s priemerom D_0 podľa vzorca (2.5):

$$w = (0,02 \div 0,07) \cdot D_0 = 0,02 \cdot 253,3 = 5,3 \text{ mm}$$

$$D_0' = D_0 + w = 253,3 + 5,3 = 258,6 \text{ mm}$$

Priemer kruhového prístrihu sa volí 260 mm.

Pre určenie počtu ťažných operácií je dôležité si určiť pomernú hrúbku materiálu podľa vzorca (2.6):

$$P_h = \frac{s_0}{D_0'} \cdot 100 = \frac{2}{260} \cdot 100 = 0,77 \%$$

Z tabuľky číslo 3 sa určia súčinitele ťahania $m_1 = 0,55$, $m_2 = 0,78$, $m_3 = 0,80$, z rozmedzia hodnôt pre pomernú hrúbku $1,0 \div 0,6$. Finálna ťažná operácia musí mať dosiahnuteľný priemer menší ako skutočný priemer krytu 91 mm.

Priemer pre prvú ťažnú operáciu sa určí podľa vzorca (2.7):

$$d_1 = m_1 \cdot D_0' = 0,55 \cdot 260 = 143 \text{ mm}$$

Volí sa priemer $d_1 = 143 \text{ mm}$

Priemer pre druhú, tretiu a štvrtú ťažnú operáciu sa určí podľa vzorca (2.8):

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,78 \cdot 143 = 111,54 \text{ mm}$$

Priemer sa zaokrúhli na $d_2 = 112 \text{ mm}$

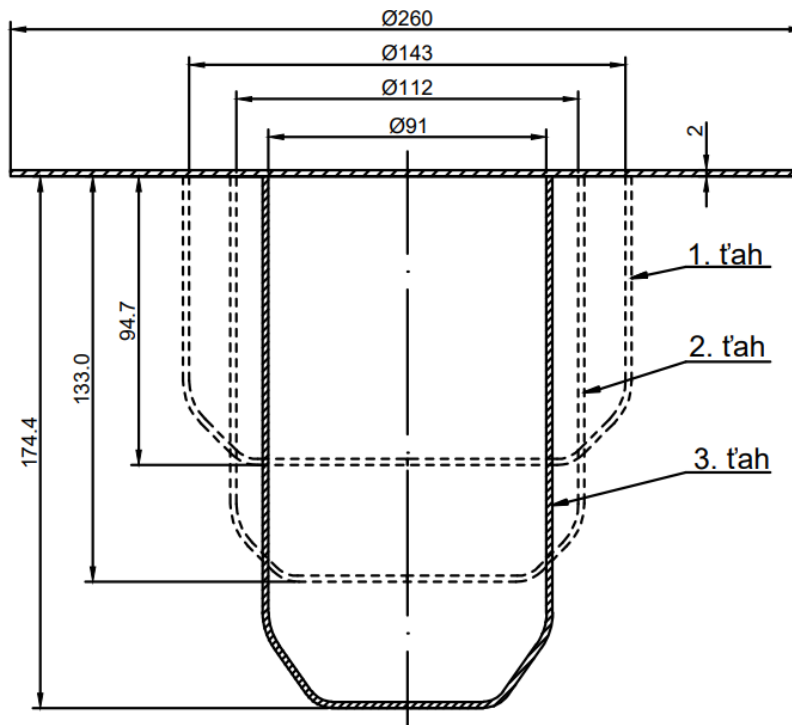
$$d_3 = m_3 \cdot d_2 = 0,80 \cdot 112 = 89,6 \text{ mm}$$

Konečný priemer $d_3 = 91 \text{ mm}$

$$89,6 < 91$$

Tretia ťažná operácia bude finálna, pretože spĺňa kritérium pre menší dosiahnuteľný priemer v ťažnej operácii ako požadovaný priemer krytu.

Dosiahnuteľný priemer po tretej ťažnej operácii je menší ako potrebný priemer, preto sa kryt vytiahne na tri ťažné operácie. Zvolené priemery výtlačkov s ich vypočítanými hĺbkami pomocou programu Autodesk Inventor Professional 2024 sú znázornené na obr. 26.



Obr. 26 Postup výroby výtlačku [1].

3.2 Výpočet ťažnej medzery, polomeru zaoblenia ťažnice a ťažníku

Pre výpočet ťažných medzier sa využije norma ČSN 22 7301, a to pre prvý ťah vzorec (2.9):

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s_0 = 1,25 \cdot 2 = 2,5 \text{ mm}$$

Pre druhý a tretí ťah podľa vzorca (2.10):

$$z_2 = (1,1 \div 1,2) \cdot s_0 = 1,15 \cdot 2 = 2,3 \text{ mm}$$

$$z_3 = (1,1 \div 1,2) \cdot s_0 = 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ mm}$$

Vzhľadom k poslednej ťažnej operácii sa finálna ťažná medzera volí menšia.

Pre výpočet zaoblenia ťažnice u prvého ťahu sa použije vzorec (2.18):

$$r_{tc1} = (8 \div 10) \cdot s_0 = 9 \cdot 2 = 18 \text{ mm}$$

Pre druhý a tretí ťah podľa vzorca (2.19):

$$r_{tc2} = (6 \div 8) \cdot s_0 = 7 \cdot 2 = 14 \text{ mm}$$

$$r_{tc3} = (6 \div 8) \cdot s_0 = 7 \cdot 2 = 14 \text{ mm}$$

Pre výpočet zaoblenia ťažníku u prvých troch ťahov sa použije vzorec z tabuľky 6 z rozmedzia $100 \div 200 \text{ mm}$.

$$r_{tk1} = (4 \div 5) \cdot s_0 = 5 \cdot 2 = 10 \text{ mm}$$

$$r_{tk2} = (4 \div 5) \cdot s_0 = 5 \cdot 2 = 10 \text{ mm}$$

Zaoblenie ťažníku pri poslednej ťažnej operácii zodpovedá skutočnej hodnote zaoblenia dna krytu, a to hodnote $r_{tk3} = 8 \text{ mm}$.

3.3 Pridržiavač

Najčastejšia metóda voľby použitia pridržiavača je empirický vzťah z normy ČSN 22 7301. Pre využitie tejto normy je nutné vopred vypočítať súčiniteľ nutnosti použitia pridržiavača podľa vzorca (2.12):

$$\frac{d_1}{D'_0} \cdot 100 = \frac{143}{260} \cdot 100 = 54,00$$

Použitie pridržiavača sa určí podľa vzorca (2.13):

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D'_0}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[3]{260}} \right) = 83,92$$

$$83,92 \geq 54,00$$

Hodnota k_p je väčšia ako 54,00 takže pridržiavač je nutné použiť.

Minimálny priemer pridržiavača pre prvú ťažnú operáciu sa vypočíta zo vzťahu (2.14):

$$d_{p1min} = d_1 + 2 \cdot r_{tc1} = 143 + 2 \cdot 18 = 179 \text{ mm}$$

Pri ostatných ťažných operáciách zodpovedá minimálny priemer pridržiavača vonkajšiemu priemeru ťažníku a maximálny priemer pridržiavača vnútornému priemeru výťažku z predchádzajúcej operácie.

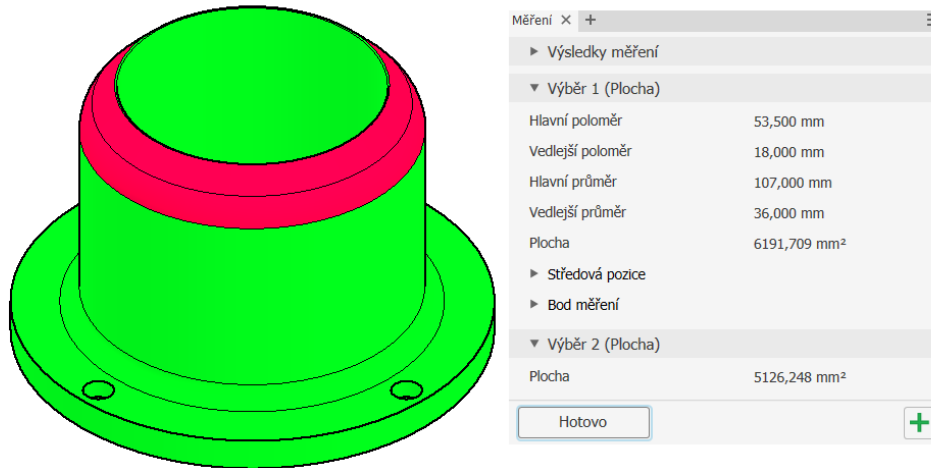
$$d_{p2min} = 112 \text{ mm}$$

$$d_{p3min} = 91 \text{ mm}$$

Výpočet plochy pridržiavača sa určí zo vzťahu (2.15):

$$S_{v1} = \frac{\pi \cdot (D'_0{}^2 - d_{p1}{}^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (260^2 - 179^2)}{4} = 27\,927,97 \text{ mm}^2$$

Najväčšia funkčná styková plocha pridržiavača je v prvej ťažnej operácii, preto bude aj potrebná pridržiavacia sila najväčšia. Najjednoduchší a najpresnejší výpočet ostatných ťažných operácií je pomocou programu Autodesk Inventor Professional 2024, ktorý zmeria stykovú plochu pridržiavača (obr. 27).



Obr. 27 Styková plocha pridržiavača pre druhú ťažnú operáciu

Pridržiavacie sily sa vypočítajú podľa vzorca (2.16):

$$F_{p1} = p \cdot S_{v1} = 2 \cdot 27\,927,97 = 55\,855,95 \text{ N}$$

kde: p – tlak pridržiavača stanovený z tabuľky 5 na 2 MPa.

$$F_{p2} = p \cdot S_{v2} = 2 \cdot 11\,317,47 = 22\,634,99 \text{ N}$$

kde: S_{v2} – styková plocha pridržiavača pre druhú ťažnú operáciu stanovená z programu Autodesk Inventor Professional 2024 na $11\,317,47 \text{ mm}^2$.

$$F_{p3} = p \cdot S_{v3} = 2 \cdot 6701,65 = 13\,403,3 \text{ N}$$

kde: S_{v3} – styková plocha pridržiavača pre druhú ťažnú operáciu stanovená z programu Autodesk Inventor Professional 2024 na $6701,65 \text{ mm}^2$.

3.4 Nástrihový plán a využitie materiálu

Polotovarom pre výrobu výťazku je plech s hrúbkou 2 mm, ktorý je vyrobený z ocele DC03. Zhotovuje sa vo forme zvitkov a pásov. Najjednoduchšia metóda výroby prístrihu pre väčšiu sériu je technológiou strihania. Rozloženie na plechu je veľmi dôležité z hľadiska využiteľnosti materiálu. Pri strihaní jednoduchého prístrihu, ktorý má tvar kruhu, je najjednoduchšie zvoliť jednoradé uloženie, pretože zvyšovanie uložení by zbytočne komplikovalo proces. Pre sériu 100 000 ks sa volí ako polotovar zvitok.

Pri voľbe nástrihového plánu sa hlavné parametre $E = 3,3 \text{ mm}$ a $F = 8,8 \text{ mm}$ volia z nomogramu pre priamy strih zobrazeného v prílohe 2. Skutočný nástrihový plán (obr. 28) obsahuje rozmiestnenie strihanej súčiastky na plechu, jednotlivé strižné operácie a smer zavádzania pásu.

Veľkosť kroku sa určí zo vzorca (2.36):

$$K = D'_0 + E = 260 + 3,3 = 263,3 \text{ mm}$$

Šírka plechu sa určí zo vzorca (2.37):

$$\check{S} = A + F = 260 + 8,8 = 268,8 \text{ mm}$$

Délka zvitku sa volí $L_z = 100\,000\text{ mm}$. Využitelnosť zvitku sa určí zo vzorca (2.38):

$$n_z = \frac{L_z}{K} = \frac{100\,000}{263,3} = 379,79\text{ ks}$$

Z jedného zvitku možno vystrihnúť 379 ks prístrihu.

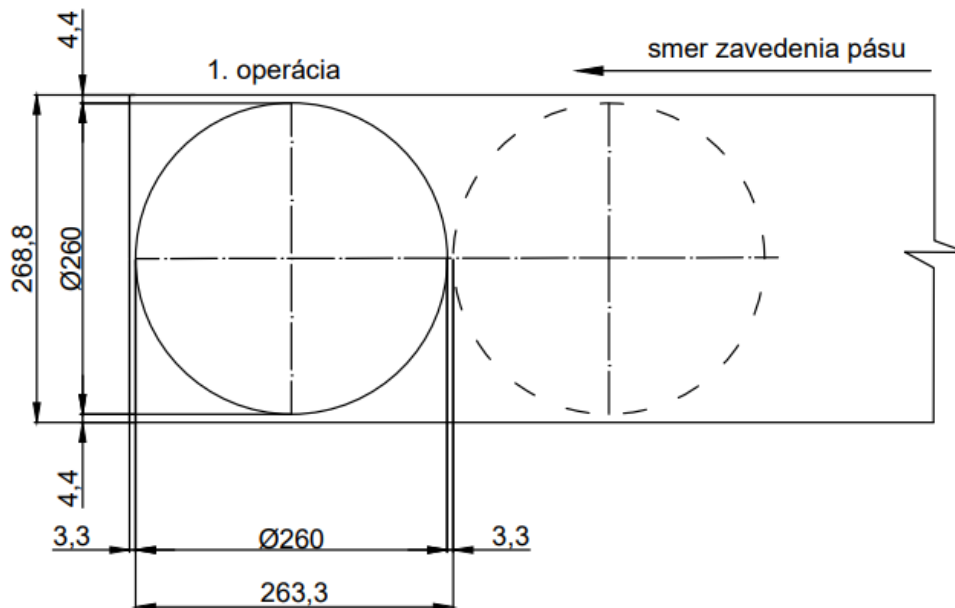
Percentuálne využitie zvitku sa určí zo vzorca (2.39):

$$v_z = \frac{n_z \cdot S_0}{\check{S} \cdot L_z} \cdot 100 = \frac{379 \cdot \frac{\pi \cdot 260^2}{4}}{268,8 \cdot 100\,000} \cdot 100 = 74,86\%$$

Potrebný počet zvitkov sa určí z podielu celkového počtu vyrábaných kusov a vystrihnutých kusov z jedného zvitku:

$$\frac{100\,000}{379} = 263,85\text{ ks}$$

Pre výrobu 100 000ks bude potrebných 264 ks zvitkov z dĺžkou 100 000 mm.



Obr. 28 Skutočný nástrihový plán s parametrami [32].

Pre obťažnosť výroby, zložitnosť a vysokú obstarávaciu cenu strojov a nástrojov pre strihanie, sa bude prístrih vyrábať v kooperácii s firmou, ktorá disponuje vhodným vybavením.

3.5 Výpočet celkové síly a práce

Ťažnú silu pre prvú ťažnú operáciu možno vypočítať viacerými spôsobmi. Jedným z najpresnejších je výpočet pomocou deformačného odporu. Stredný priemer výťazku v prvej ťažnej operácii je $d_{s1} = 145 \text{ mm}$.

Stredná hodnota pretváraného odporu podľa Šofmana sa vypočíta podľa vzorca (2.23):

$$\begin{aligned}\sigma_{ps} &= \frac{R_m}{1-\Psi_{krč}} \cdot \left[\frac{1-0,5 \cdot \left(\rho' + \frac{m_1}{\sqrt{1-\rho'^2+m_1^2}} \right)}{\Psi_{krč}} \right]^{\frac{\Psi_{krč}}{1-\Psi_{krč}}} \\ &= \frac{360}{1-0,23} \cdot \left[\frac{1-0,5 \cdot \left(0,9 + \frac{0,55}{\sqrt{1-0,9^2+0,55^2}} \right)}{0,23} \right]^{\frac{0,23}{1-0,23}} = 418,04 \text{ MPa}\end{aligned}$$

kde: $\Psi_{krč}$ - koeficient ťažnej operácie [-], volí sa 0,23

ρ' - zmenšenie vnútorného priemeru; $\rho' = 0,9$

R_m - medza pevnosti zvolená z materiálového listu z prílohy 1; $R_m = 360 \text{ MPa}$

Maximálny deformačný odpor sa vypočíta podľa vzorca (2.22):

$$\begin{aligned}\sigma_{dmax} = \sigma_{zmax} &= \sigma_{ps} \cdot \left(\xi \cdot \ln \frac{R}{\rho} + \frac{f \cdot F_{p1}}{\sigma_{ps} \cdot \pi \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{s_0 + 2 \cdot r_{tc1}} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot f) \\ &= 418,04 \cdot \left(1,1 \cdot \ln \frac{117}{72,5} + \frac{0,1 \cdot 35 \cdot 680,64}{418,04 \cdot \pi \cdot 117 \cdot 2} + \frac{2}{2+2 \cdot 18} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot 0,1) = 286,44 \text{ MPa}\end{aligned}$$

kde: ξ - Lodeho súčiniteľ pri ťahaní [-], volí sa $\xi = 1,1$

f - súčiniteľ trenia [-], volí sa $f = 0,1$

R - súčiniteľ zmenšeného priemeru pre $\rho' = 0,9$ z tab. 9; $R = 117 \text{ mm}$

ρ - polomer zakrivenia plochy; $\rho = \frac{d_{s1}}{2} = \frac{145}{2} = 72,5 \text{ mm}$

Sila potrebná pre prvý ťah sa vypočíta zo vzorca (2.26) :

$$F_{t1} = \pi \cdot d_{s1} \cdot s_0 \cdot \sigma_{zmax} = \pi \cdot 145 \cdot 2 \cdot 286,44 = 260 \, 964,56 \text{ N}$$

Tab. 9 Hodnoty pre prvú ťažnú operáciu

ρ'	Do [mm]	R [mm]	σ_{ps} [MPa]	F_{p1} [N]	σ_{zmax} [MPa]	$F_{taž1}$ [N]
0,99	257,4	128,7	227,66	53 742,85	188,32	171 571,17
0,95	247	123,5	353,48	45 502,83	268,63	244 738,55
0,90	234	117	418,04	35 680,64	286,44	260 964,56
0,87	226,2	113,1	443,46	30 042,17	283,61	258 386,26
0,85	221	110,5	457,51	26 389,38	278,36	253 603,18
0,80	208	104	486,16	17 629,05	256,36	233 559,82

Výstupom tabuľky 9 je fakt, že ťažná sila rastie do hodnoty $\rho' = 0,9$ a následne začne klesať. Najväčšia hodnota ťažnej sily je podľa výpočtu $F_{t1} = 260 \, 964,56 \text{ N}$.

Pre vylúčenie možnosti tvorby defektov pri ťahaní sa musí dať ťažná sila do pomeru s kritickou ťažnou silou, ktorá sa vypočíta podľa vzorca (2.29):

$$F_{1krit} = R_m \cdot \pi \cdot d_{s1} \cdot s_0 = 360 \cdot \pi \cdot 145 \cdot 2 = 327\,982,27 \text{ N}$$

Žiadna vypočítaná sila v prvej ťažnej operácii nepresiahne kritickú silu, preto možno tvrdiť, že nedôjde k vzniku trhlín.

Deformačný ťažný odpor pre druhú ťažnú operáciu sa vypočíta podľa vzorca (2.25):

$$\begin{aligned} \sigma_{pIII2} &= 1,1 \cdot \sigma_{ps} \cdot \left(\left(1 + \frac{tg\alpha}{f} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{R_{22}}{R_{21}} \right)^{\frac{f}{tg\alpha}} \right) + \left(\ln \frac{r_{21}}{R_{21}} + \frac{s_0}{2 \cdot R_p} \right) \cdot \left(\frac{R_{22}}{R_{21}} \right)^{\frac{f}{tg\alpha}} + \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc2} + s_0} \right) \cdot \\ &\quad \cdot (1 + f \cdot \alpha') \\ &= 1,1 \cdot 418,04 \cdot \left(\left(1 + \frac{tg45^\circ}{0,1} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{60,37}{66,94} \right)^{\frac{0,1}{tg45^\circ}} \right) + \left(\ln \frac{72,5}{66,94} + \frac{2}{2 \cdot 19} \right) \cdot \left(\frac{60,37}{66,94} \right)^{\frac{0,1}{tg45^\circ}} + \frac{2}{2 \cdot 14 + 2} \right) \cdot \\ &\quad \cdot (1 + 0,1 \cdot 0,88) = 155,48 \text{ MPa} \end{aligned}$$

kde: α – optimálny uhol kužeľa ťažnice stanovený z výťažku na 45°

α' – optimálny uhol kužeľa ťažnice stanovený z výťažku na 0,88 rad

R_{21} – polomer zaoblenia strednice stanovený z výťažku na 66,94 mm

R_{22} – polomer zaoblenia strednice stanovený z výťažku na 60,37 mm

r_{21} – stredný polomer výťažku stanovený z výťažku na 72,5 mm

R_p – polomer zakrivenia strednice stanovený z výťažku na 19 mm

Sila potrebná pre druhý ťah sa vypočíta zo vzorca (2.27):

$$F_{t2} = \pi \cdot d_{s2} \cdot s_0 \cdot \sigma_{pIII2} = \pi \cdot 114 \cdot 2 \cdot 155,48 = 111\,371,26 \text{ N}$$

Pre vylúčenie možnosti tvorby defektov pri ťahaní sa musí dať ťažná sila do pomeru s kritickou ťažnou silou, ktorá sa vypočíta podľa vzorca (2.29):

$$F_{2krit} = R_m \cdot \pi \cdot d_{s2} \cdot s_0 = 360 \cdot \pi \cdot 114 \cdot 2 = 257\,861,93 \text{ N}$$

Vypočítaná sila pre druhú ťažnú operáciu nepresiahne kritickú silu na utrnutie dna, preto možno tvrdiť, že nedôjde k vzniku trhlín.

Deformačný ťažný odpor pre tretiu ťažnú operáciu sa vypočíta podľa vzorca (2.25):

$$\begin{aligned} \sigma_{pIII3} &= 1,1 \cdot \sigma_{ps} \cdot \left(\left(1 + \frac{tg\alpha}{f} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{R_{32}}{R_{31}} \right)^{\frac{f}{tg\alpha}} \right) + \left(\ln \frac{r_{31}}{R_{31}} + \frac{s_0}{2 \cdot R_p} \right) \cdot \left(\frac{R_{32}}{R_{31}} \right)^{\frac{f}{tg\alpha}} + \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc3} + s_0} \right) \cdot \\ &\quad \cdot (1 + f \cdot \alpha') \\ &= 1,1 \cdot 418,04 \cdot \left(\left(1 + \frac{tg45^\circ}{0,1} \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{51,12}{50,73} \right)^{\frac{0,1}{tg45^\circ}} \right) + \left(\ln \frac{57}{50,73} + \frac{2}{2 \cdot 19} \right) \cdot \left(\frac{51,12}{50,73} \right)^{\frac{0,1}{tg45^\circ}} + \frac{2}{2 \cdot 14 + 2} \right) \cdot \\ &\quad \cdot (1 + 0,1 \cdot 0,88) = 113,84 \text{ MPa} \end{aligned}$$

kde: α – optimálny uhol kužeľa ťažnice stanovený z výťažku na 45°

α' – optimálny uhol kužeľa ťažnice stanovený z výťažku na $0,88$ rad

R_{31} – polomer zaoblenia strednice stanovený z výťažku na $50,73$ mm

R_{32} – polomer zaoblenia strednice stanovený z výťažku na $51,12$ mm

r_{31} – stredný polomer výťažku stanovený z výťažku na 57 mm

R_p – polomer zakrivenia strednice stanovený z výťažku na 19 mm

Sila potrebná pre tretí ťah sa vypočíta zo vzorca (2.27):

$$F_{t3} = \pi \cdot d_{s3} \cdot s_0 \cdot \sigma_{pIII3} = \pi \cdot 93 \cdot 2 \cdot 113,84 = 66\,520,84 \text{ N}$$

Pre vylúčenie možnosti tvorby defektov pri ťahaní sa musí dať ťažná sila do pomeru s kritickou ťažnou silou, ktorá sa vypočíta podľa vzorca (2.29):

$$F_{3krit} = R_m \cdot \pi \cdot d_{s3} \cdot s_0 = 360 \cdot \pi \cdot 93 \cdot 2 = 210\,361,04 \text{ N}$$

Vypočítaná sila pre tretiu ťažnú operáciu nepresiahne kritickú silu na utrhnutie dna, preto možno tvrdiť, že nedôjde k vzniku trhlín.

Potrebnú vyhadzovaciu silu je možné vypočítať podľa viacerých vzorcov. Ak sa použije vyhadzovač, ktorý je súčasťou nástroja, počíta sa jeho vyhadzovacia sila pomocou tuhosti pružiny a jej dĺžky stlačenia. Použije sa jednoduchý výpočet, v ktorom vyhadzovacia sila tvorí 20 % z F_t v danej operácii:

$$F_{v1} = 0,2 \cdot F_{t1} = 0,2 \cdot 260\,964,56 = 52\,192,91 \text{ N}$$

kde: F_{v1} – potrebná vyhadzovacia sila v prvom ťahu [N].

$$F_{v2} = 0,2 \cdot F_{t2} = 0,2 \cdot 111\,371,26 = 22\,274,25 \text{ N}$$

kde: F_{v2} – potrebná vyhadzovacia sila v druhom ťahu [N].

$$F_{v3} = 0,2 \cdot F_{t3} = 0,2 \cdot 66\,520,84 = 13\,304,17 \text{ N}$$

kde: F_{v3} – potrebná vyhadzovacia sila v treťom ťahu [N].

Celková potrebná sila pre prvý ťah sa vypočíta podľa vzorca (2.20):

$$F_{c1} = F_{t1} + F_{p1} + F_{v1} = 260\,964,56 + 55\,855,95 + 52\,192,91 = 369\,013,42 \text{ N}$$

Celková potrebná sila pre druhý ťah vypočíta podľa vzorca (2.20):

$$F_{c2} = F_{t2} + F_{p2} + F_{v2} = 111\,371,26 + 22\,634,99 + 22\,274,25 = 156\,280,5 \text{ N}$$

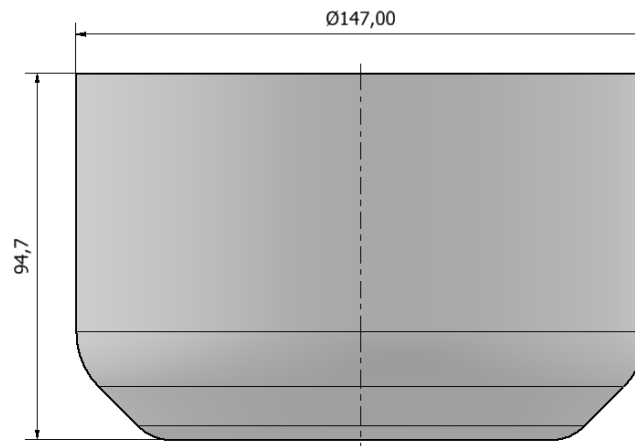
Celková potrebná sila pre tretí ťah vypočíta podľa vzorca (2.20):

$$F_{c3} = F_{t3} + F_{p3} + F_{v3} = 66\,520,84 + 13\,403,3 + 13\,304,17 = 93\,228,31 \text{ N}$$

Pre výpočet hodnoty práce v prvom ťahu sa výška výtlačku vypočíta podľa vzorca 2.31 a následne sa overí hodnota vypočítaná programom:

$$h_1 = \frac{S_0 - S_z}{\pi \cdot d_1} = \frac{\frac{\pi \cdot 260^2}{4} - \frac{\pi \cdot 143^2}{4}}{\pi \cdot 143} = 82,43 \text{ mm}$$

Použije sa hodnota výšky pre prvý ťah $h_1 = 94,7 \text{ mm}$, ktorá bola získaná z programu Autodesk Inventor Professional 2024, pretože bola vypočítaná so zrazením, rádiusmi dna výtlačku (obr. 29) a bol dodržaný zákon zachovania objemu.



Obr. 29 Teoretický dokonalý výtlačok po prvej ťažnej operácii.

Práca v prvom ťahu sa vypočíta podľa vzťahu (2.30):

$$A_{1max} = \frac{F_{c1} \cdot r \cdot h_1}{1000} = \frac{369\,013,42 \cdot 0,66 \cdot 94,7}{1000} = 23\,064,08 \text{ J}$$

kde: $r = 0,66$; koeficient zaplnenia plochy bez kalibrácie.

Práca v druhom ťahu sa vypočíta podľa vzťahu (2.30):

$$A_{2max} = \frac{F_{c2} \cdot r \cdot h_2}{1000} = \frac{156\,280,5 \cdot 0,66 \cdot 133}{1000} = 13\,718,30 \text{ J}$$

kde: h_2 – výška výtlačku po druhej ťažnej operácii stanovená z programu Autodesk Inventor Professional na 133 mm

Práca v treťom ťahu sa vypočíta podľa vzťahu (2.30):

$$A_{3max} = \frac{F_{c3} \cdot r \cdot h_3}{1000} = \frac{93\,228,31 \cdot 0,66 \cdot 174,4}{1000} = 10\,730,95 \text{ J}$$

kde: h_3 – výška výtlačku po tretej ťažnej operácii stanovená z programu Autodesk Inventor Professional na 174,4 mm.

3.6 Voľba stroja, ťažný nástroj a mazivo

Najdôležitejším kritériom pre výber je ťažná sila a prispôsobivosť stroja pre rôzne využitia. Voľba závisí taktiež na rozmeroch zadanej súčiastky. Pre metódu výroby hlbokým ťahaním sú vhodné viacčinné lisy. So zohľadnením parametrov a technológie sa volí hydraulický trojčinný lis (obr. 30) od spoločnosti SICMI s označením DNP 80. Výrobca určuje vhodnosť pre hlboké ťahanie a jeho parametre (tab. 8) vyhovujú potrebným parametrom výťažku a nástroja. Obsahuje spodný pridržiavač a výrobca dodáva varianty aj s horným vyhadzovačom s menovitou silou. Výhodou hydraulického lisu je aj možnosť ovládania tvárniacej rýchlosti počas samotného procesu v závislosti od dráhy. Upínanie dolnej a hornej dosky zabezpečujú T drážky. [36]

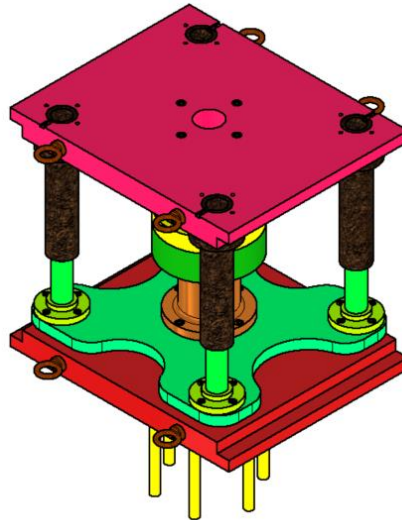


Obr. 30 Hydraulický lis SICMI DNP 80 [36].

Tab. 8 Základné parametre lisu DNP 40 [36].

Menovitá sila [kN]	Zdvih [mm]	Zovretá výška [mm]	Upínacia plocha stola [mm]	Upínacia plocha barana [mm]	Sila pridržiavača [kN]	Sila vyhadzovača [kN]
800	900	450	800 x 750	800 x 750	400	80

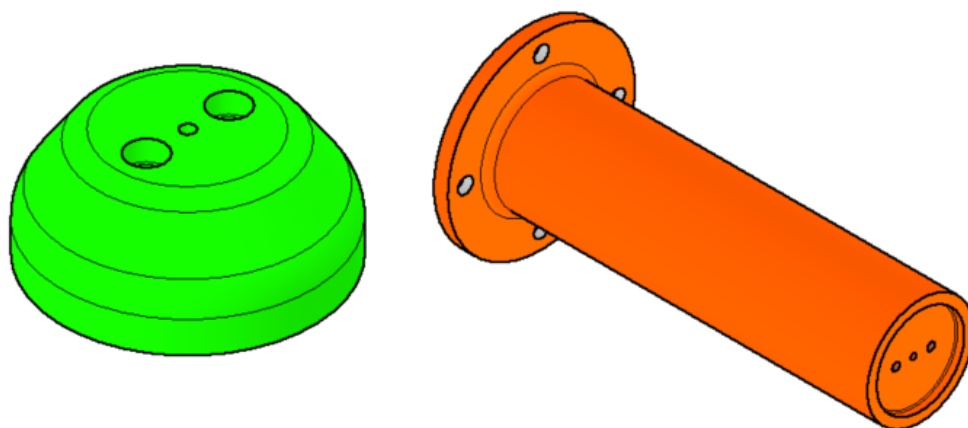
Ťažný nástroj bude konštruovaný pre hydraulický lis DNP 80, ktorý bude rozšírený o horný vyhadzovač s menovitou silou 80 kN. Nástroj (obr. 31) sa skladá z dvoch základných častí, a to hornej pohyblivej a dolnej pevnej. Pohyblivá časť obsahuje hornú dosku s otvorom pre vyhadzovač, prenosné oká, ťažnicu a vodiace puzdrá. Pevnú časť tvorí spodná doska, ťažník, pridržovač, vodiace stĺpiky, pridržiavacie stĺpiky a klzné puzdrá.



Obr. 31 Zovretý ťažný nástroj.

Samostatný nástroj pre tretiu ťažnú operáciu sa pomocou manipulačných očí vloží na pracovný stôl lisu a upne sa pomocou T drážok. Následne sa výtlačok z druhej ťažnej operácie vloží na pridržiavač, ktorý je v rovnakej výške ako ťažník. Po spustení stroja sa horná časť s ťažnicou dotkne spodnej časti s ťažníkom a pridržiavačom, čo má za následok vyvodenie pridržiavacej sily. Následne sa posúva ťažnica a samostatne ovládaný pridržiavač smerom dole, avšak ťažník zostáva v pevnej polohe a vŕahuje do ťažnice výtlačok. Výsledný tvar výtlačku zabezpečuje presná kópia jeho vnútornej časti, ktorou je ťažník. Po vytiahnutí do zovretého stavu sa horná časť s ťažnicou začne vracat' do hornej polohy. Vyhadzovač v kooperácii s pridržiavačom vytlačia hotový výtlačok von. Základný popis hlavných častí nástroja pre tretiu ťažnú operáciu a ich návrh konštrukcie [37]:

- Ťažník – je zložený z dvoch samostatne vyrábaných častí (obr. 32). Horná a zároveň funkčná časť je vyrobená z kvalitnejšieho materiálu, a to ocele 19 436.9, ktorá je tepelne upravená kalením a popúšťaním na tvrdosť 59 ± 1 HRC. Spodnou časťou je telo ťažníku, s ktorým je funkčná časť spojená pomocou dvoch skrutiek a presného osadenia pre zaistenie vystredenia. Telo bolo vyrobené z ocele 12 050 a k spodnej základovej doske je upevnené pomocou štyroch skrutiek a presného osadenia. Cez celý ťažník vedú odvodušňovacie otvory. Povrch tela je bez úpravy, zatiaľ čo funkčná časť je zhotovená na drsnosť $Ra = 0,4 \mu m$.

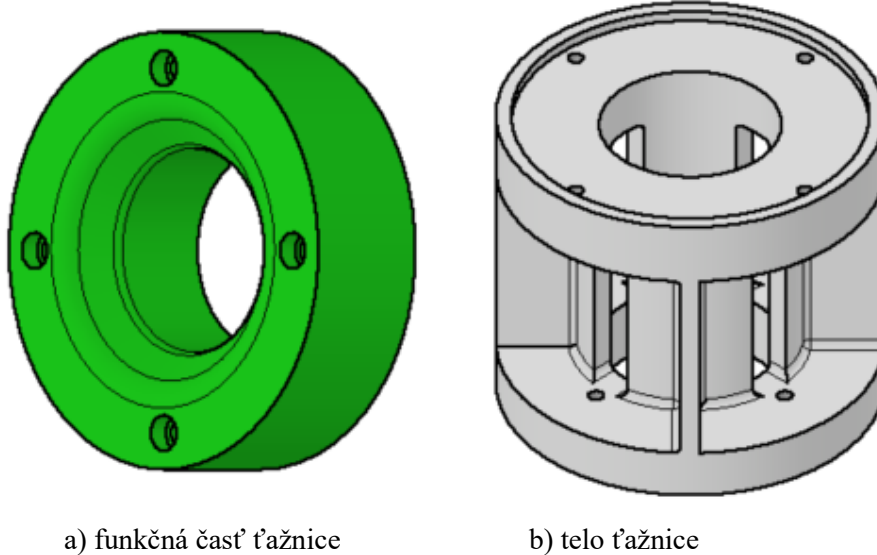


a) funkčná časť ťažníku

b) telo ťažníku

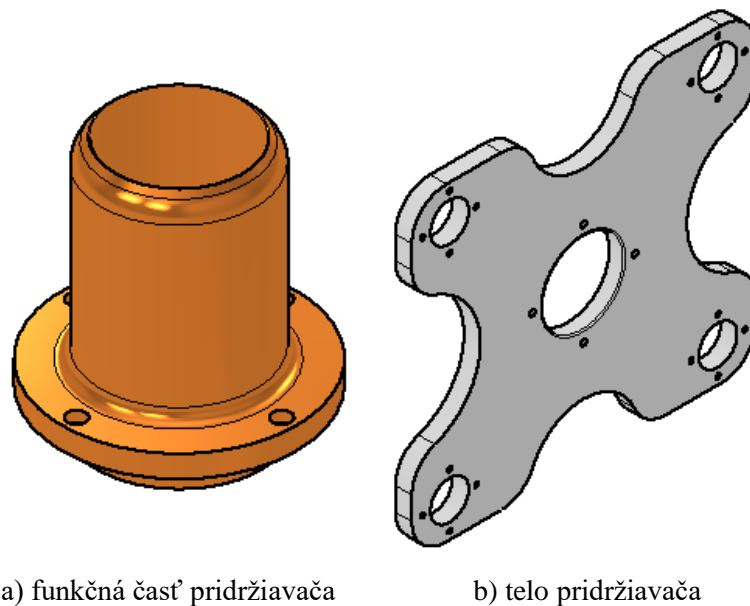
Obr. 32 Ťažník pre tretiu operáciu.

- Ťažnica (obr. 33) – rovnako ako ťažník sa aj ťažnica skladá z dvoch častí. Funkčná časť ťažnice je vyrobená z ocele 19 436.9, tepelne spracovaná kalením a popúšťaním na tvrdosť 58 ± 1 HRC. Telo je zhotovené z liatiny 42 2456. Spojenie zabezpečujú štyri skrutky a presné osadenie. Povrch ťažnice je leštený na drsnosť $Ra = 0,2 \mu m$. Vystredenie a spojenie tela a hornej základovej dosky zabezpečuje presné osadenie v kombinácii so štyrmi skrutkami.



Obr. 33 ťažnica pre tretiu ťažnú operáciu.

- Pridržiavač (obr. 34) – je tvorený z dvoch častí. Funkčná časť je vyrobená z ocele 14 220 a tepelne upravená kalením a popúšťaním na tvrdosť 52 ± 1 HRC. Druhou časťou je vodiaca doska, ktorá je vyrobená z ocele 12 050. Spojenie a vystredenie zabezpečujú štyri skrutky a presné osadenie. Ovládaný je pomocou pridržiavacích stĺpikov, ktoré dosadajú na spodnú časť pridržiavača. Vedenie a vystredenie zabezpečujú vodiace puzdrá a nosné stĺpiky.



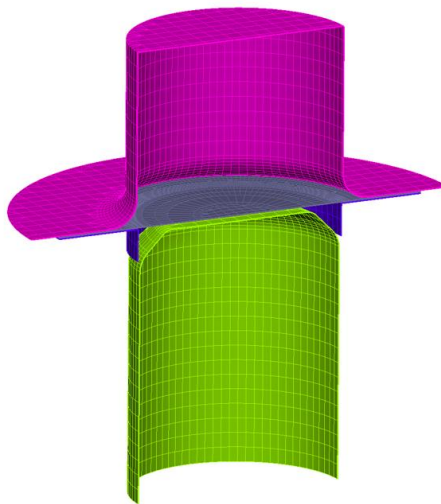
Obr. 34 Pridržiavač pre tretiu ťažnú operáciu.

- Vyhadzovač – tyč s priemerom 60 mm, ktorá je súčasťou stroja a je ovládaná baranom lisu. Vyrobený je z ocele 12 050 a prechádza cez otvor v hornej základovej doske. Potrebná vyhadzovacia sila pre tretiu ťažnú operáciu je približne 32 329,17 N. Ak by sila na vyhodenie nestačila, lis DNP 80 dokáže vyvodiť vyhadzovaciu silu až 80 kN.
- Vodiace stĺpiky a puzdrá (obr. 35) – vedenie a vystredenie je zabezpečené vďaka štyrom vodiacim stĺpikom a puzdrám, ktoré sú vyrobené u ocele 12 050. Stĺpiky sú v dolnej doske zalisované a zaistené skrutkou a puzdrá sú v hornej doske zalisované a zaistené štyrmi skrutkami.
- Základové dosky – obe o rozmeroch 550 x 450 mm. Obsahujú vyfrézované plochy pre upnutie, zalisovanie a správne spojenie s ďalšími časťami ťahadla. Vyrobené sú z ocele 12 050. Horná doska navyše obsahuje dieru s priemerom 65 mm pre samostatný vyhadzovač ovládaný lisom.
- Pridžiavacie tlačené kolíky – ich ovládanie zabezpečuje samostatný mechanizmus lisu, ktorý sa nachádza v spodnej časti pod upínacím stolom lisu. Jedná sa o šesť kolíkov vyrobených z ocele 12 050.

Mazivo – pre prevenciu vzniku trenia medzi nástrojom a ťahaným materiálom je potrebné použiť mazivo. Volí sa ALC 080 (príloha 1), ktoré je vhodné pre tvárnenie a ohýbanie. Výhodou je jednoduché odstránenie teplou vodou alebo alkalickým čističom. Je nehorľavé, nezanecháva na materiály škvry, bez zápachu a bez nežiadúcich účinkov na životné prostredie. [42]

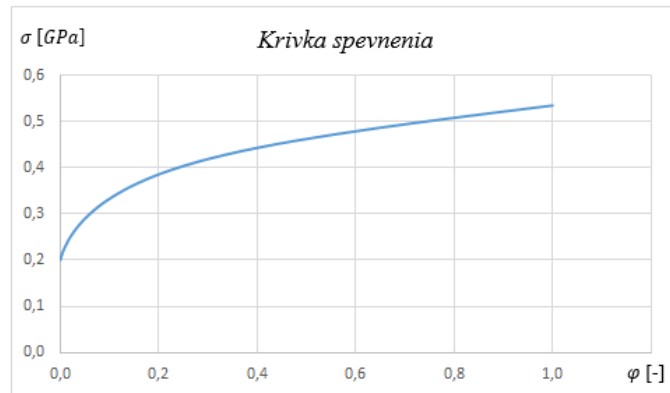
3.7 Overenie pomocou simulácie

Pre kontrolu vyrobiteľnosti výtlačku a overenie správnosti výpočtov bola vykonaná simulácia v programe PAM-STAMP 2022. Úlohou simulácie je získanie predstavy o priebehu ťahania a vzniku hotových výtlačkov. Program pracuje na princípe metódy konečných prvkov. Princíp spočíva v rozdelení telesa na množstvo malých, ľahšie opísateľných prvkov. Pracuje s menšími prvkami, pretože ich možno jednoduchšie popísať.



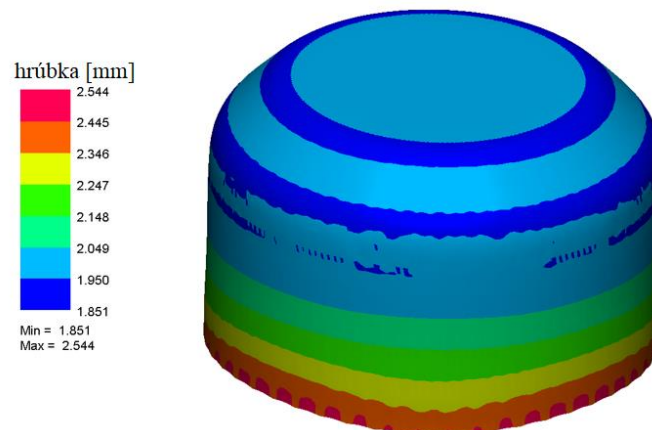
Obr. 35 Rez modelu siete konečných prvkov pre prvú ťažnú operáciu.

Obr. 35 zobrazuje ťažník, ťažnicu a pridrživač pokrytý sieťou 2D kontaktných prvkov. Polotovár znázornený šedou farbou je popísaný škupinovými prvkami, pomocou ktorých možno umožniť simulácie tenších plechov. Pri vstupe bol nastavený a definovaný materiálový model pre oceľ 11 301 spolu s jeho elastickými vlastnosťami, ktoré popisuje krivka spevnenia (obr. 36). Použité koeficienty anizotropie $r_0 = 1,65$, $r_{45} = 1,42$, $r_{90} = 2,17$. Použitá hodnota Poasonovho pomeru bola 0,3. Vstupné modely siete konečných prvkov pre druhú a tretiu ťažnú operáciu a ďalšie vstupné parametre sú zobrazené v prílohe 4.



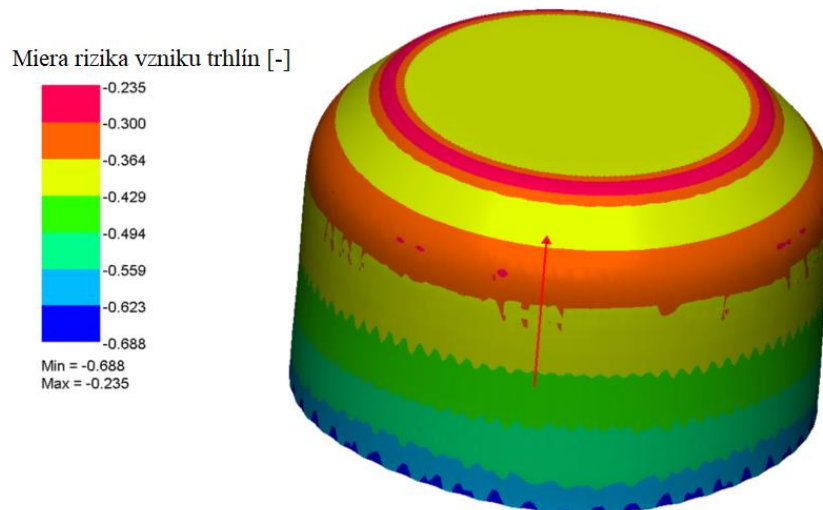
Obr. 36 Krivka spevnenia.

Po vložení vstupných parametrov sa pokračovalo v kontrole zmeny hrúbky materiálu v jednotlivých úsekoch výťazku. Program pracoval s počiatočnou hrúbkou 2 mm. Na obr. 37 možno vidieť zmenu hrúbky výťazku. Najnižšej hodnote 1,85 mm zodpovedá modrá farba, ktorá sa vyskytuje najmä v oblasti zaoblení. Najväčšiu hrúbku 2,54 mm označenú červenou farbou možno spozorovať na spodnej časti, v ktorej by sa najpravdepodobnejšie mohlo vyskytnúť zvlnenie. Zmeny hrúbky výťazkov pre druhé a tretie ťažné operácie sú zobrazené v prílohe 5.



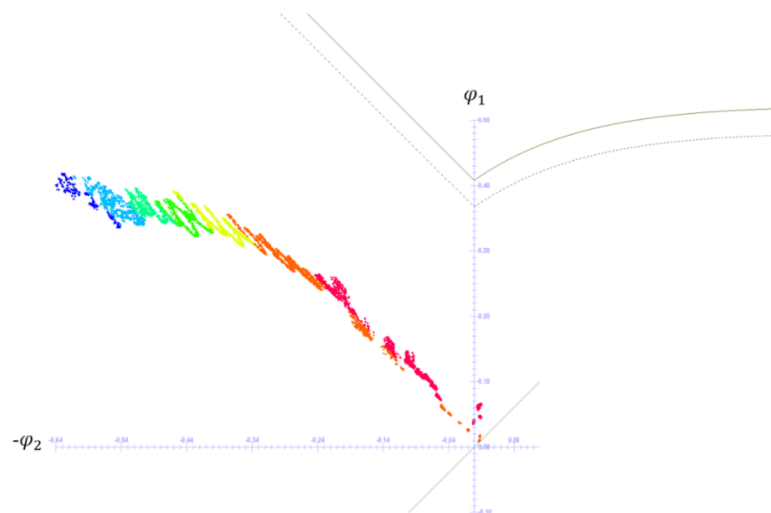
Obr. 37 Farebné rozlíšenie zmeny hrúbky výťazku.

Simulácia ďalej zanalyzovala možný vznik defektov počas procesu ťahania. Farebná škála s hodnotami (obr. 38) zobrazuje mieru rizika vzniku trhlín. Čím viac sa záporná hodnota približuje ku kladnej, tým viac rastie možnosť vzniku trhlín. Z obr. 38 vyplýva, že pri prvej ťažnej operácii nevznikla žiadna trhlinka. Najčastejšia hodnota je charakterizovaná zelenou a žltou farbou a má najväčšie zastúpenie na modeli výťazku. Najkritickejšia oranžová až červená farba sa vyskytuje v prechodových rádiuoch zrazenia dna a zaoblení dna výťazku. Parametre sú brané z vonkajšieho povrchu modelu výťazku.



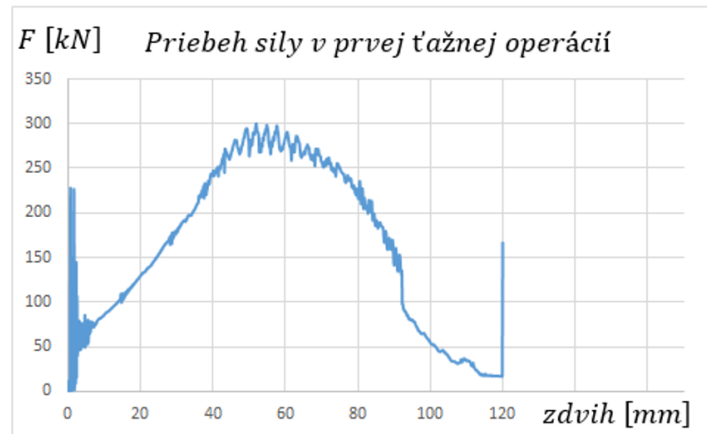
Obr. 38 Model kontrolovaný na vznik trhlín.

Výstupom z miery rizika vzniku trhlín je diagram medznej tvárnosti znázornený na obr. 39. Hodnoty blížiacie sa ku krivke medznej tvárnosti majú tendenciu vzniku trhlín. Na obrázku je vidieť, že sa žiadne hodnoty nedotýkajú ani nepresahujú krivku a možno zhodnotiť, že nedôjde k tvorbe trhlín. Hodnotu logaritmického pretvorenia φ_1 zobrazuje zvislá os a hodnotu φ_2 zobrazuje os vodorovná. Simuláciou bol skontrolovaný aj vnútorný povrch modelu a aj vnútorné a vonkajšie povrchy modelov druhej a tretej ťažnej operácie zobrazených v prílohách 6, 7, 8 a 9.



Obr. 39 Diagram medznej tvárnosti.

Výstupom simulácie je taktiež aj potrebná ťažná sila, ktorá je v každom bode ťahu iná. Obr. 40 znázorňuje potrebnú ťažnú silu v súčte so silou pridržiavacou v jednotlivých miestach zdvihu. Odchýlka, ktorá vzniká medzi hodnotami zdvihu 0 až 5 mm je spôsobená oneskoreným dotykom nástroja, ktorý začne pôsobiť až od hodnoty 6 mm. Z obrázku možno vyčítať, že maximálna sila použitá v simulácii prvej ťažnej operácie je približne 300 000 N. Ťažná zložka sily činí približne 244 kN. Priebeh druhej a tretej ťažnej operácie je zobrazený v prílohe 10.



Obr. 40 Priebeh sily v prvej ťažnej operácii.

Rozdiel medzi ťažnou silou vygenerovanou v simulácii a vypočítanou ťažnou silou mohol spôsobiť fakt, že simulácia nepočíta s mazaním pri ťahaní a nezohľadňuje ďalšie parametre a geometriu nástroja. Pre prevenciu vzniku zmätkov bude však pre prvú ťažnú operáciu použitá vypočítaná sila podľa deformačného odporu, a to sila 260 964 N.

ZÁVER

Vyrábanou súčiastkou je kryt olejového filtra, ktorý sa nachádza na nákladnom automobile a slúži na ustálenie správnej polohy filtra. Ako materiál pre výrobu bola zvolená oceľ DC03 s hrúbkou 2 mm. Pre výrobnú sériu 100 000 kusov sa ako najvhodnejší variant výroby zvolila technológia hlbokého ťahania, na ktorú je zameraná teoretická časť práce.

Pre konštrukciu nástroja a výber vhodného stroja bolo určených a stanovených mnoho technologických výpočtov. Konštrukcia nástroja bola závislá od geometrií krytu. Nástroj bol špeciálne konštruovaný pre výrobu výtlačku. Hlavnými časťami sú ťažník, ťažnica a pridržiavač, ktorým boli vytvorené technologické výkresy.

Po výpočtoch a návrhu nástroja bol zvolený hydraulický lis DNP 80 od firmy SICMI. Pri výbere sa hľadelo najmä na jeho maximálny možný zdvih 900 mm, možnosť upínania pomocou T drážok a maximálnu tvárnu silu 800 000 N. Lis bol doplnený o hydraulický ovládaný samostatný horný vyhadzovač s maximálnou menovitou silou 80 000 N.

Pre overenie návrhu a možnosti výroby bola využitá simulácia pomocou programu PAM-STAMP. Výsledná simulácia poukázala na vznik stenčení a zhrubnutí niektorých prechodových častí. Potvrdila možnosť výroby, správnosť výpočtov a návrhov. Výstupom neboli žiadne vady ani defekty, preto je kryt podľa návrhu vyrobiteľný.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
 2. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
 3. DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František; HORÁČEK, Milan; KANDUS, Bohumil; KUBÍČEK, Jaroslav a ŽÁK, Ladislav. *Technologie. Učební texty vysokých škol*. Brno: PC-DIR, 1995. ISBN 80-214-0689-5.
 4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
 5. ŠPERKY4U S.R.O. Ocelové pohárky kalíšky 100 ml. *Sperky4u* [online]. 2024 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.sperky4u.eu/ocelove-poharky-kalisky-100-ml---panaky-4-ks>
 6. OBI GROUP HOLDING SE & CO. KGAA. A-Interiéry Nerezový dřez s odkapávačem E5011. *Obi* [online]. 2024 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.obi.cz/nerezove-drezy/a-interiery-nerezovy-drez-s-odkapavacem-e5011/p/1026905>
 7. ZHENGXI HYDRAUUC. Plechovka. *Zx-hydraulic* [online]. 2023 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.zx-hydraulic.com/cs/news/deep-drawing-forming-process-practical-application/>
 8. LUBOSLAV. Nastavenie vstrekovacích trysiek. In: *Avia-club* [online]. 2017 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.avia-club.com/forum-tema/motor-a-31v-traktore-24071>
 9. EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES. DC03. *Steelnumber* [online]. 2011 [cit. 2024-05-14]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=200
 10. ŠUGÁROVÁ, Jana. Progresívne metódy tvárnenia: Tvárnenia aplikáciou nepevného prostredia. In: MTF STU TRNAVA. *Vzdelavanie-vt.mtf.stuba* [online]. 2019 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://vzdelavanie-vt.mtf.stuba.sk/wp-content/uploads/2021/12/Nepevne%CC%81-prostredie.pdf>
 11. Quintus Technologies. *Hydroforming* [online]. 2019, 21. January 2019 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=Efo2znmzW6Y&ab_channel=QuintusTechnologies
 12. ŠUGÁR, Peter a Jana ŠUGÁROVÁ. Technológia kovotlačenia: smery ďalšieho rozvoja. In: STU BRATISLAVA, MTF TRNAVA. *Engineering* [online]. 2019 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/10604-technologie-kovotlacenia-smery-dalsieho-rozvoja>
 13. TATÍČEK, František, Tomáš PILVOUSEK a Martin KUBELKA. Akadémia tvárnenia: hluboké tažení. In: ČVUT, FS V PRAZE. *Mmspektrum* [online]. 22 November 2011 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni>
 14. ENGINEERS, Vima. *Hydraulic deep drawing press* [online]. 2019, 7. November 2019 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/shorts/Cda9Mn1xoPk>
-

15. DIRECT, Rapid. *Automotive metal fabrication - deep drawing* [online]. 2023, 2. November 2023 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/shorts/2NDps7Kf8pU>
16. POLLÁK, Ladislav. *Anizotropia a hlbokotažnosť ocelových plechov*. Bratislava: Alfa, 1978.
17. AUTOFORM. Tiefziehen. *Autoform* [online]. 2023 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.autoform.com/de/glossar/tiefziehen/>
18. ČSN 22 7301. *TAŽENÍ DUTÝCH VÁLCOVÝCH VÝTAŽKŮ: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1969.
19. LANGE, Kurt, Klaus PÖHLANDT, Ragu S. RAGHUPATHI, John D. SANITER, Wolfgang J. SAUER, John A. SCHEY, Klaus J. WEINMANN a G.E.O. WIDERA. *Handbook of metal forming*. Michigan: Springer, c1972-1975. ISBN 0-87263-457-4.
20. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
21. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli (odborná kniha)*. 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
22. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
23. Svíčkový parafín 1kg. In: AMOS. *Tvorivyamos* [online]. 2024 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.tvorivyamos.cz/svickový-parafín-1kg>
24. Mastenec 400g prášek: EVODRIVE PNEUMAS. In: AUTO-SLAVICEK. *Obchod.auto-slavicek* [online]. AUTOSLAVÍČEK [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://obchod.auto-slavicek.cz/cs/katalog/detail-zbozi/mastenec-400g-prasek/evodrive/pneumas400g/2022376959>
25. Technologie plošného tváření: tažení. In: TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Ksp.tul.cz* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
26. HUA-WEI, Zhang, Wu JIA-LU a Wang XIN-GANG. Crack defect of tailor rolled blank in deep drawing process. In: SPRINGER LINK. *Link.springer* [online]. 2018 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42243-018-0184-2>
27. ZAID, Adnan. Deep drawing mechanism, parameters, defects and recent results: state of the art. In: *Iopscience.iop* [online]. 2016 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/146/1/012009/pdf>
28. Základy metalografie a tepelné zpracování. In: *Coptel* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://coptel.cz/pluginfile.php/16435/mod_resource/content/1/03%20Z%C3%A1klady%20metalografie%20a%20tepeln%C3%A9ho%20zpracov%C3%A1n%C3%AD-1.pdf
29. *Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium* [online]. První. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015 [cit. 2024-05-12]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <https://zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecichstroju.pdf>
30. Tvárnenie: Mechanický lis 500 PKZZ. In: THORMA. *Kooperacia.thorma.sk* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://kooperacia.thorma.sk/tvarnenie/>
31. Žihání ocelí: Rekrytalizační žihání. In: *Strojirenstvi.studentske.cz* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/hn-ocel.html>
32. MÚDRY, Michal. Lis největších rozmerov. In: ENGINEERING. *Engineering* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: 32. <https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/15432-lis-najvaecsich-rozmerov>

33. PÁLENIE LASEROM. In: LUMASEK S.R.O. *Lumasek.sk* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.lumasek.sk/--4-14-palenie-laserom>
 34. MICROEDGE WJCM: Profesionálny rezací stroj od slovenskej firmy Mechani s.r.o. In: COLAB A.S. *Colab.sk* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://colab.sk/microedge-waterjet-cuttingmachine/>
 35. Technologie plošného tváření: stříhání. In: TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Ksp.tul.cz* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
 36. Hydraulický tvárňaci lis s rychlostí až 350 mm/s. In: SICMI. *Sicmi.com* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.sicmi.com/pl/produkowa%C4%87/prasy-hydrauliczne-hydrauliczne/prasy-hydrauliczne-do-szybkiego-formowania/prasa-hydrauliczna-do-formowania-g%C4%99siej-szyi-z-pr%C4%99dko%C5%9Bci%C4%85-do-350-mm-sek.-gmp/>
 37. TSCHÄETSCH, Heinz. *Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools*. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. 404 s. ISBN 3-540-33216-2.
 38. ČSN 41 1301. *Ocel 11 301*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1988.
 39. Informace o produktu ALC 080: MATERIÁLOVÁ KOMPATIBILITA. In: BBLUBRICANTS. *Bblubricants* [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://bblubricants.cz/projects/alc-080/?lang=cs>
-

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Symbole

Označenie	Legenda	Jednotka
A_{10}	ťažnosť	[%]
A_{maxn}	maximálna práca pre n-tý ťah	[J]
c	súčiniteľ vyjadrujúci vplyv súčiniteľa ťahania	[-]
d_n	vyrobiteľný priemer pre n-tú ťažnú operáciu	[mm]
d_{n-1}	vyrobiteľný priemer pre predchádzajúcu operáciu	[mm]
d_{sn}	stredný priemer výťazku pre n-tú operáciu	[mm]
d_{s-1}	stredný priemer výťazku z predchádzajúcej operácie	[mm]
$d_{ťaž}$	priemer ťažnice	[mm]
d_{pmin}	minimálny priemer pridržiavača pre n-tú operáciu	[mm]
D	priemer	[mm]
D_0	priemer prístrihu	[mm]
D_0'	výsledný priemer prístrihu	[mm]
$D_{ťaž}$	priemer ťažníka	[mm]
E	veľkosť mostu	[-]
f	trenie	[mm]
$F/2$	veľkosť okraja	[mm]
F_{krit}	sila na pretrhnutie dna	[N]
F_{cn}	celková sila pre n-tý ťah	[N]
F_{tn}	ťažná sila pre n-tý ťah	[N]
F_{pn}	pridržiavacia sila pre n-tý ťah	[N]
F_{vn}	vyhadzovacia sila pre n-tý ťah	[N]
h_n	výška výťazku pre n-tý ťah	[mm]
h_p	výška valcového plášt'a	[mm]
k_p	súčiniteľ určujúci nutnosť použitia pridržiavača	[-]
k_v	tuhosť pružiny	[N · mm]
K	veľkosť kroku	[mm]
Lz	dĺžka zvitku	[mm]
mn	súčiniteľ ťahania pre n-tý ťah	[-]
n_z	počet prístrihov zo zvitku	[ks]
p	tlak pridržiavača	[MPa]
P_h	pomerná hrúbka polotovaru	[%]
r	koeficient zaplnenia plochy	[-]
r_{sn}	stredný polomer výťazku	[mm]
r_0	hodnota anizotropie v 0°	[-]
r_{45}	hodnota anizotropie v 45°	[-]
r_{90}	hodnota anizotropie v 90°	[-]
r_{tcn}	polomer zaoblenia ťažnice	[mm]
r_{tkn}	polomer zaoblenia ťažníku	[mm]
R_a	drsnosť	[μm]
R	Polomer zmenšeného priemeru	[mm]
R_ρ	polomer zaoblenia strednice	[mm]
R_{n1}	polomer na zaoblení strednice	[mm]
R_{n2}	polomer na zaoblení strednice	[mm]
R_e	medza klzu	[MPa]
R_k	zaoblenie dna výťazku	[mm]
R_m	medza pevnosti	[MPa]

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Symbody

Označenie	Legenda	Jednotka
s	hrúbka	[mm]
s ₀	hrúbka výťazku	[mm]
S	plocha	[mm ²]
S _c	celková plocha prístrihu	[mm ²]
S _d	plocha dna výťazku	[mm ²]
S _k	plocha prechodového kužela	[mm ²]
S _z	plocha zaoblenia	[mm ²]
Š	šírka zvitku	[mm]
v _z	využitelnosť zvitku	[%]
w	prídavok na odstrihnutie	[-]
x _s	stlačenie pružiny	[mm]
z _t	ťažná medzera	[mm]
Z	materiálová konštanta pre hlboko ťažnú oceľ	[N]
σ	ťahové napätie	[MPa]
φ	logaritmické pretvorenie	[-]
β	uhol zrazenia dna výťazku	[°]
ρ	polomer zakrivenia plochy	[mm]
ρ'	zmenšenie vnútorného priemeru	[-]
Ψ _{krč}	koeficient ťažnej operácie	[-]
σ _{ps}	stredná hodnota pretváraného odporu	[MPa]
σ _{pIII}	deformačný ťažný odpor	[MPa]
ξ	Lodeho súčiniteľ pre ťahanie	[mm]

Skratky

Označenie	Legenda
C	uhlík
ČSN	česká štátna norma
HRC	tvrdosť podľa Rockwella
Mn	mangán
P	fosfor
S	síra
π	Ludolfovo číslo

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1	Materiálový list DC03
Príloha 2	Nomogram priameho strihania
Príloha 3	Mazivo ALC 080
Príloha 4	Vstupné parametre a vstupné modely druhej a tretej ťažnej operácie
Príloha 5	Zmena hrúbky stien výťazku u prvej a druhej ťažnej operácie
Príloha 6	Miera rizika vzniku trhlín pri druhej ťažnej operácií u vonkajšej plochy
Príloha 7	Miera rizika vzniku trhlín pri druhej ťažnej operácií u vnútornej plochy
Príloha 8	Miera rizika vzniku trhlín pri tretej ťažnej operácií u vnútornej plochy
Príloha 9	Miera rizika vzniku trhlín pri tretej ťažnej operácií u vonkajšej plochy
Príloha 10	Priebeh celkovej sily pri simulácií v druhom a treťom ťahu

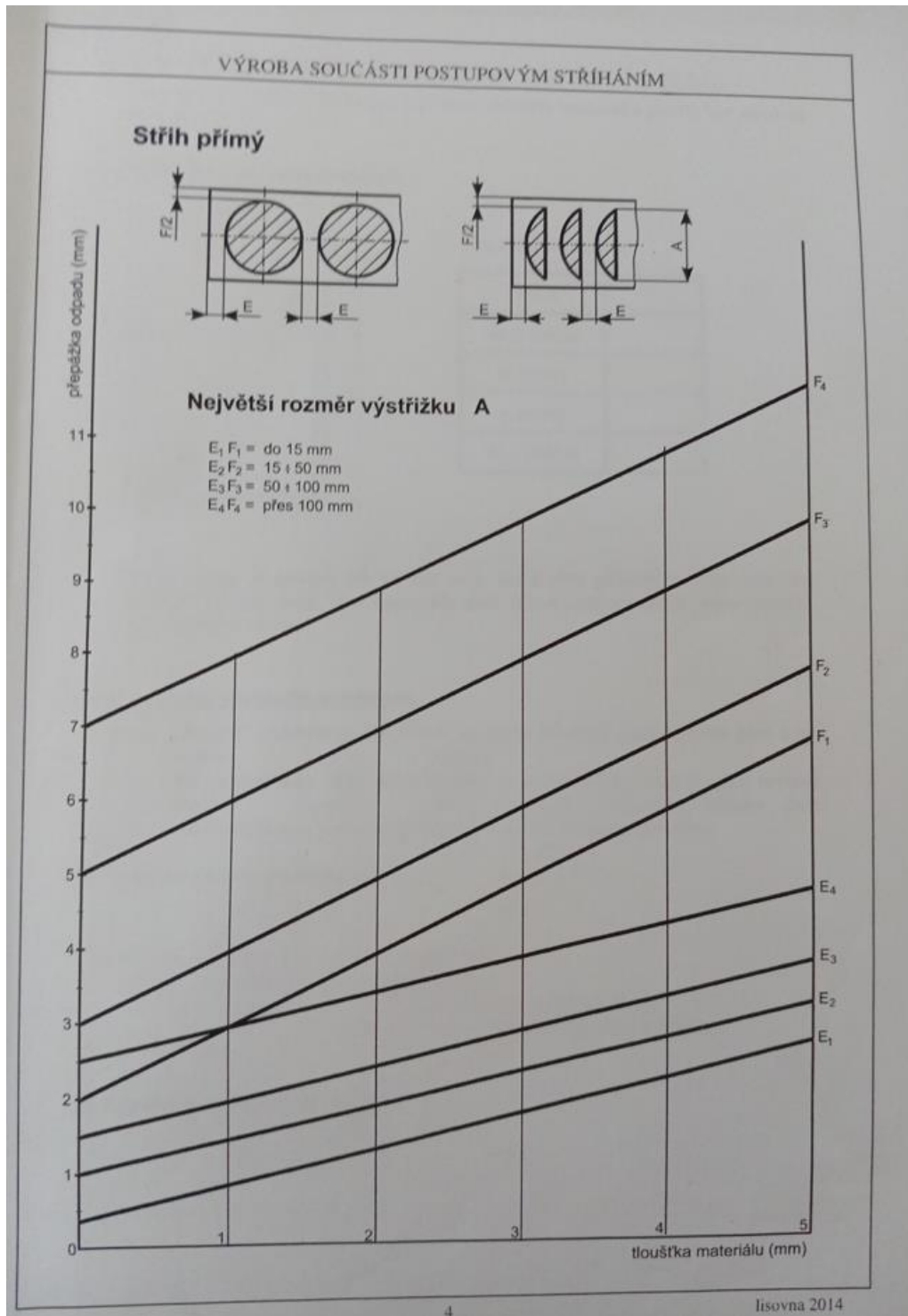
ZOZNAM VÝKRESOV

Ťažný nástroj	2024-BP-229464-01
Ťažník	2024-BP-229464-02
Telo ťažníka	2024-BP-229464-03
Ťažnica	2024-BP-229464-04
Telo ťažnice	2024-BP-229464-05
Pridržiavač	2024-BP-229464-06
Telo pridržiavača	2024-BP-229464-07
Kusovník	2024-BP-229464-24
Kusovník	2024-BP-229464-25
Kryt filtra	2024-BP-229464-26

Skupina ocelí podľa ČSN 42 0074		na ťahanie a tvárnenie za studena			
Chemické zloženie (rozbor tavby)	%	C	Mn	P	S
		max. 0,08	max. 0,40	max. 0,025	max. 0,025
Trieda odpadu podľa ČSN 42 0030		005			
Farebné označenie podľa ČSN 42 0010		hnedá – červená			
Druh ocele podľa spôsobu výroby		kyslíková konvertorová neupokojená – N, alebo upokojená – U			
Výrobok		tenké plechy			
Zhotovenie		valcované za studena			
Stav povrchu	hladký	ČSN 42 6312.+1 alebo ČSN 42 5351.+1			
	matný	ČSN 42 6312.+2 alebo ČSN 42 5351.+2			
	zhrsnený	ČSN 42 6312.+3 alebo ČSN 42 5351.+3			
Akošť povrchu		ČSN 42 6312.3 alebo ČSN 42 6312.4 ČSN 42 5351.3			
Rozmerová norma		ČSN 42 6312 ČSN 42 5351			
Technické dodávacie predpisy		ČSN 42 0127 ČSN 42 0108			
Hrúbka	mm	0,40 až 2,00			
Označenie materiálu, stavu a stupňa pretvárania		11 301.21			
Stav		rekryštalizačne žiháný			
Stupeň pretvárania		ľahko prevalcovaný za studena			

Mechanické vlastnosti ¹⁾²⁾³⁾⁴⁾			
Norma EN	[1]	[3]	[4]
Rozměr t [mm] ²⁾	0,35–3,00		
Stav	–	+ZE	+ZN
Mez kluzu R _{el} nebo R _{p0,2} [MPa]	max 240	max 240	max 240
Mez pevnosti R _m [MPa]	270–370	270–370	270–370
Tažnosť A ₉₀ [%] min	34	34	34
Součinitel plastické anizotropie r ₉₀ min	1,3	1,3	1,2
Exponent deformačního zpevnění n ₉₀ min	–	–	–

Nomogram priameho strihania pre stanovenie hodnôt E a F [2]





ALC 080

Syntetická kapalina pro náročné operace

INFORMACE O PRODUKTU

Produkty BBLubricants řady ALC jsou vysoce výkonné a ekologicky šetrné alternativy ke konvenčním olejovým mazivům, využitelné v široké oblasti zpracování kovů. Prodlužují životnost nástrojů a zároveň chrání materiál před nepříznivými vnějšími vlivy.

Je možné použít na všechny druhy materiálů – kovových i nekovových (ocel, ocel s hliníkovým povrchem, nerezovou ocel, titan atd.) Bezolejnatý film na materiálu dovoluje také bezproblémové následné operace jako je svařování a manipulaci s výrobky. Snižuje náklady na čisticí proces - bez nutnosti použití chemikálií a odmašťovačů, zbytky maziva odstraníme pouze teplou vodou. Neohlavě, nezanechávají skvrny na materiálu, bez zápachu a bez nežádoucího vlivu na životní prostředí. Nemají negativní vliv na zdraví pracovníků a je neiritující na pokožku.

APLIKACE

Formování a ohýbání kovových materiálů

MATERIÁL

Železo, Ocel, Nerezová ocel, Měď

TECHNICKÁ DATA

Vzhled	Poloprůsvitná kapalina
pH	8,15
Hustota	980 - 1020 kg/m ³
Specifická hmotnost	0,98 - 1,02
Viskozita	123 cSt (123mPa*s při 25°C)
Bod varu	± 100 °C
Bod tuhnutí	0°C
Residuum	Jemný film
Skladování	Ideální teploty 15 - 35°C (59 - 95°F)
Čištění	Oplach čistou vodou, nejlépe vlažnou 109°F (43.3°C)
Záruka	V případě problému, kontaktujte svého obchodního zástupce o konzultaci, případně náhradu.

VÝHODY

- Bezolejnatá
- Neobsahuje aditiva na bázi chloru, formaldehydu a parafínu
- Vytváří jemný film
- Zvyšují účinnost procesu
- Prodlužuje životnost nástrojů
- Použitelní při vysokých tlacích a teplotách
- Netoxické a biologicky rozložitelné
- Smývateľné vlažnou vodou
- Brání korozi a růstu mikroorganismů

USKLADNĚNÍ

Uskladněte produkt v suchém a čistém prostředí. Uchovejte před mrazem.

Vevnitř. Doporučená skladovací teplota v rozmezí 5°C (41°F) a 35°C (95°F). Životnost v popsanych podmínkách je očekávána 24 měsíců.

ZACHÁZENÍ

Produkt není klasifikován jako nebezpečný nebo znečišťující životní prostředí/vodní zdroje. Mazivo je biodegradibilní. Řiďte se místními zákony a nařízeními při nakládání s odpady. Produkt není mísitelný se silnými oxidačními činidly. Zařízení mohou být natřeny expoxidovými laky.

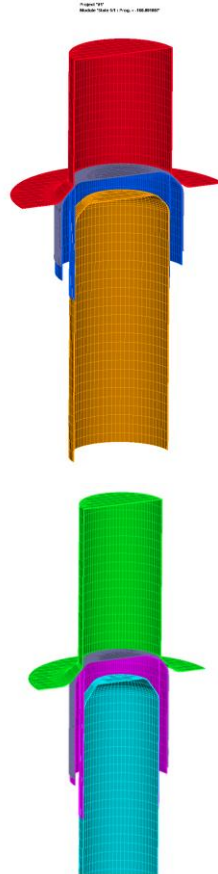


Věřme, že zobrazení a uvedené informace jsou spolehlivé, a pravdivé, přesto nemůžeme zaručit zcela danou přesnost. BBLubricants není zodpovědná za zranění, ztrátu nebo poškození, přímé či nepřímé v důsledku užívání produktu. Vhodnost musí být vyhodnocena uživatelem a přebírá velkou odpovědnost za užívání maziva.

BBLubricants s.r.o.

Karla IV. 237 | 68801 - Uherský Brod | Czech republic
Tel +420 572 639 636
Fax +420 725 812 101
Email info@bblubricants.cz

BBLUBRICANTS



Edit material

Name: DC03_0.4<=t<0.8_Vegter_Average

Type: Special steel or Aluminium

Mechanics

Parameters

E: 206.0 ν : 0.3 ρ : 7.68E-6

Plasticity law

Vegter yield locus

Definition: Standard

	0	45	90
σ -uniaxial	1.	1.013	0.978
r-uniaxial	1.651	1.417	2.172
σ -plane	1.217	1.208	1.229
α -plane	0.601	0.609	0.615
σ -pure shear	0.544	0.554	0.535
r-biaxial	0.76	σ -biaxial	1.11

<http://www.tatasteelautomotive.com>

0 forming limit curve(s)

Matfem failure criteria Parameters

Generalized damage model Parameters

Hardening curve

Definition: Points list

Name: Average strength adiabatic hardening curve for a s

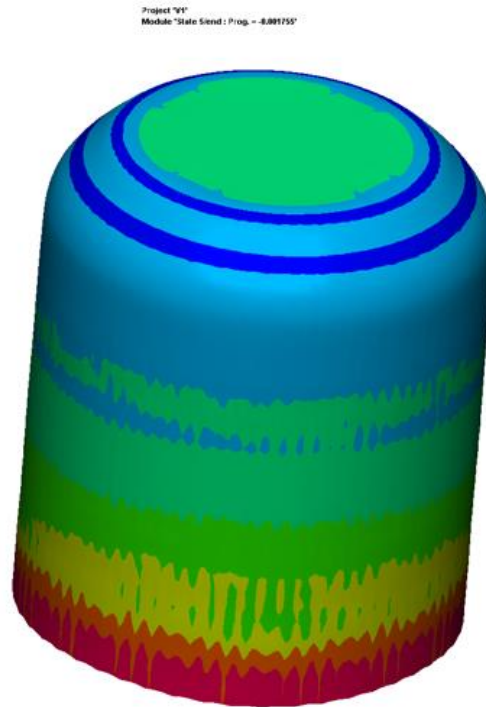
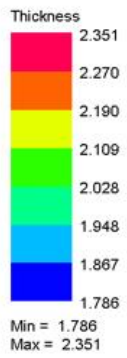
Kinematic model: Parameters

Strain rate model Parameters

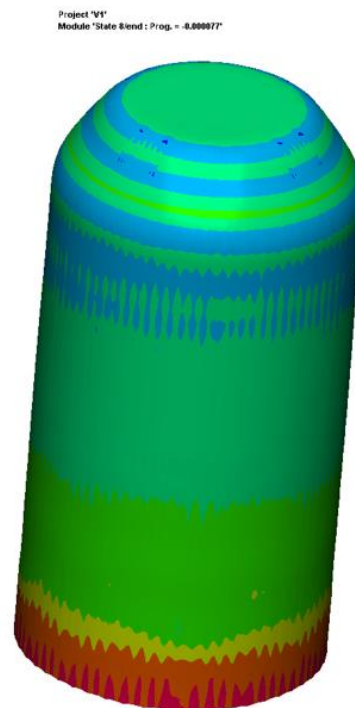
OK Add in material data base Cancel

Zmena hrúbky stien výťazku v druhej a tretej ťažnej operácii

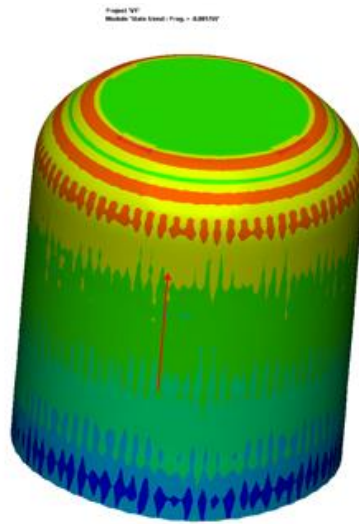
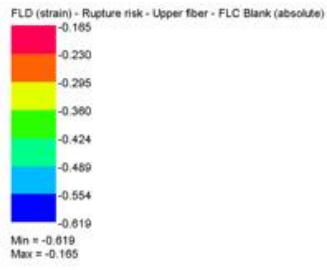
Op 2



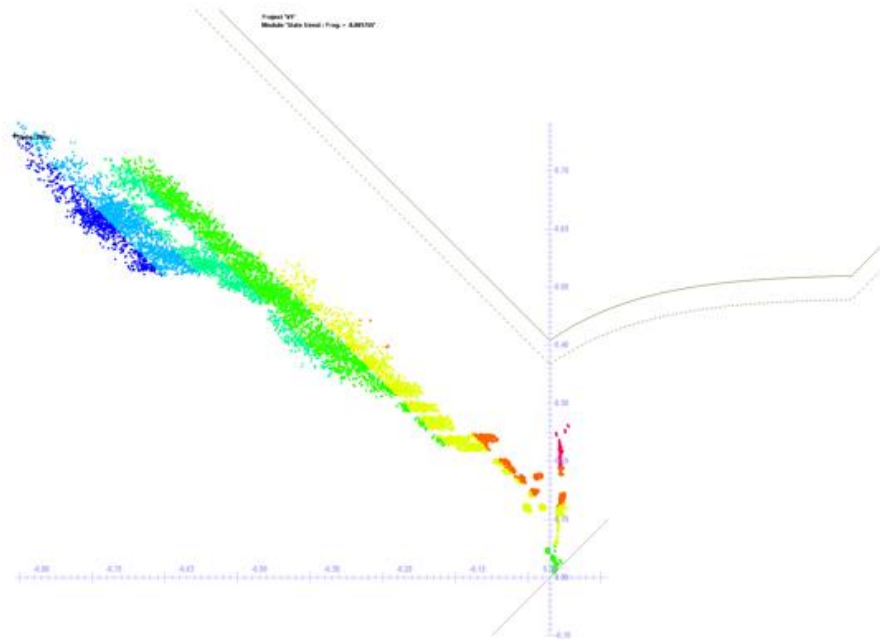
Op 3



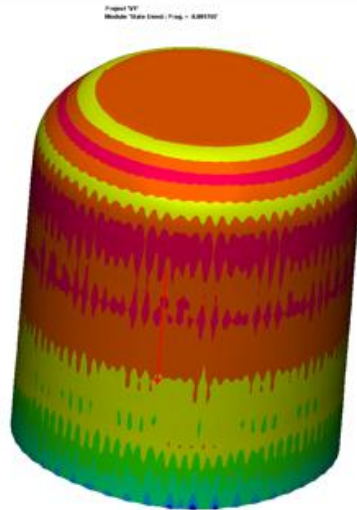
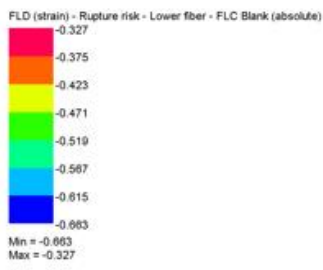
Miera rizika vzniku trhlin pri druhej ťažnej operácii u vonkajšej plochy



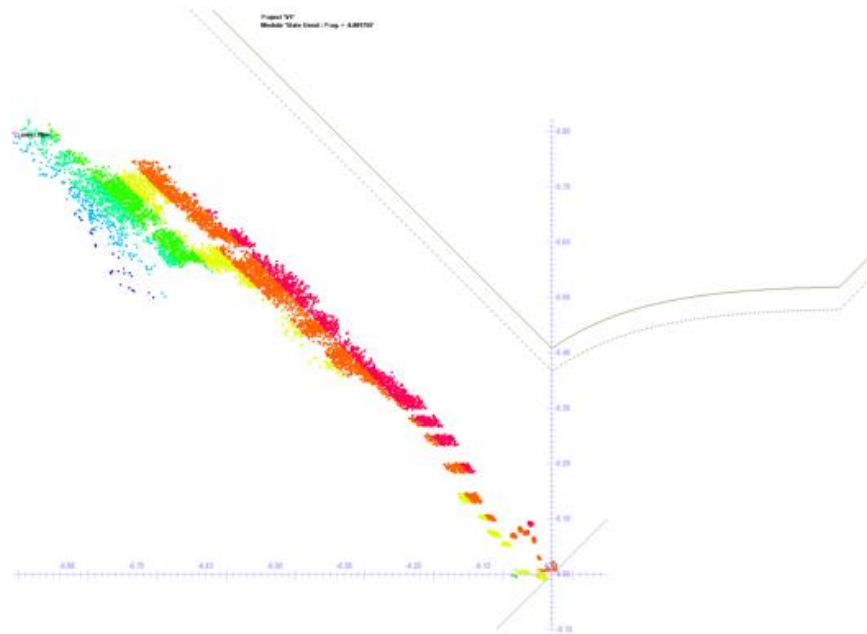
1.1



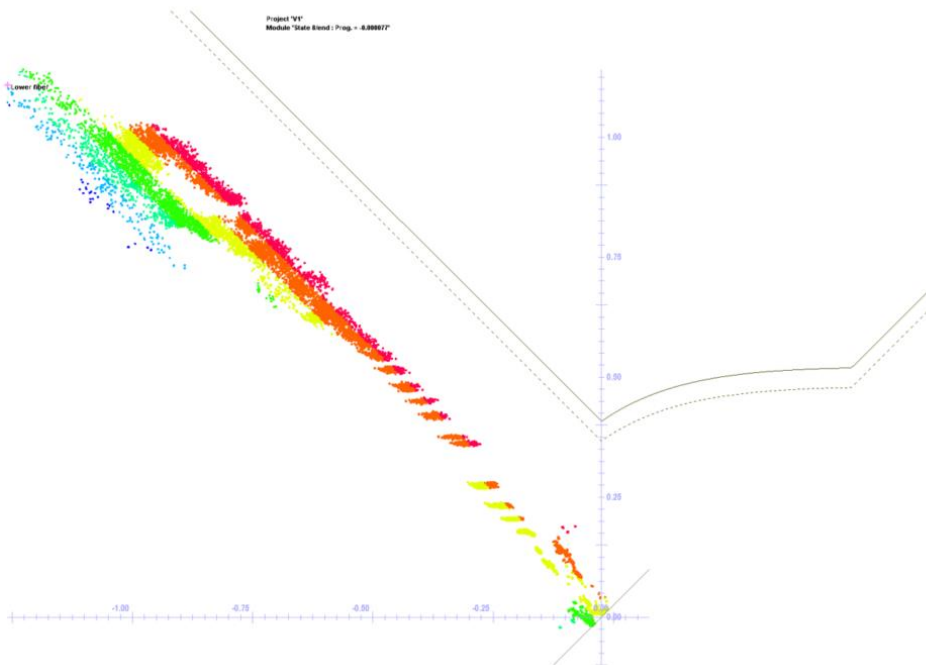
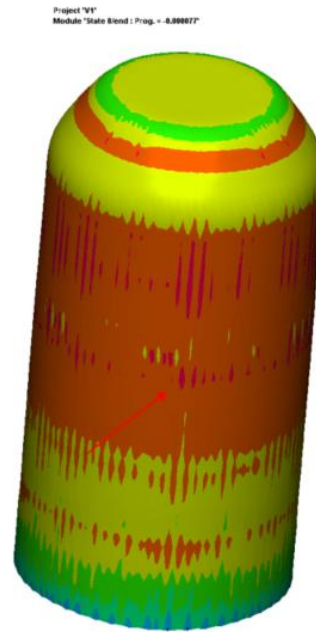
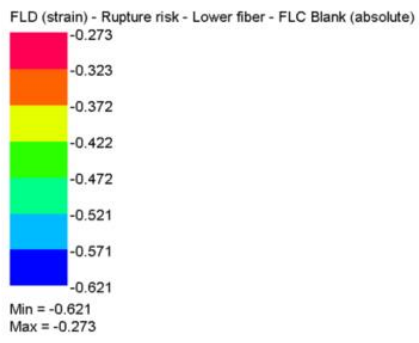
Miera rizika vzniku trhlin pri druhej ťažnej operácii u vnútornej plochy



1.4.4



Miera rizika vzniku trhlin pri tretej ťažnej operácii u vnútornej plochy



Miera rizika vzniku trhlin pri tretej ťažnej operácií u vonkajšej plochy

