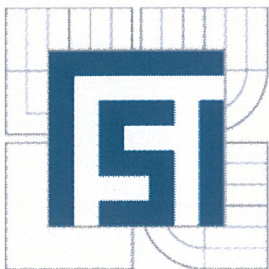


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VÝROBY KRYTU

THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF COVER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MAREK SMEJKAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MICHAELA CÍSAŘOVÁ

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Marek Smejkal

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:

Technologie výroby krytu

v anglickém jazyce:

The Production Technology of cover

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na technologii výroby krytu plošným tvářením. V závěrečné práci by měla být uvedena problematika tažení či jiné možné technologie výroby a výrobní postupy.

Cíle bakalářské práce:

Návrh vhodné technologie výroby součástky a zpracování postupu výroby. Vypracování literární studie na možné technologie výroby. Zhodnocení současné technologie výroby součástí podobných tvarů. Součástí práce bude i technicko – ekonomické hodnocení, návrh sestavy nástroje a závěry se zhodnocením navrhované technologie.

Seznam odborné literatury:

- TIŠNOVSKÝ, Miroslav; MÁDLE, Luděk. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.
- FREMUNT, Přemysl; KREJČÍK, Jiří a PODRÁBSKÝ, Tomáš. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
- DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
- NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Brno: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13-B3-IV- 41/22674.
- BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.

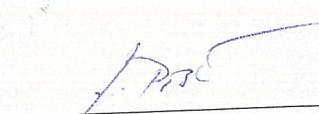
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Císařová

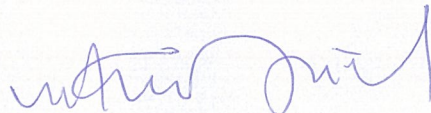
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 16.11.2010

L.S.




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ANOTACE

MAREK SMEJKAL: *Technologie výroby krytu*. Bakalářská práce kombinovaného studia, bakalářský studijní program STROJÍRENSTVÍ. Obor strojní inženýrství. 1. stupeň, 3. ročník, akademický rok 2010/2011. FSI VUT Brno, květen 2011, 46 stran, 5 tabulek.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru B2307 předkládá návrh technologie výroby krytu. Součást je vyrobena z ocelového plechu ČSN 11 320.21 / W.Nr.1.032 tloušťky 1,5 mm. Na základě literární studie problematiky hlubokého tažení rotačních výtažků byl pro zadanou součást vypracován výrobní postup. Výrobní série je 200 000 kusů/rok. Na součást nejsou kladeny žádné zvláštní mechanické vlastnosti.

Klíčová slova

technologie, tažení, plošné tváření, výtažek

ANOTATION

MAREK SMEJKAL: *Drawing technology of cover*. Bachelor's thesis of combined studies, study program INDUSTRY. The branch mechanical engineering, level 1, 3rd grade, academic year 2010/2011. FME of Brno University of technology, May 2011, 46 pages, 5 tables.

The project written in the frame of studies branch Manufacturing Technology (B2307) is submitting design of technology production of cover. The part is made of sheet metal ČSN 11 320.21 / W.Nr.1.032, 1,5 mm thick. Based on the literature study the problem of deep drawing was drawn for a given part the manufacturing process. Annual production is 200 000 pieces. There are no special mechanical demands for the part.

Keywords

technology, drawing, sheet forming, drawing part

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SMEJKAL, Marek. *Technologie výroby krytu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Císařová.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně na základě poznatků získaných na vysoké škole, s využitím uvedené literatury a po konzultacích s vedoucí bakalářské práce.

V Brně dne 24.5.2011

Marek Smejkal

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval paní Ing. Michaele Císařové za cenné připomínky, metodické vedení a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Anotace

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Technologie tváření kovů	11
3	Plošné tváření.....	12
3.1	Technologie tažení.....	13
3.2	Tažení rotačních výtažků	13
3.2.1	Stanovení velikosti přístřihu	15
3.2.2	Součinitel a stupeň tažení, počet tažných operací	16
3.2.3	Použití přidržovače	17
3.2.4	Tažná síla a práce	18
3.2.5	Poloměr hran	19
3.2.6	Tažná mezera.....	20
3.2.7	Tažná rychlost	20
3.2.8	Mazání.....	20
3.3	Nástroje pro tažení.....	21
3.4	Možné technologie výroby	22
3.4.1	Tažení pryží.....	22
3.2.1.	Tváření kapalinou – metoda Wheelon	24
3.4.2	Metoda Hydroform	24
3.4.3	Hydromechanické tažení.....	25
3.4.4	Rotační tlačení, kovotlačení	25
3.5	Současná technologie výroby.....	26
4	Návrh technologie a postup výroby	28
4.1	Technologické výpočty.....	28
4.2	Návrh postupu výroby	33
4.3	Konstrukce nástroje	34
4.4	Volba stroje	35
5	Technicko-ekonomické zhodnocení	37
5.1	Technické zhodnocení	37
5.2	Ekonomické zhodnocení.....	37
6	Závěr	40

Použitá literatura

Seznam použitých zkratk a symbolů

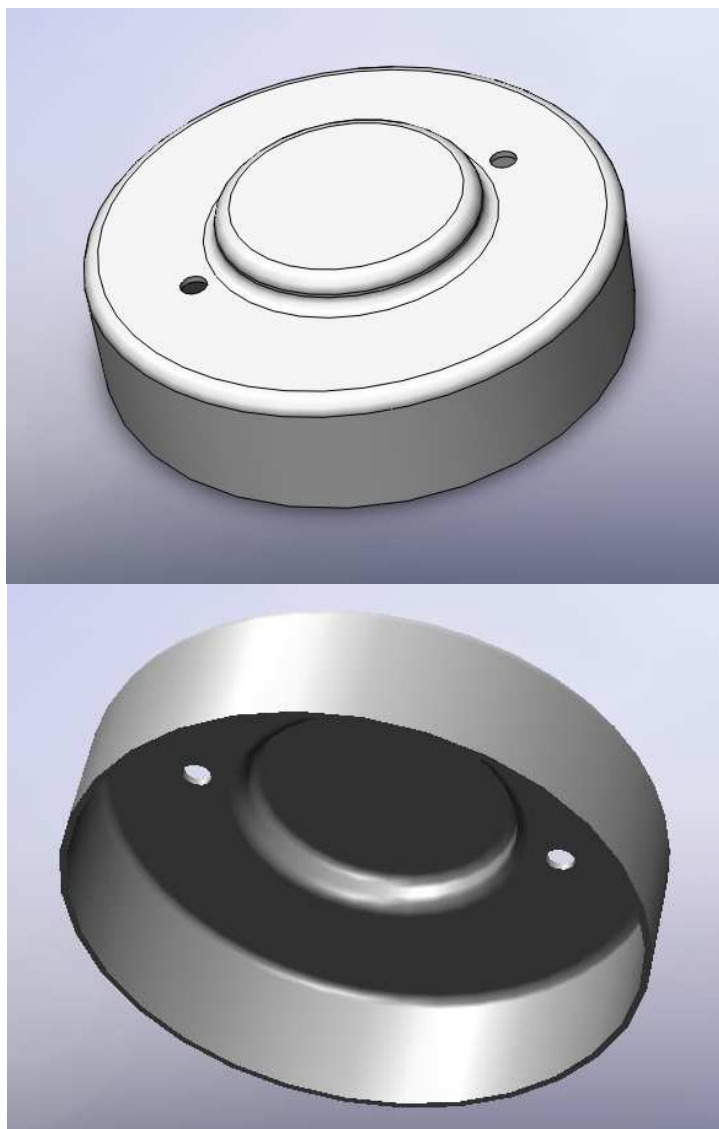
Seznam příloh

1 ÚVOD

Plošné tváření patří mezi vysoce efektivní technologie výroby pro výrobu různých součástí velmi malých, ale i velkoplošných tvarů. Součásti vyrobené touto technologií patří k nejlevnějším a to je jeden z hlavních důvodů, proč je snaha jimi nahrazovat vše, co jde tímto způsobem vyrobit. K další důvodům patří jejich nízká hmotnost, dostatečná pevnost i tuhost, úspora materiálu oproti odlitkům i svařovaným dílcům jako i snížení pracnosti.

Podle deformace plošné tváření rozdělujeme na dva základní způsoby – deformaci s místním porušením (střih) a deformaci tvárnou, tj. bez porušení soudržnosti. Základními výchozími polotovary jsou plechy, trubky a tenkostěnné profily.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout nejvhodnější technologii výroby krytu (Obr. 1.1). Součást je vyrobena z tažného plechu o tloušťce 1,5 mm. Polotovarem je výstřížek z plechu neboli přístřih. Součást není nijak staticky ani dynamicky namáhána a nejsou na ni, ani na otvory, kladeny žádné zvláštní požadavky. Musí být ale zajištěna montovatelnost součásti, což je v podstatě průchodnost šroubu otvorem. Součást slouží pouze pro zakrytí magnetu průmyslové lampy.



Obr. 1.1. 3D pohled zadané součásti

2 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ KOVŮ

Tváření kovů je technologický proces, při kterém dochází ke změně tvaru výrobku nebo polotovaru působením vnějších sil. Při tváření vznikají plastické deformace, které vznikají v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál.

Tvářecí procesy se dělí na dva základní způsoby:

- Objemové tváření – proces probíhá převážně za tepla, dochází k výrazné změně tvaru a zvětšení plochy původního polotovaru
- Plošné tváření – proces probíhá převážně za studena, přístřih je přetvořen do prostorového tvaru

Podle velikosti zatížení se rozdělují dva typy deformace:

a) Pružná deformace:

Na těleso působí tak velká síla, že po odlehčení se těleso vrátí do svého původního stavu dle Hookova zákona.

Hookův zákon pro tlak a tah:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad [-] \quad (1.1)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa]

σ – mechanické napětí [MPa]

b) Plastická deformace

Na těleso působí tak velká síla, že po odlehčení zůstane těleso v deformovaném stavu.

Výhodou tváření je vysoké využití materiálu, vysoká produktivita práce a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena strojů a nástrojů a omezení rozměrů konečného výrobku.

Nejdůležitějším a nejzákladnějším parametrem rozdělení technologií pro zpracování kovů je teplota tváření. Důležitou teplotou je rekrytalizační teplota (cca. 0,4 teploty tání kovu).

Tváření za studena (tváření pod rekrytalizační teplotou) dochází ke zpevňování materiálu. Zrna se deformují ve směru tváření, vytváří se textura, tím se materiál zpevní a zvyšují se jeho mechanické vlastnosti (mez pevnosti a mez kluzu) a klesá tažnost.

Výhodou je vysoká přesnost rozměrů, kvalitní povrch (nevznikají okuje) a zlepšování vlastností zpevněním.

Nevýhodou je nutnost používat velké tvářecí síly, nerovnoměrné zpevňování a omezená tvárnost materiálu.

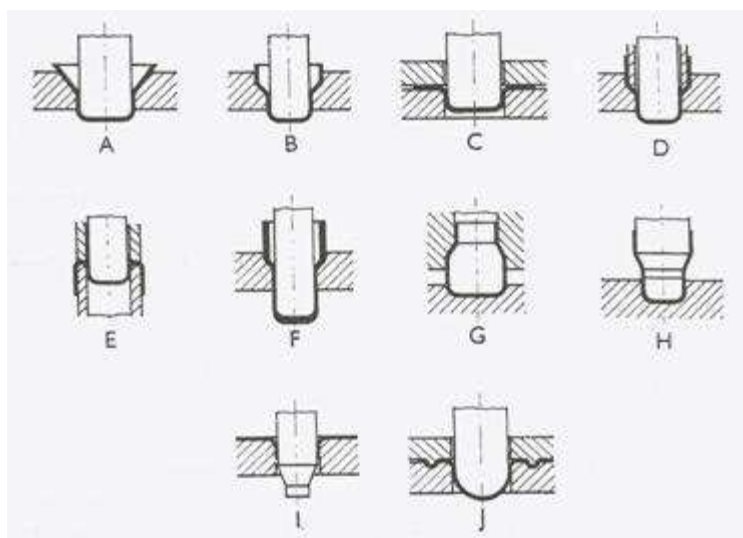
Tváření za tepla probíhá nad rekrytalizační teplotou. Materiál se nezpevňuje a k tváření stačí síly až desetkrát menší než u tváření za studena. Nevzniká textura, ale povrch je nekvalitní vlivem okují. [1], [2]

3 PLOŠNÉ TVÁŘENÍ

Plošným tvářením se v současné době vyrábí výlisky a výtvary, jak velmi malých, tak i velkoplošných rozměrů. Jedná se o jednoduché ohýbané součásti, ale také o tvarově složité výtažky. Nízká hmotnost a dostatečná pevnost i tuhost, zejména jsou-li opatřeny výztužnými žebry nebo lemy, patří k jejich typickým znakům.

Plošné tváření je možné v souladu s normou ČSN 22 6001 rozdělit na:

- stříhání (prosté, děrování, vystřihování, ostřihování, prostřihávání, přistřihování, nastřihování, protrhávání, vysekávání)
- ohýbání (prosté, ohraňování, rovnání, zakružování, lemování, obrubování, osazování, drápkování, zkrucování)
- tažení (prosté bez ztenčení stěny, se ztenčením stěny, zpětné, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování, přetahování)
- tlačení (tlačení tvaru, rotační – obrubování, lemování, rozšiřování, zužování, žlábkování, drápkování, osazování, tlačení se ztenčením stěny).



Obr. 3.1. Technologické způsoby tažení [4]

Způsob výroby výlisků záleží na mnoha faktorech, ke kterým patří druh tvářeného materiálu, rozměry a požadovaná přesnost součásti, sériovost apod.

Obecný výrobní postup lisované součásti může být následující:

- dělení výchozího materiálu
- úprava přístřihu (rovnání, odstranění otřepů)
- nanesení maziva (automaticky, mechanicky)
- tváření
- mytí a úpravy po tváření (klempířské úpravy)
- dokončovací operace (děrování otvorů)

Hotové výlisky je možné využít přímo, např. nádoby, stínidla, kryty, konzoly nebo je použít až v dalším výrobním procesu pro svařování či pájení do složitějších celků. [2]

3.1 Technologie tažení

Tažení je technologický proces, kdy ze základního rovinného polotovaru – přístřihu lze vyrobit hotový, prostorově tvarový výrobek bez změny tloušťky výchozího materiálu (nebo jen s minimální změnou tloušťky).

Výtažek lze zhotovit:

- konvečním tažením – pevným nástrojem
- nekonvečním tažením – nepevným nástrojem (např. metodou Hydroform, Marform) – explozivním tvářením

Tažení se dále dělí na:

- tažení rotačních výtažků
- tažení nerotačních výtažků

U materiálu pro tvářením jsou rozhodující jeho tvárné vlastnosti, které kov může snést bez částečného nebo úplného porušení celistvosti při dané teplotě a rychlosti deformace.

Na tvařitelnost mají vliv:

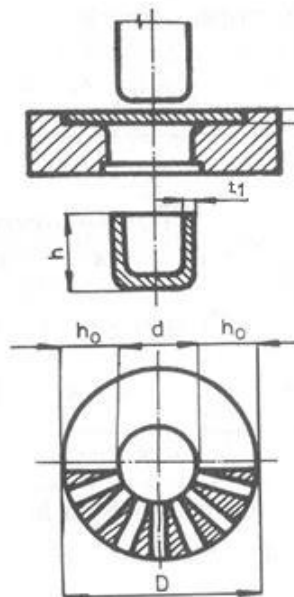
- plastické vlastnosti tvářeného materiálu (mechanické vlastnosti, součinitel plastické anizotropie, exponent deformačního zpevnění)
- podmínky procesu tvářením (rozložení napětí a deformací, konstrukčně technologické parametry tvářecích nástrojů, deformační rychlost, teplota, tření) [2], [3]

3.2 Tažení rotačních výtažků

Tažení rotačně symetrických výtažků patří mezi nejjednodušší způsoby tažení plechu. Výpočtové vztahy tažení rotačních výtažků jsou základem pro výpočty nerotačních výtažků složitějšího tvaru.

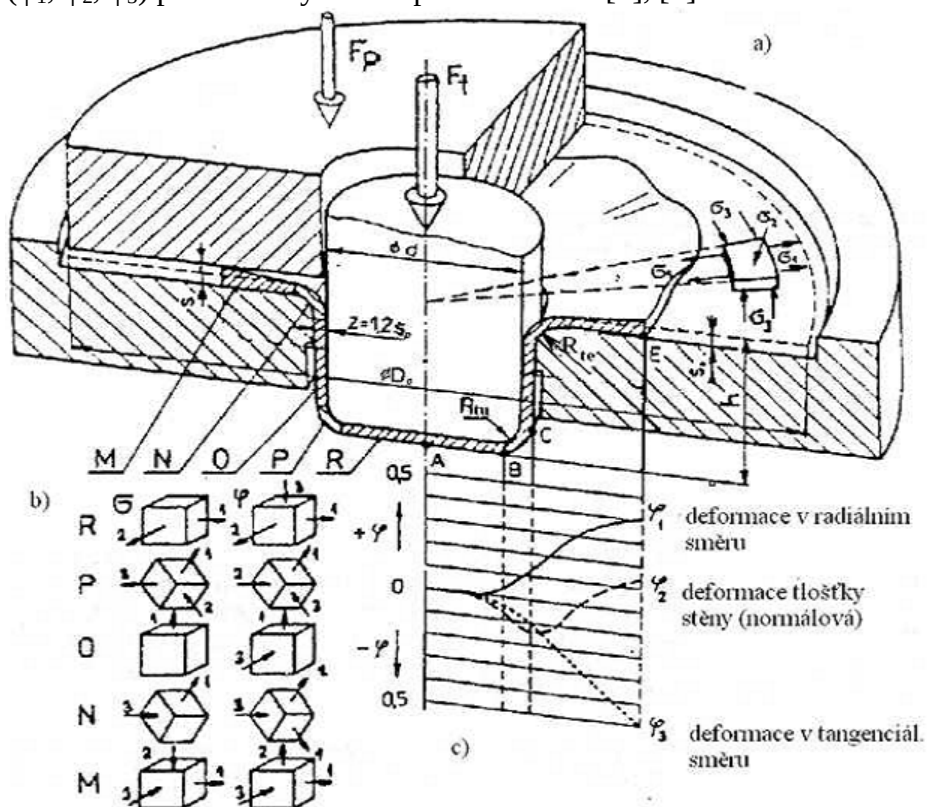
Prostorově duté výlisky vyrobené tažením nelze, oproti ohýbaným výliskům, zpětně rozvinout.

Princip tažení pracuje na principu vtahování plochého přístřihu plechu tloušťky t tažníkem do tažnice. Při tažení se mezikružší ($D-d$) změní na válec a vznikne válcová nádoba o výšce h a konečném průměru d . Přitom dochází k přesunu objemu kovu ve tvaru trojúhelníků, jak je vidět na obr. 3.1.



Obr. 3.2. Schéma tažení nádoby [4]

Při hlubokém tažení se v taženém materiálu vyskytuje prostorový stav napjatosti i deformace, složky napětí a deformace mění svůj směr, orientaci a velikost v různých místech vznikajícího výtažku. Obrázek č. 3.3 znázorňuje stavy napjatosti (σ_1 , σ_2 , σ_3) a logaritmického přetvoření (φ_1 , φ_2 , φ_3) při tažení výtažku s přidržovačem. [2], [3]



Obr. 3.3. Tažení válcového výtažku [1]

a) schéma nástroje

b) hlavní napětí σ_1 , σ_2 , σ_3

c) průběh logaritmického přetvoření φ_1 , φ_2 , φ_3

3.2.1 Stanovení velikosti přístřihu

Velikost přístřihu je v podstatě tvar zpětně rozvinutého výtažku. U válcového výtažku je to rondel, u nerotačních je stanovení rozvinutého tvaru složitější. Velikost přístřihu se stanoví z rovnosti ploch výtažku a přístřihu – zákon o zachování objemu, rovnosti ploch. Okraje výtažků bývají obvykle nerovné a různě deformované – vlivem anizotropie plechu, proto se většinou výtažek táhne hlubší, aby po ostřížení a zarovnání okrajových částí byly dodrženy požadované rozměry. Přídavek na ostřížení bývá většinou 3% u jednooperačního tažení a při každém dalším tahu se přidává 1%.

Základní podmínkou je tedy rovnost objemu kovu před tažením V_0 a po tažení V_1 :

$$V_0 = V_1 \quad [\text{mm}^3] \quad (3.1)$$

Za předpokladu, že u materiálu nedochází ke změně tloušťky plechu, platí také rovnost ploch před tažením S_0 a po tažení S_1 :

$$S_0 = S_1 \quad [\text{mm}^2] \quad (3.2)$$

Pro určení velikosti průměru přístřihu D , pro válcový výtažek, se výtažek rozdělí na jednoduché základní části, tzn. na dno, na stěny a prstence.

Výpočet plochy přístřihu pak je:

$$S_0 = S_d + S_p + S_c \quad [\text{mm}^2] \quad (3.3)$$

kde S_d – plocha dna výlisku $[\text{mm}^2]$

S_p – plocha pláště výlisku $[\text{mm}^2]$

S_c – plocha přídavku na ostřížení $[\text{mm}^2]$

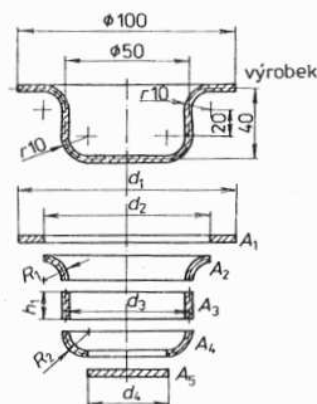
Ve vzorcích se tloušťka materiálu neuvažuje, protože se při tažení téměř nemění. Pro urychlení nebo kontrolu výpočtu jednoduchých výtažků slouží graf (Příloha 2).

Pro složitější rotační tvary se postupuje obdobně. Je-li součet jednotlivých ploch roven hodnotě S_0 , pak je průměr přístřihu:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} \quad [\text{mm}] \quad (3.4)$$

kde D – průměr přístřihu $[\text{mm}]$

rotační tvar	plocha
	$A = \frac{\pi}{4} d^2$ kotouč
	$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2)$ prstenec
	$A = \pi \cdot d \cdot h$ válec
	$A = \frac{\pi}{4} d \cdot \sqrt{d^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{4} d \cdot f$ rotační kužel
	$A = \frac{\pi}{4} (d + d_1) \sqrt{(d - d_1)^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{2} f \cdot (d + d_1)$ kornolý kužel
	$A = \pi \cdot d^2$ koule
	$A = \frac{\pi}{2} d^2$ polokoule
	$A = \pi \cdot d \cdot h = \pi \cdot (r^2 + h^2)$ kulová úseč
	$A = \pi \sqrt{4r^2 h^2 + (r^2 - r_1^2 - h^2)^2} = \pi \cdot d \cdot h$ kulová vrstva
	$A = \frac{\pi}{2} (\pi \cdot d \cdot r + 4r^2)$ konkávní prstenec (čtvrtina)
	$A = \frac{\pi}{2} (\pi \cdot d \cdot r - 4r^2)$ konvexní prstenec (čtvrtina)
	$A = \pi \cdot [(d - 2r) \cdot f + 2r \cdot h]$ konkávní prstenec
	$A = \pi \cdot [(d + 2r) \cdot f - 2r \cdot h]$ konvexní prstenec



Obr. 3.4. Vzorce pro výpočet velikostí běžných základních ploch; výtažek rozdělený na jednotlivé základní prvky [3]

3.2.2 Součinitel a stupeň tažení, počet tažných operací

Rozhodnutí o počtu a typu tažných operací je jedním z nejdůležitějších kroků při tažení. Závisí na něm všechny další kroky a je rozhodujícím technickým i ekonomickým faktorem.

Potřebný počet tažných operací se stanoví pomocí součinitele tažení m , který vychází ze vztahu pro poměrné přetvoření:

$$m_1 = \frac{d}{D} [-] \quad (3.5)$$

kde d – průměr výtažku [mm]
 D – průměr přístřihu [mm]

$$\text{Pro další tahy pak platí } m_n = \frac{d_n}{D_n - 1} [-] \quad (3.6)$$

Hodnotu součinitele tažení ovlivňuje druh materiálu, tloušťka plechu, jakost povrchu, tvar výtažku a mazivo. Pro první operaci je hodnota m nejmenší, a pokud je menší než doporučená hodnota pro první tah, je nutné tažení rozložit do několika operací. [2]

Určení počtů tahů [2]:

$$1.\text{tah: } d_1 = m_1 \cdot D \quad [\text{mm}] \quad (3.7)$$

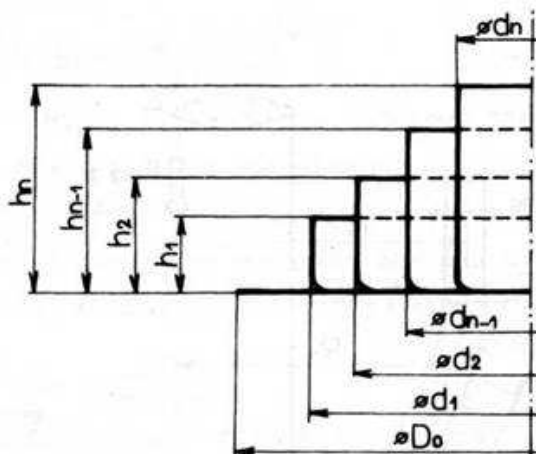
$$2.\text{tah: } d_2 = m_2 \cdot d_1 = m_2 \cdot m_1 \cdot D \quad [\text{mm}] \quad (3.8)$$

$$n\text{-tý tah: } d_n = (m_n)^{n-1} \cdot m_1 \cdot D \quad [\text{mm}] \quad (3.9)$$

kde d_1, d_2 – jsou střední průměry výtažků v jednotlivých operacích [mm].

Celkový počet tažení je:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n \quad [-] \quad (3.10)$$



Obr. 3.5. Postup víceoperačního tažení

3.2.3 Použití přidržovače

Přidržovač se většinou nepoužívá u mělkých výtažků z poměrně tlustého materiálu, proto i tažidla bez přidržovače jsou vcelku jednoduchá, levná a provozně spolehlivá. Pro tažení s přidržovačem jsou nejvhodnější speciální tažné lisy zvané dvojčinné s vnitřním a vnějším beranem. Zatímco vnější beran přidržuje tažený materiál, vnitřní beran provádí tažení. Tyto lisy se používají jak pro první tahy, tak i pro tahy následující. Jejich ohromnou výhodou je možnost seřízení dosednutí přidržovače, který dokonale zabraňuje jakémukoliv zvlnění.

Tažení bez nebo s přidržovačem, aby nedošlo ke zvlnění okraje přístřihu, vyplývá z empirických vztahů ověřených praxí.

Použití přidržovače je třeba určit výpočtem. Součinitel určující nutnost použití přidržovače je dán vztahem:

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) [-] \quad (3.11)$$

$$k_p \geq \frac{100 \cdot d_v}{D} \quad \text{je nutné použít přidržovač}$$

$$k_p \leq \frac{100 \cdot d_v}{D} \quad \text{není nutné použít přidržovač}$$

kde k_psoučinitel určující nutnost použití přidržovače [-]

ttloušťka plechu [mm]

Dprůměr přístřihu [mm]

d_vvnitřní průměr výtažku [mm]

Zmateriálová konstanta [-] (pro ocelový plech $Z = 1,9$)

Přidržovač musí na přístřih působit takovou silou, při které nedojde ke zvlnění okraje výtažku. Zároveň nesmí docházet k nežádoucímu zeslabení materiálu nebo tvorbě trhlin. Přidržovací sílu nejvíce ovlivňuje tloušťka a druh materiálu, dále také velikost redukce. V praxi se síla přidržovače nastaví tak, aby nevznikaly trhliny a zároveň se netvořily vlny. [2]

Přidržovací síla F_p se stanoví ze vztahu:

$$F_p = S \cdot p \quad (3.12)$$

kde S – plocha přidržovače [mm^2]

p – tlak přidržovače [MPa]

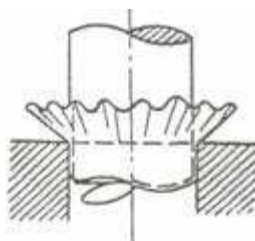
Obecně doporučené tlaky přidržovače p jsou [2]:

ocel hlubokotažná $(2 \div 3)$ MPa

ocel nerezová $(2 \div 5)$ MPa

mosaz $(1,5 \div 2)$ MPa

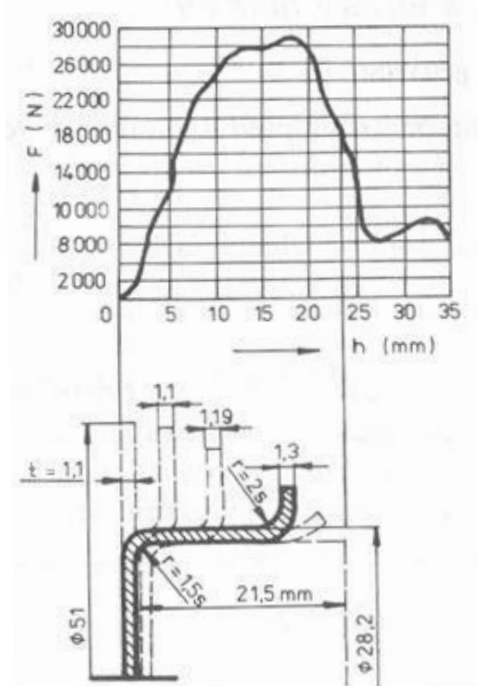
hliník $(0,8 \div 1,5)$ MPa



Obr. 3.6. Tvorba vln a tržení dna výtažku [4]

3.2.4 Tažná síla a práce

Pro stanovení tažné síly se používá teoretický vzorec, který vychází z toho, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší než napětí na mezi pevnosti. Jinými slovy největší tažná síla musí být o něco menší než síla, která způsobí utržení dna výtažku od bočních stěn. Příklad průběhu tažné síly znázorňuje obrázek. [2], [4]



Obr. 3.7. Příklad průběhu tažné síly [4]

Skutečná tažná síla F_t :

$$F_t = C \cdot O \cdot t \cdot R_m = C \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (3.13)$$

kde C – součinitel odvozený od součinitele tažení m (viz. tab. 1)

R_m – mez pevnosti materiálu v tahu [MPa]

d – průměr výtažku [mm]

Tab. 1 Hodnoty součinitele C [5]

$m_1 = \frac{d}{D}$	0,55	0,575	0,60	0,625	0,65	0,675	0,70	0,75	0,80
C	1,0	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,50	0,40

V případě tažení s přidržovačem se musí pro získání celkové potřebné síly připočíst k tažné síle síla přidržovače F_p .

$$F_c = F_t + F_p \quad [\text{N}] \quad (3.14)$$

Práce při tažení A_t :

$$A_t = \frac{k \cdot F_c \cdot h}{1000} \quad [\text{J}] \quad (3.15)$$

kde k – opravný koeficient respektující pracovní diagram, $k = \frac{2}{3}$ [-]

F_c – největší potřebná síla [N]

h – hloubka výtažku [mm]

3.2.5 Poloměr hran

Velikost zaoblení hran, převážně tažnice, se nazývá tažný poloměr. Tažný poloměr výrazně ovlivňuje proces tažení – při malém poloměru vzniká nebezpečí utržení dna výtažku, při velkém poloměru nastává zvlnění okraje přístřihu. Velikost tažného poloměru je ovlivněna i druhem taženého materiálu, proto se po vyzkoušení tažidla hodnota poloměru dodatečně upravuje. [1], [2]

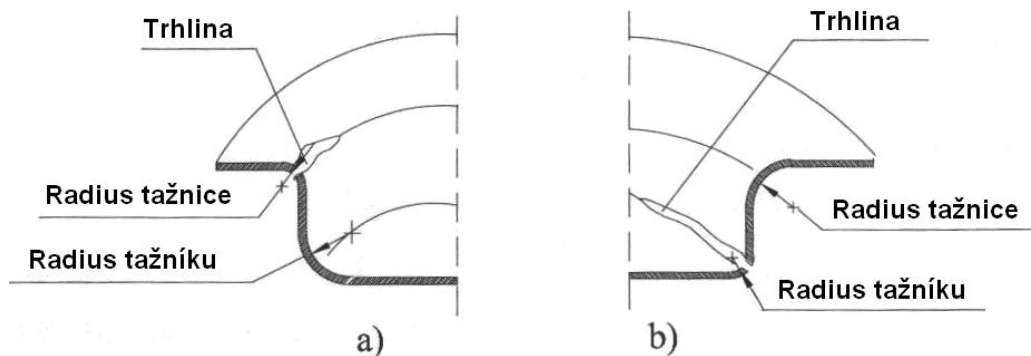
Pro první tah se poloměr zaoblení tažnice r_t vypočte ze vztahu:

$$r_t = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d) \cdot t} \quad [\text{mm}] \quad (3.16)$$

U jednooperačního tažení se doporučuje, dle ČSN 22 7301, jako optimální hodnota poloměru hran tažnice: $r_t = (6 \div 10) t$. [mm] (3.17)

Literatura [6] uvádí poloměry hran tažníku, které lze zhotovit bez kalibrace:

- $r_k = (3 \div 4) t$ pro průměr výtažku 10 – 100 mm,
- $r_k = (4 \div 5) t$ pro průměr výtažku 100 – 200 mm,
- $r_k = (5 \div 7) t$ pro průměr výtažku nad 200 mm.



Obr. 3.8. Trhliny na výtažku: příčina a) příliš malý rádius tažnice, b) příliš malý rádius tažníku [7]

3.2.6 Tažná mezera

Tloušťka plechu při tažení není konstantní, protože se úměrně k redukci průměru přechováním materiálu zvětšuje. Tažná mezera závisí nejen na tloušťce materiálu, ale i na způsobu technologie tažení – se ztenčením nebo bez ztenčení stěny materiálu. Proto se tažná mezera se volí větší, pouze při kalibraci je stejná.

Stanovení velikosti tažné mezery [2]:

$$\text{pro první tah: } z_m = (1,2 \div 1,3) \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (3.19)$$

$$\text{pro poslední tah: } z_m = (1,1 \div 1,2) \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (3.20)$$

3.2.7 Tažná rychlost

U starších lisů se počet zdvihů měnit nemůže, ale u moderních lisů lze počet zdvihů měnit v širokých mezích. Při běžném tažení nesmí rychlost tažení přesáhnout určitou hranici, aby nedošlo k porušení výtažku. Tažná rychlost je největší v okamžiku dosednutí tažníku na přístřih, nejmenší pak v okamžiku ukončení samotného tažení. Doporučené tažné hodnoty v klasických tažidlech jsou uvedeny v tabulce 2. [3]

Tab. 2 Příklady tažných rychlostí [3]

tažený materiál	Tažná rychlost [m.min ⁻¹]
korozivzdorná ocel	7
nelegovaná ocel	17
hliník a jeho slitiny	25
měď a její slitiny	66

3.2.8 Mazání

Mazání při procesu tažení se používá ke snížení tření (a tedy i tažné síly), ke zlepšení kvality povrchu výtažku a k zabránění vzniku škrábanců na protahovadlech.

Mezi základní vlastnosti maziv patří:

- snižovat tření
- zmenšovat opotřebení součástí
- dobrá přilnavost
- schopnost vytvořit celistvý film
- nekorozivní

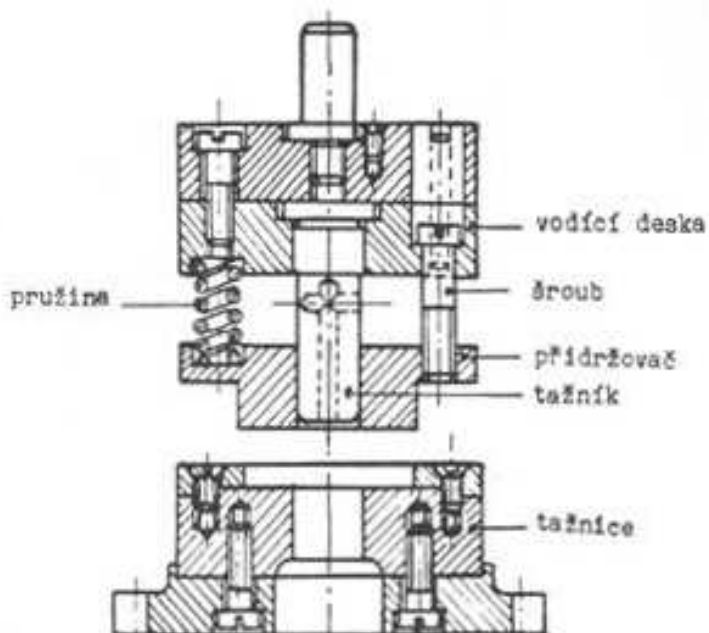
Nemaže se však celý přístřih, ze strany tažníku je výhodné mít co největší tření, ze strany tažnice naopak co nejmenší. [3]

3.3 Nástroje pro tažení

Hlavní funkční částí nástroje jsou tažník a tažnice, popř. přidržovač. Tažné nástroje se rozdělují:

- podle charakteru operace na:
 - nástroje pro první tah
 - nástroje pro další tahy
- podle druhu lisu na:
 - nástroje pro jednočinné lisy
 - nástroje pro dvojčinné lisy
 - nástroje pro postupové lisy
- podle druhu a typu přidržovače na:
 - nástroje bez přidržovače
 - nástroje s přidržovačem

Tažník je nástroj aktivní, jeho průměr je shodný s průměrem výtažku. Tažnice válcového tvaru jsou pouze pro kruhové výtažky. Obvykle se tažník i tažnice vyrábí z nástrojové oceli (např. 19 436.4), zakaleny a popouštěny na HRC 60 až 62.



Obr. 3.8. Tažný nástroj [4]

V současné době se plechové výlisky nepoužívají pouze jako krycí díly, ale i jako samostatných konstrukčních prvků. Nyní jsou schopny přenášet značná namáhání vyznačujících se vysokou tuhostí při malé vlastní hmotnosti. Táhnou se na karosářských vícebodových lisech a oproti obvyklým tažným nástrojům se liší v několika ohledech [3]:

- tažná hrana bývá vložkována (to umožňuje snadnou výměnu opotřeбенých hran)
- použitím tzv. brzdících lišt se zvyšuje brzdňý účinek
- vzdálenost mezi tažníkem i tažnicí při dosednutí je rovna tloušťce plechu, tzn. že tvar se zároveň táhne i kalibruje.

3.4 Možné technologie výroby

Kromě výše popsané technologie výroby krytu je možné použít i jiné způsoby tažení, tzv. nekonvenční metody tažení.

3.4.1 Tažení pryží

Tváření plechu tažením pryží se používá rok od roku čím dál více. Aby bylo dosaženo hospodárnosti, je třeba znát možnosti a postupy tohoto tažení.

V začátcích se tato metoda používala k výrobě menšího počtu kusů a pro vyzkoušení nové konstrukce součástí, a tím ke zjednodušení a zlevnění výroby. Klasická ocelová tažidla jsou oproti pryží drahá a čas potřebný k jejich zhotovení a vyzkoušení je mnohonásobně vyšší.

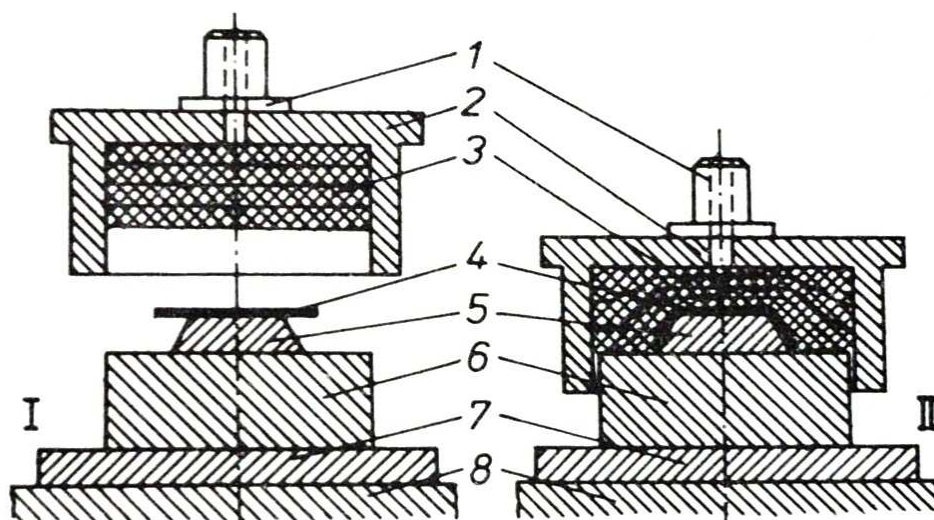
Další výhodou je to, že ke zhotovení tažníku nebo tažnice není třeba použít ocel, ale plně dostačují lehké slitiny, vrstvené dřevo či plasty. Také na povrch výtažku jsou často kladeny vysoké požadavky, např. při tažení leštěných plechů, které klasickými tažidly nelze splnit. Naopak u tažení pryží je vnější plocha výtažku přidržována pryží, nelze povrch mechanicky poškodit. Nevýhodou je potřeba velkých sil a tlaků, které zároveň působí kladně na zvýšení plasticity. [3], [4]

Rozděluje se na dvě metody:

- metoda Guerin
- metoda Marform

Metoda Guerin

Tato metoda je vhodná zejména pro tváření, které se blíží ohýbání, protože se přístřih nezvlňuje. Ke zvlnění dochází až při tažení hlubokých výtažků. [3]

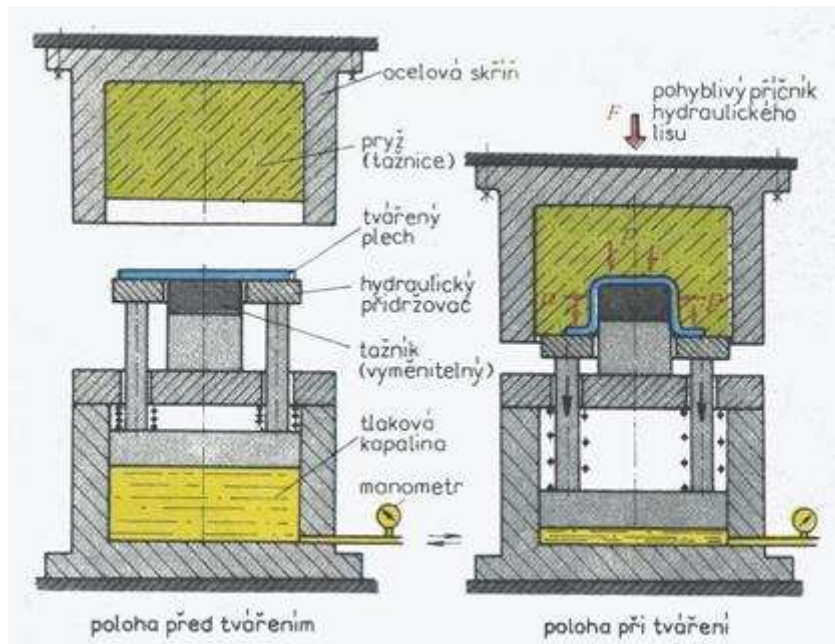


1 – upínací stopka nástroje, 2 – ocelová deska s dutinou pro pryž, 3 – pryžový polštář, 4 – přístřih, 5 – tažník, 6 – spodní deska, 7 – základová deska, 8 – stůl lisu

Obr. 3.9. Schéma metody Guerini [3]

Metoda Marform

Metoda Marform je určena pro hluboké tažení ocelových i neželezných plechů. Je kombinací tažení pryží s běžným tažením s přidržovačem. Výška pryže musí být alespoň trojnásobná, než je výška výtažku, aby nedocházelo k rychlému opotřebování pryže. Oproti metodě Guerini má toto tažidlo navíc přidržovač, který je hydraulicky ovládán.

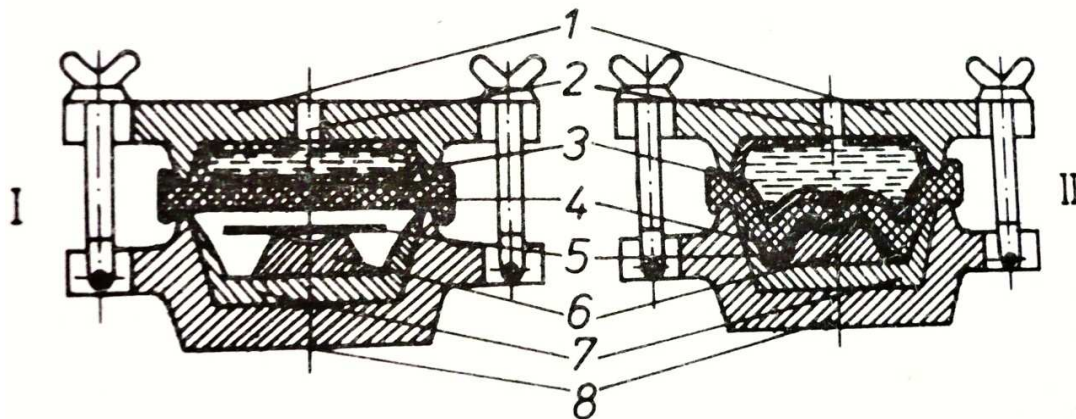


Obr. 3.10. Schéma metody Marform [4]

Pryž je velmi vhodná pro tváření tenkých plechů, ale u ocelových pouze do tloušťky 0,6 mm. Nevýhodou může být vysoká cena lisu a při nesprávně zvoleném druhu pryže její velké opotřebení. [3]

3.2.1. Tváření kapalinou – metoda Wheelon

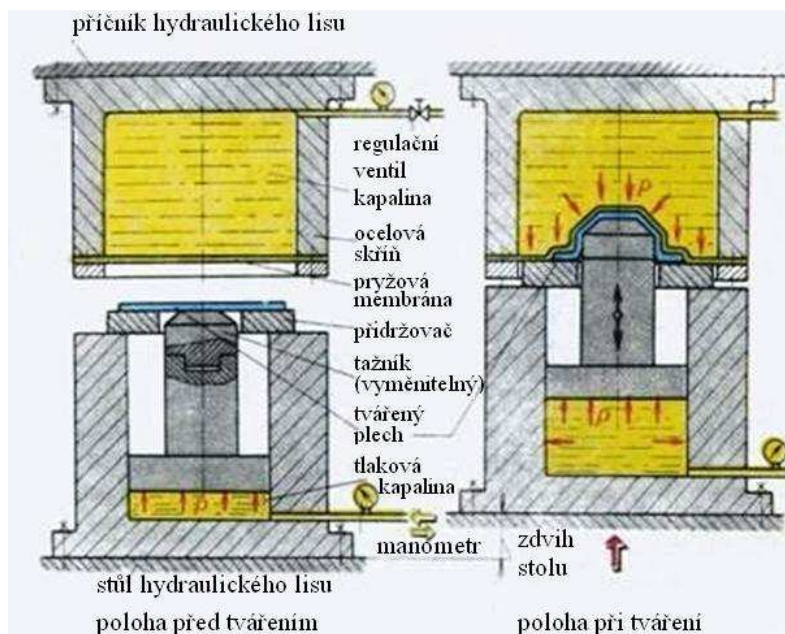
Systém Wheelon používá zcela jiný způsob konstrukce tažidel. Metoda je obdobou metody Guerin, avšak místo pryže se zde pracuje s kapalinou umístěnou v pryžovém vaku. Další podstatný rozdíl je v tažidlech, protože zde obě části tažidla tvoří jeden celek a používané lisy nejsou vertikální, nýbrž horizontální. [3]



Obr. 3.11. Schéma metody Wheelon [3]

3.4.2 Metoda Hydroform

Tato technologie je podobná metodě Marform. Při tomto způsobu tažení je také místo obvyklého pryžového polštáře použito tlakové komory, která je uzavřena pryžovou membránou. Metoda se liší také tím, že je zde použito pohyblivého tažníku, ale přídržovací deska je nehybná. Dosahuje se ještě vyšších redukcí než u metody Marform a oproti klasickému způsobu tažení má výhody v úspoře tažných operací včetně případného žíhání. Díky tomu se zároveň uspoří výrobní čas a s tím spojené náklady.



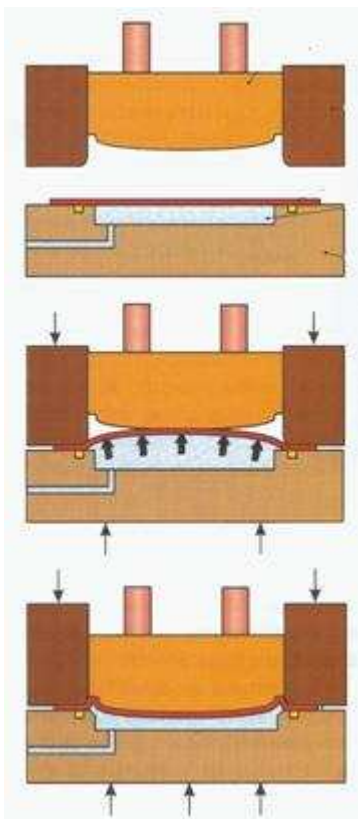
Obr. 3.12. Schéma metody Hydroform [4]

Tlak působící na membránu je na počátku tažení a s hloubkou výtažku se postupně zvyšuje. U systému Hydroform je možné regulovat tlak kapaliny a tím se lze přizpůsobit měnícím se podmínkám v průběhu tažení. [3]

3.4.3 Hydromechanické tažení

Pro tváření, kde je vyžadován větší zdvih (např. hlubší tah), je jako pružné prostředí vhodnější tlaková kapalina. Tento proces bývá nazýván hydromechanické tažení. S úspěchem lze u něj použít i přidržovače.

Princip spočívá v pohyblivém sevření přístřihu mezi tažnicí a přidržovačem. Tažník tváří přístřih do tažné komory s kapalinou. Ta působí hydrostatickým tlakem na plech, který se tlačí na celou plochu tažníku. Tlak kapaliny se reguluje speciálním ventilem. Tření a ztenčení plechu je u této metody nepatrné. [3]

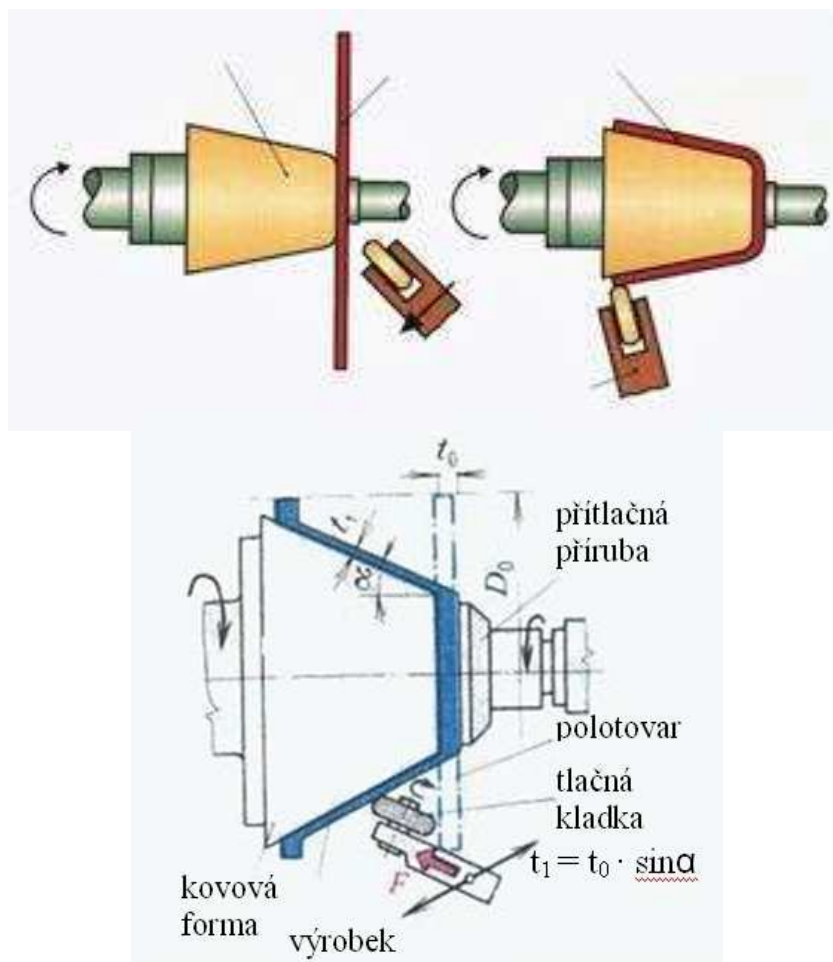


Obr. 3.13. Princip hydromechanického tažení [4]

3.4.4 Rotační tlačení, kovotlačení

Tento technologický způsob se používá pro výrobu specifických tvarů výrobku dutého tvaru. Napjatost je odlišná od technologie tažení.

Kovotlačení je velmi starý technologický postup beztržiskového zpracování plechu, který se teprve v nedávných letech dostal opět do popředí. Dnes je kovotlačení uznáváno jako jedna z nejpokrokovějších průmyslových technologií. Je možné ji využít nejen k výrobě dutých kruhových součástí, ale i k výrobě dutých nádob eliptického tvaru.



Obr. 3.14. Princip rotačního tlačení [4]

Rotační model součásti se upevní na stroj i s nástřihem, který se používá o něco větší, než je průmět základny. Model s nástřihem se roztočí a nástřih se zvláštními nástroji přitlačuje k modelu. Funkční konce nástroje jsou opatřeny buď třecím, nebo valivým zakončením. Přístřih se postupně přitlačuje a přetváří se v tvar modelu.

Kovotlačení se používá tam, kde tažení vyžaduje příliš velký počet operací nebo je ekonomicky výhodnější. Výhodou jsou nízké náklady na stroj, nevýhodou je špatná kvalita povrchu. [4]

3.5 Současná technologie výroby

Technologie tažení se v současné době velice rychle rozvíjí, jsou navrhovány tvarově složitější tvary a předepisované materiály, čím dál tenčí a o vysoké pevnosti. Je snaha tak dosáhnout vyšší pevnosti a menší hmotnosti součástí. To však výrobu výtažků komplikuje především z většího opotřebení nástrojů, vyšších lisovacích sil, odpružení aj. [8]



Obr. 3.15. Ukázka dílů vyrobených technologií plošného tváření [11], [12], [13], [14]

Naopak zákazníci požadují větší kvalitu a nižší ceny výtažků, proto se čím dál více uplatňují moderní technologie:

- tažení vysokopevnostních ocelí, slitin hliníku a hořčíku
- tažení již povrchově upravených plechů
- využití počítačové simulace tažení
- automatizace

4 NÁVRH TECHNOLOGIE A POSTUP VÝROBY

Při návrhu technologie a postupu výroby jsem vycházel z výše popsaných možných technologií výroby. Zvolil jsem technologii hlubokého tažení, protože je nejrozšířenější, cenově přístupná a pro zadanou součást nejvhodnější. Tažení pryží jsem nezvolil proto, že je vhodné spíše pro vyzkoušení nových konstrukcí a pro výrobu menších sérií, protože dochází k rychlému opotřebení pryže. Tváření kapalinou vykazuje velké úspory v počtu tažných operací a v nákladech na tažidla, ale pořizovací cena lisu je dosti vysoká. Navíc tvar výtažku není složitý. Skrze špatnou kvalitu povrchu jsem nezvolil ani rotační tlačení.

Součást je použita jako kryt magnetu na lampičce. Kryt je opatřen přírubou a dvěma otvory pro šrouby. Rozměry výtažku jsou uvedeny na výkrese 3-BP-01-2011. Výrobní série krytu z hlubokotažné oceli 11 320.21 o tloušťce 1,5 mm je 200 000 ks.

Tab. 3 Materiál součásti [5]

Označení	ČSN 11 320.21 / ekvivalent W.Nr.1.032
Chemické složení	0,011 % C, 0,3 % Mn, 0,05 % Si, 0,011 % S, 0,011 % P, 0,027 % Al
Třída odpadu	005
Mez pevnosti R_m	min 300 MPa
Mez kluzu $R_{p0,2}$	200 MPa

Použití: ocel pro mírný až hluboký tah. Svařitelná, dobře tvárná za tepla i za studena, vhodná pro povrchovou úpravu žárovým pokovováním nebo smaltováním. Určená pro výrobu trubek, k hlubokému tažení na méně náročné výtažky, trubky svařované z pásů a přesné, pro olejové chladiče transformátorů, k výrobě jízdních kol, motocyklů, apod.

4.1 Technologické výpočty

a) Výpočet plochy výtažku

S_1 – plocha válce

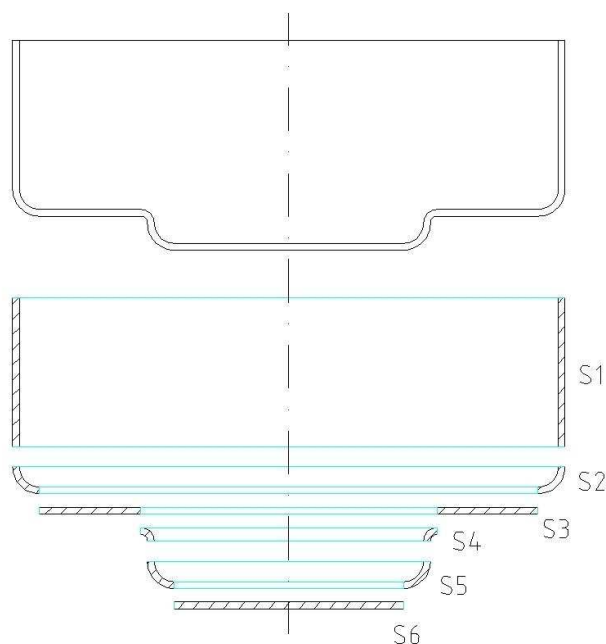
S_2 – plocha konkávního prstence

S_3 – plocha prstence

S_4 – plocha konvexního prstence

S_5 – plocha konkávního prstence

S_6 – plocha kotouče



Obr. 4.1. Plochy součásti

$$S_1 = \pi \cdot d_1 \cdot h_1 = \pi \cdot 80 \cdot 22 = 5529,20 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_2 \cdot r_1 + 4 \cdot r_1^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 74 \cdot 3 + 4 \cdot 3^2) = 1152,07 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = \frac{\pi}{4} \cdot (d_2^2 - d_3^2) - (2 \cdot \pi \cdot r^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (74^2 - 44^2) - (2 \cdot \pi \cdot 2^2) = 2755,18 \text{ mm}^2$$

$$S_4 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_3 \cdot r_2 + 4 \cdot r_2^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 44 \cdot 3,5 + 4 \cdot 3,5^2) = 682,99 \text{ mm}^2$$

$$S_5 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_4 \cdot r_3 + 4 \cdot r_3^2) = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 34 \cdot 3 + 4 \cdot 3^2) = 446,80 \text{ mm}^2$$

$$S_6 = \frac{\pi}{4} \cdot d_5^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 34^2 = 907,92 \text{ mm}^2$$

$$S_c = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = 11474,16 \text{ mm}^2$$

b) Počet tažných operací

Pro materiál z oceli 11 320.21 tloušťky 1,5 mm je součinitel tažení $m = 0,52$, viz tabulka 4.

Tabulka 4. Mezní hodnoty součinitele tažení

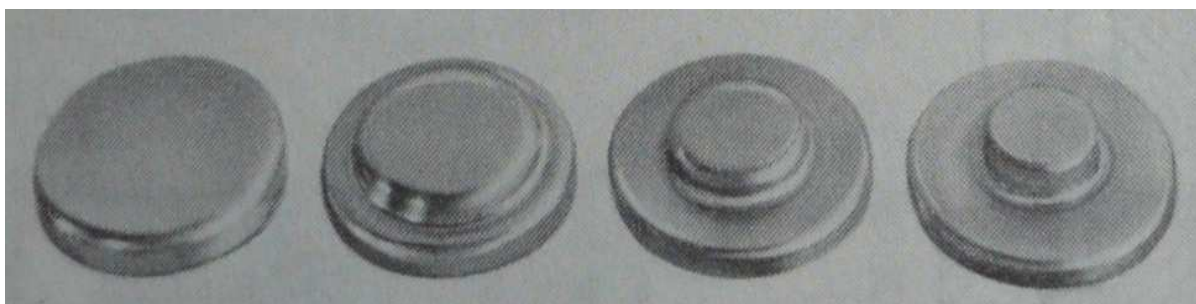
$\frac{t}{D_0} \cdot 100$		2÷1,5	1,5÷1,0	1,0÷0,6	0,6÷0,3	0,3÷0,15	0,15÷0,08
Součinitel tažení	m_1	0,49	0,52	0,54	0,57	0,59	0,62
	m_2	0,74	0,76	0,77	0,78	0,80	0,81
	m_3	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84
	m_4	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86
	m_5	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88

$$m_1 = \frac{d_1}{D}$$

$$d_1 = m_1 \cdot D = 0,52 \cdot 124,5 = 64,74 \text{ mm}$$

Z výpočtu je patrné, že je možné táhnout výtažek na jeden tah. V případě, že by však bylo třeba, pro výtažek se širokou přírubou a malými poloměry v rozích, použít dvě nebo více tažných operací, postupovalo by se podle dvou způsobů tažení.

Podle prvního se táhne mělký výtažek velkého průměru s průměrem příruby o požadované velikosti a poté se další tažnou operací redukuje a kalibruje průměr výtažku. Přitom se průměr příruby již nemění, obr. 4.2.



Obr. 4.2. Tvar výtažku dosažený několika operacemi

Podle druhého způsobu se výtažek táhne na požadovanou výšku již v prvním tahu. Má ale větší průměr a velký poloměr v rozích. Dalšími operacemi se průměr výtažku redukuje, výška i průměr příruby zůstává stejný.

Převážně se používá první způsob, hlavně pro materiály menší tloušťky a větší výšky.

c) Výpočet přístřihu

Výpočet je proveden dle vzorce 3.3 z kapitoly 3.1.1

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} \cdot 1,03 = \sqrt{\frac{4 \cdot 11474,16}{\pi}} \cdot 1,03 = 124,5 \text{ mm}$$

Přídavek na ostřížení pro první tah je 3 %, u každého dalšího 1 %.

d) Nástřihový plán

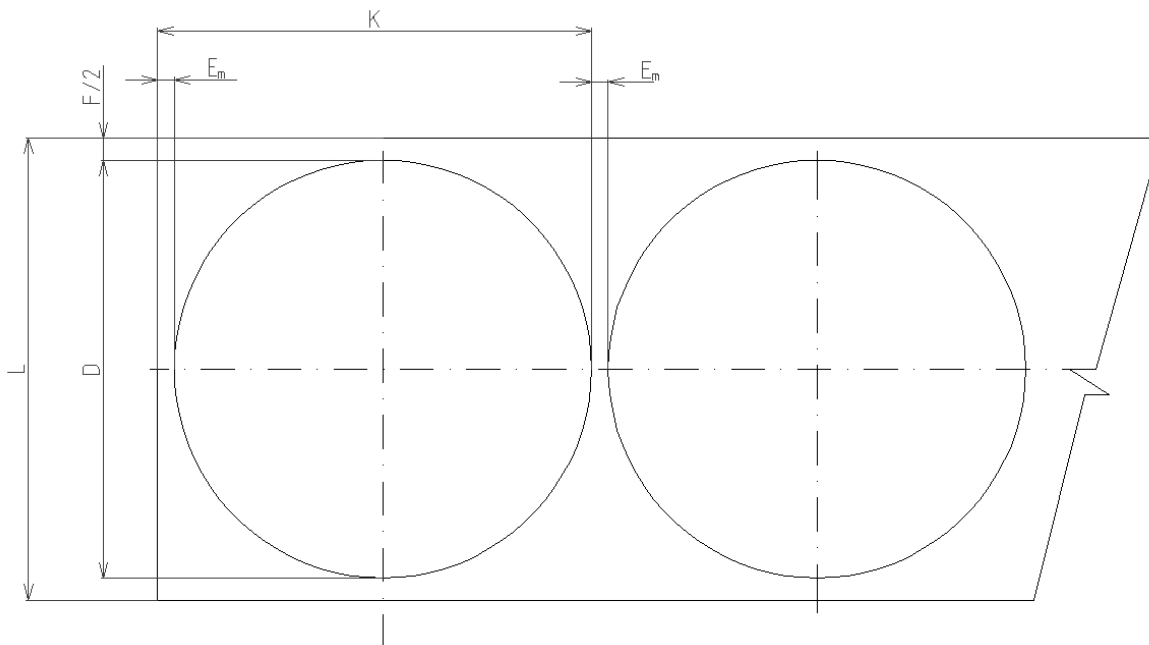
Rozmístění výstřižků na tabuli či pásu plechu je označováno jako nástřihový plán. Při stříhání plechu je důležité rozmístit výstřižky tak, aby odpad byl co nejmenší. Materiál totiž tvoří přibližně 60 až 75% celkových nákladů. Z grafu, viz příloha 1, se za pomoci průměru přístřihu a tloušťky materiálu stanoví velikost můstku E_m a vzdálenost od kraje $F/2$. Následně se vypočítá velikost kroku k a šířka pásu L .

$$F = 8,5 \text{ mm}$$

$$E_m = 3,2 \text{ mm}$$

$$K = D + E_m = 124,5 + 3,2 = 127,7 \text{ mm}$$

$$L = D + F = 124,5 + 8,5 = 133 \text{ mm}$$



Obr. 4.3. Nástřihový plán

e) Střížná síla a práce

Střížná síla potřebná k vystřížení přístřihu se vypočítá:

$$F_{sp} = n \cdot S_{stř} \cdot \tau_s = n \cdot \pi \cdot D \cdot \tau_s \cdot t = 1,4 \cdot \pi \cdot 124,5 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot 1,5 = 197128,66 \text{ N} \cong 197,13 \text{ kN}$$

kde n – koeficient opotřebení nástroje ($1,2 \div 1,55$)

$S_{stř}$ – plocha stříhu [mm]

τ_s – mez pevnosti $0,8 \cdot R_m$

D – průměr přístřihu [mm]

Střížná síla potřebná k vystřížení dvou otvorů $d_m = 4 \text{ mm}$:

$$F_{so} = n \cdot S_{stř} \cdot \tau_s = n \cdot \pi \cdot d_m \cdot \tau_s \cdot t = 1,4 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot 1,5 = 6333,45 \text{ N} \cong 6,33 \text{ kN}$$

Střížná práce se pak vypočítá:

$$A_s = k_s \cdot F_s \cdot t = 0,6 \cdot 190,8 \cdot 1,5 = 171,72 \text{ J}$$

kde k_s – koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu (pro středně tvrdou ocel = 0,6)

F_s – střížná síla [N]

$$F_s = F_{sp} - F_{so} = 197,13 - 6,33 = 190,8 \text{ kN}$$

f) Volba přidržovače

Součinitel určující nutnost použití přidržovače ze vztahu (3.11):

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{1,5}}{\sqrt[3]{124,5}} \right) = 94,51$$

Je-li $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$, pak je nutné použít přidržovač.

$$\frac{100 \cdot d_1}{D} = \frac{100 \cdot 80}{124,5} = 64,25$$

Dle výpočtů je $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$, proto je nutné přidržovač použít.

Nedostatečný tlak způsobuje zvlnění přístřihu, na druhou stranu vysoký tlak blokuje vytahování a vede k utržení dna výtažku.

g) Tlak přidržovače

Pro hlubokotažný materiál o tloušťce 1 mm jsem zvolil, dle přílohy 2, tlak přidržovače $p = 2 \text{ MPa}$.

Přidržovací síla se vypočítá ze vztahu (3.12):

$$F_p = S \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (124,5^2 - 80^2) \cdot 2 = 7147,32 \text{ N}$$

h) Tažná mezeru

Dle vztahu (3.20) $z_m = (1,1 \div 1,2) \cdot t$ pro poslední tah určí tažnou mezeru 1,7 mm.

i) Výpočet tažné síly a práce

Skutečná tažná síla F_t :

$$F_t = C \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m = 1 \cdot \pi \cdot 80 \cdot 1,5 \cdot 300 = 113\,097,34 \text{ N}$$

$$F_c = F_t + F_p = 113\,097,34 + 7\,147,32 = 120\,244,66 \text{ N}$$

Práce při tažení A_t :

$$A_t = \frac{k \cdot F_c \cdot h}{1000} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 120\,244,66 \cdot 25}{1000} = \frac{2 \cdot 120\,244,66 \cdot 25}{3 \cdot 1000} = 2\,004,07 \text{ J} \cong 2 \text{ kJ}$$

j) Poloměr hran tažníku a tažnice

- a) Poloměr zaoblení tažníku je stanoven za vztahu (3.16).
Pro průměr výtažku do 100 mm je zaoblení $r_t = (3 \div 4) t = 3 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ mm}$.

- b) Poloměr zaoblení tažnice je stanoven za vztahu (3.14):
 $r_t = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d_0) \cdot t} = 0,8 \cdot \sqrt{(124,5 - 80) \cdot 1,5} = 6,54 \text{ mm}$

Navržená součást má dle výkresu předepsaný poloměr zaoblení 3 mm a na vnějším průměru poloměr zaoblení 2 mm, proto pro tažník volím poloměr zaoblení $R = 3 \text{ mm}$, resp. pro tažnici 2 mm, protože bude výtažek tažen na jednu tažnou operaci.

4.2 Návrh postupu výroby

Pro snížení nákladů a s tím související zkrácení výrobních časů, je vhodné zhotovit co nejvíce operací v jednom nástroji. Toho je možné dosáhnout konstrukcí nástrojů sloučených, sdružených nebo postupových. Zpravidla jsou složitější a finančně nákladnější než nástroje jednoduché. Současné vystřížení a tažení lze provádět i na jednočinných lisech, je však třeba použít složitější konstrukci nástroje.

Možné postupy výroby krytu

Varianta 1

- operace 010: vystřížení přístřihu a tažení ve sdruženém nástroji
- operace 020: vystřížení otvorů
- operace 030: zarovnání okraje

Varianta 2

- operace 010: vystřížení přístřihu
- operace 020: tažení
- operace 030: vystřížení otvorů
- operace 040: zarovnání okraje

Varianta 3

- operace 010: vystřížení přístřihu
- operace 020: tažení a vystřížení otvorů současně na jednom lise
- operace 030: zarovnání okraje

Varianta 4

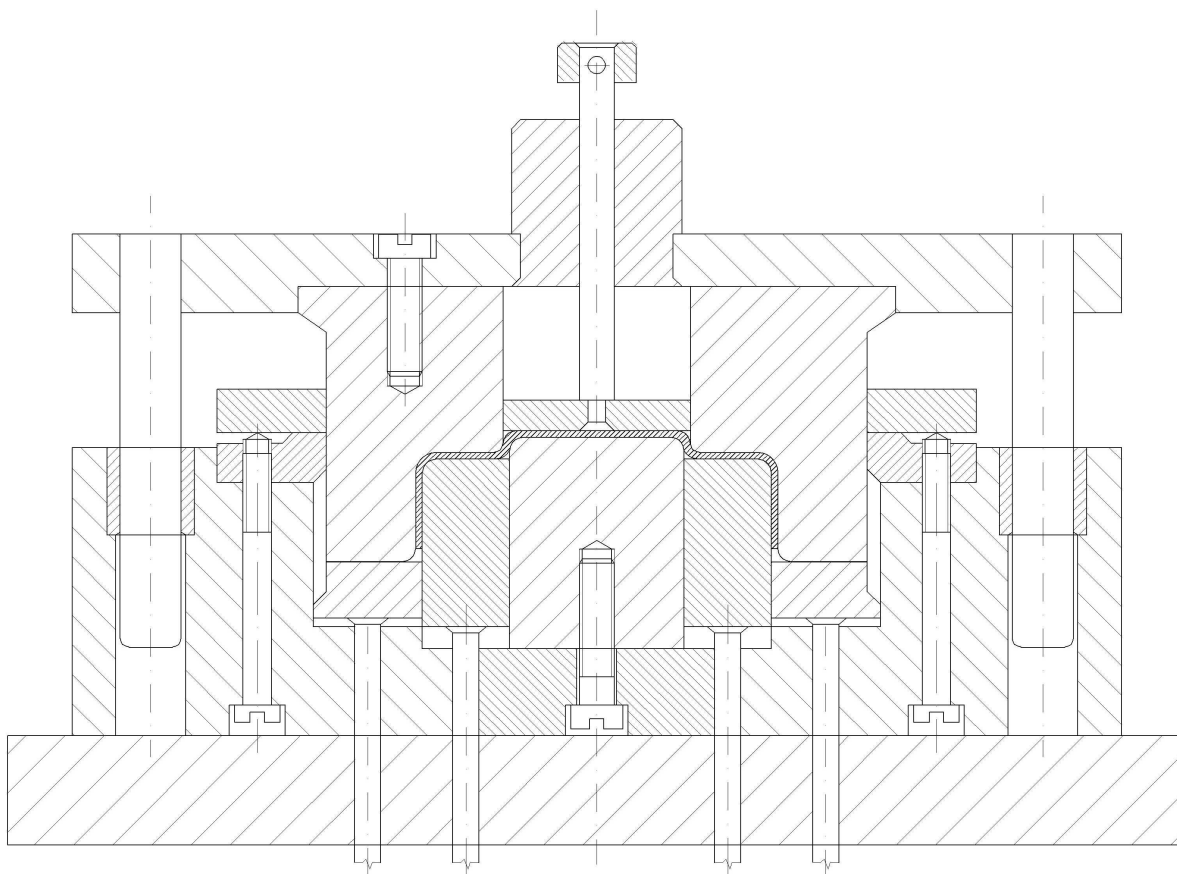
- operace 010: vystřížení přístřihu
- operace 020: tažení, vystřížení otvorů a zarovnání okraje – nástroje uspořádány na jednom lise

V praxi postup výroby a konstrukci nástrojů ovlivňuje především strojní vybavení lisoven. Pro sérii 200 000 kusů/rok je nevýhodné zařizovat speciální linku. Navrhovat proto budu tažný nástroj pro variantu 2.

4.3 Konstrukce nástroje

Na obrázku 4.4 je vidět základní rozvržení nástroje. Tažný nástroj se skládá ze dvou částí – základové desky a upínací desky, které jsou proti sobě vedeny vodícími sloupky. Navržený nástroj je jednoúčelový, který slouží pro zhotovení zadané součásti. Byl navržen v kombinaci vyráběných a normalizovaných součástí. Vodící sloupky jsou umístěny tak, aby nebránily obsluze lisu při zakládání a vyjímání přístřihů.

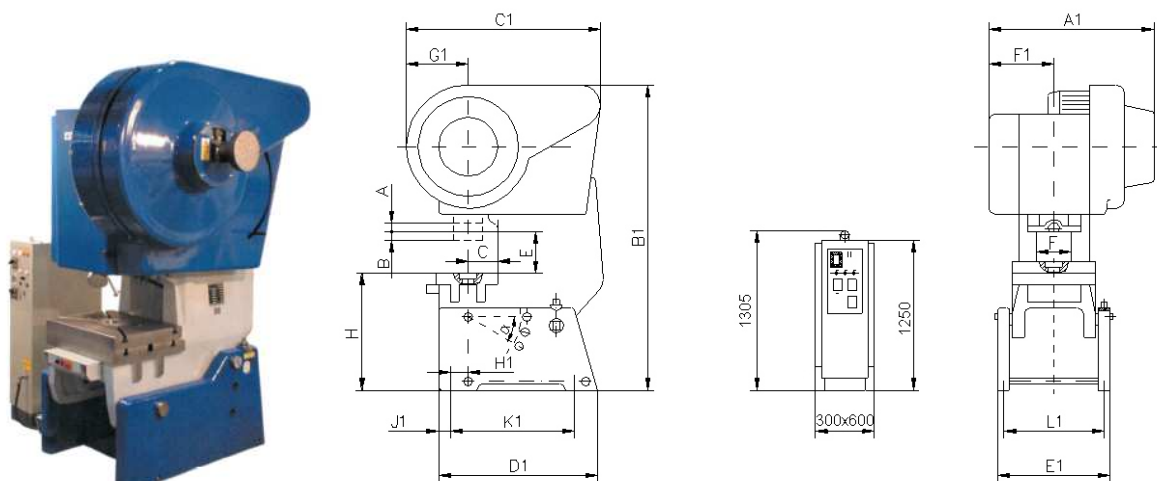
Základová deska i upínací deska jsou z materiálu 1.0036. Tažník a tažnice jsou vyrobeny z materiálu 1.2080, ekvivalent ČSN 19 436.4.



Obr. 4.4. Konstrukce nástroje

4.4 Volba stroje

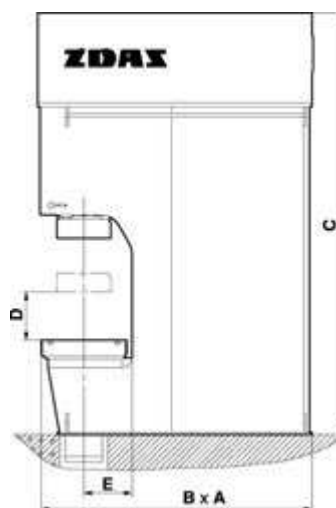
Zadaná součást se bude vyrábět v již zařízené lisovně strojírenského podniku. Pro vystřihování přístřihů plně vyhovuje lis LEN 25 C výrobce TOMA INDUSTRIES, s.r.o. Na základě propočtů a vzhledem ke konstrukci tažného nástroje lze pro tažení součásti použít univerzální hydraulický lis CTC 250 výrobce ŽĐAS, a.s.



Obr. 4.5. Výstředníkový lis LEN 25 C [9]

Zda je lis vhodný se určuje podle následujících údajů:

- jmenovité síle lisu
- velikosti zdvihu
- rozměry beranu a stolu
- sevřením
- případným vybavením lisu
 - přidržovač
 - vyhazovač aj.



Obr. 4.6. Univerzální hydraulický lis CTC 250 [10]

Tabulka 5. Technické parametry lisu CTC 250

Jmenovitá síla		kN	2 500
Sevřená výška	D	mm	400
Zdvih		mm	450
Vyložení	E	mm	400
Rychlost přibližovací		mm · s ⁻¹	170
Rychlost pracovní max.		mm · s ⁻¹	20
Rychlost pracovní min.		mm · s ⁻¹	6
Rychlost zpětná		mm · s ⁻¹	100
Upínací plocha beranu		mm	750 x 450
Upínací plocha stolu		mm	900 x 630
Síla přidržovače		kN	100
Zdvih přidržovače		mm	320
Síla spodního vyhazovače		kN	1 000
Zdvih spodního vyhazovače		mm	250
Výkon hlavního motoru		kW	25
Půdorys lisu	B x A	mm	900 x 2 300
Výška lisu	C	mm	3 300

Popis výrobce univerzálního hydraulického lisu CTC 250, společnosti ŽĎAS, a.s.:

Lis CTC 250 je určený pro všechny běžné operace objemového a plošného tváření prováděné za studena, poloohřevu či za tepla. Je s výhodou využíván tam, kde je zapotřebí přístupu do pracovního prostoru lisu ze tří stran, např. pro mechanické a údržbářské práce. To je obzvlášť výhodné pro samotnou obsluhu i pro přímou manipulaci s rozměrnými součástkami. Lis je vertikální konstrukce se svařovaným stojanem tvaru „C“. V horní části stojanu je uložen dvojčinný pracovní válec s plnicím ventilem, beran lisu je vybaven aretací v horní poloze. Pohon i nádrž jsou umístěny na stojanu lisu, kde dno pohonu tvoří olejotěsnou vanu. Řídicí systém zajišťuje ovládání lisu, jeho diagnostiku a signalizaci pro další spolupracující zařízení.[10]

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

5.1 Technické zhodnocení

Na pracovišti, kde bude součást stříhána, je umístěn lis s odvíjecím zařízením. Samotný lis je vybaven podavačem svitku a dělením odpadu. Na výrobu zadané součásti bude použit polotovar ve svitku o šířce 133 mm, tloušťce 1,5 mm a hmotnosti 2 500 kg. Nástroj vyhovuje všem požadavkům na výrobu součásti.

Tažidlo pro výrobu krytu se skládá z několika jednotlivých částí. V dolní části tažidla je kromě základové desky také tažník, který je pro zajištění své polohy přišroubován. Tažnice je do základové upínací desky nalisována. Pracovní plochy tažníku i tažnice jsou zakaleny a popuštěny na 60 ± 2 HRC, což je jejich obvyklá tvrdost. Jsou také leštěny na předepsanou drsnost.

5.2 Ekonomické zhodnocení

Při kalkulaci výrobních nákladů budu počítat s výrobní sérií 200 000 kusů za rok po dobu 2 let. V cenové kalkulaci nebudou započítány pořizovací náklady na strojní vybavení, protože výroby součásti je plánována do strojově vybavené lisovny. 2 % připočítám na výrobní ztráty.

Hodinová mzda: $M_h = 120$ Kč
Výrobní čas jednoho kusu: $t_{A1} = 0,7$ min/ks
Dílenské režie: - výrobní režie: $V_R = 327\,620$ Kč
- správní režie: $S_R = 109\,257$ Kč
- ostatní přímé náklady: $OPN = 7640$ Kč

a) Náklady na materiál

Dáno: Materiál 1.032 / 11320.21
Cena za 1 kg materiálu $C_m = 24,9$ Kč
Cena za 1 kg odpadu $C_o = 6$ Kč

Počet svitků plechu

Hmotnost svitku: 2 500 kg
Hmotnost materiálu jednoho kroku: $1,5 \cdot 127,7 \cdot 133 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,2$ kg
Počet rondelů z jednoho svitku: $2\,500 \div 0,2 = 12\,500$ ks
Počet svitků: $204\,000 \div 12\,500 = 16,32 = 17$ ks
Hmotnost materiálu m_m : $17 \cdot 2\,500 = 42\,500$ kg

Zhodnocení odpadu

Hmotnost 1 součásti m_s : $m_s = \rho \cdot S_c \cdot t = 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 11474,13 \cdot 1,5$
 $m_s = 0,135$ kg
Celková hmotnost výlisků: $0,135 \cdot 204\,000 = 27\,540$ kg
Celková hmotnost odpadu: $42\,500 - 27\,540 = 14\,960$ kg
Zhodnocení odpadu Z_o : $Z_o = 14\,960 \cdot 6 = 89\,760$ Kč

Náklady na materiál

Náklady na pořízení materiálu N_m : $N_m = m_m \cdot C_m = 42\,500 \cdot 24,9 = 1\,058\,250 \text{ Kč}$
Celkové náklady po odečtení odpadu N_{mc} : $N_{mc} = N_m - Z_o = 1\,058\,250 - 89\,760 = 968\,490 \text{ Kč}$

b) Mzdové náklady

Celkový strojní čas: $t_A = \frac{t_{A1}}{60} \cdot 204\,000 = \frac{0,7}{60} \cdot 204\,000 = 2\,380 \text{ Nh}$
Mzdové náklady: $M_c = t_A \cdot M_h = 2\,380 \cdot 120 = 285\,600 \text{ Kč}$
Zdravotní a sociální pojištění: $P_{zs} = M_c \cdot 0,34 = 285\,600 \cdot 0,34 = 97\,104 \text{ Kč}$
Přímé mzdy celkem: $P_{mc} = M_c + P_{zs} = 285\,600 + 97\,104 = 382\,704 \text{ Kč}$

c) Náklady na elektrickou energii

Cena elektřiny: $C_e = 4,55 \text{ Kč/kWh}$
Příkon elektromotoru lisu: $P = 12 \text{ kW}$
Cena elektrické energie: $N_e = C_e \cdot P \cdot t_A = 4,55 \cdot 12 \cdot 2\,380 = 129\,948 \text{ Kč}$

d) Náklady na nástroje

Cena střížného nástroje: $12\,000 \text{ Kč}$
Cena tažného nástroje: $35\,000 \text{ Kč}$
Přípravek na zarovnání okraje: $7\,000 \text{ Kč}$
Celková cena nástrojů $N_{nástr.}$: $N_{nástr.} = 12\,000 + 35\,000 + 7\,000 = 54\,000 \text{ Kč}$

Celkové variabilní náklady

$N_{vc} = N_{mc} + P_{mc} = 968\,490 + 382\,704 = 1\,351\,194 \text{ Kč}$

Variabilní náklady jednoho výrobku

$$C_{jv} = \frac{N_{vc}}{Q} = \frac{1\,351\,194}{204\,000} = 6,62 \text{ Kč}$$

Celkové fixní náklady

$N_{fc} = V_R + S_R + N_{nástr.} + N_e = 327\,620 + 109\,257 + 54\,000 + 129\,948 = 620\,825 \text{ Kč}$

Celkové náklady

$N_c = N_{vc} + N_{fc} = 1\,351\,194 + 620\,825 = 1\,972\,019 \text{ Kč}$

Výrobní zisk ve výši 30 %

$$Z_v = N_c \cdot \frac{30}{100} = 1\,972\,019 \cdot \frac{30}{100} = 591\,605,7 \text{ Kč}$$

Cena jednoho výrobku se ziskem 30 %

$$C_{jz} = \frac{N_c + Z_v}{Q} = \frac{1\,972\,019 + 591\,605,7}{204\,000} = 12,57 \text{ Kč}$$

Cena jednoho výrobku + 20 % DPH

$P_c = C_{jv} \cdot 1,2 = 12,57 \cdot 1,2 = 15,08 \text{ Kč}$

Bod zvratu

Ke stanovení bodu zvratu je třeba znát fixní náklady, variabilní náklady a cenu výrobku. Fixní náklady jsou nezávislé na rozsahu produkce, v krátkém období se většinou nemění (např. mzdy vedoucích pracovníků, nájemné, pojištění,...) Variabilní náklady závisí na objemu produkce (např. materiál, přímé mzdy, ...)

Potřebné údaje:

- Fixní náklady: $N_{fc} = 620\,825 \text{ Kč}$
- Prodejní cena: $P_c = 15,08 \text{ Kč}$
- Variabilní náklady: $C_{jv} = 6,62 \text{ Kč}$

Rovnice bodu zvratu:

$$Q(BZ) = \frac{N_{fc}}{P_c - C_{jv}} = \frac{620\,825}{15,08 - 6,62} = 73\,384 \text{ ks}$$

Bod zvratu (kritické množství výroby) určuje množství výrobků, kolik výrobků musí podnik vyrobit, aby se tržby a náklady rovnaly. Po dosažení bodu zvratu vzniká zisk, který při stejné ceně a variabilních nákladech je čím dál vyšší.

6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout vhodnou technologii výroby „krytu“ magnetu průmyslové lampy. Součást je zhotovena z materiálu 1.032, ekvivalent ČSN 11 320.21 a tloušťka je 1,5 mm. Jednalo se o navržení nejvhodnější technologie pro výrobu v množství 200 000 ks/rok.

První část práce je zaměřena na technologie plošného tváření. Jsou zde uvedeny možné technologie výroby, kterými lze danou součást vyrábět v požadovaném množství za přiměřenou cenu.

Poznatky získané při vypracovávání literární studie jsem uplatnil pro konstrukční a technologické výpočty, pro návrh postupu výroby i konstrukci tažného nástroje. Díky výpočtům bylo zjištěno, že zvolená technologie je pro výrobu zadané součásti zcela vyhovující. V praxi je však optimální výrobní postup závislý na strojním vybavení, výrobních kapacitách jednotlivých strojů a také na ekonomických možnostech a kalkulaci dané firmy. Na základě těchto aspektů může být ten nejvhodnější výrobní postup pro každou firmu odlišný. Průměr rondelu a možnost tažení jsou výchozí kritéria pro konstrukční řešení tažného nástroje.

Pro řešení bakalářské práce jsem zvolil jeden výrobní postup a vzhledem k němu vypracoval ekonomické zhodnocení, jehož výstupem je cena jednoho výrobku, která činí 15,08 Kč a bod zvratu určující, že daný výrobek začne být ziskový při vyrobení 74 383 kusu. Ekonomické zhodnocení navíc ukázalo, že zvolená technologie pro dané množství výrobků je dostačující.

Součástí práce je také výkresová dokumentace obsahující výkres zadané součásti, sestavu nástroje včetně kusovníku, výrobní výkres tažníku a tažnice.

Použitá literatura

1. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
2. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník CTT-K* [online]. 2006 [cit. 2011-04-05]. Dostupný z WWW:
<http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm>.
3. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1990. 200s. ISBN 80-03-00221-4
4. LENFELD, P. *Technologie II – část I* [online] [cit. 2011-4-21]. Dostupné z WWW:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah.htm>.
5. FUERBACHER, Ivan; MACEK, Karel a Josef STEIDL. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty: Kovy, plasty, keramika, kompozity*. 1.vyd. Praha: Dashöfer Verlag, 2002. ISBN 80-862-2902-5.
6. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
7. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.
8. *MM Průmyslové spektrum* [online] 2011 [cit. 2011-5-18]. Dostupné z WWW:
<<http://www.mmspektrum.cz>>.
9. *Toma industries* [online]. 2006 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW:
<http://www.toma.sk/vyrprog_produkty_vyslisy_len.htm>.
10. *Žďas* [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW:
<<http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=44>>.
11. *Novaservis* [online]. 2006 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW:
<<http://www.novaservis.cz/cz/produkt/613500-nosic-rohove-policky-chrom/>>
12. *Svaz strojírenské technologie* [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW:
<<http://www.sst.cz/katalog/technologies>>.
13. *Ronelt* [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW:
<<http://www.ronelt.cz/czech.htm>>
14. *Hi-Craft* [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW:
<<http://www.hicraftmetal.com/services.htm>>

Seznam použitých zkratk a symbolů

A_t	[J]	práce při tažení
C	[-]	součinitel odvozený od součinitele tažení m
C_e	[Kč/kWh]	cena elektřiny
C_{jv}	[Kč]	variabilní náklady jednoho kusu
C_{jz}	[Kč]	cena jednoho výrobku se ziskem 20%
C_m	[Kč]	cena 1 kg materiálu
C_o	[Kč]	cena 1 kg odpadu
D	[mm]	průměr přístřihu
d	[mm]	průměr výtažku
d_1, d_2	[mm]	střední průměry výtažků v jednotlivých operacích
d_v	[mm]	vnitřní průměr výtažku
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
E_m	[mm]	velikost můstku
F	[mm]	velikost okraje
F_c	[N]	největší potřebná síla
F_p	[N]	přidržovací síla
F_s	[N]	střížná síla
F_t	[N]	skutečná tažná síla
h	[mm]	hloubka výtažku
k	[-]	opravný koeficient respektující pracovní diagram
K	[mm]	velikost kroku
k_p	[-]	součinitel určující nutnost použití přidržovače
L	[mm]	šířka pásu
m	[-]	součinitel tažení
M_c	[Kč]	mzdové náklady
M_h	[Kč]	hodinová mzda
m_m	[kg]	hmotnost materiálu
m_s	[kg]	hmotnost jedné součásti
N_c	[Kč]	celkové náklady
N_e	[Kč]	cena elektrické energie
N_{fc}	[Kč]	celkové fixní náklady
N_m	[Kč]	náklady na pořízení materiálu
N_{mc}	[Kč]	celkové náklady po odečtení odpadu
$N_{nástr.}$	[Kč]	celková cena nástrojů
N_{vc}	[Kč]	celkové variabilní náklady
OPN	[Kč]	ostatní přímé náklady
p	[MPa]	tlak přidržovače
P	[kW]	příkon elektromotoru lisu
P_c	[Kč]	cena jednoho výrobku s DPH
P_{mc}	[Kč]	přímé mzdy celkem
P_{zs}	[Kč]	náklady na zdravotní a sociální pojištění
$Q (BZ)$	[ks]	bod zvratu
r_k	[mm]	poloměr zaoblení tažníku
R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu v tahu
r_t	[mm]	poloměr zaoblení tažnice
S	[mm ²]	plocha přidržovače
S_0	[mm ²]	plocha přístřihu před tažením
S_1	[mm ²]	plocha přístřihu po tažení

S_c	$[\text{mm}^2]$	plocha přídavku na ostřížení
S_d	$[\text{mm}^2]$	plocha dna výlisku
S_p	$[\text{mm}^2]$	plocha pláště výlisku
S_R	$[\text{Kč}]$	správní režie
t	$[\text{mm}]$	tloušťka plechu
t_A	$[\text{min}]$	celkový strojní čas
t_{A1}	$[\text{min}]$	výrobní čas jednoho kusu
V_0	$[\text{mm}^3]$	objem kovu před tažením
V_1	$[\text{mm}^3]$	objem kovu po tažení
V_R	$[\text{Kč}]$	výrobní režie
Z	$[-]$	materiálová konstanta
Z_m	$[\text{mm}]$	tažná mezera
Z_o	$[\text{kg}]$	zhodnocení odpadu
Z_v	$[\text{Kč}]$	výrobní zisk
ε	$[-]$	poměrné délkové prodloužení
σ	$[\text{MPa}]$	mechanické napětí
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	$[-]$	logaritmické přetvoření

Seznam příloh

Příloha 1.

Nomogram pro určení okrajů při stříhání

Příloha 2.

Doporučené velikosti tlaku přidržovače v závislosti na tloušťce plechu.

Příloha 3.

Výkres výtažku č. v. 3-BP-01-2011

Příloha 4.

Výkres tažníku č. v. 3-BP-02-2011

Příloha 5.

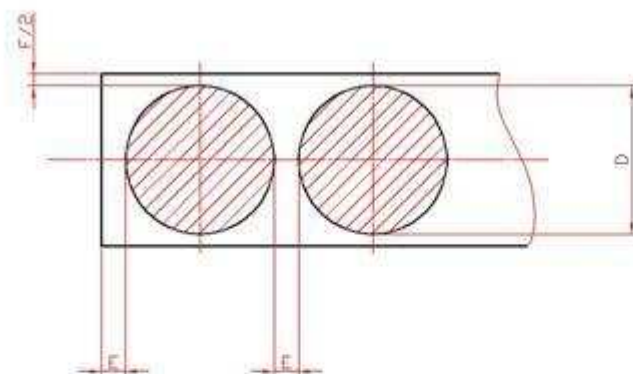
Výkres tažnice č. v. 3-BP-03-2011

Příloha 6.

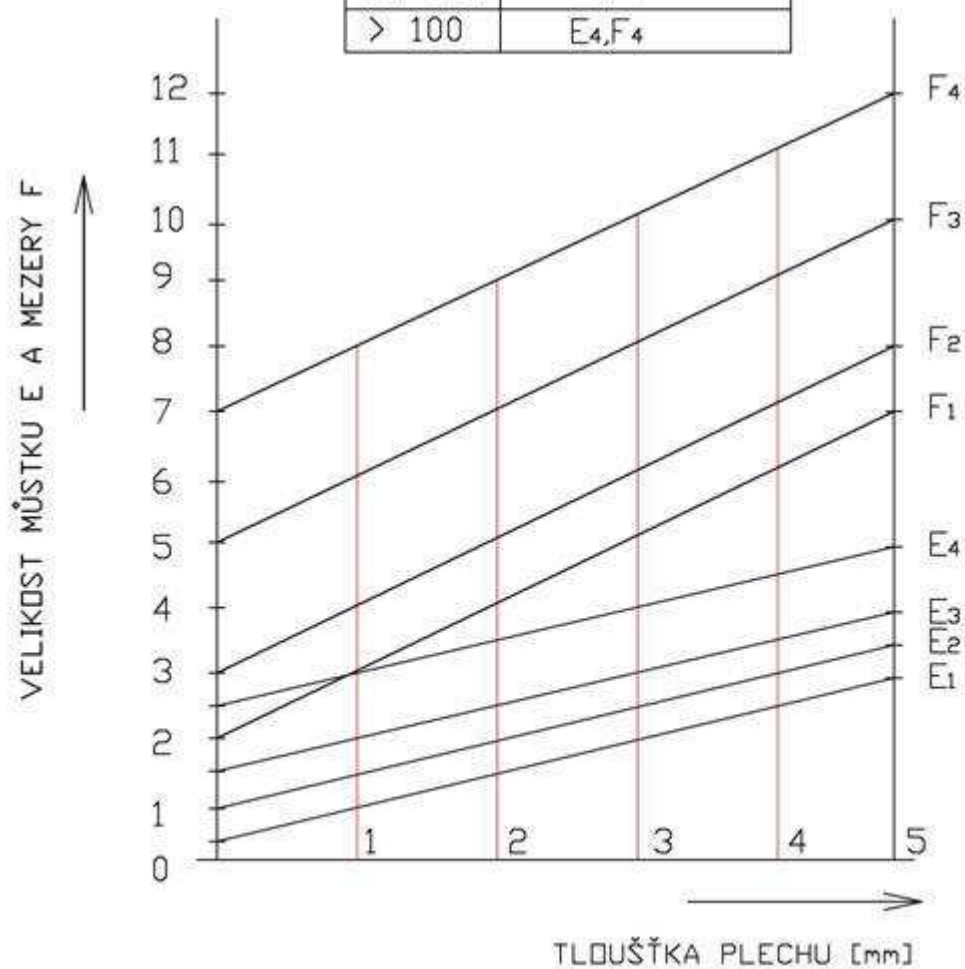
Výkres nástroje č. v. 3-BP-04-2011

Příloha 1

Nomogram pro určení okrajů při stříhání. [1]



A[mm]	Příslušné E,F
do 15	E_1, F_1
15-50	E_2, F_2
50-100	E_3, F_3
> 100	E_4, F_4



Příloha 2

Doporučené velikosti tlaku přidržovače v závislosti na tloušťce plechu. [3]

Tloušťka taženého plechu (mm)	Tlak přidržovače (MPa)			
	Tažený materiál			
	ocelový plech		mosaz tombak	hliník
	tvrdý	hlubokotažný		
0,2	3,0	2,1 až 2,5	2,0	1,5
0,4	2,9	2,0 až 2,4	1,9	1,5
0,6	2,8	2,0 až 2,4	1,9	1,45
0,8	2,8	1,9 až 2,3	1,8	1,45
1	2,7	1,8 až 2,3	1,8	1,4
1,5	2,7	1,8 až 2,2	1,7	1,35
2	2,6	1,8 až 2,1	1,7	1,3
2,5	2,5	1,8 až 2,1	1,6	1,25
3	2,5	1,9 až 2,1	1,6	1,2
3,5	2,4	1,9 až 2,0	1,5	1,2
4	2,3	1,9	1,5	1,15
4,5	2,3	1,8	1,4	1,15
5	2,2	1,8	1,4	1,1
6	2,1	1,7	1,3	1,1
7	2,1	1,7	1,3	1,05
8	2,0	1,6	1,2	1,0