



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA FILTRAČNÍHO SÍTKA

PRODUCTION OF FILTER CUP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ MÍKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Míka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba filtračního sítka

v anglickém jazyce:

Production of filter cup

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby tělesa filtračního sítka používaného u kávovarů. Součástka je válcového tvaru s přírubou a otvory pro filtraci. Bude vyráběna z korozivzdorné oceli technologií tažení bez ztenčení stěny s využitím konvenčního nástroje. Na tuto problematiku bude také zaměřena aktuální literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu a variantní řešení možností výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, následovat bude návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty. Součástí řešení bude i návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické hodnocení a závěry.

Seznam odborné literatury:

1. HELLWIG, W. und E. SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
3. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
6. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
7. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

MÍKA Tomáš: Výroba filtračního sítka.

Práce řeší návrh zhotovení filtračního sítka z materiálu 17 240 (1.4301), tloušťce 0,5 mm a sériovosti 100 000 ks/rok, používaného v páce kávovaru. Jako nejvhodnější technologie pro výrobu tělesa sítka byla zvolena metoda konvenčního tažení bez ztenčení stěny. Výpočtem byl určen výchozí polotovar kruhového tvaru o průměru 92 mm. Pomocí technologických a konstrukčních výpočtů byl navržen jednooperační nástroj s horním přídržovačem a vyhazovačem, který je určen pro použití s dvoučinným lisem. Jeho funkční části jsou vyrobeny z materiálu 19 436. Dle vypočtené celkové síly byl zvolen hydraulický dvoučinný lis CTH 250.

Klíčová slova: Ocel 17 240, tváření, hluboké tažení, tažidlo

ABSTRACT

MÍKA Tomáš: Production of filter cup.

This work is concerned with the design of producing a filter cup made of material 17 240 (1.4301), 0,5 mm thick and the series 100 000 pcs/year, used in the lever of the espresso machine. The method of conventional deep drawing without wall thinning was chosen as the most suitable technology for the production of body cup. Utilizing calculations, an initial semi-product of circular shape with a diameter of 92 mm was determined. By means of technological and constructional calculations a single operation tool was designed, with the upper blank holder and knockout, which is intended for use with a double-acting press. Its functional parts are made of material 19 436. According to the calculated total force a double acting hydraulic press CTH 250 was chosen.

Keywords: Steel 17 240, forming, deep drawing, drawing tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÍKA, Tomáš. *Výroba filtračního sítky*. Brno, 2015. 39s, 4 výkresy, 3 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci Výroba filtračního sítky jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 29.5.2015

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Děkuji také mé rodině za psychickou i finanční podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	10
1 ROZBOR SOUČÁSTI	11
1.1 Variantní řešení výroby	12
2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ	14
2.1 Velikost přístřihu	14
2.2 Počet tažných operací	16
2.3 Tažná mezera	16
2.4 Volba přidržovače	17
2.5 Síla a práce	18
2.6 Nástroje	19
2.6.1 Tažník	20
2.6.2 Tažnice	20
2.6.3 Přidržovač	22
2.7 Stroje	23
2.8 Mazání	24
3 NÁVRH VÝROBY	25
3.1 Velikost přístřihu	25
3.2 Nástřihový plán	27
3.3 Technologické výpočty tažení	29
3.4 Výpočet síly a práce	30
3.5 Návrh sestavy nástroje	31
3.6 Volba stroje	35
4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	36
5 ZÁVĚRY	39

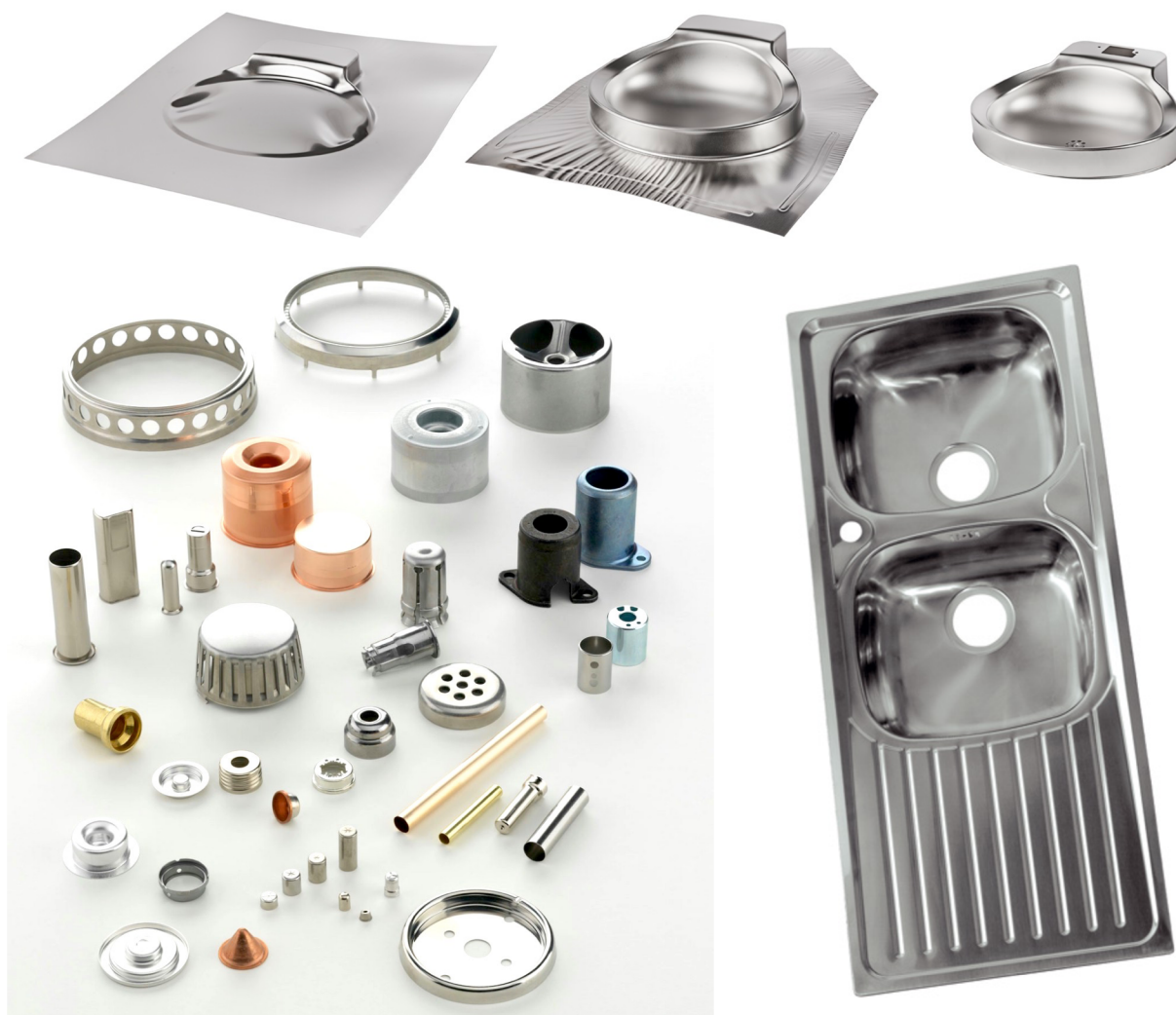
Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratek
Seznam obrázků
Seznam tabulek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD [5], [7]

Požadovaná součást může být vyrobena mnoha způsoby, nebo jejich kombinacemi, mezi které patří tváření, obrábění, svařování, nebo odlévání. Před zahájením výroby je třeba určit výhody a nevýhody různých typů technologií, které je možné použít. Rozhodujícími faktory pro zvolení optimální metody jsou výrobní čas, čili produktivita výroby, spotřeba materiálu, spotřeba energie, pořizovací náklady na stroje a následný servis.

Jako nejvhodnější se jeví tvářecí technologie, která je beztržsková a zpravidla se při vhodné volbě vyznačuje vysokým využitím materiálu a výrobní rychlostí. Tváření se dělí na plošné a objemové. Plošné tváření spočívá v přeměně rovinného materiálu (např. plechu) na prostorové těleso výsledného tvaru a patří do něj stříhání, ohýbání, tažení, rovnání a lemování.

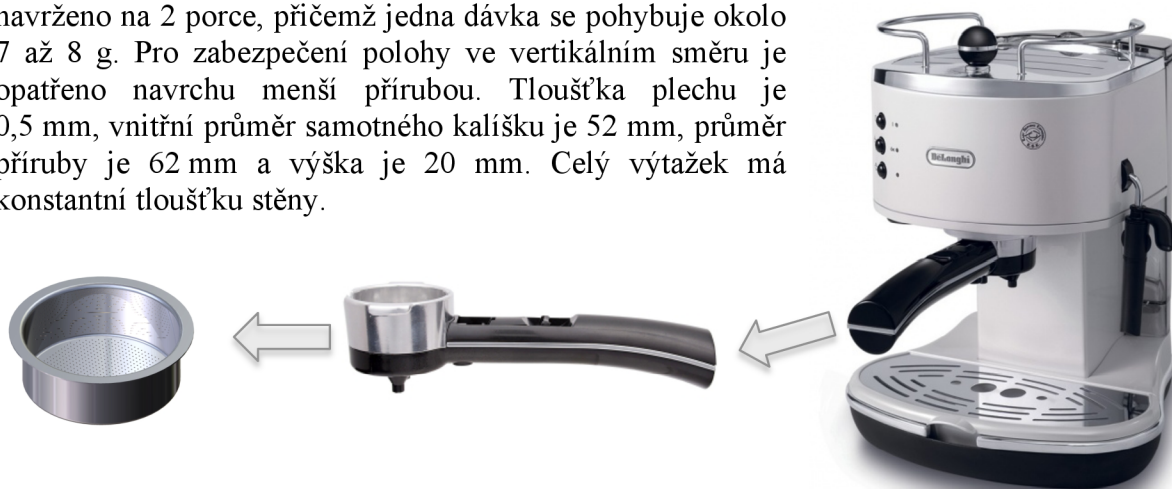
Do plošných tvářecích operací patří technologie hlubokého tažení, kde se pomocí poměrně jednoduchého nástroje rychle vytvoří výsledný tvar součásti. Příklady součástí vyrobených tažením jsou uvedeny na obr. 1.



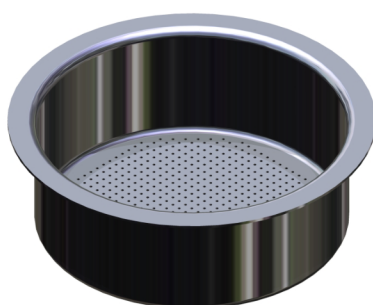
Obr. 1 Příklady součástí vyrobených tažením [4], [8], [7]

1 ROZBOR SOUČÁSTI [3], [15]

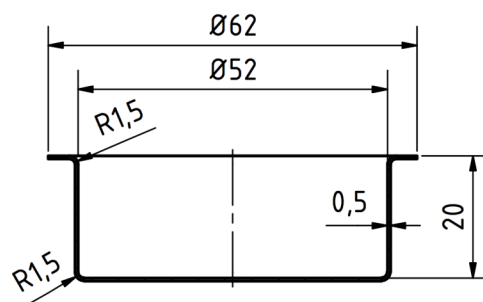
Filtrační sítko, jehož výrobou se práce zabývá, je umístěno v mechanismu páky, která slouží k dotažení, utěsnění a přesnému dosednutí nádoby s kávou pod sprchu kávovaru. Slouží k filtraci kávy a jeho funkcí je zamezit propadávání namletých zrnků kávy do zhotovovaného nápoje. Tomu by také měla odpovídat velikost a množství otvorů vytvořených na dně kalíšku. Velikost této součásti je dána požadovaným množstvím kávy. Řešené sítko je navrženo na 2 porce, přičemž jedna dávka se pohybuje okolo 7 až 8 g. Pro zabezpečení polohy ve vertikálním směru je opatřeno navrchu menší přírubou. Tloušťka plechu je 0,5 mm, vnitřní průměr samotného kalíšku je 52 mm, průměr příruby je 62 mm a výška je 20 mm. Celý výtažek má konstantní tloušťku stěny.



Obr. 2 Uložení součásti [3]



Obr. 3 Filtrační sítko



Obr. 4 Rozměry sítko

Filtrační sítko bude pracovat při zvýšeném tlaku 15 bar (1500kPa) a zvýšené teplotě. Káva má kyselost pH 5, z čehož vyplývá, že spadá do středních kyselin a v tomto prostředí musí součást odolat. Zvolený materiál by tedy měl být korozivzdorný a to i při vyšším tlaku a teplotě. Těmto požadavkům nejlépe vyhovuje materiál ČSN 17 240 (1.4301). Materiál je chemickým složením vhodný pro potravinářské výrobky a pitnou vodu, jeho vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 1.1 a 1.2. Při tažení má sklon ke zpevňování za studena, odolává maximální teplotě 450 °C, je nekalitelný a není magnetický.

Tab. 1.1 Chemické složení [15]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Ni [%]
< 0,07	< 1,0	< 2,0	17,0 - 19,0	8,5 - 10,5

Tab. 1.2 Mechanické vlastnosti [15]

Mez pevnosti-R _m [MPa]	Mez kluzu-R _e [MPa]	Tažnost-A [%]	Teplota žihání-T _ž [°C]
520 - 720	210	45	1000 - 1100

1.1 Variantní řešení výroby [2], [5], [12], [16]

Požadovanou součást je možné zhotovit více postupy, které mají odlišný sled činností. Výrobu tělesa sítka lze rozčlenit do čtyř kroků:

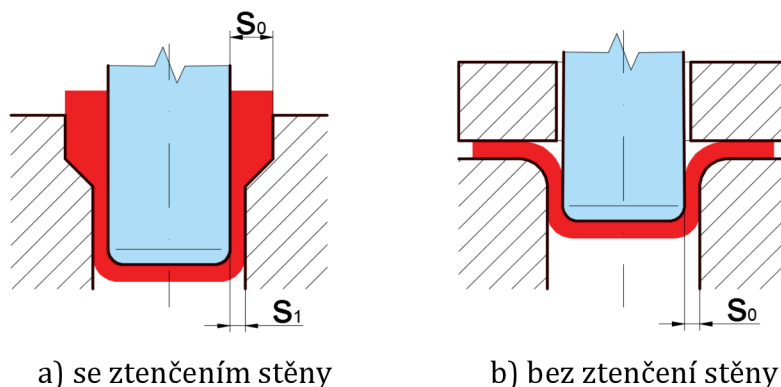
- I. Získání rondelu z tabule plechu, či svitku.
- II. Tažení prostorového tvaru z přístřihu.
- III. Ostřížení součásti.
- IV. Vytvoření otvorů na dně kalíšku.

Je možný také postup zařazením bodu IV. za bod I., tedy do kruhového polotovaru nejprve vytvořit otvory a pak až táhnout tvar. To se však nejeví jako vhodný způsob, protože by mohlo docházet k deformaci již vytvořených děr na dně tělesa.

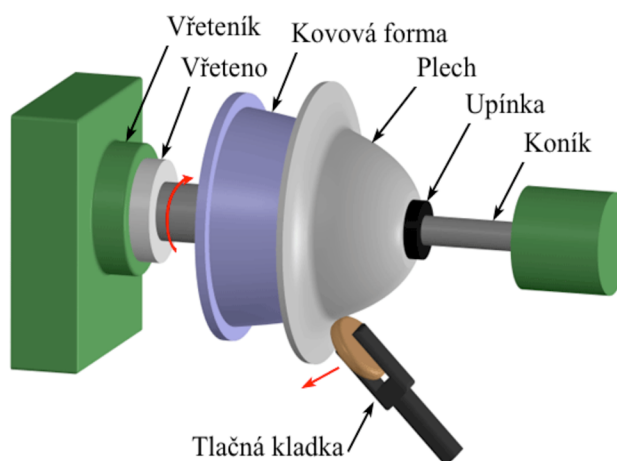
Získání kruhového přístřihu je možné metodami stříháním, vysekáváním, vodním paprskem, plasmou nebo laserem. V případě zadané součásti by mohl být vzhledem k potřebě vytvoření velkého množství otvorů o malém průměru nejvhodnější laser, který by také bylo možné využít k vytvoření polotovaru a ostřížení výtazku.

Tažení, jako druhý krok navrhovaného postupu, může být provedeno způsobem se ztenčením stěny dle obr. 5a, kde dochází k redukci tloušťky plechu, nebo bez ztenčení stěny (obr. 5b), kde je tloušťka konstantní. Vzhledem ke stejné velikosti tloušťky plechu sítka ve všech místech jsou dále zmíněny pouze metody bez ztenčení stěny, k nimž patří:

- Smykové tlačení - je rotační způsob výroby vydutých tvarů výrobků. Na obr. 6 je znázorněn plech, který je aretován upínkou a natlačován kladkou ke kovové rotující formě. Forma odpovídá výsledné součásti a je možno ji umístit do běžného soustruhu, kde se pak nástroj vede ručně. Lze tlačit plech do tloušťky 1,5 mm. Tato metoda může být použita při malosériové výrobě. Je však nevhodná pro velké série, kdy by bylo nutné pořídit automatizovaný kovotlačitelský stroj, který má však vysokou pořizovací cenu.

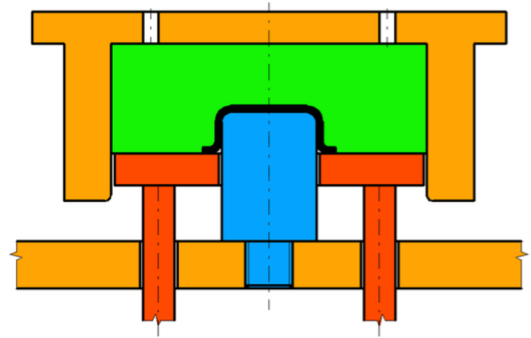


Obr. 5 Rozdělení tažení



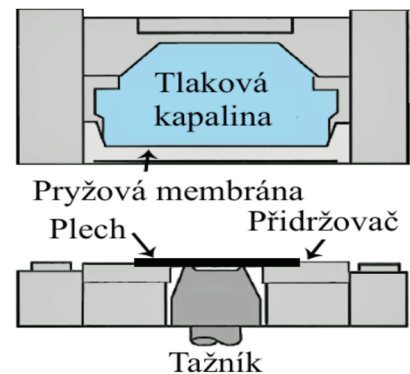
Obr. 6 Schéma kovotlačení [19]

- Marform - jedná se o formování plechu nepevným nástrojem (obr 7). Působením tažníku do prostoru s pryží vzniká natlačováním plechu na tažník výsledný prostorový tvar. Vrchní pohyblivá část (tažnice) je tvořena ocelovou skříní, v níž je umístěno pružné medium. Pryžové bloky ve skříní jsou z důvodu menšího opotřebení tvořeny více vrstvami nad sebou a celková výška by měla být trojnásobná oproti hloubce výtažku. Spodní pevnou část tvoří tažník připevněný k základové desce. Metoda Marform má větší požadavky na síly a výkony lisu. Je vhodnější pro menší série a mělké výtažky.



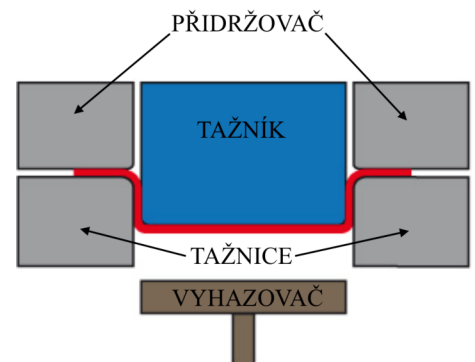
Obr. 7 Schéma Marform [20]

- Hydroform - tažník výsledného tvaru natlačuje plechový přístřih na pryžovou membránu, která je obtékána kapalným médiem. Tlaková kapalina natlačuje plech přes pryž na tažník. U této metody je nutné přesně regulovat tlak kapaliny odpouštěcím ventilem. Nástroj je schematicky zobrazen na obr. 8. Výhodou je možnost regulace tlaku a tím dosažení měnícího se poloměru tažníku. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena, složitost nástroje a jeho řízení.



Obr. 8 Schéma Hydroform [11]

- Hluboké tažení - tažník vtahuje plechový polotovár do otvoru tažnice. Přetvořením tohoto rovinného přístřihu vzniká duté, prostorové těleso, ohýbané do nerovinného tvaru. Výhodou metody hlubokého tažení je skutečnost, že umožní pokrýt odlišné požadavky na velikost série. Pořizovací cena je přitom přijatelná a trvanlivost nástroje dostačující. Tato metoda je ukázána na schématickém obr. 9.

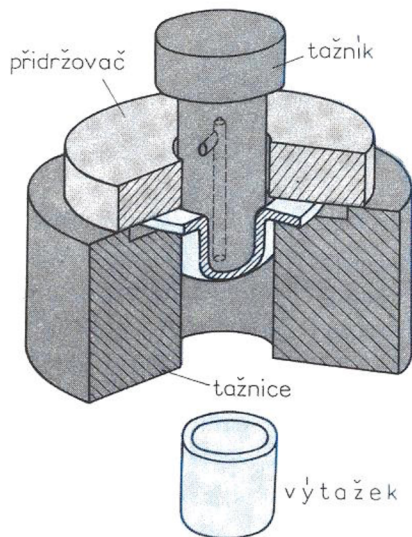


Obr. 9 Schéma hlubokého tažení [13]

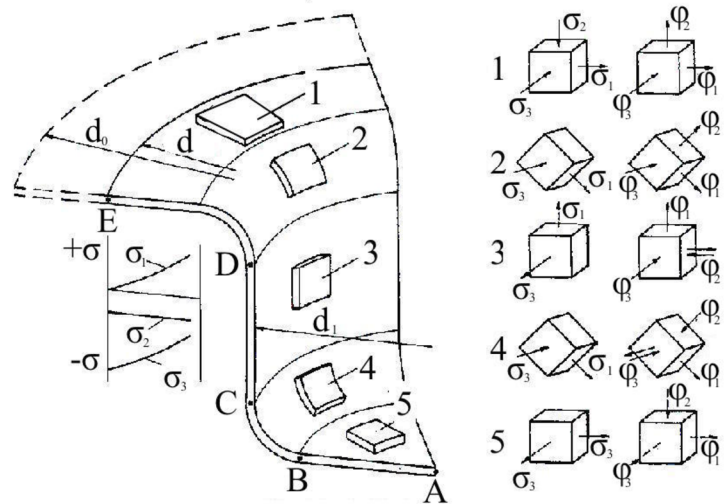
Po vyhodnocení vhodnosti všech uvedených metod se z důvodu zadané série 100 000 ks/rok jeví jako nevhodná metoda smykového tlačení a Marform, protože obě mají omezení pro menší série. Pomocí metody Hydroform je při tváření dosahováno dobrých výsledků, avšak pořizovací náklady na nástroj a údržbu jsou velké a nevýhodné. Nejvýhodnější konvenční metoda hlubokého tažení bez ztenčení stěny, na kterou bude zaměřena jak teoretická, tak praktická část této práce, je pro danou součást nejpříjemnější.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [2], [12], [18], [20]

Tažení je zhotovování prostorového, nejčastěji dutého, tvaru součásti tvarovým nástrojem (tažníkem), který se zasouvá do otvoru tažnice (obr. 10). Polotovarem je přístřih z plechu. Při tažení vzniká v každém místě plechu tah, tlak nebo kombinace tahu i tlaku zároveň. Tato napětí (obr. 11) jsou rozdílná v různých místech výtažku stejně jako jejich logaritmické deformace. V bodě A se projevuje nepatrné natahování, přičemž blíže k B se zvětšuje dvojosá napjatost. Od místa B až C působí dvojosá, nebo trojosá napjatost. Válcová část C až D se natahuje pouze v jednom směru. U tažné hrany D dochází k ohybu tangenciálním a radiálním tlakem. V přírubě pak působí prostorová napjatost a to v radiálním směru tahová, v tangenciálním a axiálním směru tlaková. Nejvíce riziková je oblast B až C, kde je velké tahové napětí a dochází zde k zeslabování stěny, což může mít za následek utržení dna.



Obr. 10 Schéma konvenčního tažení [12]



Obr. 11 Průběh napětí při tažení [12]

2.1 Velikost přístřihu [2], [5], [7], [18]

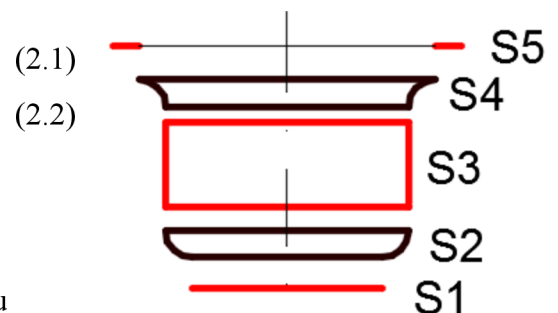
Při zjišťování velikosti přístřihu se zpravidla vychází z rovnosti ploch, či objemů polotovaru a výsledné součásti. Z důvodu anizotropie materiálu je nutné vypočtený rondel zvětšit. Mohlo by totiž dojít k nestejnomybnému vtahování materiálu do tažnice, a tím by vznikaly vadné kusy. Je tedy zapotřebí určit velikost rondelu, který se pro jednooperační tažení následně zvětšuje o 3 % a v každém dalším tahu o další 1 %. Pro válcové výtažky je možno určit průměr výchozího polotovaru pomocí následujících možností:

- Metoda rovnosti ploch - určení velikosti přístřihu u rotačních těles pro výtažek vychází z předpokladu, že objem konečné součásti je roven objemu přístřihu. Finální součást se rozdělí na jednotlivé úseky (obr. 12), u kterých je možné zjistit jejich plochy.

$$V_p = V_v$$

$$V_v = \sum_{i=1}^n S_i \cdot s_0 \text{ [mm}^3\text{]}$$

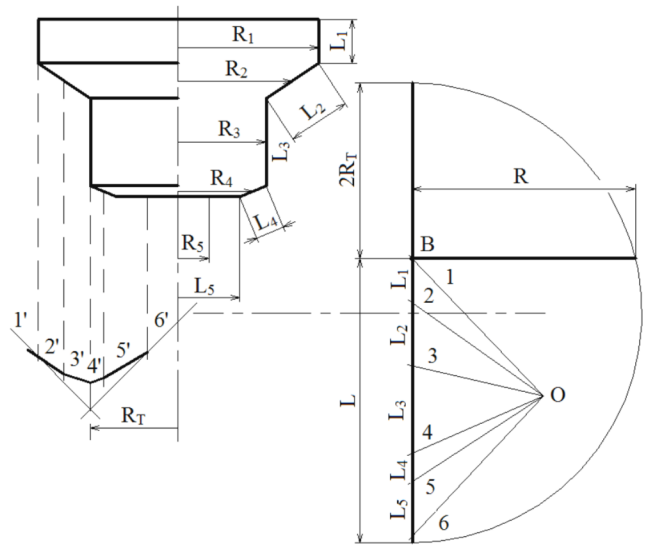
- kde:
- V_p ... objem přístřihu
 - V_v ... objem výtažku
 - s_0 ... výchozí tloušťka plechu
 - S_i ... elementární plochy výtažku



Obr. 12 Schéma rozložení ploch

- Grafická metoda - jestliže je tvar rotační součásti složitější, používá se ke stanovení velikosti rondelu Guldinova věta, která je níže zobrazena pomocí grafického řešení (obr. 13). Postup sestavení je následující:

- překreslit obrys součásti
- rozdělit součást na úseky
- zjistit těžiště úseků
- zakreslit svislice z těžišť
- vynést délky úseků nad sebe (obrazec vpravo)
- zvolit libovolně pól 'O'
- vynést paprsky
- přenést rovnoběžně paprsky do svislic
- určit z krajních přímek 'R_T'
- vynést 2R_T nad L
- ze středu přímky L+2R_T vynést kružnici
- kružnice určí poloměr R polotovaru

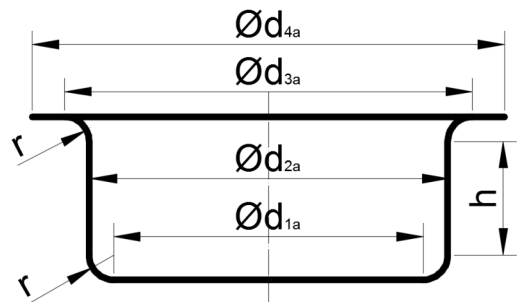


Obr. 13 Grafické určení výchozího přístřihu [2]

- Zjednodušený vzorec - odborná literatura také uvádí vzorec (2.3) pro přibližný výpočet polotovaru:

$$D_0 = \sqrt{d_{1a}^2 + 4 \cdot d_{2a} \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (d_{1a} + d_{2a}) + 4 \cdot \pi \cdot r^2 + d_{4a}^2 - d_{3a}^2} \quad [\text{mm}] \quad (2.3)$$

- kde:
- D₀ ... průměr rondelu
 - d_{1a} ... průměr dna
 - d_{2a} ... průměr stěny
 - d_{3a} ... průměr začátku příruby
 - d_{4a} ... průměr konce příruby
 - h ... výška pláště
 - r ... vnější poloměry zaoblení



Obr. 14 Schéma pro výpočet

- Nomogram - pro zjištění kruhového polotovaru se mohou použít nomogramy přiložené v příloze 1. Pro jeho určení je nutné znát výšku a průměr tažené součásti. Tyto údaje pak přímo udají průměr rondelu. Tato metoda slouží k rychlému určení rozměru, nebo k ověření správnosti výpočtu.
- Softwarový výpočet - ke zjištění přesného objemu výtažku lze využít také 3D model součásti v programu například Autodesk Inventor, jehož nástroje umožňují zobrazit určité fyzikální vlastnosti modelu.

2.2 Počet tažných operací [5]

Z přístřihu je možno táhnout pouze do omezeného průměru kalíšku. Aby bylo dosaženo vytvoření finálního výtažku se zadanými rozměry, je většinou zapotřebí víceoperačního tažení (obr. 15), přičemž po 3. operaci tažení se doporučuje zařadit mezioperační rekrytalizační žhání. Počet tažných operací, potřebný pro danou součást, lze zjistit pomocí tzv. celkového součinitele tažení.

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n \quad (2.4)$$

$$m_n = \frac{d_1}{D_0} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{d_3}{d_2} \cdot \dots \cdot \frac{d_n}{d_{n-1}} = \frac{d_n}{D_0} \quad (2.5)$$

kde: m_c ... celkový součinitel tažení
 $m_{1,2,3,n}$... součinitel tažení prvního, druhého, třetího nebo n-tého tahu
 $d_{1,2,3,n}$... průměr po první, druhé, třetí nebo n-té operaci tažení

Pro hlubokotažný plech s přírubou se uvádí dle literatury $m_1 = 0,45$ až $0,53$; $m_2 = 0,78$ a $m_3 = 0,8$. Součinitel tažení je ovlivňován např. druhem a kvalitou plechu, tloušťkou plechu, poměrnou tloušťkou, geometrií funkčních částí nástroje atd.

Jestliže vyjde součinitel tažení větší, než je rozmezí hodnot tabulkového součinitele tažení, bude probíhat tažení přesně v tolika operacích.

2.3 Tažná mezera [2], [5], [6] [7], [20]

Při zvolení velmi malé mezery hrozí utržení dna a naopak, při zvolení větší hodnoty zase zvlnění plechu. Tažná mezera (obr. 16) se volí větší než je tloušťka plechu a měla by být zvolena optimálně s využitím následujících možností:

- Dle ČSN je doporučeno volit hodnotu tažné mezery v první operaci ze vzorce

$$z = (1,2 - 1,3) \cdot s_0 \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

Při víceoperačním tažení se určí mezera v posledním tahu vztahem

$$z_1 = (1,1 - 1,2) \cdot s_0 \text{ [mm]} \quad (2.7)$$

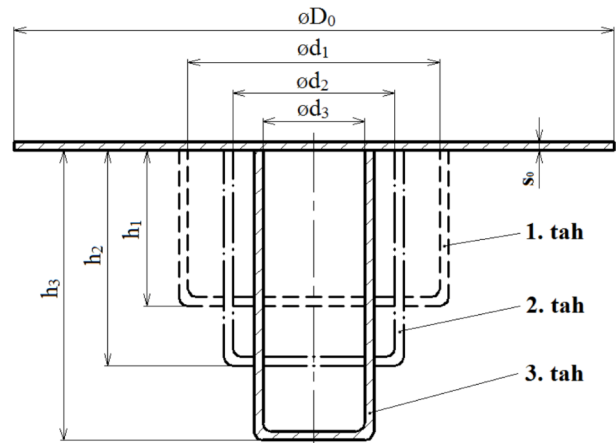
Jestliže je zapotřebí zpřesnit tvar výtažku, provádí se kalibrace, která je dána

$$z_2 = (1,0 \div 1,1) \cdot s_0 \text{ [mm]} \quad (2.8)$$

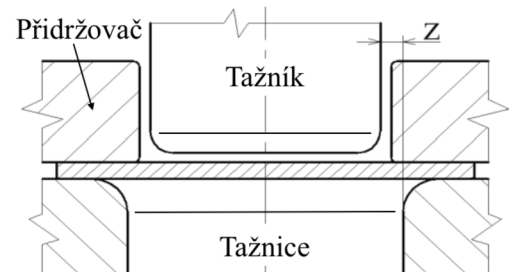
- Dle Oehlerova vztahu

$$z = s_0 + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} \text{ [mm]} \quad (2.9)$$

kde: $k=0,07$ pro ocel
 $k=0,02$ pro hliník
 $k=0,04$ pro ostatní neželezné kovy



Obr. 15 Víceoperační tažení [5]



Obr. 16 Tažná mezera

- S využitím literatury: V odborné literatuře lze také nalézt tabulku (tab. 2.3.1) doporučených hodnot tažné mezery dle tloušťky plechu

Tab. 2.3.1 Doporučené hodnoty tažné mezery [20]

s_0 [mm]	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50	2,00	3,00
z [mm]	0,45	0,65	0,90	1,20	1,40	1,75	2,40	3,50

2.4 Volba přídržovače

Při dalším postupu je třeba znát potřebnou celkovou sílu pro vytvoření výtažku. Tato síla však obsahuje sílu přídržovače, kterou tlačí na polotovár. Skutečnost, zda vůbec bude zapotřebí přídržovač, určují podmínky uvedené níže. Vhodnost použití přídržovače vychází z empirických vztahů:

- Freidling z poměrné tloušťky

$$\Delta s = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100 \quad [-] \quad (2.10)$$

kde: Δs ... poměrná tloušťka

$\Delta s < 1,5$... přídržovač je nutný

$\Delta s > 2$... přídržovač není nutný

$\Delta s = 1,5$ až 2 ... je nutné ověřit způsob tažení

- Šofman dle podmínky (2.11)

$$D_0 - d \leq 18 \cdot s_0 \quad [\text{mm}]$$

kde: d ... průměr výtažku

Je-li tato podmínka splněna, je možné táhnout bez přídržovače.

- ČSN 22 7301

$$\alpha = 50 \cdot \left(k_m - \frac{\sqrt{s_0}}{3 \cdot \sqrt{D_0}} \right) \quad [-] \quad (2.12)$$

kde: k_m ... materiálová konstanta,

($k_m=1,9$ - ocelový hlubokotažný plech)

$\alpha \geq 100 \cdot \frac{d}{D_0}$... nutný přídržovač, v dalších tazích nutný jestliže $d_n/d_{n-1} > 0,9$

$\alpha < 100 \cdot \frac{d}{D_0}$... není nutný přídržovač

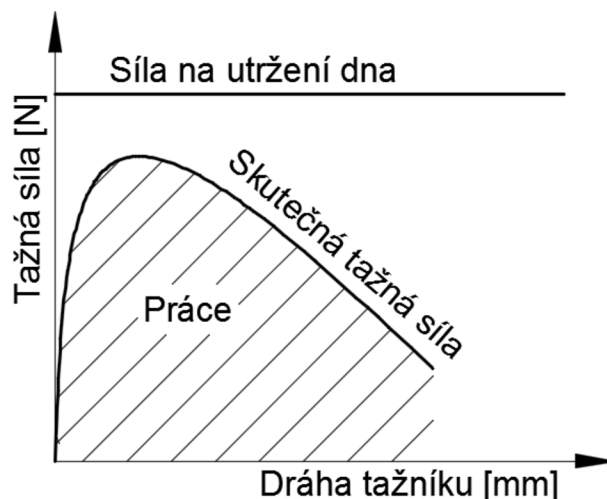
Hlubokotažné plechy do tloušťky 0,5 mm vyžadují vždy přídržovač.

2.5 Síla a práce [2], [5], [6], [7]

Zejména pro zvolení správného lisu je třeba znát celkovou sílu, která bude zapotřebí k vytvoření součásti. Tato síla se skládá z tažné síly, přidržovací síly a síly vyhazovače, pokud je použit v nástroji a není součástí stroje. Tažná síla se však v průběhu procesu mění (obr. 17), a proto není jednoduché ji přesně určit. Počítá se tedy se silou k utržení dna

$$F_C = F_u + F_p + F_v \text{ [N]} \quad (2.13)$$

kde: F_C ... celková síla
 F_u ... síla k utržení dna
 F_p ... síla přidržovače
 F_v ... síla vyhazovače



Obr. 17 Průběh tažné síly

Průběh tažné síly zobrazený v grafu na obr. 17 je zpočátku vzrůstající dle hloubky tažení a následně vzrůstá vlivem zpevňování materiálu. Po dosažení maximální hodnoty začne síla klesat. Pro zjednodušení se tedy počítá krajní resp. největší hodnota zatížení daného materiálu o dané tloušťce, při které začne docházet k utržení dna

$$F_u = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m \text{ [N]} \quad (2.14)$$

kde: R_m ... mez pevnosti daného materiálu

Při víceoperačním tažení se v jednotlivých tazích započítává tzv. opravný součinitel, který vyjadřuje vliv součinitele tažení 'm'.

$$F_{ui} = \pi \cdot d_i \cdot s_0 \cdot R_m \cdot k_i \text{ [N]} \quad (2.15)$$

kde: F_{ui} ... síla k utržení dna při i-tém tažení
 d_i ... průměr výtažku v i-té operaci
 k_i ... opravný součinitel v i-tém tahu

Tab. 2.5.1 Tabulka opravných součinitelů [5]

$m=d/D_0$	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80
k	1,00	0,86	0,72	0,60	0,40

Bude-li rozhodnuto o potřebě přidržovače, pak se jeho síla určí ze vztahu

$$F_p = S_c \cdot p \text{ [N]} \quad (2.16)$$

kde: S_c ... plocha pod přidržovačem
 p ... měrný přidržovací tlak (pro nerezový plech 2,0 až 5,0 MPa)

Měrný přidržovací tlak se nastaví tak, aby se netvořily vlny, nebo trhliny. Na dvojčinných lisech je důležité nastavit minimální mezeru pro danou tloušťku plechu takovým způsobem, aby nedocházelo k zadírání polotovaru pod přidržovačem.

Jestliže bude vyhazovač součástí nástroje, pak se jeho síla spočítá jako síla pružiny působící proti tažníku.

$$F_v = k \cdot x_s \text{ [N]} \quad (2.17)$$

kde: k ... tuhost pružiny
x_s ... stlačení pružiny

Pro zvolení lisu je nutné znát i potřebnou práci, která je dána vztahem:

$$A = \frac{C \cdot F_C \cdot H_C}{1000} \text{ [J]} \quad (2.18)$$

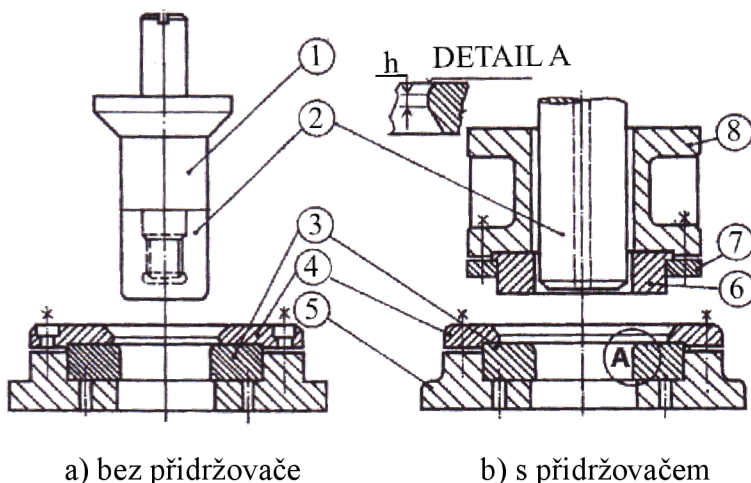
kde: A ... práce potřebná k vytvoření součásti
C ... koeficient 0,8
H_C ... celková výška od vrchu příruby ke dnu kalíšku

2.6 Nástroje [5], [6], [9]

Při určení tvaru a návrhu konstrukce nástroje jsou důležité technologické vlastnosti tažení, odlišení tažidel pro první a další operace a zvolení tažidla s přídržovačem, nebo bez něho. Hlavními částmi nástroje společné pro oba případy v prvním tahu (obr. 18) jsou tažník (1 a 2), tažnice (3), základací kroužek (4) a základová deska (5). Provedení s přídržovačem má navíc přídržovač (6), upínací kroužek tažníku (7) a horní upínací desku (8).

Tažník je do beranu lisu upnut pomocí stopky, která bývá normalizována. Základové a upínací desky mohou být vyrobeny jak z oceli, tak z litiny, jak uvádí tab. 2.6.1. Přídržovač se připevňuje k horní desce pomocí upínacího kroužku vyráběného z běžné

konstrukční oceli. Stejně tak je zabezpečena základacím kroužkem i tažnice do tělesa, které je upnuto k základové desce. Základová deska se stejně jako horní upínací deska vyrábí z oceli, nebo litiny. Z konstrukční oceli se dále vyrábí vodící sloupky, vodící pouzdra a vyhazovače.

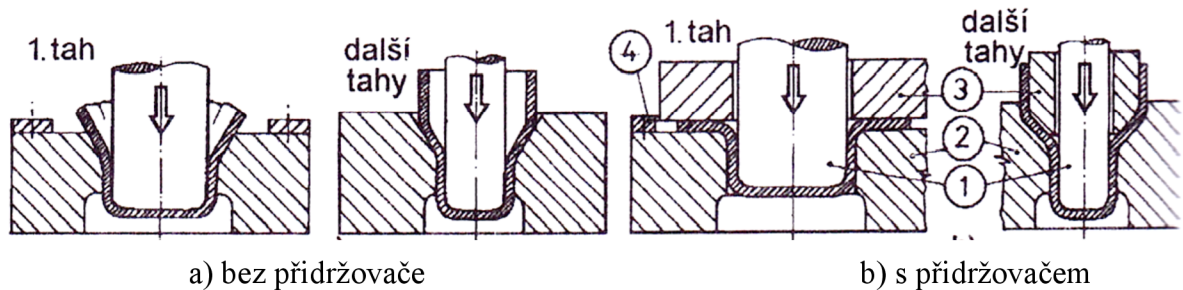


Obr. 18 Tažidla [9]

Tab. 2.6.1. Materiály pro části tažidel [9]

Část tažidla	Materiál	HRC
Tažník, tažnice	19 191, 19 436, 12 061, 42 2456	58 až 63
Základové a upínací desky	42 2456, 42 2661.2	
Zakládací a upínací kroužky	11 600	
Přídržovače	19 191, 19 436, 42 2456	61 až 63
Stopky	11 600	

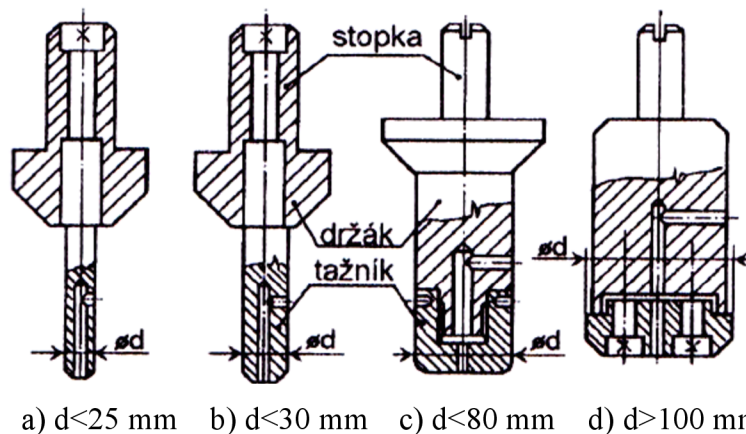
Funkční části nástroje jsou namáhané na otěr, a proto se chemicko-tepelně upravují. Měly by tedy splňovat požadavky na tvrdost, houževnatost, pevnost a trvanlivost. Na kvalitu tažení má zásadní vliv poloměr zaoblání tažníku, tažnice i velikost tažné mezery mezi nimi. Konstrukce tažidel pro první a další tahy jsou na obr. 19, kde je 1-tažník, 2-tažnice, 3 - přídržovač, 4-lišta.



Obr. 19 Provedení tažidel pro 1. a další tahy [9]

2.6.1 Tažník [5], [6], [9]

Tažník je aktivním nástrojem tažidla, jehož vnější průměr je zároveň vnitřním průměrem výtažku. Velké tažníky na obr. 20c a obr. 20d bývají dělené, kde je vložka středěna středícím průměrem proti držáku a je k němu uchycena buďto pomocí závitů, který je přímo na držáku (obr. 20d), nebo u největších provedení tažníků se vložka upíná pomocí šroubů (obr. 20d). Malé tažníky, které jsou zobrazeny na obr. 20a a obr. 20b, mohou být z jednoho kusu. Pro stopku a držák se používají běžné konstrukční oceli dle tab. 2.6.1., ale na vložku jsou použity kalené a popouštěné nástrojové oceli (HRC 60 až 62), popřípadě šedá litina. Nástroj bývá odvdušněn vnitřním kanálkem, který má za úkol přivádět vzduch mezi vložku tažníku a samotného výtažku pro snadnější stírání součásti.



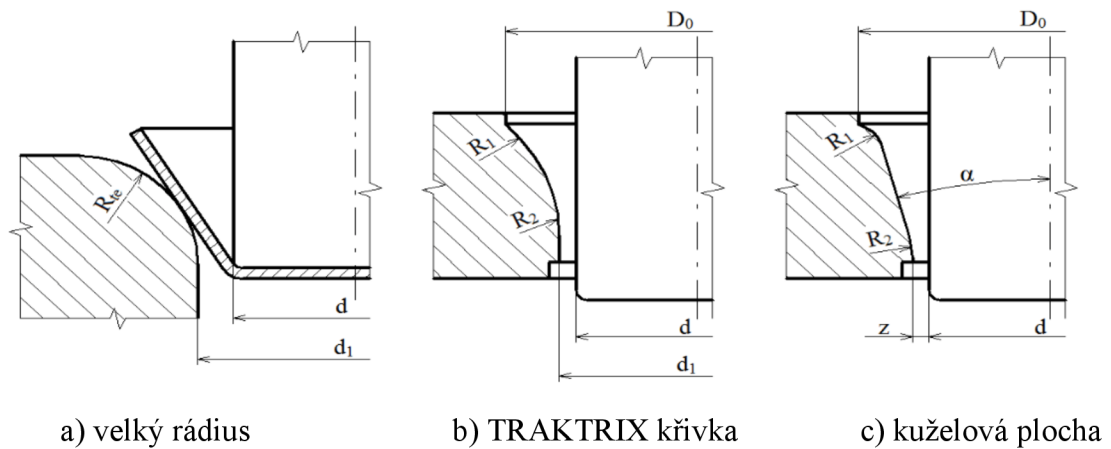
Obr. 20 Provedení tažníků [9]

Poloměr zaoblání tažné hrany vychází z poloměru tažné hrany tažnice. V mezitazích se většinou upravuje hrana tažníku zkosením 35° až 45° . Při posledním tahu se volí poloměr tažné hrany tažníku $(3 \text{ až } 7)s_0$.

2.6.2 Tažnice [5], [6], [9], [16]

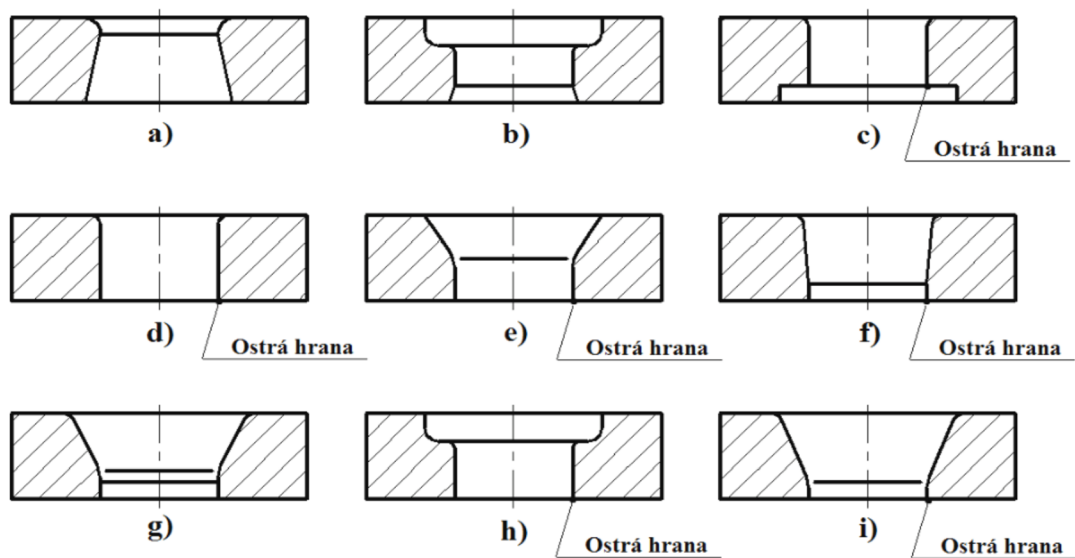
Tažnice je funkční část tažidla, která se nepohybuje, a pro kruhové součásti má prstencový tvar se zaoblenými tažnými hranami. Norma doporučuje pro jednooperační tažení poloměr $(6 \text{ až } 10)s_0$. Požadavkem pro správnou funkci tažnice je vysoká rozměrová přesnost a kvalitní

(leštěný) povrch tažné hrany a jejího otvoru. Možné modifikace tažné hrany jsou uvedeny na obr. 21. Jedná se o velký poloměr, evolventní křivku TRAKTRIX, která je velmi výhodná z hlediska tažných sil, nebo kuželovou plochou.



Obr. 21 Úpravy tažné hrany tažnic [6]

Na obr. 22 se nacházejí celistvé tvarové varianty tažnic s prstencovým tvarem pro rotační výtahy.



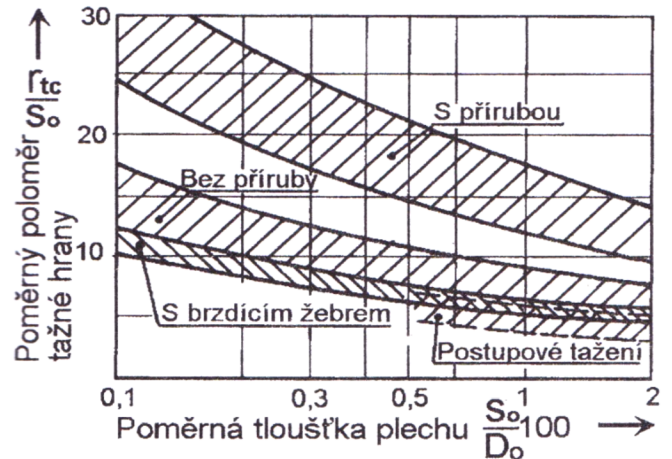
Obr. 22 Varianty tvarového provedení tažnic [16]

Uvedené konstrukce tažnic se používají podle činnosti nástroje:

- výtažek se vrací nad tažnicí a je setřen z tažníku,
- pro druhý, případně další tah do průměru 60 mm, výtažek vrací nad tažnicí,
- tažný otvor dole odlehčený,
- výtažek propadá, je setřen ostrou hranou tažnice nebo speciálním stíračem
- pro druhý, případně další tah, kdy výtažek propadá pod nástroj,
- tažný otvor mírně kuželový, výtažek propadá, vhodné použít bez přidržovače
- pro druhý, případně další tah, kdy se výtažek vrací nad tažnicí,
- pro druhý, případně další tah do průměru 60 mm, kdy výtažek propadá,
- tažný otvor pro tlustší plechy, výtažek propadá.

Na obr. 23 je graf s doporučenými hodnotami poloměrů zaoblění tažnice pro různé druhy tažených součástí. Tenké plechy se táhnou bez přídržovače pouze tehdy, jedná-li se o mělký tah s vysokým součinitelem tažení. Silnější plechy s menším součinitelem tažení se mohou také táhnout bez přídržovače a k tomu postačuje jednočinný lis. Poloměr zaoblění tažnice lze také krom z grafu určit následujícím výpočtem:

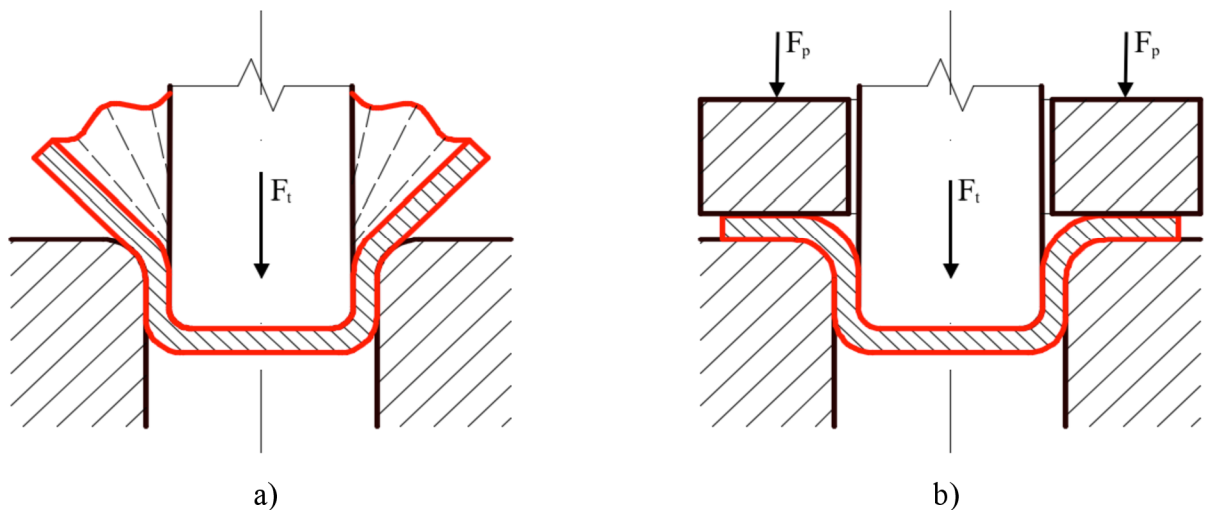
$$r_{ie} = 0,8 \cdot \sqrt{s_0 \cdot (D_0 - d)} \quad [mm] \quad (2.19)$$



Obr. 23 Doporučené hodnoty r_0 [9]

2.6.3 Přídržovač [9], [16]

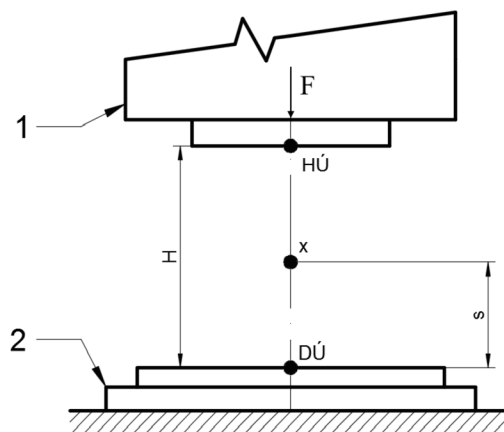
Přídržovač (obr. 24b) tlačí silou na materiál položený na tažnici a plní v nástroji více funkcí. Mezi hlavní patří zabránění tvoření vln (obr. 24a), jelikož po zatlačení tažníku do tažnice má plech snahu se zvedat a tvoří se vlny (obr. 24a), které pak nejsou schopny vtáhnout se do tažné mezery. Následně dojde k silnému působení tažníku na dno výtažku, což způsobí utržení dna. Tažníky se v nástroji dělí na horní a spodní, přičemž horní se využívají častěji. Velice zásadní rozdělení je při použití pro první tah a pro další tahy, kdy při dalších tazích má přídržovač zkosení 30° až 40°. Další z použití přídržovače je středění tažníku vůči tažnici, které se s výhodou využívá při víceoperačním tažení. Přídržovač bývá přitlačován k materiálu buď pružinou, nebo smýkadlem v případě dvojčinných lisů. Materiály, z nichž se přídržovače vyrábí, jsou uvedeny v tab. 2.6.1.



Obr. 24 Použití přídržovače

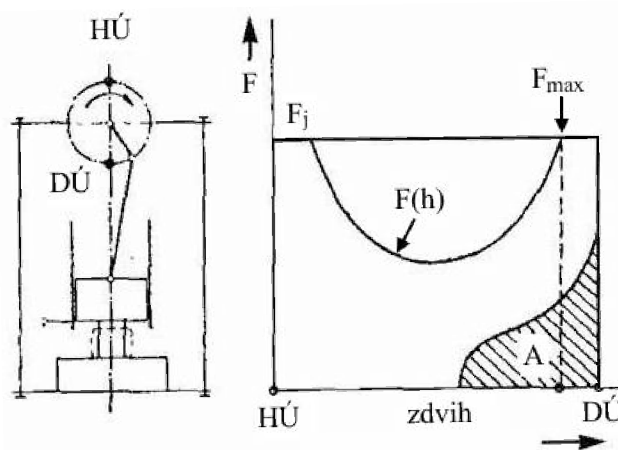
2.7 Stroje [16]

Dle druhu pohonu se mohou lisy rozlišovat na mechanické a hydraulické. Dle konstrukce se dělí na jednočinné, dvojčinné, trojčinné nebo postupové. Nejrozšířenější pro tváření jsou stroje s přímočarým vedením nástroje, jak je znázorněno na obr. 25. Beran 1 koná přímočarý vratný pohyb mezi body HÚ (horní úvrať) a DÚ (dolní úvrať), které vymezují pracovní prostor H (zdvih). Výchozí materiál je umístěn mezi nástroji, které jsou upevněny k beranu a na základové desce 2. U některých strojů lze odebrat maximální sílu F pouze v omezené části zdvihu. Pro operace tažení se nejvíce využívají:



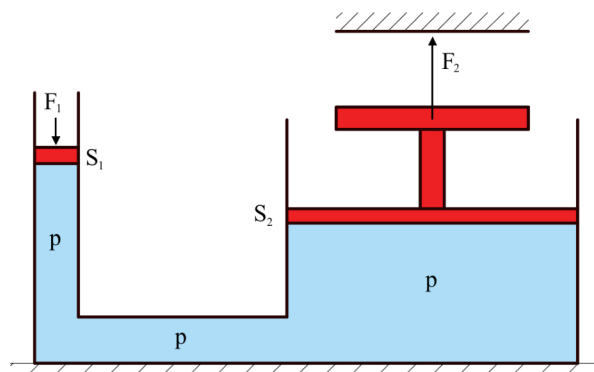
Obr. 25 Schéma lisy

- Mechanické lisy jsou nejčastější stroje pro tváření. Beran se pohybuje z HÚ s nulovou rychlostí, v okamžiku dotyku s polotovarem má určitou rychlost a pohyb pak končí opět s nulovou rychlostí v DÚ. Mají vysokou produktivitu výroby a jednoduchou konstrukci. Nevýhodou je vyvinutí maximální síly až těsně před dolní úvrať. Na obr. 26 je schéma klikového mechanismu, u kterého lze pro pracovní zdvih (na obr. 25 je vyznačen kótou s) využít nejvýše jednu čtvrtinu otáčky klikového hřídele. Ze schématu lze vyvodit, že nejmenší sílu lze odebrat, je-li $\varphi=90^\circ$. Naopak největší sílu pak v okolí $\varphi=0^\circ$, tedy těsně před DÚ. Nevýhodou je také možnost přetížení lisy, a proto jsou tyto lisy chráněny různými pojistkami, aby k přetížení nedošlo. Většinou jsou to pojistky střížné, trhací, nebo třecí. Lisy je možno rozdělit dle použitého mechanismu na klikové, kolenové, vačkové a klínové.



Obr. 26 Schéma klikového mechanismu [17]

- Hydraulické lisy pracují na principu rovnoměrného šíření tlaku všemi směry, jak je znázorněno na obr. 27. U těchto lisů se po celou dobu zdvihu síla F nemění, a je tedy konstantní. Není závislá na dráze beranu. Pro hluboké tažení tenkých plechů se používají hydraulické dvojčinné lisy, které vyvozují mimo hlavního tlaku na tažník také tlak na přidržovač, přičemž přidržovač předbíhá pohyb hlavního beranu. V porovnání s mechanickými lisy se u hydraulických nechá nastavovat libovolně výška a rychlost



Obr. 27 Princip hydraulického lisy

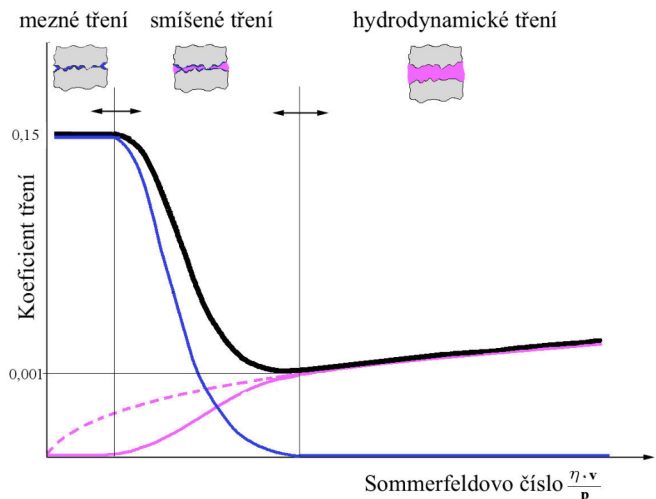
zdvihu beranu, je možnost automatizované výroby, odebrání maximální konstantní síly v libovolném místě zdvihu beranu. Výhodou je také nemožnost přetížení lisu a tím pádem odpadá potřeba pojistných členů. Nevýhodou je složitost konstrukce a údržby, horší účinnost, menší výrobnost v důsledku pomalejší rychlosti beranu a vyšší pořizovací náklady.

2.8 Mazání [12], [14]

Během tvářecích operací vzniká tření mezi polotovarem a tvářecím nástrojem. Vhodnou volbou maziva je možné dosáhnout lepší kvality povrchu výsledné součásti, větší trvanlivosti nástrojů, jejich snadnější vyjímání a nižších nároků na síly lisů. Většina tvářecích operací přímo vyžaduje mazání, avšak někdy (tažení nepravidelných výtažků) je tření žádoucí a přímo plocha nástroje se tvarově upravuje, například brzdícími žebry, která příznivě ovlivňují tok materiálu v polotovaru.

Zvolení vhodného maziva závisí na druhu použitého materiálu pro tažení. Maziva pro technologii tažení se dělí na tuhá a kapalná. Do tuhých maziv spadají například živočišné tuky, parafin, grafit, MoS_2 ,...grafit není vždy vhodný kvůli jeho problematickému případnému odstraňování z povrchu součásti. Mezi kapalná maziva se řadí například řepkový olej, ropné oleje, mýdlové roztoky apod. Mohou obsahovat i plavenou křídu, popřípadě uhličitán olovnatý.

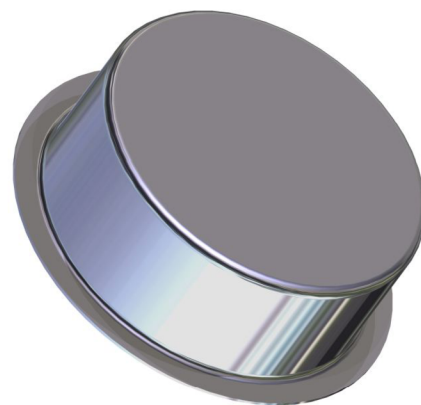
Většinou je odstraňování maziv z konečné součásti zbytečné, protože řada z nich má konzervační schopnost, která zabraňuje rozrušování materiálu vzdušnou vlhkostí. Pro tažení nerezové oceli, ze které je součást tažena, jsou nejvíce vhodné oleje, olejové emulze, popř. tuky, naopak nejméně vhodné jsou pak grafit a plavená křída.



Obr. 28 Striebeckův diagram tření [14]

3 NÁVRH VÝROBY

Řešenou součástí je tělo filtračního sítka kávovaru. Je rotačního tvaru s přírubou. Tažená součástka má tloušťku stěny 0,5 mm a je vyrobena z korozivzdorné oceli ČSN 17 240 (1.4301). Vyráběná série je 100 000 ks/rok. Pro zhotovení rondelu může být použita operace stříhání, či řezání. Jako polotovaru může posloužit tabule plechu, či svitek. Bude však počítáno s využitím tabule, protože svitek vyžaduje přídavné zařízení, což zbytečně prodraží pořizovací náklady a je s ním také obtížná manipulace.



Obr. 29 Výtažek

3.1 Velikost přístřihu

- Grafická metoda je uvedena v příloze 2 a vychází $D_0=91$ mm.
- Dle zjednodušeného vzorce (2.3)

$$D_0 = \sqrt{d_{1a}^2 + 4 \cdot d_{2a} \cdot h + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot (d_{1a} + d_{2a}) + 4 \cdot \pi \cdot r^2 + d_{4a}^2 - d_{3a}^2}$$

$$D_0 = \sqrt{50^2 + 4 \cdot 52 \cdot 19 + 2 \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot (50 + 52) + 4 \cdot \pi \cdot 1^2 + 62^2 - 53^2} = 91,98 \text{ mm}$$

Zaokrouhloeno na nejbližší vyšší celé číslo $D_0=92$ mm.

- Pomocí rovnosti objemů přístřihu a výtažku dle rovnice (2.1). Pro zjištění objemu přístřihu (resp. výtažku) je třeba znát tloušťku stěny a plochu výtažku.

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963,5 \text{ mm}^2$$

kde: d_d ... průměr rovinné části dna

$$S_2 = 2 \cdot \pi \cdot R_{Td} \cdot \tilde{l}_d = 2 \cdot \pi \cdot 25,88 \cdot 1,96 = 318,7 \text{ mm}^2$$

$$R_{Td} = \frac{D_{Td}}{2} = \frac{51,76}{2} = 25,88 \text{ mm}$$

$$D_{Td} = d_d + 2 \cdot a_d = 50 + 2 \cdot 0,88 = 51,76 \text{ mm}$$

$$a_d = \cos(45) \cdot r_{od} = \cos(45) \cdot 1,25 = 0,88 \text{ mm}$$

$$\tilde{l}_d = \frac{r_{od} \cdot \pi \cdot \alpha}{180} = \frac{1,25 \cdot \pi \cdot 90}{180} = 1,96 \text{ mm}$$

kde: R_{Td} ... poloměr vzdálenosti k těžišti

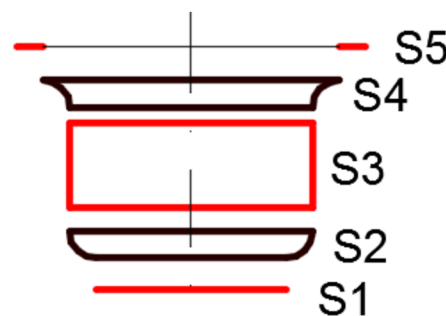
\tilde{l}_d ... délka osy oblouku dna

D_{Td} ... průměr těžiště oblouku dna

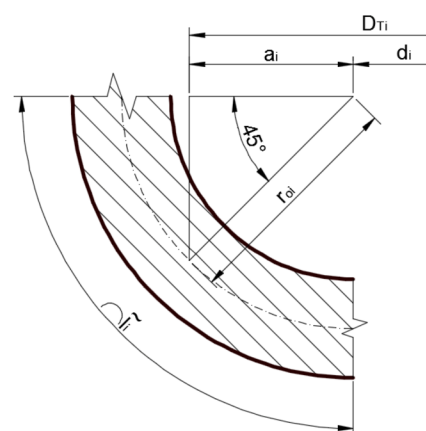
a_d ... vzdálenost těžiště oblouku

r_{od} ... poloměr středové osy oblouku

α ... úhel oblouku



Obr. 30 Rozdělení na plošky



Obr. 31 Schéma oblouku

$$S_3 = \pi \cdot D_d \cdot H = \pi \cdot 52,5 \cdot 18 = 2968,8 \text{ mm}^2$$

kde: S_3 ... plocha válcové části

D_d ... průměr středu tloušťky válcové části

H ... výška válcové části

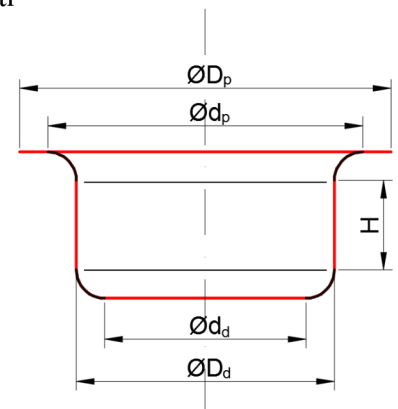
$$S_4 = 2 \cdot \pi \cdot R_{Tp} \cdot \tilde{l}_p = 2 \cdot \pi \cdot 26,62 \cdot 1,96 = 327,8 \text{ mm}^2$$

$$R_{Tp} = \frac{D_{Tp}}{2} = \frac{53,24}{2} = 26,62 \text{ mm}$$

$$D_{Tp} = d_p - 2 \cdot a_p = 55 - 2 \cdot 0,88 = 53,24 \text{ mm}$$

$$a_p = \cos(45) \cdot r_{op} = \cos(45) \cdot 1,25 = 0,88 \text{ mm}$$

$$\tilde{l}_p = \frac{r_{op} \cdot \pi \cdot \alpha}{180} = \frac{1,25 \cdot \pi \cdot 90}{180} = 1,96 \text{ mm}$$



Obr. 32 Označení průměrů

kde: S_4 ... plocha zaoblené části příruby

R_{Tp} ... poloměr vzdálenosti k těžišti oblouku příruby

\tilde{l}_p ... délka osy oblouku příruby

D_{Tp} ... průměr těžiště oblouku příruby

d_p ... menší průměr mezikruží příruby

a_p ... vzdálenost těžiště oblouku příruby promítnutý do roviny dna

r_{op} ... poloměr středové osy oblouku příruby

$$S_5 = \frac{\pi}{4} \cdot (D_p^2 - d_p^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (62^2 - 55^2) = 643,2 \text{ mm}^2$$

kde: S_5 ... plocha rovinné části příruby

D_p ... větší průměr mezikruží příruby

Následně je možné vyjádřit z rovnic (2.1) a (2.2) průměr přístříhu

$$V_v = \sum_{i=1}^n S_i \cdot s_0 = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5) \cdot s_0 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$V_v = (1963,5 + 318,7 + 2968,8 + 327,8 + 643,2) \cdot 0,5 = 3111 \text{ mm}^3$$

$$V_p = V_v$$

$$\frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot s_0 = V_v \rightarrow D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_v}{\pi \cdot s_0}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3111}{\pi \cdot 0,5}} = 89,01 \text{ mm}$$

Zvoleno zaokrouhlením $D_{01} = 89 \text{ mm}$.

- Dle softwaru Autodesk Inventor 2015 byl zjištěn objem sítky $3111,6 \text{ mm}^3$, což po dosazení odpovídá poměrně přesně výše provedenému výpočtu.

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_v}{\pi \cdot s_0}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3111,6}{\pi \cdot 0,5}} = 89,01 \text{ mm}$$

Zvoleno zaokrouhlením $D_{01}=89 \text{ mm}$.

Všechny metody jsou poměrně přesné a významně se od sebe neliší. Hodnota, která vychází z metody rovnosti objemů, je stejná jako hodnota vypočtená softwarem, a proto je zvolena jako výsledná. Tato hodnota však musí být zvětšena o přídavek závislý na počtu tažných operací. Zvětšení je závislé na počtu tahů, a je tedy zapotřebí zjistit součinitel tažení již v této fázi dle vzorce (2.5)

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} = \frac{52}{89} = 0,58$$

Součinitel tažení je vyšší, než doporučené hodnoty pro první tah, a součást je tedy možné vyrobit na jednu operaci. Přístřih se tedy zvětší o 3%.

$$D_{01} = 1,03 \cdot 89 = 91,67 \text{ mm}$$

Hodnota přístřihu pro tažení na jeden tah zvolena nejbližší vyšší $D_{01}=92 \text{ mm}$ z důvodu snazší výroby polotovaru.

3.2 Nástřihový plán

Nástřihový plán je třeba znát především z ekonomických důvodů využití materiálu. V případě potřebného kruhového tvaru nevzniká mnoho variant uspořádání na tabuli plechu. Existují vždy 2 varianty, buďto podélné, nebo příčné uspořádání pásů. Rozhodující však mohou být rozměry tabule plechu, které je možno objednat z velkoobchodu s hutními materiály.

Pro plech o tloušťce 0,5 mm je možno pořídit 2 různé rozměry tabule:

- I. varianta: 0,5x1000x2000
- II. varianta: 0,5x1250x2500

Dle normativů z přílohy 3 byly zvoleny hodnoty můstku 'e' a přepážky 'f' (obr. 33)

$$e=1,8 \text{ mm}$$

$$f=6 \text{ mm}$$

Rozměry šířky pásu a kroku

$$b = D_{01} + f = 92 + 6 = 98 \text{ mm}$$

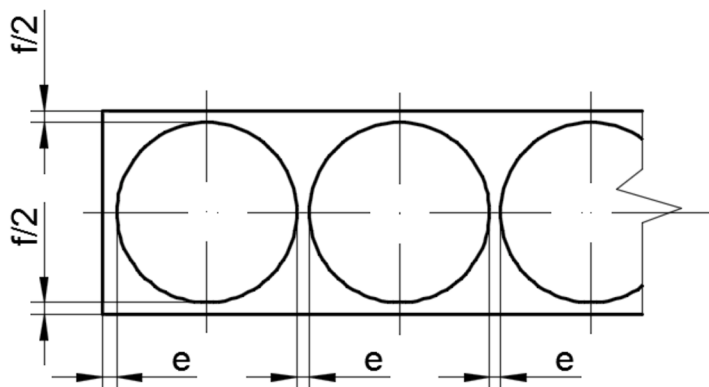
$$k_k = D_{01} + e = 92 + 1,8 = 93,8 \text{ mm}$$

kde: b ... šířka pásu

k_k ... délka kroku

f ... přepážka

e ... můstek



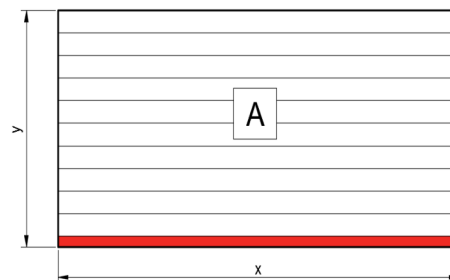
Obr. 33 Velikost můstku a přepážky

- Varianta IA - podélné dělení pásů (obr. 34)

$$u = \frac{x}{k_k} = \frac{2000}{93,8} = 21,32$$

$$v = \frac{y}{b} = \frac{1000}{98} = 10,2$$

kde: u ... počet kusů součástí v pásu
 v ... počet pásů plechu pod sebou
 x ... délka pásu z tabule
 y ... výška tabule



Obr. 34 Uspořádání A

Nelze vystříhnout jen část polotovaru, proto je zvoleno $u=21$ ks a $v=10$ ks.

Celkový počet kusů na jedné tabuli ve variantě IA je tedy

$$w = u \cdot v = 21 \cdot 10 = 210 \text{ ks}$$

kde: w ... celkový počet kusů na jedné tabuli plechu

Nejvíce názorné zhodnocení vhodného rozložení pásů na tabuli plechu je využití materiálu v procentech

$$i = \frac{w \cdot S_0}{x \cdot y} \cdot 100 = \frac{210 \cdot 6647,6}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 69,8 \%$$

$$S_0 = \frac{\pi \cdot D_{01}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 92^2}{4} = 6647,6 \text{ mm}^2$$

kde: S_0 ... plocha kruhového přístřihu

- Varianta IB - příčné dělení pásů (obr. 35)

$$u = \frac{x}{k_k} = \frac{1000}{93,8} = 10,66$$

$$v = \frac{y}{b} = \frac{2000}{98} = 20,41$$

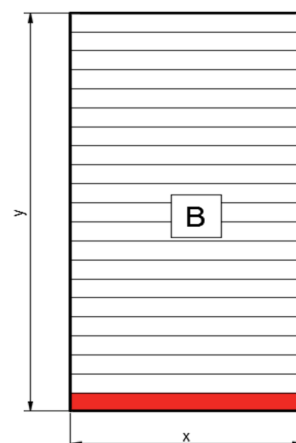
Zvolen celý maximální počet $u=10$ ks a $v=20$ ks.

Celkový počet kusů na jedné tabuli ve variantě IB je tedy

$$w = u \cdot v = 10 \cdot 20 = 200 \text{ ks}$$

Procentuelní využití materiálu

$$i = \frac{w \cdot S_0}{x \cdot y} \cdot 100 = \frac{200 \cdot 6647,6}{1000 \cdot 2000} \cdot 100 = 66,48 \%$$



Obr. 35 Uspořádání B

Další možnosti uspořádání jsou počítány stejnými postupy jako u výše uvedených variant uspořádání, a proto nebudou detailněji rozepsány. Jejich výsledky jsou uvedeny v tab. 3.2.1 včetně jejich procentuelního využití.

Tab. 3.2.1 Varianty rozložení

	u [ks]	v [ks]	w [ks]	%
IA - 0,5x1000x2000 podélné uložení	21	10	210	69,8
IB - 0,5x1000x2000 příčné uložení	10	20	200	66,5
IIA - 0,5x1250x2500 podélné uložení	26	12	312	66,4
IIB - 0,5x1250x2500 příčné uložení	13	25	325	69,1

Z tabulky je patrné, že nejvýhodnější využití materiálu má první řešená varianta IA a to 69,8 %, tedy tabule s rozměry 0,5x1000x2000 mm a podélném rozložení. Poté vychází přijatelně jako další varianta IIB a poté dvě poslední méně vhodné možnosti IB a IIA.

3.3 Technologické výpočty tažení

Tyto výpočty je nutné znát pro určení podmínek tažení, konstrukci tažných nástrojů a volbu stroje. Nejprve je třeba ověřit, zda je možné po zvětšení kruhového rondelu o 3% táhnout stále na jednu operaci pomocí vztahu (2.5)

$$d_1 = m_1 \cdot D_{01} = 0,48 \cdot 92 = 44,16 \text{ mm}$$

Dle doporučených součinitelů tažení pro první tah lze vytvořit výtažek o průměru 44,16 mm. Sítko má vnitřní průměr 52 mm, čili je možné stále táhnout součást na jednu operaci.

Další důležitou hodnotou je velikost tažné mezery. Lze ji určit vícero způsoby:

- ČSN norma uvádí pro první tah vzorec (2.6)

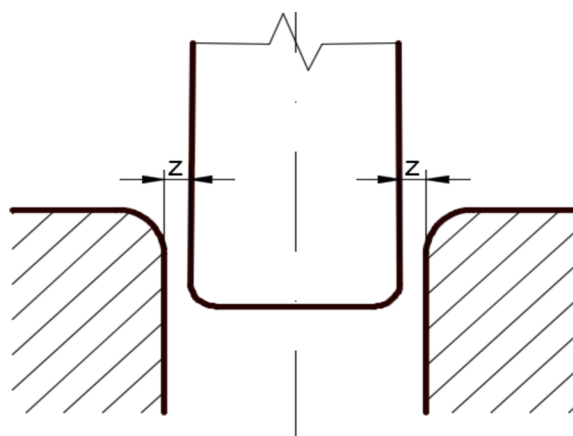
$$z = (1,2 - 1,3) \cdot s_0 = 1,25 \cdot 0,5 = 0,625 \text{ mm}$$

- Oehlerův vztah vychází ze vztahu (2.9)

$$z = s_0 + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} = 0,5 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 0,5} = 0,657 \text{ mm}$$

- Odborná literatura uvádí tabulku 2.3.1, kde je možno pro tloušťku plechu 0,5 mm interpolovat hodnotu tažné mezery 0,55 mm.

Velikost tažné mezery (obr. 36) byla určena odlišně dle literatury, ale poměrně shodně pomocí normy ČSN a Oehlerova vztahu, a proto je zaokrouhlením výsledku ČSN normy zvolena hodnota tažné mezery 0,63 mm, která by měla být dostatečná, aby nedošlo k utržení dna. Při určení větší mezery by mohlo docházet naopak ke zvlnění a vzniku přeložek.

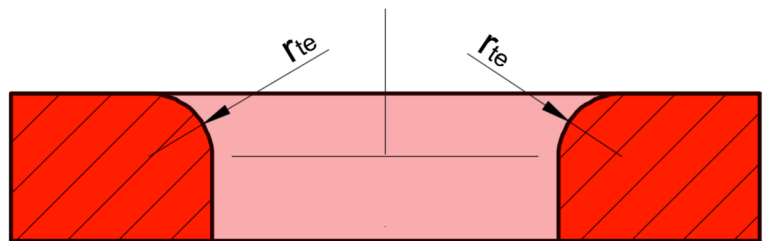


Obr. 36 Tažná mezera

Ke správné funkci nástroje je potřeba znát zaoblení tažných nástrojů, konkrétně zaoblení tažnice a tažníku. Rádus tažnice je určen vztahem (2.19)

$$r_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{s_0 \cdot (D_{01} - d)} = 0,8 \cdot \sqrt{0,5 \cdot (92 - 52)} = 3,58 \text{ mm}$$

Hodnota zaoblení tažné hrany tažnice (obr. 37) je zvolena na 3,5 mm. Tento rádus je menší, než jak udal výpočetní vztah, ale na kvalitu výtažku by to nemělo mít žádný vliv.

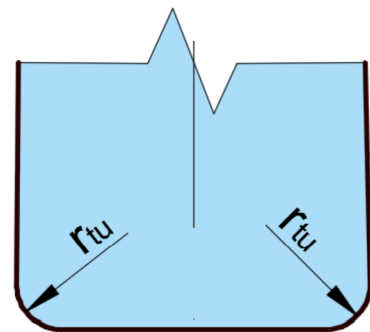


Obr. 37 Zaoblení tažnice

Zaoblení tažníku (obr. 38) bývá $(3-7)s_0$

$$r_{tu} = 4 \cdot s_0 = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ mm}$$

Rádus na dně a pod přírubou součásti činí 1 mm. Dle výše uvedených výsledků vyplývá, že by bylo nutné zařadit do další operace kalibrační tažení, které už nemění výšku součásti, ale pouze upravuje například zaoblení, kterého nebylo v předchozím tahu dosaženo. Mělo by to však za následek prodloužení výrobního času a samozřejmě také vyšší pořizovací náklady na nákup dalšího nástroje. Zadaný poloměr z výkresu však neplní v sítku žádnou funkci, a proto ho tedy není nutné přesně dodržet. Po této úvaze je proto zvoleno zaoblení pod přírubou součásti 3,5 mm a na dně sítky dle tažníku 2 mm.



Obr. 38 Zaoblení tažníku

3.4 Výpočet síly a práce

Pro volbu stroje je potřebné znát sílu a práci. Síla se počítá ze součtu síly pro utržení dna a síly přidržovače. Je tedy vhodné zjistit, zda je přidržovač vůbec potřeba. To je možné zjistit opět více cestami:

- Freidling vychází z poměrné tloušťky (2.10)

$$\Delta_s = \frac{s_0}{D_{01}} \cdot 100 = \frac{0,5}{92} \cdot 100 = 0,54 \quad \Delta_s < 1,5 \dots \text{přidržovač je nutný}$$

- Šofman dle podmínky (2.11)

$$D_{01} - d \leq 18 \cdot s_0$$

$$92 - 52 > 18 \cdot 0,5$$

$$40 > 9$$

podmínka není splněna a je tedy potřeba přidržovač

- ČSN 22 7301 norma uvádí (2.12)

$$\alpha = 50 \cdot \left(k_m - \frac{\sqrt{s_0}}{3 \cdot \sqrt{D_{01}}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{0,5}}{3 \cdot \sqrt{92}} \right) = 93,77$$

$$\alpha \geq 100 \cdot \frac{d}{D_{01}}$$

přidržovač je nutný

$$93,77 > 100 \cdot \frac{52}{92}$$

Podle všech uvedených podmínek je nutný přidržovač, a proto s ním bude počítáno při výpočtu síly. Sílu přidržovače je možno zjistit dle (2.16)

$$F_p = S_c \cdot p = 3795,6 \cdot 5 = 18978 \text{ N}$$

$$S_c = \frac{\pi}{4} \cdot [D_{01}^2 - (d + 2 \cdot z + 2 \cdot r_{ie})^2] = \frac{\pi}{4} \cdot [92^2 - (52 + 2 \cdot 0,63 + 2 \cdot 3,5)^2] = 3795,6 \text{ mm}^2$$

Plocha pod přidržovačem S_c je spočítána jako plocha celého polotovaru, od které je odečtena plocha otvoru tažnice s rádiusy. Přidržovací tlak bývá u zvoleného nerezového hlubokotažného materiálu okolo 2 MPa. Z důvodu rezervy potřebné síly byla ale zvolena větší hodnota z intervalu, konkrétně 5 MPa.

V nástroji bude použit pružinový vyhazovač a beran lisu bude muset překonávat navíc také jeho sílu, kterou udává vztah (2.17)

$$F_v = k \cdot x_s = 10 \cdot 21 = 210 \text{ N}$$

Tuhost pružiny $k=10 \text{ N/mm}$

Síla potřebná k utržení dna se počítá podle (2.15)

$$F_{ul} = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m \cdot k_1 = \pi \cdot 52 \cdot 0,5 \cdot 720 \cdot 0,9 = 52929,6 \text{ N}$$

Celková síla se pak zjistí výpočtem (2.13)

$$F_c = F_{ul} + F_p + F_v = 52929,6 + 18978 + 210 = 72117,6 \text{ N}$$

Vypočtená celková síla je $F_c=72,12 \text{ kN}$.

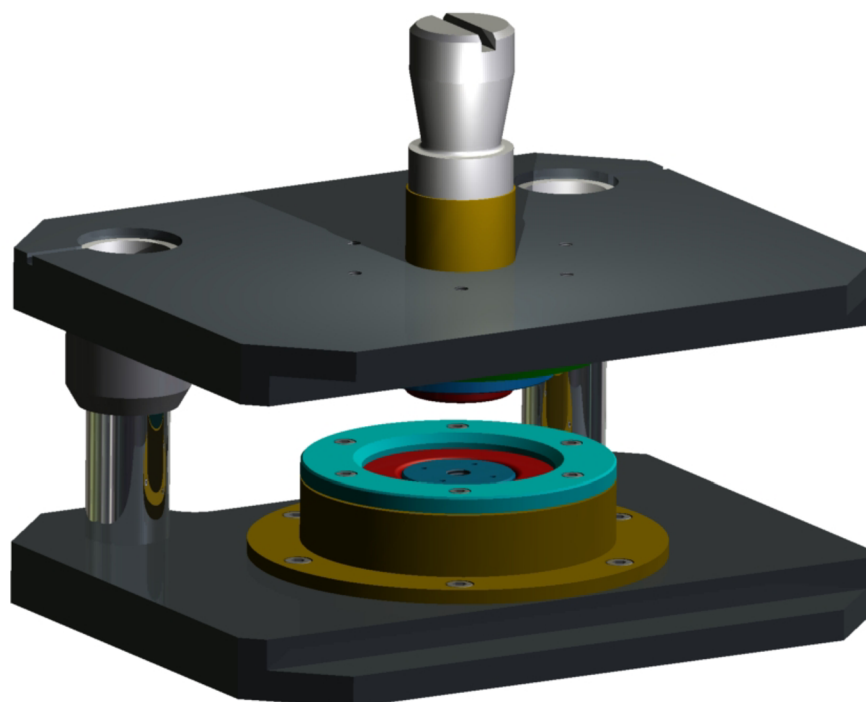
Práce potřebná k vykonání tažné operace ze vztahu (2.18)

$$A = \frac{C \cdot F_c \cdot H_c}{1000} = \frac{0,8 \cdot 72118 \cdot 20}{1000} = 1153,9 \text{ J}$$

Zaokrouhlená práce spotřebovaná vytažením dané součásti je 1,15 kJ.

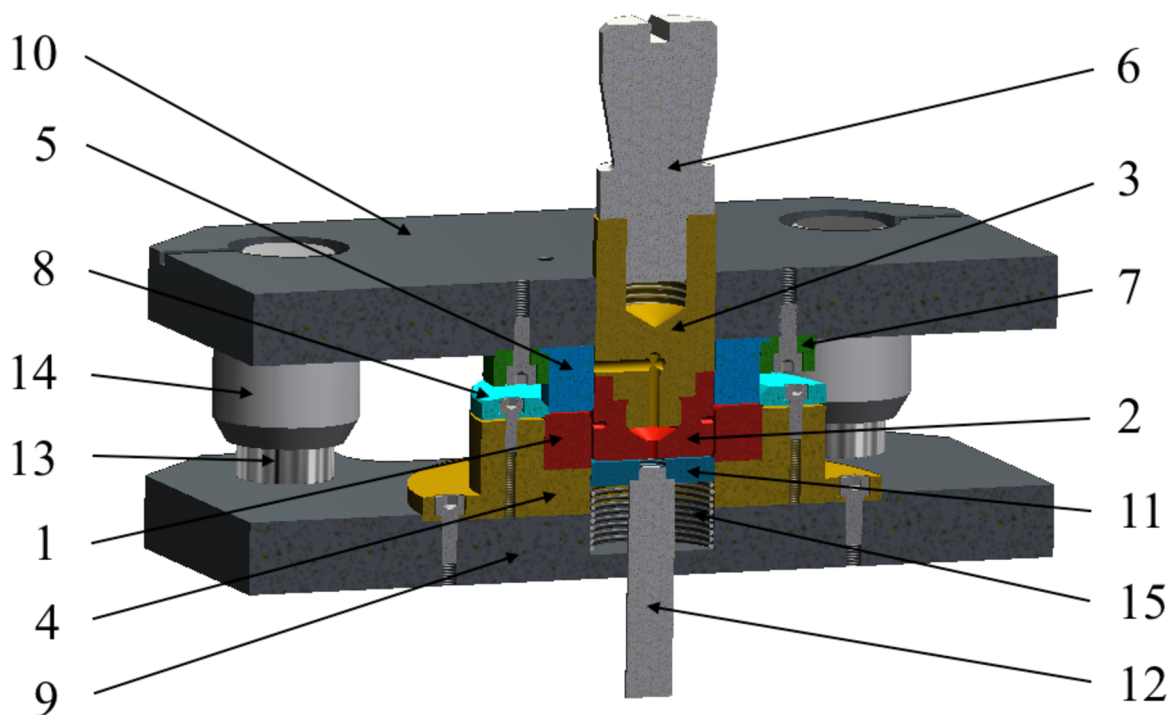
3.5 Návrh sestavy nástroje

Nástroj je navržen tak, aby dokázal vytvořit tělo filtračního sítky včetně příruby na jednu tažnou operaci. Většina částí nástroje nebyla normalizována a byla volně navržena s požadavky na spolehlivou výrobu součásti. Mezi normalizovanými díly jsou všechny šrouby a stopka tažníku, která musí mít specifický tvar, aby ji bylo možno vložit do upínacího prostoru beranu. Tažidlo na obr. 39 je tvořeno ze dvou hlavních částí, mezi které patří spodní nepohyblivá část s tažnicí a horní pohyblivá část, která je dále rozdělena na dvě další části, a to samotný tažník a desku s přidržovačem. Tyto díly se mohou pohybovat nezávisle na sobě.



Obr. 39 Tažidlo - 3D model

Celá sestava tažidla v polovičním řezu a sevřeném stavu je zobrazena na obr 40. Jednočlenná obsluha vloží přístřih do zakládacího kroužku a následně spustí pohon lisu. Nejprve přitiskne přidržovač polotovaru k tažnici vypočtenou silou a poté se začne zasouvat tažník do otvoru tažnice, přičemž s sebou již vtahuje materiál. Po dosažení hloubky výtažku je tažná operace dokončena a horní část se vrací zpět do výchozí polohy nad součást spolu s vyhazovačem. Pak je možno hotový výtažek odebrat a celý proces se takto dále opakuje.

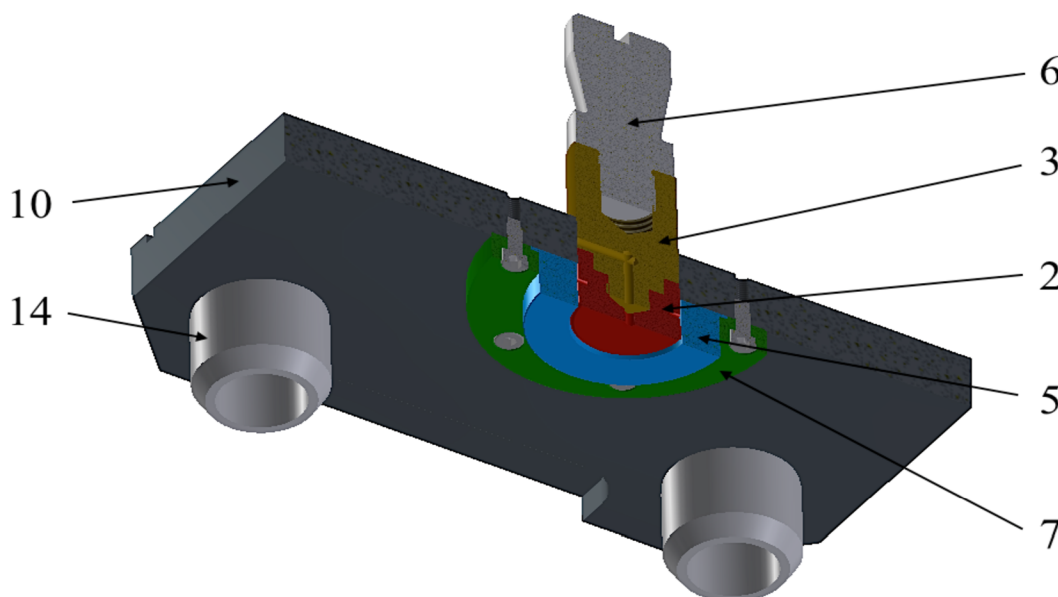


Obr. 40 Tažidlo - řez

Horní část je zobrazena na obr. 41 a 42. Při pohybu beranu lisu, ve kterém je upnuta stopka (6), se zároveň pohybuje celý tažník, složený z držáku (těla) (3) a funkční části tažníku (2). Držák (3) je vyroben z levnějšího, méně ušlechtilého materiálu, než samotný tažník a je vybaven odvzdušňovacím kanálkem. Tvářecí část tažníku (2) je také vybavena kanálkem pro odvod (nasátí) vzduchu, je našroubována na držáku (3) a dotahuje se pomocí speciálního klíče, jehož výstupky zapadnou do malých otvorů kolmých k ose nástroje. Přesné vedení pohyblivých částí nástroje je uskutečněno vodícími pouzdry (14), která jsou zalisována v (horní) upínací desce (10). K této desce je připevněný šesti imbusovými zapuštěnými šrouby upínací kroužek (7), pomocí něhož je upnut i přidržovač (5). Přesná poloha přidržovače (5) i upínacího kroužku (7) je zajištěna zahloubením v upínací desce (10).

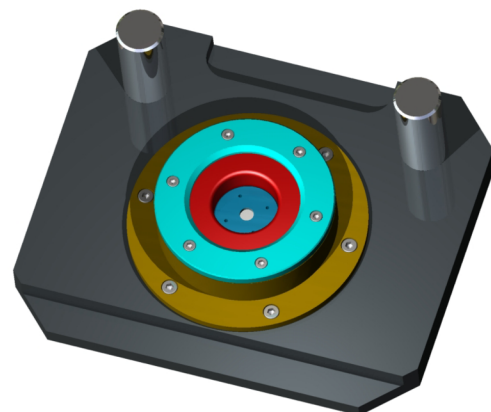


Obr. 41 Horní část



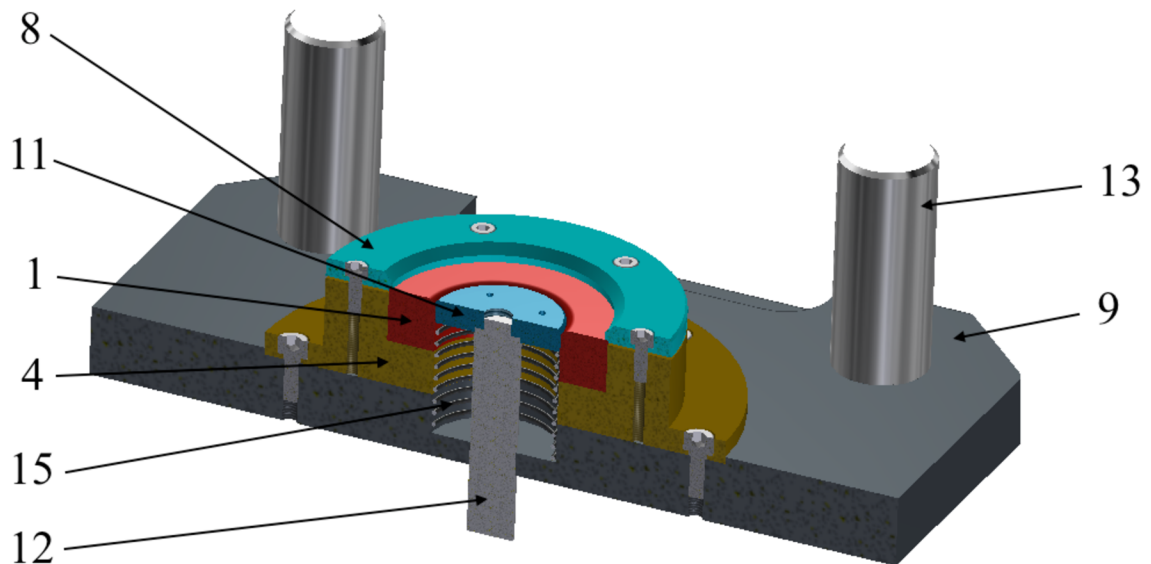
Obr. 42 Tažidlo - řez horní části

Celé horní sestavě zajišťují vertikální pohyb ke spodní části (obr. 43 a 44) čtyři vodící sloupky (13) zalisované do základové desky (19). Na ni je upnuto šesti zapuštěnými imbus šrouby těleso tažnice (4), které má opět zajištěnu svou polohu pomocí vybrání v základové desce (9). Zmíněné těleso je vyrobeno z méně ušlechtilého materiálu, podobně jako tomu bylo u tažníku, a to především z úsporných důvodů. Do této části je zalisována tažnice (1) s předem vypočítaným rádiusem. Ta je navíc dále zajištěna zakládacím kroužkem (8), do kterého se vkládá připravený kruhový polotovar a je tak zajištěna jeho středěná poloha na tažnici (1). Kroužek (8) je k tělesu tažnice přišroubován šesti zapuštěnými imbus



Obr. 43 Spodní část

šrouby. Protože je vyráběna součást, jejíž součástí je i příruba, není možné vyjímání součásti setřením pomocí tažnice a následný propad nástrojem. Je tedy nutný vyhazovač (11). Ten je opatřen čtyřmi otvory, které slouží k odvodu stlačeného vzduchu pod polotovarem při tažení součástí. Vyhazovač je odpružený pomocí tlačné pružiny (15) a je ovládán pomocí vodící tyčky (12) našroubované do vyhazovače, procházející skrz základovou desku (9) pod nástroj.



Obr. 44 Tažidlo - řez spodní části

Pro správnou funkci nástroje, přesnost výrobku a životnost nástroje je dobré umístit stopku do těžiště taženého obrysu. V případě filtračního sítka je zjištění velmi jednoduché, protože je rotačního tvaru a těžiště jeho obrysu leží přesně v ose. U složitějších součástí je možné použít výpočetní programy, např. Autodesk Inventor.

Jako mazivo je použit tvářecí olej s označením CS COMFO AC 50 od firmy FUCHS OIL CORPORATION (CZ). Jedná se o olej na minerální bázi. Je vhodný především pro operaci hlubokého tažení. Má dobré protikorozní vlastnosti a jeho odstranění je bez problémů možné vodou ředitelnými alkalickými prostředky.

3.6 Volba stroje [10]

Volba stroje probíhá s ohledem na velikost vyráběné součásti a konstrukci nástroje. Musí splňovat vypočtené parametry tažné síly a potřebné vybavení. Je důležité vybrat takový lis, který má dostatečný zdvih pro bezproblémové vyjmutí součásti z nástroje.

Navržený nástroj má oddělený pohyb přídržovače a tažníku. Je tedy známé první kritérium pro výběr správného lisu, který musí být dvojčinný. Dalším ukazatelem pro volbu je celková síla potřebná k vytažení dílce, která je 72 kN. Pro vyjmutí součásti ze stroje je třeba, aby byl zdvih minimálně jako dvě výšky výtazku.

Dle požadavků byl zvolen hydraulický univerzální lis CTH 250 (obr. 45) od firmy Žďas. Je vhodný pro objemové i plošné tváření. Tento lis je svislé konstrukce se svařovaným stojanem uzavřené skříňové konstrukce. V horní části nástroje je umístěn dvojčinný pracovní válec. Výhodou je možnost měnit sílu beranu v závislosti na dráze, či naopak nastavit stálost jedné síly po celou dobu operace.

Tab. 3.6.1 Parametry lisu CTH 250 [10]

Zákl. technické parametry		CTH 250
Jmenovitá síla	kN	2 500
Zpětná síla	kN	300
Sevřená výška	mm	800
Zdvih	mm	800
Rychlost přibližovací	mm/s	400
Rychlost pracovní max.	mm/s	70
Rychlost pracovní min.	mm/s	20
Rychlost zpětná	mm/s	426
Upínací plocha stolu	mm	1000x1250
Upínací plocha beranu	mm	1000x1250
Síla přídržovače	kN	1 000
Zdvih přídržovače	mm	320
Síla horního vyhazovače	kN	100
Zdvih horního vyhazovače	mm	330
Výkon hlavního motoru	kW	55
Půdorys lisu A x B	mm	3920x3000
Výška lisu	mm	5 600



Obr. 45 Hydraulický lis CTH 250 [10]

4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Zhodnocení se provádí pro předběžné zjištění velikosti nákladů na výrobu jednoho kusu výrobku. Z tohoto zjištění lze pak dále odvodit v jaký okamžik resp. při jakém vyrobeném počtu kusů se začne výroba vyplácet. Velikost série byla zvolena na 100 000 ks/rok.

- Materiálové zhodnocení - je počítáno s nejvýhodnějším uspořádáním přístřihů na tabuli plechu, tedy IA. Cena s DPH jedné tabule z materiálu 1.4301 o rozměru 0,5x1000x2000 mm je dle firmy Ferona a.s. 1030,- Kč. Jeden kus tabule váží 7,9 kg.

Potřebný počet tabulí pro celou sérii

$$n_t = \frac{n_s}{w} = \frac{100000}{210} = 476,2 \text{ ks}$$

kde: n_s ... počet kusů v sérii

Zvoleno pro splnění série 477 ks.

Hmotnost celkového počtu tabulí plechu pro výrobu série

$$m_{ct} = m_t \cdot n_t = 7,9 \cdot 477 = 3768 \text{ kg}$$

kde: m_t ... hmotnost jedné tabule plechu

Cena tabulí pro celou sérii

$$c_{ct} = n_t \cdot c_t = 477 \cdot 1030 = 491310 \text{ Kč}$$

kde: c_t ... cena jedné tabule plechu

Hmotnost jednoho výtažku

$$m_v = V_v \cdot \rho = 3111 \cdot 7900 \cdot 10^{-9} = 0,025 \text{ kg}$$

Celková hmotnost všech výtažků v sérii

$$m_{cv} = m_v \cdot n_s = 0,025 \cdot 100000 = 2500 \text{ kg}$$

Hmotnost odpadu

$$m_o = m_{ct} - m_{cv} = 3768 - 2500 = 1268 \text{ kg}$$

Nevyužitý materiál lze opět recyklovat a je tedy možné ho prodat.

Cena odpadu

$$c_o = c_{kg} \cdot m_o = 3,5 \cdot 1268 = 4423,5 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na materiál

$$C_c = c_{ct} - c_o = 491310 - 4423,5 = 486886,5 \text{ Kč}$$

Pro výrobu jednoho výtažku jsou náklady za materiál

$$C_v = \frac{C_c}{n_s} = \frac{486886,5}{100000} = 4,87 \text{ Kč/ks}$$

- Mzdové náklady - výše minimální hodinové mzdy obsluhy lisu dle Nařízení vlády č. 567/2006 Sb. spadající do 3. skupiny činí 58,6 Kč/hod.

Čas potřebný pro vytvoření jedné součásti

$$t_z = \frac{s_n}{v_p} + \frac{s_p}{v_{pr}} + \frac{h_l}{v_z} + t_{ob} = \frac{45}{400} + \frac{26}{20} + \frac{71}{426} + 8 = 9,57 \text{ s}$$

kde: s_n ... dráha beranu nečinná
 s_p ... dráha beranu pracovní
 h_l ... zdvih beranu lisu
 v_p ... rychlost beranu přibližovací
 v_{pr} ... rychlost beranu pracovní
 v_z ... rychlost beranu zpětná
 t_{ob} ... čas obslužné práce

Zaokrouhлено na $t_z=10$ s.

Počet zdvihů beranu za minutu

$$n_z = \frac{60}{t_z} = \frac{60}{10} = 6 \text{ ks/min}$$

Počet dílů vyrobených za hodinu

$$n_h = 60 \cdot n_z = 60 \cdot 6 = 360 \text{ ks/hod}$$

Počet hodin pro jednu sérii

$$t_c = \frac{n_s}{n_h} = \frac{100000}{360} = 277,8 \text{ hod}$$

Zvoleno 278 hodin.

Počet směn pro výrobu série

$$t_s = \frac{t_c}{t_p} = \frac{278}{7,5} = 37,1 \text{ směn}$$

kde: t_p ... počet hodin jedné směny

Zvoleno 38 směn.

Určení super hrubé mzdy pracovníka obsluhující lis.

$$M_s = 1,34 \cdot t_c \cdot M_h = 1,34 \cdot 278 \cdot 58,6 = 21829,7 \text{ Kč}$$

kde: M_h ... hodinová minimální mzda

Náklady včetně výrobní režie $R_v=340$ % a správní $R_{sp}=110$ % ze super hrubé mzdy

$$M_c = \frac{M_s \cdot (R_v + R_{sp})}{100} = \frac{21829,7 \cdot (340 + 110)}{100} = 98233,7 \text{ Kč}$$

Celkové mzdové náklady pro jednu sérii jsou 98 233,7 Kč.

- Náklady na výrobu nástroje (tažidla) je odhadnuta přibližně na $N_n=70\ 000,-$ Kč.

- Určení ceny jedné součásti

$$N_s = C_v + \frac{N_n}{n_s} = 4,87 + \frac{70000}{100000} = 5,57 \text{ Kč}$$

$$N_{sz} = N_s \cdot 1,5 = 5,57 \cdot 1,5 = 8,4 \text{ Kč}$$

Cena jedné součásti se ziskem 50 % činí 8,4 Kč.

- Bod zvratu, kdy začne výroba vykazovat zisk

Fixní náklady

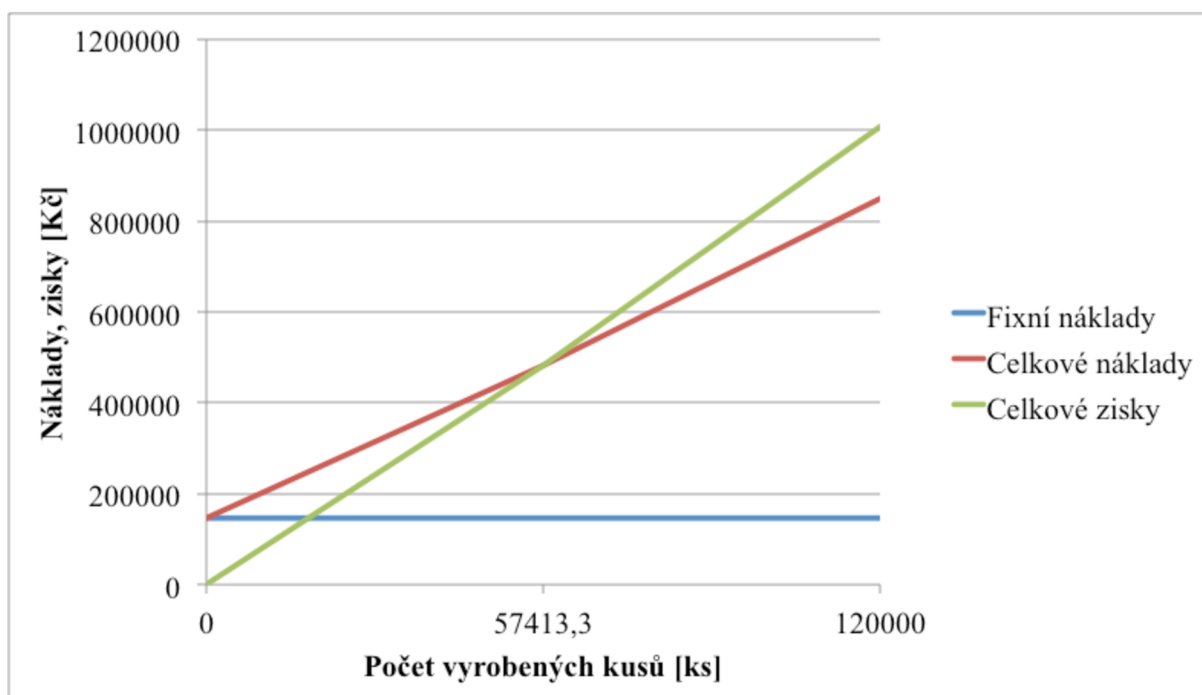
$$N_F = N_n + M_C - M_S = 70000 + 98233,7 - 21829,7 = 146404 \text{ Kč}$$

Variabilní náklady

$$N_v = C_v + \frac{M_C}{n_s} = 4,87 + \frac{98233,7}{100000} = 5,85 \text{ Kč/ks}$$

Bod zvratu

$$BZ = \frac{N_F}{N_{sz} - N_v} = \frac{146404}{8,4 - 5,85} = 57413,3 \text{ ks}$$



Obr. 46 Bod zvratu

Z grafu na obr. 46 vyplývá, že výroba filtračního sítka začne být zisková až po 57 413 vytvořených kusech. Vzhledem k počtu série 100 000 k tato hodnota může být přijatelná. Počítá se však s výrobou delší než po dobu jedné série.

5 ZÁVĚRY

Vyráběnou součástí je filtrační sítko, které je vnitřní částí kávovaru a slouží k filtraci namleté kávy. Série, se kterou se díl vyrábí je 100 000 ks/rok. V okolí sítka je v průběhu filtrace zvýšená teplota, tlak a kyselost. Z těchto důvodů byl zvolen jako nejvhodnější materiál ČSN 17 240 (1.4301), který splňuje všechny zmíněné požadavky a je vhodný pro potravinářský průmysl.

Jako optimální metoda vyhotovení těla sítka vyplynula po variantním řešení výroby metoda konvenčního tažení bez ztenčení stěny.

Se zohledněním počtu tažných operací a zvětšením polotovaru o 3 % z důvodu anizotropie materiálu byl zvolen polotovar pro tažení o průměru 92 mm. Pro tloušťku materiálu 0,5 mm byly nalezeny dva odlišné rozměry vyráběných tabulí plechů, ze kterých se při podélném nebo příčném rozdělení zvolila tabule o rozměrech 0,5x1000x2000 mm s nejlepším využitím materiálu 69,8 %.

Po určení technologických výpočtů byl navržen nástroj pro jednooperační tažení. Z technologických důvodů nebylo možné dodržet předepsané poloměry dle výkresu pod přírubou a na dně kalíšku. Bylo tedy upraveno zadání na nejmenší možné zaoblení tažníku a tažnice, které při takto malých změnách nemá na funkci sítka žádný vliv. Při nutnosti výroby bez změny poloměru by bylo potřeba zařadit kalibrační operaci. To by obnášelo návrh a pořízení dalšího nástroje, což by zvyšovalo výrobní náklady a časy. Dle vypočtené síly pro přidržovač, vyhazovač a samotné tažení byla určena potřebná celková síla 72,12 kN. Na základě vypočtené síly byl zvolen hydraulický univerzální lis CTH 250 od firmy ŽĐAS.

Náklady na tažení těla jednoho kusu byly určeny na 8,4 Kč. V této ceně je zohledněna režie výroby i mzdy. Pro celkové náklady by bylo zapotřebí zohlednit i operace předvýrobní a dokončovací, například řezání, stříhání, nebo děrování.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [1]

1. CitacePRO. [online]. © 2012 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/>
2. ČADA, Radek. *Technologie I: objemové a plošné tváření zastudena : (návodů do cvičení)*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 89 s. ISBN 978-80-248-2126-9.
3. Čerstvá káva. *ČERSTVÁ KÁVA* [online]. © 2008-2013 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.cerstvakava.cz>
4. Deep drawing. *Manufacturing technologies* [online]. © 2015 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://sfsintec.biz/en/web/homepage.html>
5. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: CERM, 2003, 169 s. ISBN 80-214-2340-4.
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4747-9.
7. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
8. Emboutissage. *Euromeccanica Group s.p.a.* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.euromeccanica.net/fr/imbutitura.aspx>
9. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
10. Hydraulické univerzální lisů CTH. *Žďas a.s.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=45>
11. Hydroforming process. *Hydroforming* [online]. 2011 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.jmpforming.com/hydroforming/about-hydroforming-process.htm>
12. LENFELD, Petr. *Technologie II. Technologie plošného tváření - tažení* [online]. 2005 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm
13. L'emboutissage. *Bourgeat industrie* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.bourgeat-industrie.com/emboutissage/>
14. Maziva. *Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství* [online]. © 2015 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/633-Fabik-Vybrane-kapitoly-z-tvareni-kovu-kap-6-10.pdf>
15. Nerezová ocel 1.4301. *Prodej nerezového hutního materiálu - INOX s.r.o.* [online]. © 2009- [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
16. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
17. Odbor technologie tváření kovů a plastů. 2005. *VUT Brno* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory
18. ROMANOVSKIJ, V. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959, 537 s. DT 621.986.
19. Sheet metal forming. *Manufacturing Cost Estimation* [online]. © 2009- [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>
20. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990, 196 s. Knihnice techn. aktualit. ISBN 80-030-0221-4.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
A	[J]	Tažná práce
a_d, a_p	[mm]	Vzdálenost těžiště oblouku dna, příruby
b	[mm]	Šířka pásu
BZ	[ks]	Bod zvratu
C	[-]	Koeficient
C_c	[Kč]	Celkové náklady na materiál
c_{ct}	[Kč]	Cena tabulí pro celou sérii
c_o	[Kč]	Cena odpadu
c_t	[Kč]	Cena jedné tabule plechu
C_v	[Kč/ks]	Pro výrobu jednoho výtažku jsou náklady za materiál
d, d_i	[mm]	Průměr výtažku, v i-té operaci
\tilde{l}_d, \tilde{l}_p	[mm]	Délka osy oblouku dna, příruby
D_0	[mm]	Průměr rondelu
$d_{1,2,3,n}$	[mm]	průměr po první, druhé, třetí nebo n-té operaci tažení
d_{1a}	[mm]	Průměr dna
d_{2a}	[mm]	Průměr stěny
d_{3a}	[mm]	Průměr začátku příruby
d_{4a}	[mm]	Průměr konce příruby
d_d	[mm]	Průměr rovinné části dna
D_d	[mm]	Průměr středu tloušťky válcové části
D_p	[mm]	Větší průměr mezikruží příruby
D_{Td}, D_{Tp}	[mm]	Průměr těžiště oblouku dna, příruby
e	[mm]	Mústek
f	[mm]	Přepážka
F_C	[N]	Celková síla
F_p	[N]	Síla přidržovače
F_{ui}	[N]	Síla k utržení dna při i-tém tažení
F_v	[N]	Síla vyhazovače
h	[mm]	Výška pláště
H	[mm]	Výška válcové části
H_C	[mm]	Celková výška od vrchu příruby ke dnu kalíšek
h_l	[mm]	Zdvih beranu lisu
i	[%]	Procentuelní využití
k	[-]	Součinitel
k	[N/mm]	Tuhost pružiny
k_i	[-]	Opravný součinitel v i-tém tahu
k_k	[mm]	Délka kroku
k_m	[-]	Materiálová konstanta
$m_{1,2,3,n}$	[-]	Součinitel tažení prvního, druhého, třetího nebo n-tého tahu
m_c	[-]	Celkový součinitel tažení
M_C	[Kč]	Náklady včetně výrobní režie
m_{ct}	[kg]	Hmotnost celkového počtu tabulí plechu pro výrobu série
m_{cv}	[kg]	Celková hmotnost všech výtažků v sérii
M_h	[Kč/hod]	Hodinová minimální mzda

Symbol	Jednotka	Popis
M_S	[Kč]	Super hrubá mzda
m_t	[kg]	Hmotnost jedné tabule plechu
m_v	[kg]	Hmotnost jednoho výtažku
N_F	[Kč]	Fixní náklady
n_h	[ks/hod]	Počet dílů vyrobených za hodinu
N_n	[Kč]	Náklady na výrobu nástroje
n_s	[ks]	Počet kusů v sérii
N_{sz}	[Kč]	Cena jedné součásti
n_t	[ks]	Potřebný počet tabulí pro celou sérii
N_v	[Kč/ks]	Variabilní náklady
n_z	[ks/min]	Počet zdvihů beranu za minutu
r	[mm]	Vnější poloměr zaoblení
R_m	[MPa]	Mez pevnosti daného materiálu
r_{od}, r_{op}	[mm]	Poloměr středové osy oblouku
R_{Td}, R_{Tp}	[mm]	Poloměr vzdálenosti k těžišti dna, příruby
r_{te}	[mm]	Poloměr zaoblení tažnice
r_{tu}	[mm]	Poloměr zaoblení tažníku
s_0	[mm]	Výchozí tloušťka plechu
S_0	[mm ²]	Plocha kruhového přístřihu
S_i	[mm ²]	Elementární plochy výtažku
s_n	[mm]	Dráha beranu nečinná
s_p	[mm]	Dráha beranu pracovní
t_c	[hod]	Počet hodin pro jednu sérii
t_{ob}	[s]	Čas obslužné práce
t_p	[hod]	Počet hodin jedné směny
t_s	směn	Počet směn pro výrobu série
t_z	[s]	Čas potřebný pro vytvoření jedné součásti
u	[ks]	Počet kusů součástí v pásu
v	[ks]	Počet pásů plechu pod sebou
V_p	[mm ³]	Objem přístřihu
v_p	[mm/s]	Rychlost beranu přibližovací
v_{pr}	[mm/s]	Rychlost beranu pracovní
V_v	[mm ³]	Objem výtažku
v_z	[mm/s]	Rychlost beranu zpětná
w	[ks]	Celkový počet kusů na jedné tabuli plechu
x	[mm]	Délka pásu z tabule
x_s	[mm]	Stlačení pružiny
y	[mm]	Výška tabule
z, z_1, z_2	[mm]	Tažná mezera v prvním, posledním, kalibračním tahu
α	[°]	Úhel oblouku
Δs	[-]	Poměrná tloušťka

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí vyrobených tažením	10
Obr. 2 Uložení součásti	11
Obr. 3 Filtrační sítko	11
Obr. 4 Rozměry sítko	11
Obr. 5 Rozdělení tažení	12
Obr. 6 Schéma kovotlačení	12
Obr. 7 Schéma Marform	13
Obr. 8 Schéma Hydroform	13
Obr. 9 Schéma hlubokého tažení	13
Obr. 10 Schéma konvenčního tažení	14
Obr. 11 Průběh napětí při tažení	14
Obr. 12 Schéma rozložení ploch	14
Obr. 13 Grafické určení výchozího přístřihu	15
Obr. 14 Schéma pro výpočet	15
Obr. 15 Víceoperační tažení	16
Obr. 16 Tažná mezera	16
Obr. 17 Průběh tažné síly	18
Obr. 18 Tažidla	19
Obr. 19 Provedení tažidel pro 1. a další tahy	20
Obr. 20 Provedení tažníků	20
Obr. 21 Úpravy tažné hrany tažnic	21
Obr. 22 Varianty tvarového provedení tažnic	21
Obr. 23 Doporučené hodnoty r_0	22
Obr. 24 Použití přídržovače	22
Obr. 25 Schéma lisu	23
Obr. 26 Schéma klikového mechanismu	23
Obr. 27 Princip hydraulického lisu	23
Obr. 28 Striebeckův diagram tření	24
Obr. 29 Výtažek	25
Obr. 30 Rozdělení na plošky	25
Obr. 31 Schéma oblouku	25
Obr. 32 Označení průměrů	26
Obr. 33 Velikost můstku a přepážky	27
Obr. 34 Uspořádání A	28
Obr. 35 Uspořádání B	28
Obr. 36 Tažná mezera	29
Obr. 37 Zaoblení tažnice	30
Obr. 38 Zaoblení tažníku	30
Obr. 39 Tažidlo - 3D model	32
Obr. 40 Tažidlo - řez	32
Obr. 41 Horní část	33
Obr. 42 Tažidlo - řez horní části	33
Obr. 43 Spodní část	33
Obr. 44 Tažidlo - řez spodní části	34
Obr. 45 Hydraulický lis CTH 250	35
Obr. 46 Bod zvratu	38

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Chemické složení	11
Tab. 1.2 Mechanické vlastnosti	11
Tab. 2.3.1 Doporučené hodnoty tažné mezery	17
Tab. 2.5.1 Tabulka opravných součinitelů	18
Tab. 2.6.1. Materiály pro části tažidel	19
Tab. 3.2.1 Varianty rozložení	29
Tab. 3.6.1 Parametry lisu CTH 250	35

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Nomogram pro výpočet průměru přístřihu

Příloha 2 Grafické řešení průměru polotovaru

Příloha 3 Nomogram pro určení můstku a přepážky

SEZNAM VÝKRESŮ

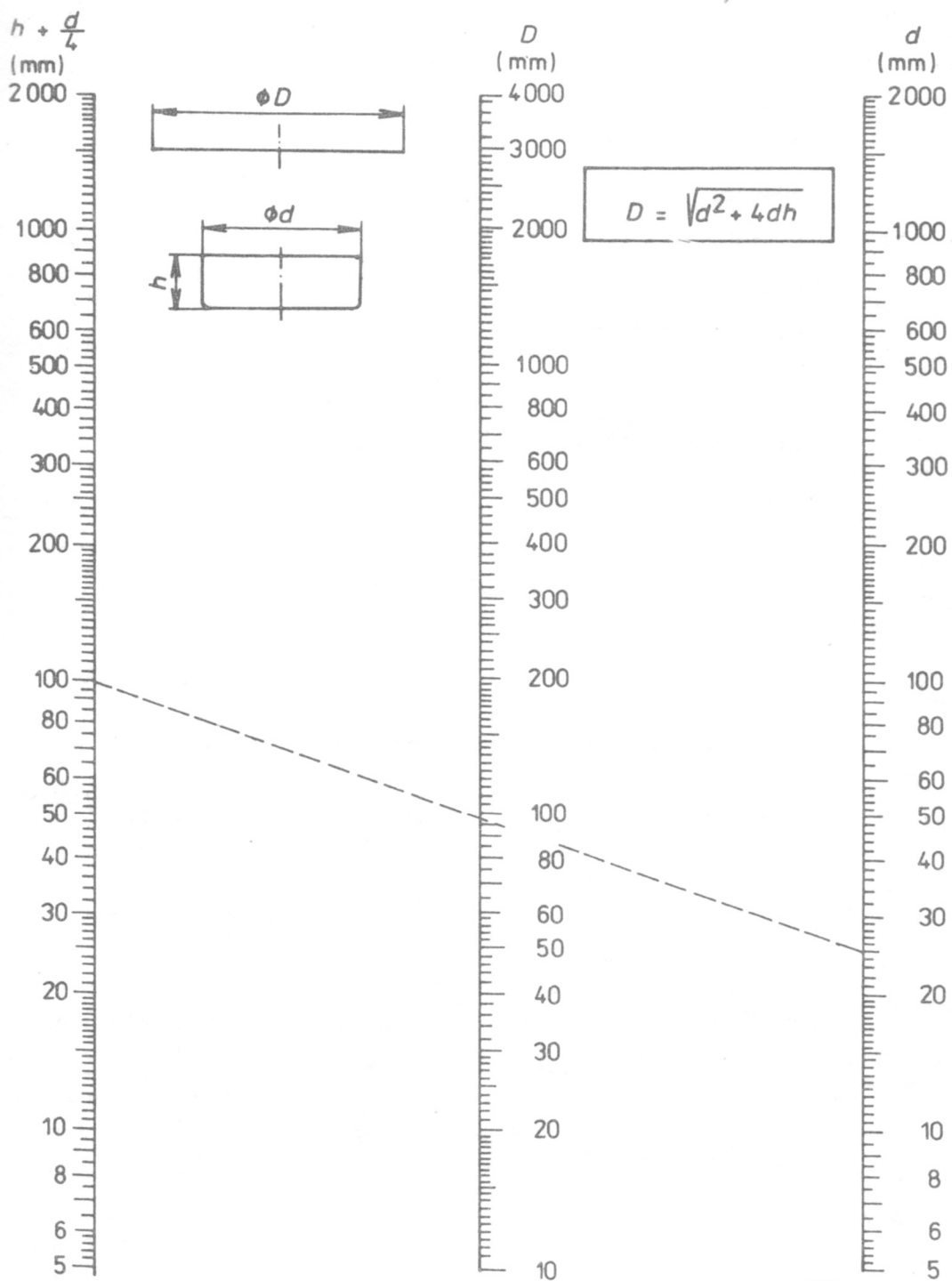
2015_A4_00 Výkres součásti

2015_A1_01 Výkres sestavy

2015_A4_02 Výkres tažnice

2015_A4_03 Výkres tažníku

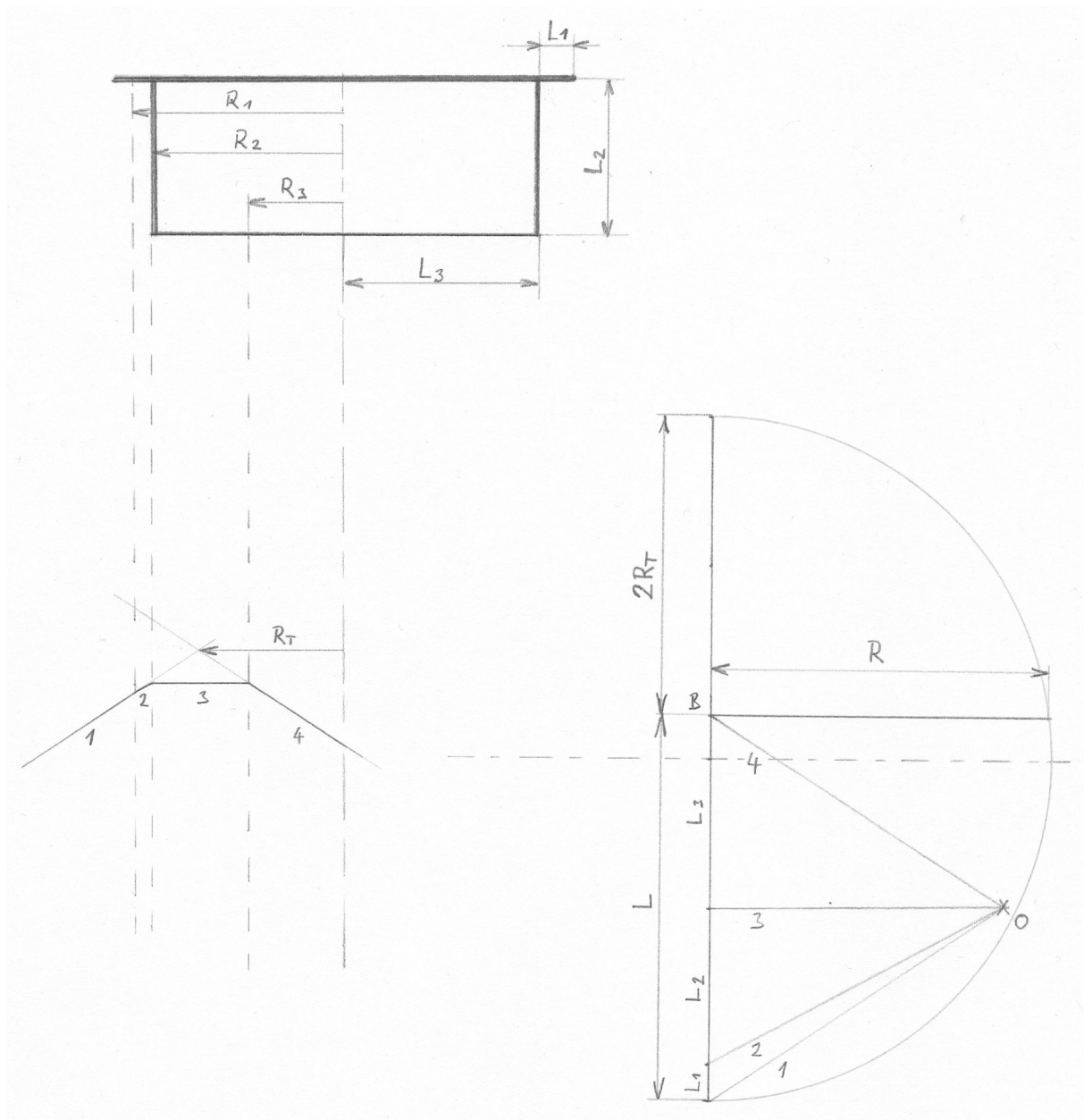
Příloha 1 Nomogram pro výpočet průměru přístřihu



Obr. 5. Graf pro výpočet průměru přístřihu



Příloha 2 Grafické řešení průměru polotovaru



Příloha 3 Nomogram pro určení můstku a přepážky

