

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

Výroba krytu elektromotoru

The manufacturing of electromotor covering

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUBOŠ STEJSKAL

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Stejskal Luboš

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 krytu elektromotoru

v anglickém jazyce:

The manufacturing of electromotor covering

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby hlubokého výtažku. Součástka je válcového tvaru bez příruby a bude vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii tažení spolu se zhodnocením výroby součástí obdobných tvarů. Následovat bude návrh vhodné technologie a vypracování postupu výroby součástí (provedení technologických a kontrolních výpočtů), návrh sestavy nástroje spolu s výrobními výkresy zadaných dílů, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. HELLWIG, W., SEMLINGER, E. Spanlose Fertigung : Stanzen. 5th ed. Braunschweig/Wiesbaden : Friedr Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
3. TIŠNOVSKÝ, Miroslav, MÁDLE, Luděk. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4
4. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření : plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
6. MARCINIAK, Zdzislaw. Teorie tváření plechů. Vše Vlad Jandura. 1. vyd. Praha : SNTL, 1964. 260 s. DT 621.777.001.
7. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha : SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný

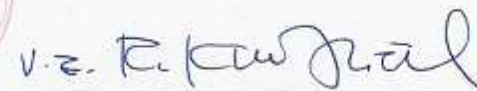
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 29.11.2007

L.S.


doc. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu




doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Luboš Stejskal: Výroba krytu elektromotoru.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru B2307 předkládá návrh technologie výroby výtažku z ocelového plechu 11305. Na základě literární studie problematiky hlubokého tažení byl pro zadanou součást, s ohledem výrobní sérii 100 000 kusů/rok, navržen výrobní postup. Pro operaci hlubokého tažení byl, po provedení kontrolních technologických výpočtů, vybrán výrobní stroj CTC 250 (výrobce ŽĎAS, a.s.) a navržen tažný nástroj, který maximálně využívá možností lisu, tj. horní vyhazovač a spodní přidržovač.

Klíčová slova: tažení, výtažek, tažidlo, nástroj, tváření

ABSTRACT

Luboš Stejskal: The manufacturing of electromotor covering.

This project has been presented for the bachelor branch of study, B2307, it shows the proposal of technological and production process for deep drawn parts. They are produced from the steel (11305). Due to the production volume of 100 000 pieces per year, it was proposed to implement the production process. It basis of the literature study which describes the potential pitfalls of deep drawn technology. After control a technological calculations it was decide to choose the stamping machine CTC 250 (manufactured by ŽĎAS, a.s.).The deep drawn tool has been designed in order to use the maximum capabilities of this stamping machine, specially the upper ejector and the lower holding device.

Keywords:deep drawn, drawn parts, stretch forming, tool, forming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STEJSKAL, L. *Výroba krytu elektromotoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Letohradě dne 29. 5. 2009

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

1. ÚVOD

11

2. TECHNOLOGIE TAŽENÍ

12

2.1 Teorie tažení

14

2.2 Tažná síla a práce

15

2.3 Technologické parametry

16

2.3.1 Velikost přístřihu

16

2.3.2 Počet tažných operací

17

2.3.3 Volba přidržovače a určení jeho síly

18

2.3.4 Poloměr zaoblení funkčních hran tažidla

19

2.3.5 Tažná mezera

21

2.3.6 Přesnost výtažků

21

2.4 Počítačová simulace procesu tažení

21

2.5 Tažné nástroje

22

2.5.1 Tažnice

24

2.5.2 Tažníky

24

2.5.3 Přidržovače

25

2.5.4 Materiál tažných nástrojů

26

2.6 Stroje

26

2.7 Maziva pro tažení

28

3. POPIS SOUČÁSTI

29

3.1 Materiál součásti

29

3.2 Zhodnocení vyrobitelnosti

30

4. NÁVRH TECHNOLOGIE

31

4.1 Velikost přístřihu

31

4.2 Technologické výpočty tažení

31

4.3 Technologické výpočty stříhání

34

4.4 Návrh postupu výroby

35

5. STROJ

37

6. KONSTRUKCE NÁSTROJE

38

7. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

40

8. ZÁVĚR

44

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

ÚVOD [1], [8], [12]

Technologie tažení má širokou oblast uplatnění a s jeho produkty se setkáváme v každodenním životě. Tvary a velikosti výtazku jsou velice rozmanité (obr. 1.1). Uplatnění nachází především v automobilovém a elektro-technickém průmyslu. Mezi výhody technologie tažení patří vysoká produktivita, hospodárné využití materiálu, minimální požadavky na dokončovací operace, dobré mechanické vlastnosti a přesnost dílů. V oblasti výroby sériové až hromadné patří mezi nejefektivnější, a proto jimi finální výrobci nahrazují vše, co je možné touto technologií vyrobit. Tažením se vyrábějí i díly, které nelze vyrobit jinou technologií.

V současné době se technologie tažení velice rychle vyvíjí, konstruktéři výlisků navrhují tvarově složitější díly a předepisují materiály o malé tloušťce a vysoké pevnosti, aby u konstrukcí dosáhli vyšší torzní tuhosti a přitom nízké hmotnosti. Tyto aspekty výrobu výlisků komplikují (větší opotřebení nástrojů, vyšší lisovací síla, větší odpružení, nestabilita výlisku, nedostatek zkušeností s podobnými díly). Ze stran zákazníků jsou kladeny zvýšené požadavky na jakost a na nízké ceny za výlisky a lisovací nástroje. Proto jsou čím dál více uplatňovány moderní technologie:

- polotovary typu Tailored Blanks, Patchwork Blanks
- tažení vysokopevnostních ocelí, slitin hliníků a hořčíku za zvýšené teploty
- počítačová simulace tažení
- jsou zdokonalovány a vyvíjeny nové lisovací stroje
- tažení povrchově upravených plechů
- automatizace toku materiálu v lisovnách



Obr. 1.1 Ukázka dílů vyrobených technologií tažení [16]

2. TECHNOLOGIE TAŽENÍ [4], [6], [8], [11]

Podstatou procesu tváření je vyvolání plastické deformace vnějšími silami, které způsobí přemístění částic v tuhém stavu bez porušení soudržnosti. Dojde k trvalé změně rozměrů a tvaru při zachování objemu materiálu.

Při tváření za studena ($T \leq 0.34T_f$) dochází ke zpevnění materiálu, zablokování pohybu dislokací, zvýšení meze pevnosti. Vlivem natáčení kluzových rovin ve směru působících sil dochází k prodlužování zrn ve směru deformace. Dalším zvyšováním tvářecí síly může dojít k porušení soudržnosti - vznik trhlin. Tváření materiálu za studena je vhodné u materiálů s nižší pevností, kterou je možno zpevněním zvýšit.

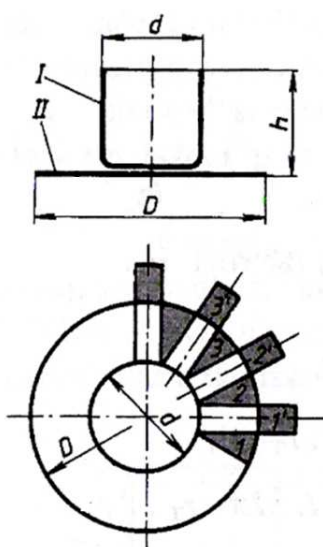
U materiálu pro tváření jsou rozhodující jeho tvárné vlastnosti - tvařitelnost je definována jako velikost deformace, kterou kov může snést bez částečného nebo úplného porušení celistvosti při dané teplotě a rychlosti deformace.

Na tvařitelnost mají vliv:

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

Hlavní hodnoty charakterizující plastické vlastnosti materiálu:

- R_m – mez pevnosti v tahu
- $R_{p0.2}$ – smluvní mez kluzu
- r_{90}, r_{45}, r_0 - součinitel plastické deformace vůči směru válcování
- n_{90}, n_{45}, n_0 – exponent deformačního zpevnění vůči směru válcování
- ε – poměrná deformace
- φ – logaritmické přetvoření
- A - tažnost



Tažení je lisovací technologie pro zpracování plechu, při níž se využívá řízené tvárné deformace (v jedné nebo více operacích) k přetvoření plochého polotovaru (rondel, přístřih) v dutou součást (výtažek) pomocí lisovacího nástroje. Během tažení se objem nemění, dochází k jeho přesunu. Přesun materiálu je schematicky znázorněn na obr. 2.1.

I - výtažek (výrobek)

II - výstřižek (polotovar)

d - průměr výtažku

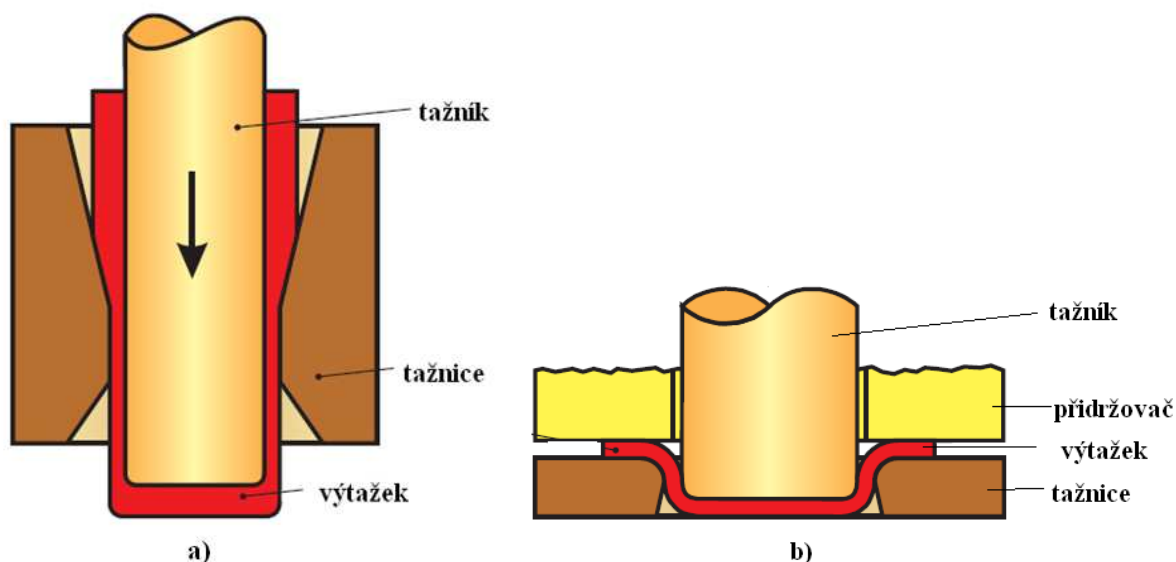
D - průměr přístřihu

h - výška výtažku (nádoby)

1 - 3 trojúhelníky, které se postupně přemísťují na místa obdélníků 1' - 3'

Obr. 2.1 Průběh tažení [11]

Technologii tažení lze rozdělit do skupin. První skupinou, kterou se budu podrobněji zabývat v následujícím textu, je tažení bez zeslabení stěny (obr. 2.2 b). Druhou skupinou je tažení se zeslabením stěny (obr. 2.2 a). Touto technologií se vyrábějí díly, které mají tloušťku stěny menší než tloušťku dna. Síla materiálu ve dně se nemění, zůstává stejná s výchozím polotovarem. Síla stěny se redukuje menší tažnou mezerou.



Obr. 2.2 a) tažení se zeslabením stěny, b) tažení bez zeslabení stěny [8]

Mezi základní způsoby tažení bez zeslabení stěny patří:

- prosté tažení
- zpětné tažení
- žlábkování
- protahování
- přetahování
- zužování
- rozšiřování
- lemování

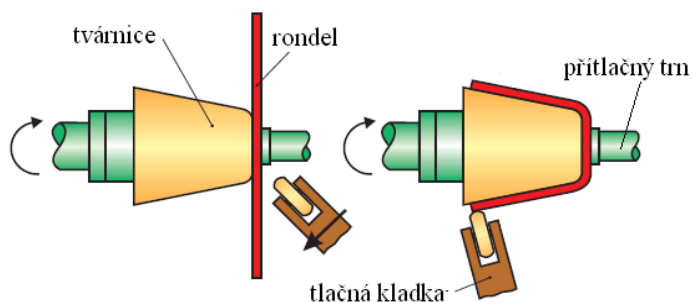
Nekonvenční metody tažení:

- hydromechanické tažení (metoda WHEELON, HYDROFORM)
- tažení do pryžové tažnice (metoda GUERIN, MARFORM)
- elektrohydraulické tažení
- ultrazvukové hluboké tažení (se ztenčením stěny a bez ztenčení stěny)

Mezi alternativní technologie, které v některých případech mohou nahradit hluboké tažení, patří technologie rotačního kovotlačení (obr. 2.3) a tváření výbuchem.

Kovotlačení je technologií, která nachází uplatnění ve výrobě dutých kruhových případně eliptických tvarů. Je ekonomicky výhodná i při nižších výrobních sériích, pro vysoké série není vhodná z důvodu delších výrobních časů. Tuto technologii lze rozdělit na

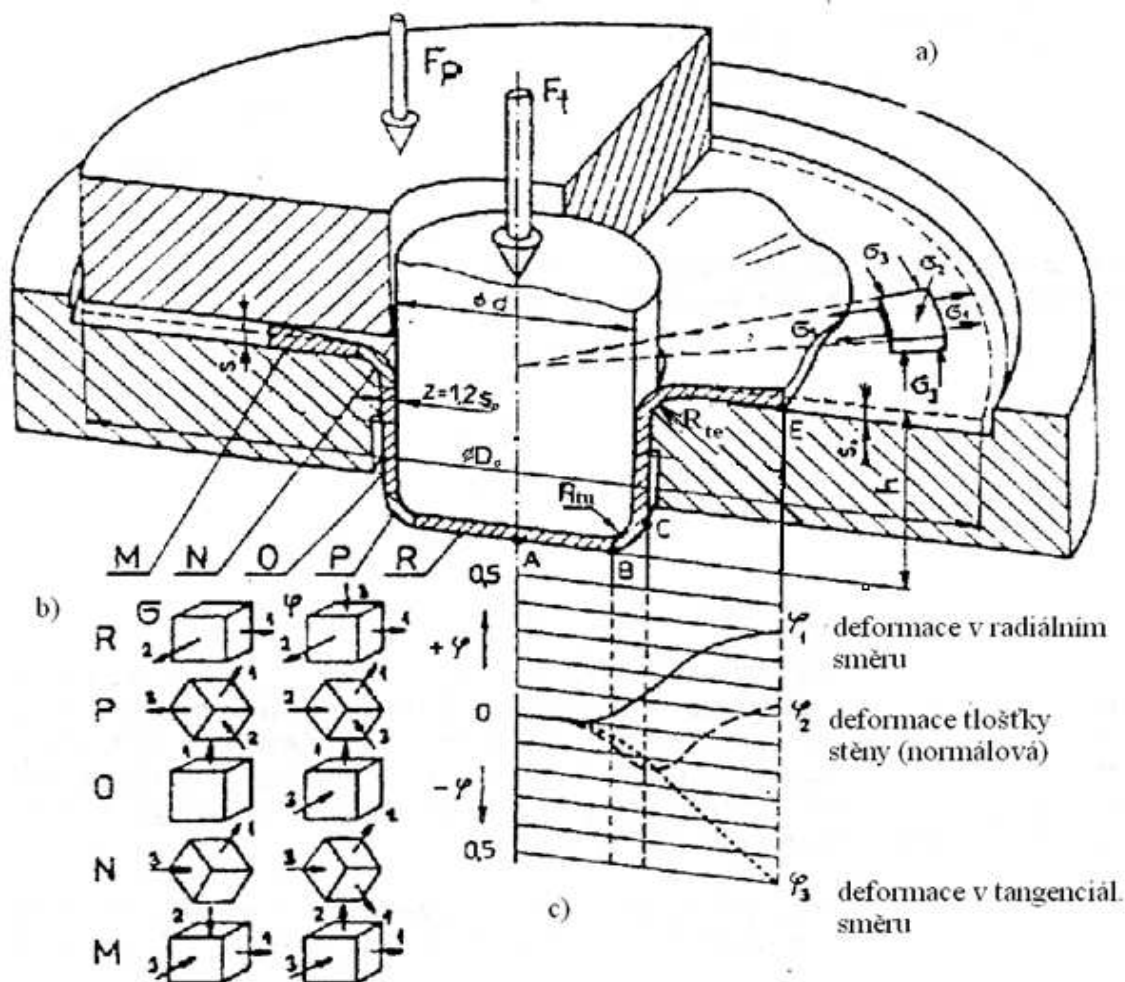
tlačení se ztenčením stěny nebo bez ztenčení stěny. Výhodami ve srovnání s hlubokým tažením je zhotovení velmi komplikovaných tvarů v jedné operaci, snadné zhotovení zápichů a drážek na válcových a kuželových plochách, nízká cena (zpravidla stačí vyrobit lisovnici, tlačné kladky a přitlačné trny mají univerzální použití).



Obr. 2.3 Rotační kovotlačení [8]

2.1 Teorie tažení [2], [3]

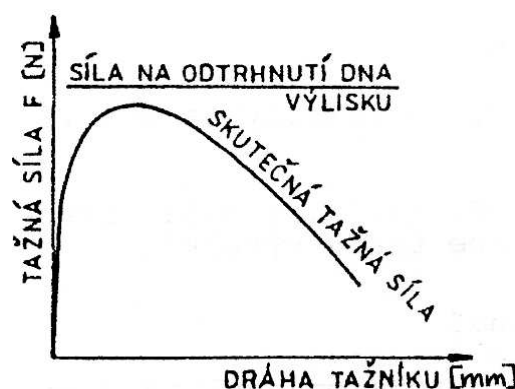
Při hlubokém tažení se v taženém materiálu vyskytuje prostorový stav napjatosti i deformace, složky napětí a deformace mění svůj směr, orientaci a velikost v různých místech vznikajícího výtažku. Obrázek č. 2.4 znázorňuje stavy napjatosti (σ_1 , σ_2 , σ_3) a logaritmického přetvoření (φ_1 , φ_2 , φ_3) při tažení válcového výtažku s přidržovačem.



- a) schéma nástroje
 - b) hlavní napětí σ_1 , σ_2 , σ_3
 - c) průběh logaritmického přetvoření φ_1 , φ_2 , φ_3
- Obr. 2.4 Tažení válcového výtažku [3]

2.2 Tažná síla a práce [1], [2], [3]

Sílu potřebnou k přetvoření přístřihu ve výtažek a překonání třecích sil (mezi nástrojem a materiálem výtažku) nazýváme tažnou silou. Síla během tažení není konstantní, je maximální, když tažník dosáhne hloubky $h_1 = R_{tu} + R_{te} + s_0$. Průběh tažné síly je znázorněn na obrázku 2.5. V praxi se používá pro stanovení jmenovité síly lisu empirické vztahy, kterými lze určit maximální sílu F . To je síla, kterou mohou přenést stěny výlisku, aniž by došlo ke vzniku trhlin.



Obr. 2.5 Graf průběhu tažné síly [3]

Tažná síla (F_t) vyvolává v plášti výtažku tahové napětí. Výsledné tahové napětí (σ_v) je dáno vztahem:

$$\sigma_v = (\sigma_1 + \sigma_{tr} + 2\sigma_0) \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \cdot \sin \alpha \quad (2.1)$$

kde: σ_1 - radiální tahové napětí, které vzniká v oblasti příruby

σ_{tr} - napětí vyvolané tlakem přidržovače na zesilující se okraj přístřihu

σ_0 - napětí vyvolané ohybem přístřihu na zaoblené hraně tažnice (poloměru tažnice), $2\sigma_0$ - dvojí ohyb (ohyb a narovnání)

$e^{\mu \cdot \alpha}$ - součinitel vyjadřující vliv tření na zaoblené hraně tažnice

μ - součinitel tření

α - úhel ohybu opásání plechu na tažné hraně, pro $\alpha = 90^\circ$ je $e^{\mu \cdot \alpha} \approx 1 + 1.6\mu$

Síla na utržení dna je dána vztahem:

$$F = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m \quad (2.2)$$

kde R_m - pevnost v tahu

Přesnější hodnotu potřebné lisovací síly F_{to} lze získat dosazením síly F do vztahu:

$$F_{to} = F \cdot \left(\frac{D}{d} - 0.7 \right) \quad (2.3)$$

V případě tažení s přidržovačem, je k získání celkové potřebné lisovací síly nutné přičíst sílu přidržovače F_p k tažné síle F_t :

$$F_c = F_{to} + F_p \text{ nebo } F_c = F_t + F_p \quad (2.4)$$

K orientačnímu výpočtu **tažné práce** slouží následující vzorec:

$$W = \frac{C \cdot F_c \cdot h}{100} \quad [J] \quad (2.5)$$

kde C - součinitel zaplnění diagramu

C = 0.66 při tažení bez kalibrování

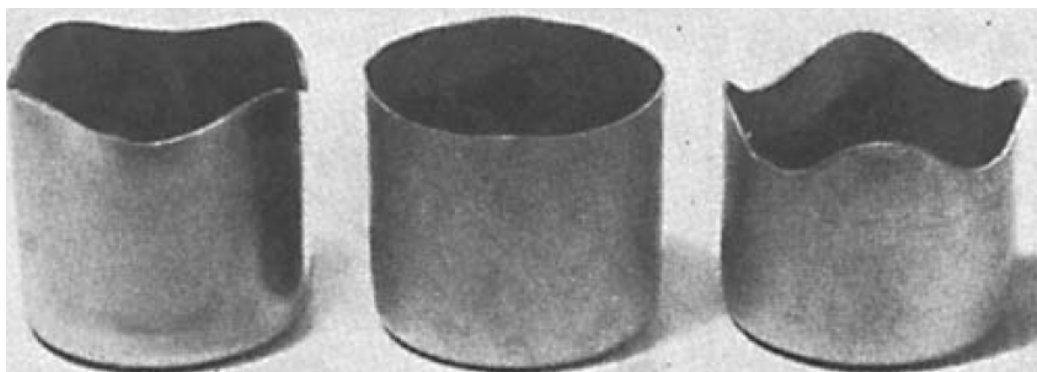
C = 0.8 při tažení s kalibrováním

2.3 Technologické parametry

2.3.1 Velikost přístřihu [1], [5]

Velikost přístřihu je možné stanovit výpočtem nebo graficky (Guldinova metoda). Další možností je použití software pro simulaci procesu tváření, nebo některé CAD systémy, které v sobě mají implementované moduly pro výpočet rozvinutých tvarů. Např. PAM-STAMP 2G, Dynaform, AutoForm, SolidWorks s modulem BlankWorks. Programy přístřih spočítají přesně a rychle i pro velice složité tvary výlisků.

Dosáhnout požadovaného okraje výtažku bez následného zastřížení, je prakticky u hlubších výtažků prakticky nemožné. Důvodem je materiálová anizotropie, nestejnost ve struktuře materiálu. Proto je k objemu výtažku nutné přičíst technologický přídavek, který se po vytažení požadovaného tvaru odstříhne. Přídavek se volí podle počtu tažných operací. Pro 1. operaci 3% a pro každou další tažnou operaci 1%.



Obr. 2.6 Rozdílná cípovitost - výtažky tažené za stejných podmínek z jiného materiálu. [7]

Při výpočtu velikosti přístřihu se vychází z rovnosti objemu polotovaru a výtažku. Při tažení výtažku bez ztenčení stěn se předpokládá, že ztenčení stěny je zanedbatelné. Pro běžné tvary výtažku jsou odvozeny vzorce. Při výpočtu komplikovaného tvaru se postupuje tak, že se výtažek rozdělí na jednoduché základní části, pro které se pak počítá velikost ploch (u výtažku bez ztenčené stěny) nebo objemů (u výtažku se ztenčením stěny). Součet všech ploch (objemů) hotové součásti se musí rovnat povrchu (objemu) přístřihu. Malé prolisy, malé zaoblení (do osminásobku tloušťky materiálu) a technologický úkos výtažku je možné pro zjednodušení výpočtu zanedbat. Konstrukér, který pracuje ve 3D CAD aplikaci, nemusí počítat objem podle výše uvedených metod, neboť dnes již většina 3D aplikací objem přesně určí.

Vztah pro výpočet průměru přístřihu pro válcovitý výtažek - je vhodný pro výtažky, u kterých poloměr zaoblení u dna nedosahuje osminásobku síly materiálu.

$$D = \sqrt{d_s^2 + 4d_s \cdot h} \quad (2.6)$$

2.3.2 Počet tažných operací [1], [5], [12]

Zda je výtažek možné zhotovit na jednu nebo více operací závisí na jeho tvaru, druhu materiálu, tloušťce materiálu, konstrukci tažného nástroje a druhu lisu. Zdánlivě nepatrná odchylka ve tvaru výtažku může výrazně ovlivnit počet tažných operací. Tvarově jednoduché a nízké výtažky jsou zhotovovány jednou operací, hluboké a složité tvary vyžadují operací více.

K rychlému určení počtu tažných operací byly sestaveny grafy a tabulky, pomocí kterých je možné určit rozměry výtažků v jednotlivých krocích.

Dosažitelnost mezních redukci ovlivňuje:

- způsob mazání během tažení
- poměrná tloušťka plech s_0/D (má největší vliv)
- mechanické vlastnosti materiálu
- poloměr zaoblení tažníku a tažnice
- tažení bez přidržovače nebo s přidržovačem
- jakost povrchu plechu

Stanovení počtu tažných operací pomocí součinitele tažení

Vzorec pro výpočet součinitele tažení v prvním tahu: $m_1 = \frac{d_1}{D}$ (2.7)

Vzorec pro výpočet součinitele tažení v druhém tahu: $m_2 = \frac{d_2}{d_1}$ (2.8)

Vzorec pro výpočet součinitele tažení ve třetím tahu: $m_3 = \frac{d_3}{d_2}$ (2.9)

Minimální hodnoty součinitelů pro hlubokotažnou ocel:

$$m_1 = 0.48 - 0.50; m_2 = 0.73 - 0.75; m_3 = 0.72 - 0.74$$

Stanovení počtu tažných operací pomocí doporučených redukci průměru výtažku

Vzorec pro výpočet průměru prvního tahu:

$$d_1 = D \cdot \left(1 - \frac{R_1}{100}\right); \quad (2.10)$$

pro výpočet druhého tahu

$$d_2 = d_1 \cdot \left(1 - \frac{R_2}{100}\right); \quad (2.11)$$

pro všechny další tahy platí

$$d_n = d_{(n-1)} \cdot \left(1 - \frac{R_n}{100}\right). \quad (2.12)$$

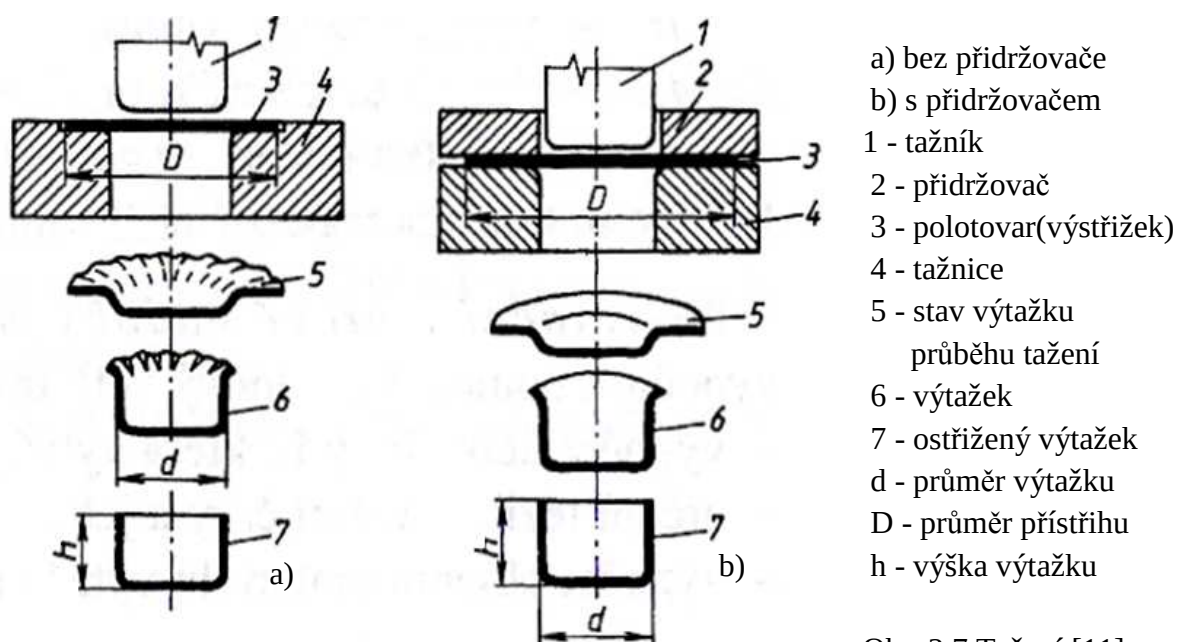
Příloha č. 1 obsahuje tabulku pro stanovení optimálních redukcí.

Vztah mezi součinitelem tažení m a redukcí R (%): $m = \frac{100-R}{100} \quad (2.13)$

Během tváření za studena dochází ke změnám mechanických vlastností. Zvyšuje se mez pevnosti, mez kluzu a tvrdost, klesá houževnatost a tažnost. Mez kluzu roste rychleji než mez pevnosti. Tím se snižují schopnosti materiálu k plastickému přetvoření, proto je nutné při víceoperačním tažení zařadit rekrytalizační žíhání. Literatura uvádí po 3. až 4. tažné operaci. Tím výtáček získá vlastnosti původního polotovaru.

2.3.3 Volba přidržovače a určení jeho síly [1], [8], [11]

Přidržovač zabráňuje tvorbě vln na výtáčku. U druhého a dalších tahů také středí výtáček proti tažnici. Bez přidržovače lze táhnout výlisky, u kterých redukce nedosahuje 10%. Při tažení nízkých výtáčků ze silného plechu se vlny netvoří. Tenké plechy do 0,5 mm z hlubokotažné oceli se musí táhnout vždy s přidržovačem.



Obr. 2.7 Tažení [11]

Maximální redukci, kterou je možné táhnout bez použití přidržovače, lze vypočítat pomocí empirického vzorce:

$$R_{max} = 50 \cdot \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D}} + 100 \cdot (1 - c) \quad (2.14)$$

kde c - konstanta závislá na druhu použitého materiálu

- pro ocel $c = 0.95$
- pro měď a její slitiny $c = 0.975$

Použití přidržovače pro danou redukci lze také určit dle normy ČSN EN 22 7301, ta uvádí vztah:

$$k_p = 50 \left(Z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D}} \right) \quad (2.15)$$

je-li $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$, je nutno táhnout s přidržovačem

je-li $k_p < \frac{100 \cdot d_1}{D}$, není nutné táhnout s přidržovačem

kde Z je materiálová konstanta

- pro ocelový hlubokotažný plech $Z = 1,9$
- pro mosazný plech $Z = 1,95$
- pro hliníkový plech $Z = 2,00$

Přidržovač musí působit takovou silou, při které nebude docházet ke zvlnění okraje výlisku a přitom nebude docházet k nežádoucímu zeslabení nebo k tvorbě prasklin. Přidržovací sílu nejvíce ovlivňuje tloušťka materiálu, druh materiálu a velikost redukce. V praxi se síla přidržovače nastaví na hodnotu, při které se netvoří vlny a nevznikají trhliny.

Síla přidržovače se stanoví podle vztahu:

$$F_p = S \cdot p \quad (2.16)$$

kde p je tlak přidržovače [MPa]

Příloha č. 2 obsahuje tabulku pro stanovení tlaku přidržovače podle tloušťky a vlastností materiálu.

2.3.4 Poloměr zaoblení funkčních hran tažidla [1], [12]

Tažný poloměr výrazně ovlivňuje celý proces tažení. Příliš velké zaoblení hran může způsobit zvlnění výtažku, malé zaoblení může zavinit utržení dna výtažku. Tažné hrany musí být pečlivě opracovány a leštěny.

Tažný poloměr má vliv na:

- tvoření vln a přehybů
- velikost tažné síly
- napětí v tvářeném materiálu
- velikost ztenčení stěn výtažku

Zaoblení tažných hran je závislé:

- na druhu taženého materiálu
- na síle materiálu
- na velikosti mezikruží mezi D a d_1

Poloměr zaoblení tažnice (R_{te}) je možné určit pomocí diagramu (obr. 2.12), použitím empirického vzorce nebo pomocí normy ČSN EN 22 7301, která uvádí velikost zaoblení pro jednooperační tažení $R_{te} = (6 \text{ až } 10) \cdot s_0$.

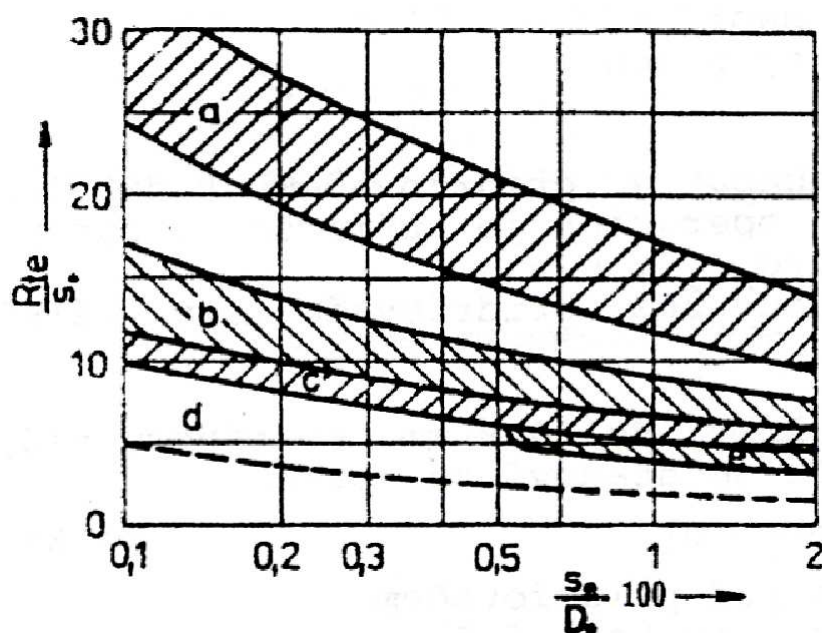
Empirické vzorce:

- poloměr zaoblení tažnice pro první tah: $R_{te} = 0.8 \cdot \sqrt{(D - d_1) \cdot s_0}$ (2.17)

- poloměr zaoblení tažnice se pro další tahy určí vztahy:

$$- R_{te} = \frac{d_1 - d_2}{2} - s_0 \text{ pro výtažky do průměru 60 mm;} \quad (2.18)$$

$$- R_{te} = (6 - 10) \cdot s_0 \text{ pro výtažky nad průměr 60 mm.} \quad (2.19)$$



Obr. 2.8 Diagram pro určení poloměru tažného zaoblení: Závislost poměrného poloměru R_{te}/s_0 na poměrné tloušťce přístřihu s_0/D_0 [3]

Poloměr zaoblení tažníku (R_{tu}) - volí stejné nebo větší než zaoblení tažnice. Má-li být zaoblení na finálním výlisku menší, je třeba zařadit kalibrovací operaci.

Literatura [2] uvádí poloměry zaoblení výtažku (tažníku), které lze zhotovit bez kalibrace:

$$- R_{tu} = (3 \text{ až } 4) \cdot s_0 \text{ pro průměr výtažku 10 - 100 mm,} \quad (2.20)$$

$$- R_{tu} = (4 \text{ až } 5) \cdot s_0 \text{ pro průměr výtažku 100 - 200 mm,} \quad (2.21)$$

$$- R_{tu} = (5 \text{ až } 7) \cdot s_0 \text{ pro průměr výtažku nad 200 mm a více.} \quad (2.22)$$

2.3.5 Tažná mezera [12]

Tažná mezera (z) je vůle mezi tažníkem tažnicí. Velká tažná mezera způsobuje vlny na plášti výtažku. Malá tažná mezera zvyšuje lisovací sílu, může způsobit utržení dna.

Vzorce pro výpočet:

$$- z = (1,2 - 1,3) \cdot s_0 \quad \text{pro první až předposlední tan} \quad (2.23)$$

$$- z = (1,1 - 1,2) \cdot s_0 \quad \text{pro poslední tah} \quad (2.24)$$

Při určování tažné vůle je nutné přihlídnout k tolerancím výlisku a k toleranci síly výchozí síly plechu.

2.3.6 Přesnost výtažků

U výtažků je třeba rozlišovat přesnost rozměrů příčného průřezu, výšky a tloušťky stěn. Přesnost příčného průřezu výtažku ovlivňuje přesnosti tažníku a tažnice, na stupni jejich opotřebení, na velikosti tažné mezery mezi tažníkem a tažnicí, na pružení výtažku po jeho vyjmutí z tažnice. Odpružení může být v různých směrech příčného průřezu různé vlivem materiálové anizotropie. S ohledem na tyto skutečnosti je možné docílit příčných průřezů IT 11 až 12, v případě kalibrace IT 7 až 8.

2.4 Počítačová simulace procesu tažení

Počítačové simulace mají nezastupitelnou roli ve fázi technické přípravy výroby, tj. určení počtu operací a optimalizaci technologického postupu a jednotlivých technologických parametrů, především pro tvarově složité součásti. Jak ukazuje vývojový trend v konstruování, kdy je velký důraz kladen na zvýšenou tuhost a nízkou hmotnost, jsou navrhovány tvarově složité díly (malé zaoblení, hluboké prolisy) a je u nich často volen materiál z řad vysokopevnostních ocelí nebo hliníku. S takovými díly si dokáže poradit jen velice zkušený pracovník. Počítačová simulace do určité míry zkušenosti pracovníků nahrazuje.

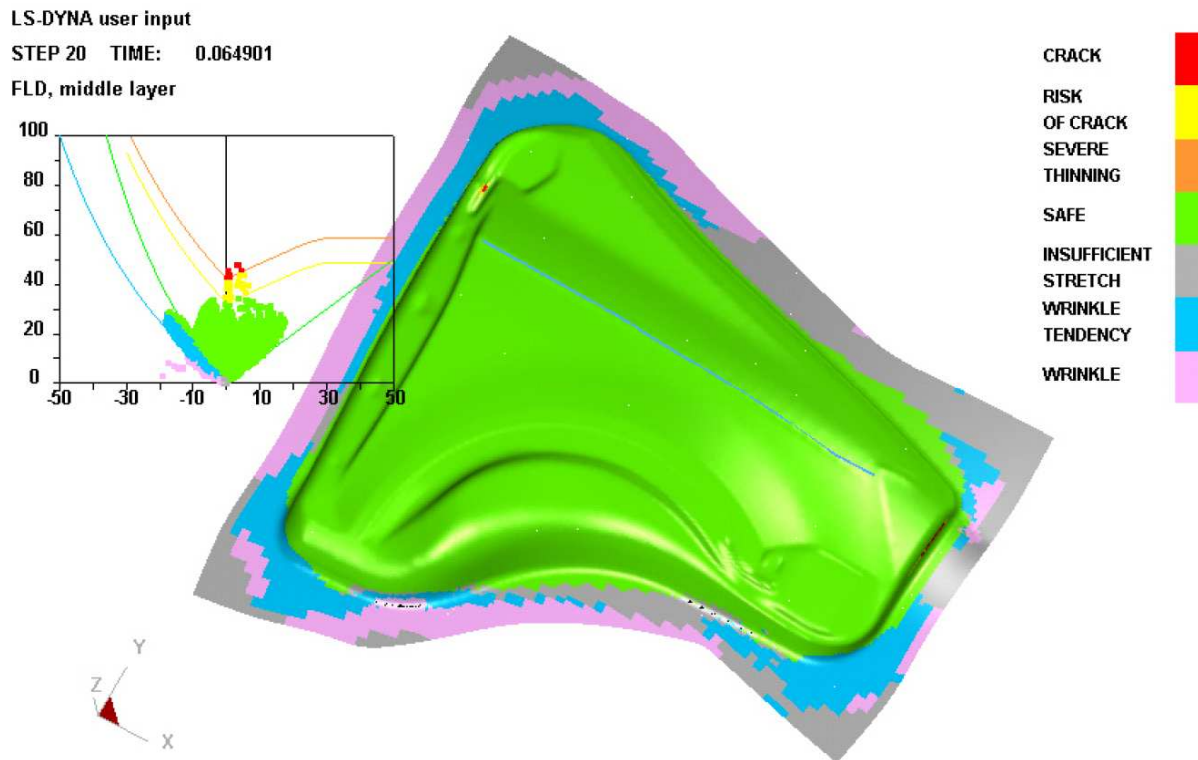
Simulace tváření (tažení) přispívá ke zrychlení a zlevnění celého procesu zhotovení (konstrukční, technologické, výrobní) funkčního nástroje. Snižuje počet cyklů na doladění nástroje, které je nutno realizovat pro uvolnění nástroje do sériové výroby.

Pro provoz simulačního softwaru postačí běžná pracovní stanice. Rozhraní programu je přizpůsobeno tak, aby ho by schopen ovládat běžný konstruktér nebo technolog, bez znalostí metody konečných prvků.

Pomocí simulačního softwaru je možné určit:

- velikost a tvar přístřihu
- lisovatelnost dílu
- počet operací
- přesnou simulaci tažení pro stanovení technologických sil a detailní ověření metody lisování
- odpružení

- sílu přidržovače
- potřebnou lisovací sílu
- kritická místa výlisku (zeslabení, zvlnění)
- vliv brzdícího žebra
- efektivní technologické plochy kolem výlisku
- napětí, přetvoření, tlak přidržovače



Obr. 2.9 Příklad simulace hlubokého tažení provedené v programu eta/Dynaform 5.5 [17]

2.5. Tažné nástroje [8], [12]

Konstrukce nástroje je závislá na velikosti výlisku, tvaru výlisku, materiálu výlisku, stroji, sériovosti výlisku, rozměrových a povrchových požadavcích. Funkčními částmi tažných nástrojů je tažník, tažnice a přidržovač.

Rozdělení konstrukcí nástrojů:

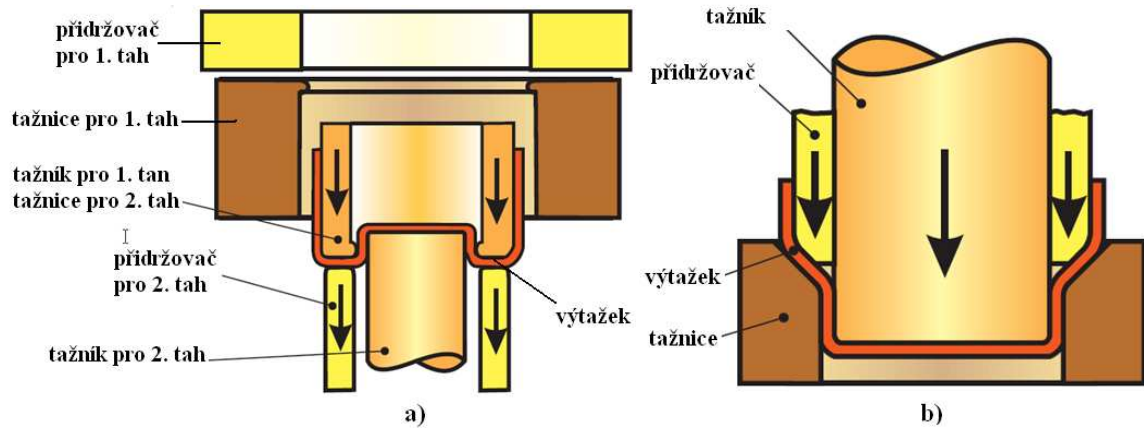
- jednoduché - nástroje, ve kterých se provádí jedna tažná operace
- sdružené - sdružují operaci tažení s např. děrováním nebo vystřihováním
- sloučené - provedou několik tažných operací v jednom zdvihu
- postupové - tažení probíhá ve více krocích v jednom nástroji

Povrchovými vrstvami lze prodloužit životnost nástroje 2x až 4x, zlepšují také přesnost a drsnost povrchu výtažků.

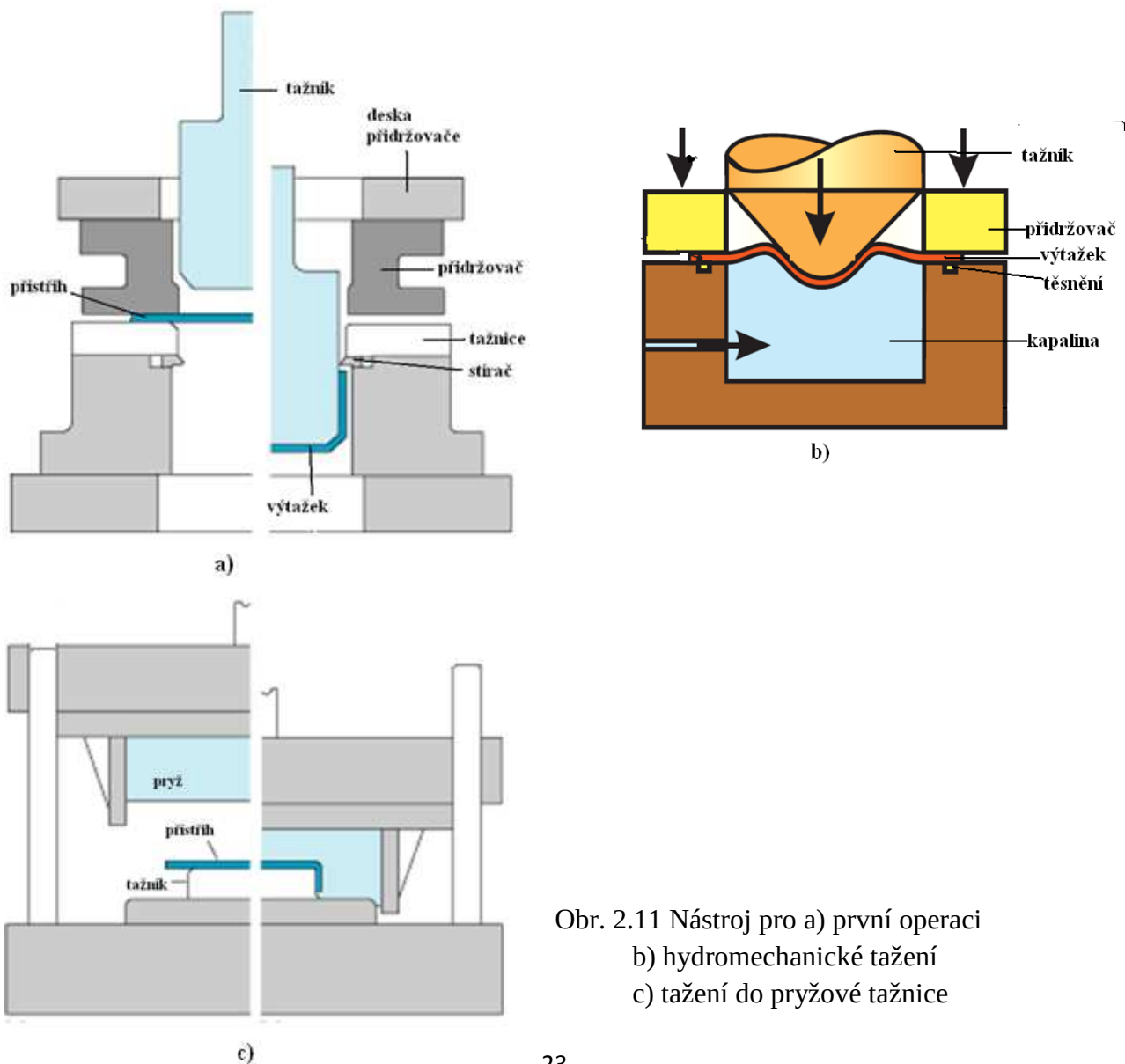
Používanými povrchovými úpravami jsou:

- povrchové vrstvy - vytvářené modifikací chemického složení nebo struktury povrchových vrstev (nitridace, borování)

- povlaky - na povrch se nanáší tenká tvrdá vrstva, např. povlaky typu PVD (TiN, TiAlN, CrN), CVD (TiC, TiCN)
- duplexní povlaky - kombinace dvou výše uvedených



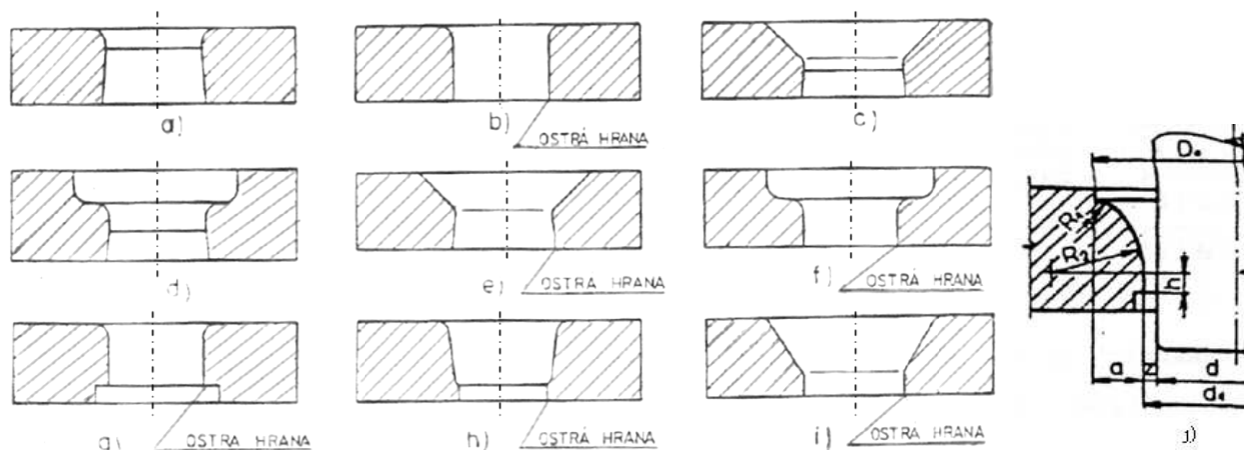
Obr. 2.10 Nástroj a) sloučený nástroj pro 1. a 2. tažnou operaci, b) pro druhý až poslední tah.



Obr. 2.11 Nástroj pro a) první operaci
b) hydromechanické tažení
c) tažení do pryžové tažnice

2.5.1 Tažnice [12]

Funkční částí tažnic je tažný otvor. Tvar otvoru a úprava hran závisí na způsobu, jakým budou výtažky odstraňovány z tažnice. Několik provedení tažnic je na obrázku č. 2.12. Tažnice jsou oproti tažníkům více opotřebovávány, proto se pro ně doporučuje volit přídavek na opotřebení, ten je závislý na velikosti tolerance výlisku.

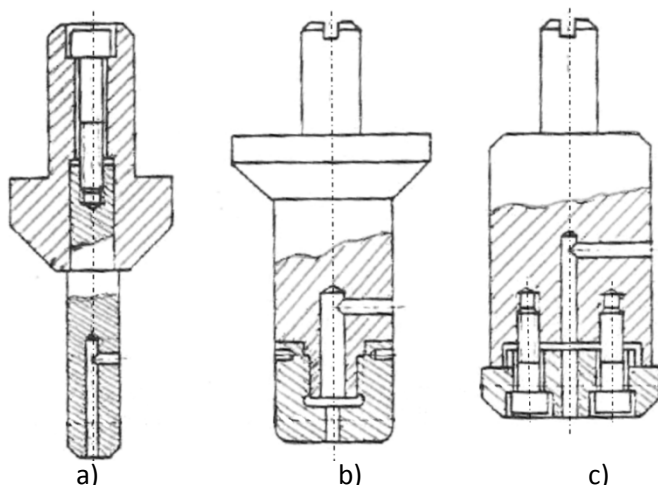


- a) výtažek se vrací nad tažnici a je setřen z tažníku
- b) výtažek propadá pod nástroj, je setřen ostrou hranou tažnice nebo speciálním stíračem
- c) pro druhý případně další tah, kdy se výtažek vrací nad tažnici
- d) pro druhý případně další tah do průměru 60 mm, kdy výtažek se vrací nad tažnici
- e) pro druhý případně druhý tah, kdy výtažek propadá
- f) pro druhý případně druhý tah do průměru 60 mm, kdy výtažek propadá
- g) tažný otvor dole odlehčený
- h) tažný otvor mírně kuželový, výtažek propadá, vhodné pro nástroje bez přidržovače
- i) tažný otvor pro plechy o větší tloušťce
- j) tvarový tažný otvor kuželový nebo podle křivky zv. traktrixa (lze dosáhnout $m = 0.35$), vhodné pro tažení bez přidržovače.

Obr. 2.12 Tažnice pro kruhové výtažky

2.5.2 Tažníky [12]

Funkční části tažníku je čelo, poloměr zaoblení a válcová část. Tažník je namáhán na vzpěr a na obvodu válcové části radiálními silami. Tažníky menších průměrů (obr. 2.13 a) se celé vyrábí z nástrojové oceli. Tažníky větších průměrů (obr. 2.13 b, c) se vyrábí ze dvou částí, funkční část z nástrojového materiálu a držák z konstrukční oceli.



- a) tažník s průměrem do 30 mm
- b) tažník s průměrem do 80 mm
- c) tažník s průměrem nad 100 mm

Obr. 2.13 Příklady provedení tažníků:

Pro odvod vzduchu během tažení a snazší stírání z tažníku musí být tažníky opatřeny odvodušňovací otvorem.

Pro $\varnothing$ výtažku < 100 mm odvodušňovací otvor $\varnothing 6$ mm,
pro $\varnothing$ výtažku 100 až 200 mm odvodušňovací otvor $\varnothing 8$ mm,
pro $\varnothing$ výtažku > 200 mm odvodušňovací otvor $\varnothing 10$ mm.

2.5.3 Přidržovače

Pro první tah (ve výjimečných případech i pro další tahy) se používají přidržovače s dosedací plochou rovinnou (obr. 2.11 a), pro další tahy s dosedací plocha kuželovou (obr. 2.10 b).

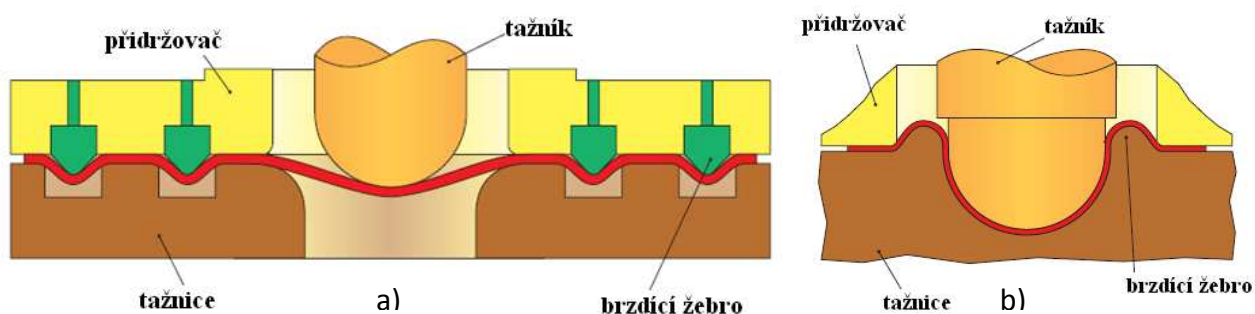
Během tažení tlak přidržovače na přístřih při konstantní síle není stejný - se zmenšující stykovou plochou přístřihu a přidržovače se tlak zvyšuje. K docílení konstantního přitlačného tlaku by se síla měla zmenšovat. U pružinových přidržovačů se síla zvyšuje vlivem stlačování pružin. Zvyšující se tlak přidržovače má za následek obtížnější vtahování materiálu do tažnice. To může způsobit utržení dna výlisku. Tento problém je vyřešený u dvojčinných lisů, u kterých přidržovač ovládá druhý beran. Tyto přidržovače se nazývají pevné.

U pevných přidržovačů je důležitá mezera pro plech mezi přidržovačem a tažnicí. Musí být taková, aby nedocházelo ke zvlnění okraje. Mezera pro plech je seřiditelná. S příliš malou mezerou pro materiál může dojít k utržení dna nebo nadírání materiálu pod přidržovačem.

Kromě přidržovačů popsaných výše se používají přidržovače hydraulické a pneumatické. Tyto přidržovače jsou výhodné, protože sílu přidržovače je možné změnit podle aktuálních výsledků lisování. Některé konstrukce umožňují automatické regulování přitlačné síly v závislosti na poloze zdvihu. Tím lze snadno dosáhnout konstantního tlaku přidržovače na stále měnící se plochu přístřihu pod přidržovačem.

Na dvojčinných lisech nebo při tažení s konstantním tlakem přidržovače lze vyrábět velice obtížné a hluboké výtažky.

V případě potřeby přidržet přístřih pevněji a tím přibrzdit materiál vtahovaný do tažnice, např. při tažení nízkých, tvarově složitých výtažku, nebo výtažků s vypuklým dnem se používají brzdící žebra (lišty). U kruhových výlisků jsou žebra po celém obvodu, u nerotačních jen v rovinných místech. Můžou být v jedné nebo více řadách. Brzdící žebra se umísťují blízko tažnému poloměru do přidržovače nebo tažnice.



Obr. 14 a) brzdící žebra ve dvou řadách, b) brzdící žebro - zaoblený výstupek na tažnici

2.5.4 Materiál tažných nástrojů [12]

Materiál funkčních částí

Výkon, spolehlivost a trvanlivost u tažných nástrojů je ovlivněna řadou faktorů. Mezi základní patří druh materiálu částí nástroje a jeho tepelné zpracování. Funkční části nástrojů se vyrábějí převážně z nástrojových ocelí. Vysoce výkonné nástroje vyžadují vložkování funkčních částí slinutými karbidy, keramickými materiály nebo povlakování materiály odolnými proti opotřebení. Materiály funkčních částí nástroje musí odolávat abrazivním a adhezivním účinkům, které vznikají na stykových plochách tvářeného materiálu a nástroje vlivem tření podmíněným vysokými tlaky, které v některých případech dosahují až 3500 MPa. Nejčastěji používanými nástrojovými ocelmi jsou 19321, 19 436, 1.2080 s tvrdostí a po tepelné zpracování 58 až 64 HRC.

Materiál desek stojánků/rámů

U menších nástrojů se používají konstrukční oceli třídy 11 (11373, 11500, 11600). U velkých nástrojů se preferuje z ekonomických důvodů šedá litina (422421, 422424) nebo litá ocel s lepšími mechanickými vlastnostmi (422650.2, 422563.1).

2.6 Stroje [8], [10]

Podle druhu mechanismu použitého k přenosu energie lze lisy rozdělit na:

- mechanické
- hydraulické

Podle konstrukce se dělí na:

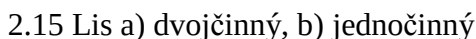
- jednočinné
- dvojčinné
- trojčinné
- postupové

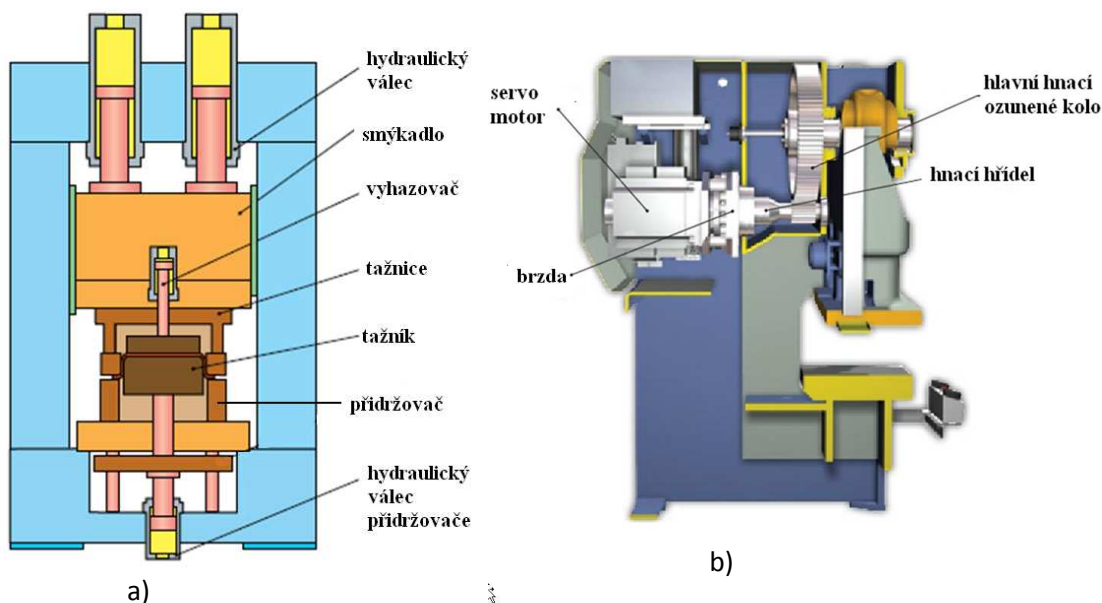
Mechanické tažné lisy disponují jmenovitou silou již při 90° před dolní úvratí. Jsou v praxi nejpoužívanější pro jejich jednoduchou konstrukci, nízkou cenu a vysokou výrobnost. Klasická konstrukce klikového mechanismu dává beranu nevýhodný průběh rychlosti (nulová rychlost ve spodní úvratí, maximální rychlost dosahuje při 90° před dolní úvratí). Průběh rychlosti se u moderních konstrukcí lisů podařilo zlepšit. Např. firma Aida vyvinula systém ServoPro. Ten umožňuje programovat rychlost pohybu smýkadla v závislosti na úhlu kliky díky servomotoru, který přenáší kroučící moment přímo na kliku lisu (obr. 2.16 b).

Hydraulické lisy jsou pro tažení nejvýhodnější díky možnosti docílení konstantního tlaku beranu, konstantní rychlosti beranu, plynule nastavitelné rychlosti beranu, nastavitelné přitlačné síle. Nevýhodou je nižší výrobnost, vyšší pořizovací cena.

Postupové lisy nacházejí užití při lisování vysokých sérií u výlisků, které nelze vyrobit jednou operací. Lisy pracují v plně automatickém cyklu. Většinou mají 7 - 12 pracovních pozic pro tažení a některé lisy i střižnou pozici, ve které je možné zhotovit první tah. Do každé lisovací pozice se upíná samostatný nástroj. Transport materiálu od jedné lisovací pozice k druhé obstarává transferový podavač. Lisy jsou vybaveny pneumatickými vyhazovači a pneumatickými přidržovači v každé tažné pozici.

- regulace rychlosti a síly během zdvihu smýkadla, např. pomocí servomotorů
- zvýšení produktivity (vyšší počet zdvihů za minutu)
- regulace tlaku přidržovače během zdvihu smýkadla
- počítačová podpora
- snížení času potřebného pro výměnu nástroje a přestavení lisu pro jinou výrobu
- automatizace výměny nástrojů
- automatizace toku materiálu v lisovně
- senzorika pro hlídání lisů proti poškození
- snižování hlučnosti lisů





2.16 Lis a) hydraulický, b) výstředníkový se servomotorem (Aida ServoPro)

2.7. Maziva pro tažení [1]

Tření mezi nástrojem a materiálem výtažku výrazně ovlivňuje celý proces tažení (okrajové podmínky, tok materiálu, spotřebu sil a energie, nerovnoměrnost deformace). Ke snížení součinitele tření se používají maziva, která zabraňují kovovému styku mezi materiálem výtažku a nástrojem. O použití maziva rozhoduje obtížnost tváření, tlak mezi taženým materiálem a nástrojem, druhů taženého materiálu. Čistě kapalná maziva se používají tam, kde tlaky nedosahují 600 MPa, pro vyšší tlaky se k mazivu přidává tuhá složka (mastek, plavená křída, grafit). Kvalitní maziva dobře ulpívají na povrchu plechu a odolávají vysokým tlakům, ale je obtížné je odstranit. Na odstranění je možné použít speciální přípravky. V současné době důležitou roli hrají i ekologické aspekty, vyžaduje se ekologické nanášení a likvidace, důležitá je biologická rozložitelnost maziv.

Maziva minimalizují abrazivní a adhezivní účinky a tím:

- zvyšují kvalitu povrchu výlisků
- zvyšují životnost nástrojů
- zvyšují produktivitu
- dosažitelnost mezních redukci
- zvyšují rozměrovou stabilitu výtažků

Lanolín a lůj - nejsou vhodný pro zvláště těžké a hluboké tažení, mají lepší viskózní vlastnosti za zvýšených teplot než minerální oleje.

Maziva hypoidní - směs minerálních olejů se sloučeninami obsahující síru a chlor.

Maziva mýdlová - jsou tuhá, polotuhá, nebo tekutá podle, podle pracovní teploty, suchá mýdla mají velice dobrou přilnavost k povrchu při smykovém zatížení

Maziva s grafitem - pro nejobtížnější tváření, používá se čistého grafitu nebo jeho směsí s olejem nebo lojem, nevytlačí se ani vysokými tlaky, zachovává si dobré mazací schopnosti za zvýšených teplot.

Kovové povlaky (amorfní vrstvičky zinku, olova, mědi apod.)- pro obtížné tažení

POPIS SOUČÁSTI

V následujících částech bakalářské práce se budu zabývat návrhem technologie výroby pro součást kryt elektromotoru. Kryt má být vyráběn z materiálu 11305 v množství 100 000 ks/rok. Výkres krytu elektromotoru je přiložen k práci .



Účelem krytu je zakrýt rotující ventilátor a tím chránit osoby před zraněním a zabránit vniknutí částic do prostoru ventilátoru, které by mohli poškodit samotný ventilátor a tím omezit nebo znemožnit chlazení motoru. Kryt je na elektromotor přišroubovaný čtyřmi šrouby M6.

Obr. 3.1 Kryt elektromotoru

3.1 Materiál součásti

Pro výrobu krytu elektromotoru bude použita ocel označená dle ČSN EN 11305 (ekvivalent W.Nr. 1.0338). Jde o ocel obvyklých jakostí k tváření za studena. Ocel je vhodná ne velmi hluboké tažení, lakování a povlakování. Ocel je uklidněná, má tedy zvýšenou odolnost pro stárnutí.

Použití: hutní průmysl (profily, svařované trubky), automobilový průmysl (výlisky), strojírenství (ložiska, radiátory), spotřební průmysl (galanterie).

Tabulka č. 3.1 Chemické složení oceli 11305

Chemické prvky	C	Mn	P	S	Al	Si
Obsah v %	max. 0,07	max. 0,40	max. 0,025	max. 0,035	min. 0,025	max. 0,03

Chemické prvky obsažené v oceli:

Hliník - tvoří stabilizační přísadu

Mangan - přítomnost manganu je u nízkouhlíkových ocelí nutná (pro vyvážení síry), i když zhoršuje mechanické vlastnosti pro tváření (zvyšuje tvrdost a pevnost, snižuje houževnatost), obsah by neměl být vyšší než 0,4%

Fosfor a síra - jde o nežádoucí prvky, jejich obsah by neměl překročit hodnotu 0,025%

Uhlík - je prvkem, který nejvíce ovlivňuje mechanické vlastnosti hlubokotažných ocelí válcovaných za studena. Obsah by neměl být vyšší než 0,07%

Křemík - zhoršuje plastické vlastnosti ocelí, obsah nesmí přesáhnout 0,03%

Mechanické vlastnosti:

- maximální mez kluzu $R_p 0,2 = 210 \text{ MPa}$
- pevnost v tahu $R_m = 290 - 360 \text{ MPa}$
- minimální tažnost $A_{80} = 36\%$
- maximální tvrdost 110 HB

Po prověření chemického složení a materiálových charakteristik, hodnotím ocel jako vhodnou pro výrobu zadané součásti.

3.2 Zhodnocení výrobitelnosti

Bez ohledu na konkrétní technologie výroby, vždy bude muset nejprve proběhnout výroba rondelu, až poté přetvoření rondelu v dutou součást.

Rondel je možné vyrobít technologií stříhání nebo řezání laserem, vodním paprskem, plasmou. Pro vysoký počet vyráběných dílců přichází v úvahu pouze technologie stříhání.

K přetvoření přístřihu v dutou součást je možné využít některou metodou z technologie hlubokého tažení nebo rotačního kovotlačení. Kovotlačení je ve srovnání s tažením značně neproduktivní, avšak tato technologie by se hodila pro výrobu prototypových vzorků.

Otvory $\varnothing 4$ je nutné vyrobít až po vytažení tvaru. Ve válcové ploše výtažku totiž dochází během tažení k přesunům materiálu, takže by předem zhotovené otvory neměly správný tvar ani polohu. Pro výrobu se nabízí vrtání nebo prostřihování. Stejně jako otvory ve válcové ploše je důležité otvory ve dně vyrobít až po kompletním vytažení tvaru. Ve dně výtažku jsou během tažení tahová napětí, která by způsobila deformaci předem vyrobených otvorů. Otvory ve dně a otvory $\varnothing 4$ je ideální (pro vysoký počet vyráběných kusů) vyrobít technologií stříhání.

Po vytažení je okraj výlisku nerovný, proto je nutné zařadit operaci na zarovnání. Zarovnat okraj je možné soustružením nebo zastřižením.

Operace musí proběhnout v následujícím sledu:

- I. vystřižení přístřihu
- II. vytažení tvaru
- III. zarovnání okraje výtažku, prostřižení otvorů $\varnothing 7 \text{ mm}$, prostřižení otvorů ve válcové ploše

Na výkrese je předepsán jeden tolerovaný rozměr 220^{+1}_{-0} . tolerance je technologií tažení, dle kapitoly 2.3.6, dosažitelná bez nutnosti kalibrace. Pro netolerované rozměry je uvedena norma ISO 2768 - mK. Na kvalitu povrchu nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky.

4. NÁVRH TECHNOLOGIE

4.1 Velikost přístřihu

a) Výpočet objemu výtažku

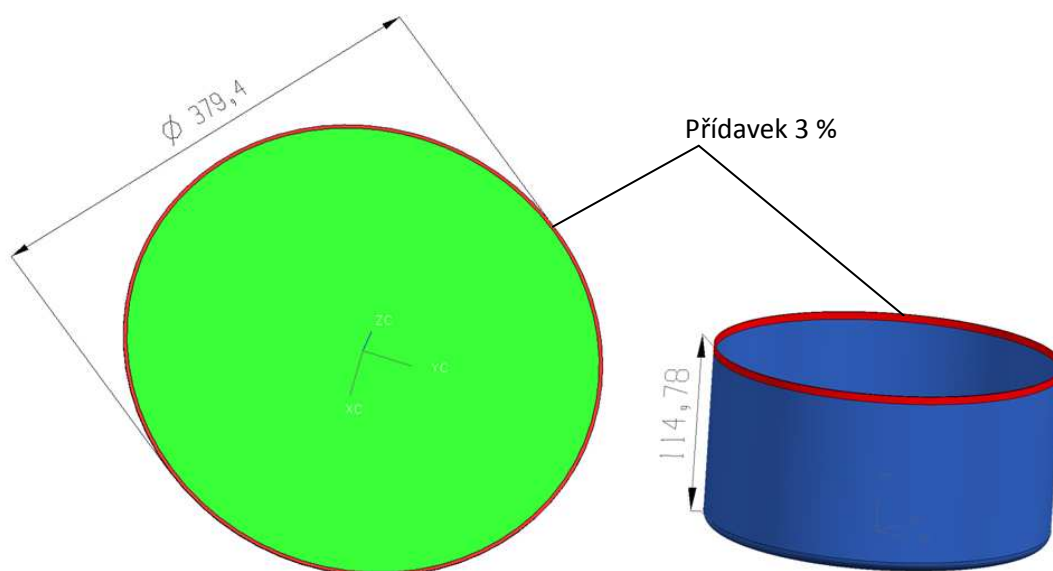
Objem výtažku bez děr = $109\,750\text{ mm}^3$ (hodnota spočítaná CAD aplikací UGS NX4)

Přídavek 3% (dle kapitoly 2.3.1) objemu výtažku = $109\,750 \cdot 0,03 = 3\,292,5\text{ mm}^3$

Objem výtažku (bez děr) s přídavkem $V = 109\,750 + 3\,292,5 = \underline{113\,042,5\text{ mm}^3}$

b) Výpočet velikosti přístřihu

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times t \Leftrightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{t \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 113\,042,5}{1 \cdot \pi}} = \underline{379,4\text{ mm}}$$



Obr. 4.1 Znázornění přídavků

4.2 Technologické výpočty tažení

a) Počet tažných operací dle vztahu (2.7)

$$m_1 = \frac{d_1}{D} = \frac{220}{379,4} = 0,58 \Rightarrow \text{znamená, že výtažek je vyrobitelný jednou tažnou operací}$$

b) Výpočet potřeby přidržovače dle kapitoly 2.3.2

Materiálová konstanta pro ocelový hlubokotažný plech $Z = 1,9$

$$k_p = 50 \left(Z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D}} \right) = 50 \left(1,9 - \frac{\sqrt{1}}{\sqrt[3]{379,4}} \right) = 88,1$$

Je-li $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$ je nutno táhnout s přidržovačem,

je-li $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$ není nutné táhnout s přidržovačem.

$$\frac{100 \cdot d_1}{D} = \frac{100 \cdot 210}{379,4} = 55,4$$

V tomto případě je $k_p > \frac{100 \cdot d_1}{D}$, proto je nutné táhnout s přidržovačem.

c) Síla přidržovače vypočítána dle vzorce (2.16)

Pro hlubokotažný materiál o síle 1mm jsem zvolil, dle přílohy č. 2, tlak přidržovače $p = 2.1 \text{ MPa}$

$$F_p = S \cdot p = \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \right) \cdot p = \left(\frac{\pi \cdot 379,4^2}{4} - \frac{\pi \cdot 242,7^2}{4} \right) \cdot 2,1 = 66\,829 \cdot 2,1 = \\ = \underline{140\,341 \text{ N}}$$

d) Výpočet jmenovité síly lisu dle vztahu (2.2)

Výpočet síly potřebné pro vytažení Ø220

$$F_1 = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 220 \cdot 1.350 = \underline{219911,5 \text{ N}}$$

Výpočet síly potřebné pro vytvarování prolisu Ø168.5 mm

Protože jde o tah s kalibrací, je sílu (dle literatury [12]) nutné 1.5 až 3 x zvětšit.

$$F_2 = 2 \cdot \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m = 2 \cdot \pi \cdot 168,5 \cdot 1 \cdot 350 = \underline{370551 \text{ N}}$$

Celková síla - maximální síla během tažení

Síly F_1 a F_2 nebudou zatěžovat lis současně. Proto pro výpočet maximální síly dosadím sílu F_2 .

$$F_c = F_2 + F_p = 370551 + 140341 = 510892 \text{ N} \cong \underline{511 \text{ kN}}$$

e) Poloměr zaoblení tažníku stanoven dle vztahu (2.20)

Pro průměr výtažku nad 200 mm a více má být zaoblení $R_{tu} = (5 \text{ až } 7) \cdot s_0$

Navržený poloměr zaoblení na výlisku je R6 - není třeba zařazovat kalibrační operaci.

f) Poloměr zaoblení tažnice stanoven dle vztahu (2.17)

$$R_{te} = 0.8 \cdot \sqrt{(D - d_1) \cdot s_0} = 0.8 \cdot \sqrt{(379.4 - 220) \cdot 1} = 10.08 \cong 10 \text{ mm}$$

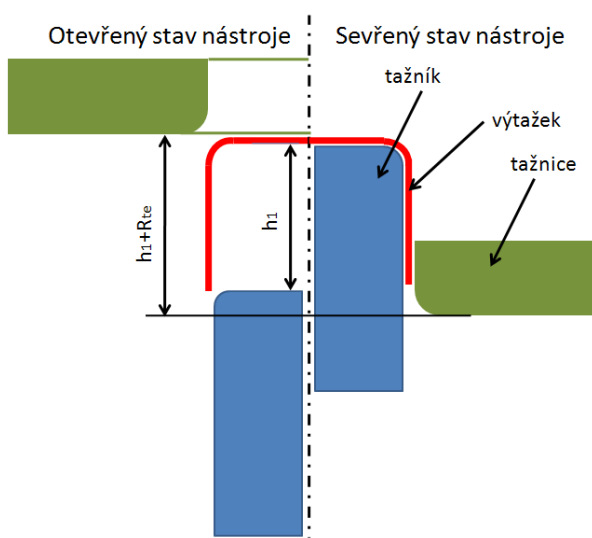
g) Tažná mezera určena dle vztahu (2.23)

Dle vztahu $z = (1,1 - 1,2) \cdot s_0$ pro poslední tah určí tažnou mezeru 1,2 mm.

h) Průměr tažnice a tažníku

Tolerance vnějšího průměru výlisku je 220_{-0}^{+1} , tažná mezera ($z = 0.2$) z tolerance ubírá 0,4 mm. Aby průměr výtažku byl na středu tolerance (bez uvažování pružení), musí mít tažník průměr 218,3 mm a tažnice 220,7 mm.

i) Velikosti zdvihů lisu



Obr. 4.2 Schéma nástroje pro zjištění zdvihů

Zdvih lisu (Z_L)

Potřebný zdvih lisu (Z_L) je dán dvojnásobnou výškou výtažku h_1 , velikostí tažného zaoblení tažnice R_{te} a prostorem pro manipulaci se zhotoveným výtažkem. Prostor pro manipulaci volím 40 mm.

$$Z_L = 2 \cdot h_1 + R_{te} + 40 = 2 \cdot 115 + 10 + 40 = 280 \text{ mm}$$

Zdvih přidržovače (Z_V)

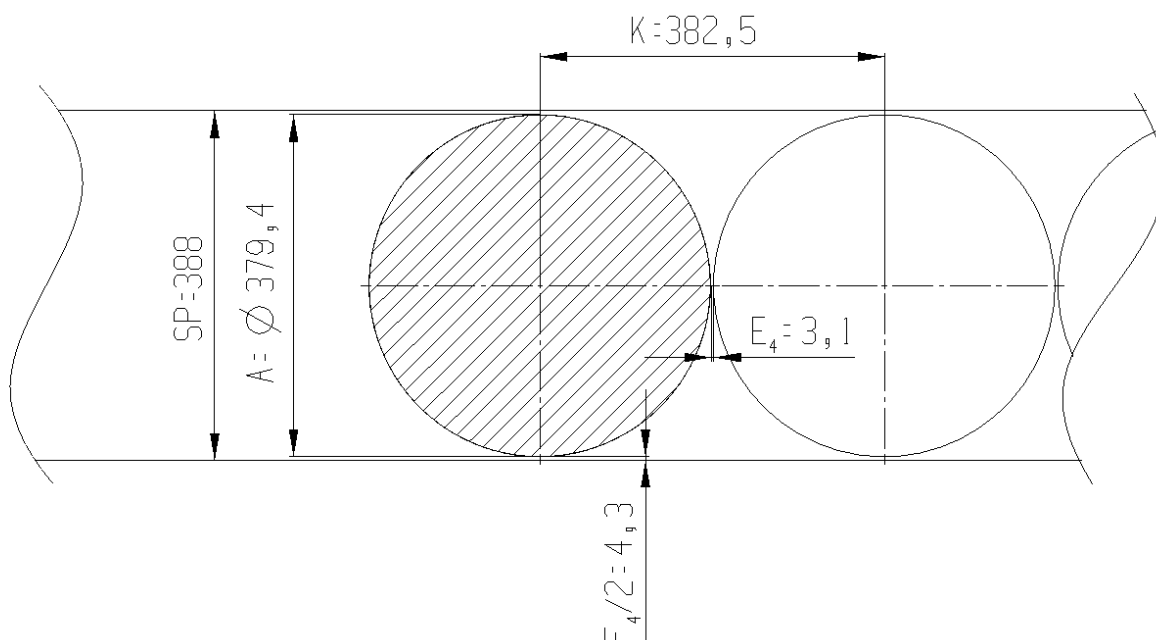
$$Z_V = h_1 + R_{te} = 115 + 10 = 125 \text{ mm}$$

Lisovací stroj musí disponovat zdvihem beranu minimálně 280 mm a zdvihem přidržovače minimálně 125 mm.

4.3 Technologické výpočty stříhání

a) Nástřihový plán [13]

Přepážky a můstky jsem stanovil dle přílohy č. 3



Obr. 4.3 Nástřihový plán

b) Výpočet střížných sil [9]

$$F_S = \tau_{ps} \cdot l \cdot s_0 \cdot n$$

$$\tau_{ps} = R_m \cdot 0,8$$

l – délka střížné hrany (mm)

n – okeficient otupení střížných hran 1,15 - 1,5

Střížná síla pro vystřížení rondelu

$$F_{S1} = \tau_{ps} \cdot l_3 \cdot s_0 \cdot n = R_m \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot D \cdot s_0 \cdot n = 350 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 379,4 \cdot 1 \cdot 1,3$$

$$= \underline{433\,858,9\,N}$$

Střížná síla pro vystřížení otvorů v čele výlisku

Celková délka střížné hrany vypočítána CAD aplikací UGS NX 4

$$F_{S1} = \tau_{ps} \cdot l_2 \cdot s_0 \cdot n = 350 \cdot 0,8 \cdot 2909,6 \cdot 1 \cdot 1,3 = \underline{1\,059\,094\,N}$$

Střížná síla pro vystřížení čtyř otvorů Ø7 mm

$$F_{S3} = \tau_{ps} \cdot l_3 \cdot s_0 \cdot n = R_m \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot D \cdot s_0 \cdot n \cdot 4 = 350 \cdot 0,8 \cdot \pi \cdot 7 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 4$$

$$= \underline{32\,019\,N}$$

c) Výpočet stíracích síl [11]

$$F_{st} = S_t \cdot C$$

kde C - součinitel, jeho hodnota závisí na tloušťce materiálu:

$$C = 0,02 \text{ až } 0,12 \text{ pro } s_0 < 1 \text{ mm},$$

$$C = 0,06 \text{ až } 0,16 \text{ pro } 1 \leq s_0 \leq 5 \text{ mm}$$

$$C = 0,08 \text{ až } 0,20 \text{ pro } s_0 > 5$$

Stírací síla po vystřižení rondelu

$$F_{st1} = S_{t1} \cdot C = 433\,858,9 \cdot 0,12 = \underline{52\,063\,N}$$

Stírací síla po vystřižení otvorů v čele výlisku

$$F_{st2} = S_{t2} \cdot C = 1\,059\,094 \cdot 0,12 = \underline{131\,411\,N}$$

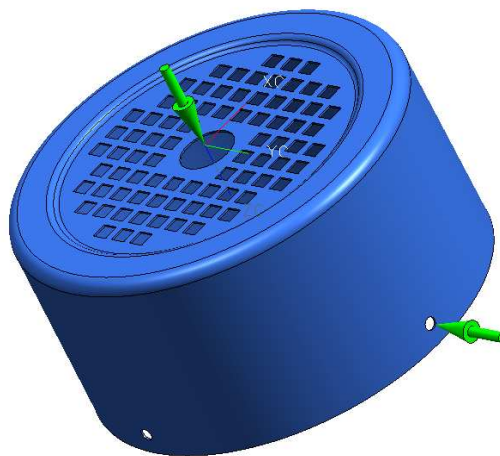
Stírací síla po vystřižení čtyř otvorů Ø7mm

$$F_{st3} = S_{t3} \cdot C = 32\,019 \cdot 0,12 = \underline{3\,842\,N}$$

4.4 Návrh postupu výroby

Pro zkrácení výrobních časů a tedy i snížení nákladů, je vhodné co nejvíce operací zhotovit v jednom nástroji. Toho lze dosáhnout konstrukcí nástrojů sloučených, sdružených a postupových. Ty jsou zpravidla složitější a finančně nákladnější než několik nástrojů jednoduchých. Je nutné prověřit, tam kde to není zřejmé, zda se zvýšený náklad do složitějšího nástroje včas amortizuje. Zvýšenou produktivitu a bezpečnost práce zaručuje automatizovaný provoz.

Pro vytažení tvaru stačí jedna operace. Výtažek se bude muset vždy vrátit nad tažnici, protože výroba mělkého prolisu ve dně krytu nedovoluje protažení skrz tažnici. Chladicí otvory jsou vyrobitelné technologií stříhaní v jednom kroku díky dostatečně silným můstkům mezi jednotlivými otvory. K operaci prostřihování otvorům dně je konstrukčně možné přiřadit prostřihování otvoru ve válcové části výtažku. Obrázek 4.4 znázorňuje směr stříhu. Ten je vhodný zejména proto, aby případný ořep po vystřižení otvorů byl na vnitřní straně krytu. Prostřihování všech otvorů současně také zaručí vždy správnou vzájemnou polohu otvorů.



Obr. 4.4 Šipky ukazují směr pohybu střížníků

Možné postupy výroby krytu elektromotoru

Varianta A

- operace 010: stříh přístřihu a tah ve sdruženém nástroji
- operace 020: vystřížení všech otvorů v jednom nástroji
- operace 030: zarovnání okraje na soustruhu

Varianta B

- operace 010: vystřížení přístřihu
- operace 020: tažný nástroj
- operace 030: vystřížení všech otvorů
- operace 040: zarovnání okraje na soustruhu

Varianta C

- operace 010: vystřížení přístřihu
- operace 020: nástroj pro tažení a nástroj pro vystřížení všech otvorů upnuty současně na jednom lise
- operace 030: zarovnání okraje na soustruhu

Varianta D

- operace 010: vystřížení přístřihu v samostatném nástroji
- operace 020: nástroj pro tažení, nástroj pro vystřížení všech otvorů a nástroj pro zarovnání okraje - nástroje upnuty současně na jednom lise

V praxi konstrukci nástrojů a postup výroby do značné míry ovlivňuje strojní vybavení lisoven. Série 100 000 kusů/rok je příliš malá na zřízení speciální linky. Vzhledem k zaměření práce na hluboké tažení, budu navrhopvat tažný nástroj pro variantu B.

5. STROJ

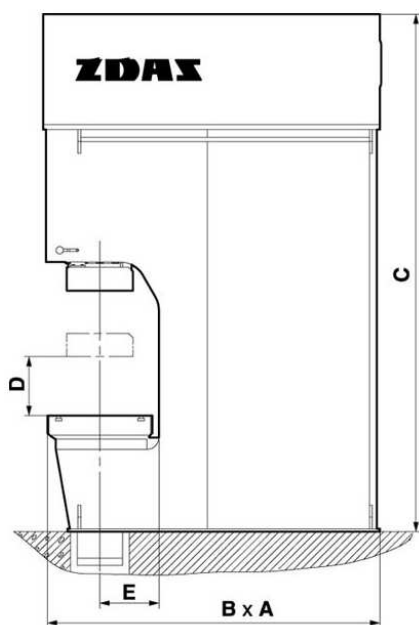
Vhodnost lisu v tomto případě určuje:

- jmenovitá síla lisu
- velikost zdvihu
- sevření
- rozměry stolu a beranu
- vybavení lisu:
 - o přidržovač
 - o vyhazovač

Podle výše uvedených výpočtů volím univerzální hydraulický lis CTC 250 výrobce ŽĐAS, a.s..

Popis výrobce

Lis 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, což je zvlášť výhodné pro samotnou obsluhu i pro přímou manipulaci s rozměrnými součástkami. Lisy CTC jsou 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 včetně nádrže je umístěn na stojanu lisu, kde dno pohonu tvoří olejotěsnou vanu. Řídicí systém zajišťuje ovládání lisu, jeho diagnostiku a signalizaci pro další spolupracující zařízení.



Obr. 5.1 Lis CTC 250 (výrobce ŽĐAS, a.s.)

Tabulka 5.1 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 vyhazovače		kN	100
Zdvih vyhazovače		mm	320
Síla spodního přidržovače		kN	1 000
Zdvih spodního přidržovače		mm	250
Výkon hlavního motoru		kW	25
Půdorys lisu	B x A	mm	900 x 2 300
Výška lisu	C	mm	3 300

6. KONSTRUKCE NÁSTROJE

Nástroj se skládá ze dvou částí - vrchní a spodní, které jsou naproti sobě vedeny vodícími sloupky/pouzdry (poz.16, 17). Obě části se na lis upínají upínkami za upínací a základovou desku (poz. 1 a 2). Obě části nástroje obsahují pohyblivý díl ovládaný lisem - přidržovač (poz. 6) a tažník (poz. 7), který zároveň slouží jako vyhazovač. Využití mechanismů lisu zjednodušuje nástroj a umožňuje díky řídicímu systému lisu synchronizovat jednotlivé pohyby lisu podle aktuálních požadavků. Velkou výhodou je nastavitelná síla přidržovače.

V sevřeném stavu nástroj měří 510 mm, z toho vyplývá, že na zdvih zbývá 340 mm, pro vykonání zdvihu nástroje ale stačí 280 mm. Zbytečně velký zdvih prodlužuje dobu potřebnou pro výrobu výtažku, proto je vhodné polohu beranu v horní úvratí omezit, v poloze postačující pro vyjmutí výtažku z prostoru nástroje. Při větším zdvihu než 280, by vodící sloupky vyjízděli z pouzder. Lis nemá pevnou spodní úvrat' a prolis na čele krytu přitom vyžaduje poměrně přesné seřízení. Z tohoto důvodu jsou na nástroji důležité dorazy (poz. 20).

Vodící sloupky jsou umístěny tak, aby nebránily obsluze při zakládání přístřihů. Pro tažníky, tažnici a přidržovač jsem navrhl materiál 19436.9. Pro úsporu nástrojového materiálu je tažník (poz. 3) osazen vložkou. Aby výtažek nezůstaly nalepené na tažníku (poz. 5) je opatřen třemi odlepovacími trny. Normalizované komponenty jsou od firmy MISUMI.

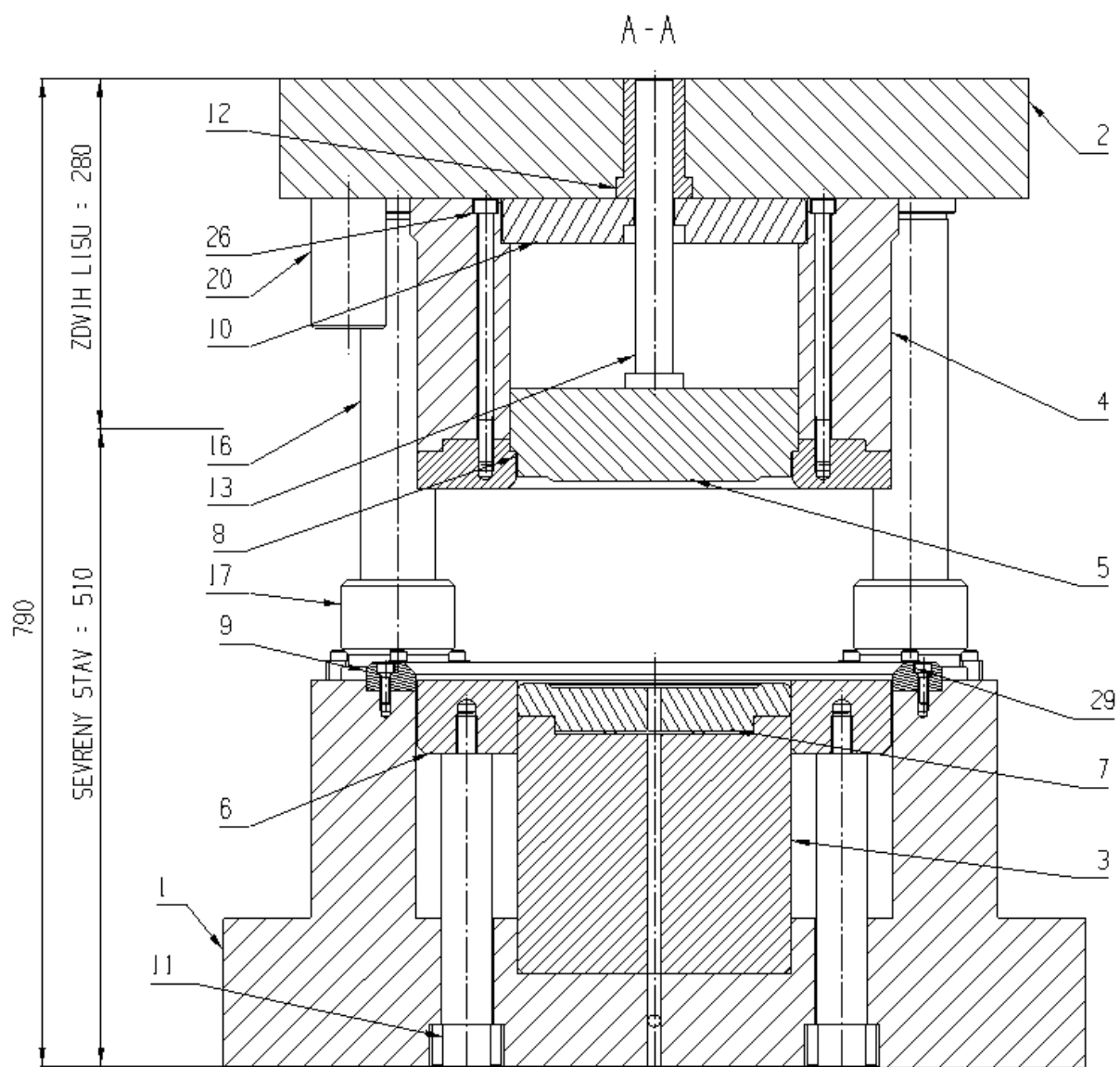
Popis funkce nástroje

Založení přístřihu a spuštění lisu

Pohyb beranu dolů - tažnice (poz. 8) se pohybuje proti tažníku_1 (poz.3) a zatlačuje přidržovač (poz.6) přes založený přístřih pod úroveň tažníku_1. Tím je přístřih vtahován do tažnice tažníkem_1 za stálého přidržování přidržovačem přítlačnou silou. V závěru tažení hlubokého tahu se tažník_2 (poz. 5) opře o opěrnou desku (poz.10) a vytvaruje prolis na čele výtažku.

Pohyb beranu nahoru - tažnice odlehčuje přidržovač a ten stírá výlisek z tažníku_1. Přidržovač se zastaví a tažnice s výtažkem se vzdaluje od spodní části nástroje. Těsně před dosažením hodní úvratě beranu tažník_2 vyhazuje výlisek z tažnice.

Obsluha odebere výtažek



Obr. 6.1 Tažný nástroj

7. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při kalkulaci výrobních nákladů budu uvažovat výrobní sérii 102 000 ks/rok po dobu 6 let. 2% připisuji na výrobní ztráty.

a) cena materiálu výlisku pro roční dávku

Počet svitků plechu

Hmotnost svitku:	2840 Kg
Hmotnost materiálu jednoho kroku:	$1 \cdot 388 \cdot 382,5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 1,165 \text{ kg}$
Počet rondelů z jednoho svitku:	$2840 \div 1,165 = 2437,7 = 2438 \text{ ks}$
Počet svitků:	$102\,000 \div 2437 = 41,85 = 42 \text{ ks}$
Hmotnost materiálu (m_m):	$42 \cdot 2840 = 119\,280 \text{ kg}$

Zhodnocení odpadu (Z_o)

Hmotnost výlisku:	0,814 kg (hodnota vypočítaná CAD aplikací UGS NX4)
Celková hmotnost výlisků:	$0,814 \cdot 102000 = 83\,028 \text{ kg}$
Celková hmotnost odpadu:	$119\,280 - 83\,028 = 36\,252 \text{ kg}$
<i>Odpadový materiál bude zhodnocen 3 Kč/kg</i>	
Zhodnocení odpadu:	$Z_o = 36\,252 \cdot 3 = 108\,756 \text{ Kč}$

Náklady na materiál

Cena mat. ve svitku $C_m = 25 \text{ Kč/kg}$

Náklady na pořízení materiálu:

$$N_m = m_m \cdot C_m = 119\,280 \cdot 25 = 2\,982\,000 \text{ Kč}$$

Náklady na materiál po odečtení zhodnoceného odpadu (N_{mc}):

$$N_{mc} = N_m - Z_o = 2\,982\,000 - 108\,756 = \underline{\underline{2\,873\,244 \text{ Kč}}}$$

b) náklady na mzdy za roční dávku (P_{mc})

operace 010 - stříhání rondelů (M_{z1})

přípravný čas:	0.5hod/směnu
kontrola:	0.5hod/směnu
výrobní čas:	$2400 \text{ ks/h} \cdot 6,5 = 15\,600 \text{ ks/směnu}$
Celkový čas na operaci:	$102\,000 \div 15\,600 = 6,5 \cong 7 \text{ směn} \cdot 7,5 = 52,5 \text{ hod.}$
Mzdové náklady:	$52,5 \cdot 120 = 6\,300 \text{ Kč}$

operace 020 - tažení (M_{z2})

Přípravný čas:	0.5 hod/směnu
Kontrola:	0.5 hod/směnu
Výrobní čas:	$240 \text{ ks/h} \cdot 6,5 = 1\,560 \text{ ks/směnu}$
Celkový čas na operaci:	$102\,000 \div 1\,560 = 65,3 \cong 66 \text{ směn} \cdot 7,5 = 495 \text{ hod.}$
Mzdové náklady:	$245,2 \cdot 120 = 59\,400 \text{ Kč}$

operace stříhání otvorů (M_{z3})

Přípravný čas:	0.5 hod/směnu
Kontrola:	0.5 hod/směnu
Výrobní čas:	$240 \text{ ks/h} \cdot 6,5 = 1\,560 \text{ ks/směnu}$
Celkový čas na operaci:	$102\,000 \div 1\,560 = 65,3 \cong 66 \text{ směn} \cdot 7,5 = 495 \text{ hod.}$
Mzdové náklady:	$245,2 \cdot 120 = 59\,400 \text{ Kč}$

operace zarovnání okraje (M_{z4})

Přípravný čas:	0.5 hod/směnu
Kontrola:	0.5 hod/směnu
Výrobní čas:	$180 \text{ ks/h} \cdot 6,5 = 1\,170 \text{ ks/směnu}$
Celkový čas na operaci:	$102\,000 \div 1\,170 = 87,2 \cong 87 \text{ směn} \cdot 7,5 = 653,8 \text{ hod.}$
Mzdové náklady:	$653,8 \cdot 120 = 78\,456 \text{ Kč}$

Celkové mzdové náklady:

$$M_C = M_{z1} + M_{z2} + M_{z3} + M_{z4} = 6\,300 + 59\,400 + 59\,400 + 78\,456 = 203\,556 \text{ Kč}$$

Zdravotní a sociální pojištění:

$$P_{sz} = M_C \cdot 0,34 = 203\,556 \cdot 0,34 = 69\,209 \text{ Kč}$$

Přímé mzdy celkem (P_{mc})

$$P_{mc} = M_C + P_{sz} = 203\,556 + 69\,209 = \underline{272\,765} \text{ Kč}$$

c) náklady na elektrickou energii (N_e)**operace 10 - stříhání rondelů (N_{e1})**

Příkon stroje:	$P = 8 \text{ kW}$
Výrobní čas:	$52,5 \text{ h}$
Cena energie:	$3,62 \text{ Kč/kWh}$
Cena energie na lisování:	$8 \cdot 52,5 \cdot 3,62 = 1\,520 \text{ Kč}$

operace 020 - tažení (N_{e2})

Příkon stroje:	$P = 25 \text{ kW}$
Výrobní čas:	495 h
Cena energie:	$3,62 \text{ Kč/kWh}$
Cena energie na lisování:	$25 \cdot 495 \cdot 3,62 = 44\,797,5 \text{ Kč}$

operace 030 - stříhání otvorů (N_{e3})

Příkon stroje:	$P = 8 \text{ kW}$
Výrobní čas:	495 h
Cena energie:	$3,62 \text{ Kč/kWh}$
Cena energie na lisování:	$8 \cdot 495 \cdot 3,62 = 14\,335 \text{ Kč}$

operace 040 - zarovnání okraje (N_{e4})

Příkon stroje:	$P = 5 \text{ kW}$
Výrobní čas:	$653,8 \text{ h}$
Cena energie:	$3,62 \text{ Kč/kWh}$
Cena energie na lisování:	$12 \cdot 390,5 \cdot 3,62 = 11\,833,8 \text{ Kč}$

$$N_e = N_{e1} + N_{e2} + N_{e3} + N_{e4} = 1\,520 + 44\,797,5 + 14\,335 + 11\,833,8 = \underline{72\,485 \text{ Kč}}$$

d) Náklady za nástroje (N_n)

Nástroj pro operaci 010:	390 000 Kč
Nástroj pro operaci 020:	550 000 Kč
Nástroj pro operaci 030:	460 000 Kč
Přípravek pro operaci 040:	<u>35 000 Kč</u>
Za nástroje celkem (N_{nc}):	1 435 000 Kč

Nástroje pro operaci 010 – 030 náleží do odpisové skupiny 2, doba jejich odepisování je 5 let. Dle sazby pro rovnoměrné odepisování jsou celkové odpisy nástrojů v 1. roce 154 000,- Kč, v letech následujících 311 500,- Kč. Náklad na pořízení přípravku pro operaci 040 bude zahrnut do nákladů v 1. roce.

Rozpočítání nákladů:	1. rok	189 000,- Kč
	2. - 5. rok	311 500,- Kč

Pro přehlednost a zjednodušení výpočtu budou náklady na pořízení nástroje započítány jako 1/6 pořizovacích nákladů (při předpokladu požadavku zákazníka na celkový objem výroby 600 000 ks v průběhu šesti let) namísto výše uvedených daňových odpisů.

$$\text{Náklady za nástroje} - \text{přepočet na jeden rok: } N_n = N_{nc} / 6 = 239\,166,70 \text{ Kč}$$

e) Výrobní režie (V_r) – zahrnuje náklady na opravy a údržbu nástrojů, na energie (osvětlení pracovišť, vytápění, ventilaci), mzdy mistrů a seřizovačů, spotřebovaný režijní materiál,... Náklady na investice do výrobních prostor nejsou zahrnuty, výroba bude probíhat ve výrobních prostorech, které jsou vlastním, již odepsaným majetkem výrobce.

$$V_r = \underline{384\,840 \text{ Kč}}$$

f) Správní režie (S_r) – zahrnuje náklady na mzdy (THP pracovníků, managementu), další související náklady na energie, telefon,... $S_r = 102\,624 \text{ Kč}$

g) Zásobovací režie (Z_r) – zahrnuje náklady na dopravu, manipulaci, skladování, režijní mzdu pracovníka pro manipulaci,... $Z_r = 17\,103,80 \text{ Kč}$

h) Odbytová režie (O_r) – zahrnuje náklady balení, expedici výrobků, náklady na mzdy pracovníka odbytu $O_r = 8\,552 \text{ Kč}$

Vlastní náklady výroby (V_n)

$$V_n = N_{mc} + P_{mc} + N_e + N_n + V_r = 2\,873\,244 + 272\,769 + 72\,458 + 384\,840 + 239\,166 = \underline{3\,842\,477 \text{ Kč}}$$

Vlastní náklady výkonu (V_{nv})

$$V_{nv} = V_n + S_r + Z_r = 3\,842\,477 + 102\,624 + 17\,103,80 = \underline{3\,962\,204 \text{ Kč}}$$

Úplné vlastní náklady výkonu (U_{vnv})

$$U_{pnv} = V_{nv} + O_r = 3\,962\,204 + 8\,552 \text{ Kč} = \underline{3\,970\,756 \text{ Kč}}$$

Uvažovaný zisk (Z_z) ve výši 15%

$$Z_z = U_{vnv} \times 0,15 = 3\,970\,756 \text{ Kč} \times 0,15 = \underline{595\,613,4 \text{ Kč}}$$

Náklady na jeden výlisků (N_{jv})

$$N_{jv} = U_{vnv} / 100\,000 = 3\,970\,756 / 100\,000 = \underline{39,71 \text{ Kč}}$$

Zisk vztažený na jeden výlisků (Z_{jv})

$$Z_{jv} = Z / 100\,000 = 595\,613,4 / 100\,000 = \underline{5,96 \text{ Kč}}$$

Cena jednoho výlisku (C_{jv})

$$C_{jv} = N_{jv} + Z_{jv} = 39,71 + 5,96 = \underline{45,67 \text{ Kč}}$$

Cena jednoho výlisku + 19% DPH

$$C_c = 45,67 \cdot 1,19 = \underline{54,34 \text{ Kč}}$$

8. ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se zabýval návrhem technologie výroby krytu elektromotoru technologií plošného tváření. Práce je zaměřena na technologii hlubokého tažení.

Poznatky získané při vypracování literární studie jsem uplatnil při návrhu postupu výroby, výběru stroje a konstrukci tažného nástroje. V práci je zaznamenán celý cyklus návrhu od výběru vhodných technologií až po ekonomické zhodnocení výrobního postupu.

Při výběru vhodných technologií výroby jsem vycházel z tvaru, tolerancí rozměrů, druhu materiálu a sériovosti zadané součásti. Mojí snahou bylo vybrat ty nejefektivnější výrobní metody, kterými se staly technologie stříhání a tažení. Pro tyto technologie jsem provedl technologické výpočty a následně navrhl několik možností postupů výroby. V praxi optimální výrobní postup je závislý na strojním vybavení, výrobních kapacitách jednotlivých strojů a především na ekonomických kalkulacích. Na základě těchto aspektů je možné ten nejefektivnější výrobní postup pro daný provoz zvolit. Pro řešení bakalářské práce jsem jeden výrobní postup zvolil a vypracoval k němu ekonomické zhodnocení, jejímž výstupem je cena za jeden výrobek. Vzhledem k zaměření práce jsem navrhl tažný nástroj pro hydraulický lis CTC 250 (ŽĐAS a.s.). Při konstrukci nástroje jsem vycházel z technické specifikace lisu a technologických výpočtů. Výsledkem je tažidlo s přidržovačem. Součástí této práce je popis funkce, výkres sestavy, kusovník a výrobní výkresy dvou dílů tažného nástroje.

Seznam použitých zdrojů

- [1] TIŠNOVSKÝ, Miroslav, MÁDLE, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.
- [2] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [3] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření : plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [4] ČADA, Radek. *TVAŘITELNOS MATERIÁLU A NEKONVENČNÍ METODY TVÁŘENÍ, PLOŠNÁ TVAŘITELNOST : (návody do cvičení)*. 1. vyd. Ostrava : VŠB, 2002. 149 s. ISBN 80-248-0019-5.
- [5] ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
- [6] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
- [7] WILLIAM , HOSFORD, ROBERT , CADDELL. *METAL FORMING : Mechanics and Metallurgy*. 1st edition. Cambridge : Cambridge University Press, 2007. 328 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
- [8] Schuler. *Metal forming handbook*. A. Taylan. 1st edition. Berlin : Springer, 1998. 563 s. ISBN 3540611851.
- [9] VÁVRA, Pavel, ŘASA, Jaroslav, LEIVEBER, Jan. *Strojnické tabulky*. 1. vyd. Praha : SCIENTIA, 1999. 987 s.
- [10] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení : část tvářecí stroje*. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2002. 27 s.
- [11] ŘASA, Jaroslav, HANĚK, Václav, KAFKA, Jindřih. *Strijírenska technologie 4*. 1. vyd. Praha : SCIENTIA, 2003. 505 s. Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel, Zásady montáže. BAREŠ, K. a kol.: *LISOVÁNÍ*. 1. vyd., Praha, SNTL, 1971, 543 s.
- [12] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [13] BAREŠ, K. a kol. *Lisování*. 1. vyd., Praha, SNTL, 1971, 543 s.
- [14] *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003 [cit. 2009-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/>>.
- [15] *Techtnický týdeník* [online]. 2008 [cit. 2009-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.techtydenik.cz/>>.
- [16] *SANWA PACKING INDUSTRY CO.,LTD* [online]. 2009 [cit. 2009-05-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.sanwa-packing.co.jp/>>.

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	tažnost	[%]
A ₈₀	tažnost při počáteční měřené délce zkušební tyče 80 mm	[%]
C	součinitel zaplnění diagramu	[-]
c	konstanta závislá na druhu použitého materiálu	[-]
C _c	cena za výlisek z DPH	[Kč]
C _{jv}	cena jednoho výlisku	[Kč]
C _m	cena za kg materiálu	[Kč]
D	průměr přístřihu	[mm]
d	průměr výtažku	[mm]
d _s	střední průměr výtažku	[mm]
F	síla na utržení dna	[N]
F _C	tažná síla se silou přidržovače	[N]
F _{st}	stírací síla	[N]
F _t	tažná síla	[N]
F _{to}	síla na utržení dna s ohledem na D/d	[N]
F _p	přidržovací síla	[N]
h	výška výtažku	[mm]
h ₁	výška výtažku po prvním tahu	[mm]
k _p	součinitel použití přidržovače	[-]
l	délka střížné hrany	[mm]
m	součinitel tažení	[-]
m _m	hmotnost materiálu	[kg]
N _e	náklady na energii	[Kč]
N _{jv}	Náklady na jeden výlisek	[Kč]
N _n	náklady na nástroje na jeden rok	[Kč]
N _m	náklady na materiál	[Kč]
N _{nc}	náklady na nástroje celkem	[Kč]
N _{mc}	náklady na materiál celkem	[Kč]
n	opotřebení střížných hran	[-]
O _r	odbytová režie	[Kč]
T	teplota	[°C]
T _t	teplota tavení	[°C]
P _{mc}	náklady na mzdy	[Kč]
p	tlak přidržovače	[MPa]
R	redukce průměru výtažku	[-]
R _m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R _{p02}	smluvní mez kluzu	[MPa]
R _{te}	poloměr zaoblení tažnice	[mm]
R _{tu}	poloměr zaoblení tažníku	[mm]
S	plocha přidržovače	[mm ²]
S _r	správní režie	[Kč]
s ₀	výchozí tloušťka plechu	[mm]
U _{vnn}	úplné vlastní náklady výkonu	[Kč]
V _n	vlastní náklady výroby	[Kč]

V_{nv}	vlastní náklady výkonu	[Kč]
V_r	výrobní režie	[Kč]
W	práce	[N]
Z	materiálová konstanta (součinitele použití přidržovače)	[-]
z	tažná vůle	[mm]
Z_{jv}	Zisk vztažený na jeden výlisků	[Kč]
Z_L	zdvih lisu	[mm]
Z_o	zhodnocení odpadu	[Kč]
Z_r	zásobovací režie	[Kč]
Z_v	zdvih přidržovače	[mm]
Z_z	zisk	[Kč]
α	úhel ohybu opásání plechu na tažné hraně	[°]
ε	poměrná deformace	[-]
μ	součinitel tření	[-]
σ_0	napětí vyvolané ohybem přístřihu	[MPa]
σ_{tr}	napětí vyvolané od tlaku přidržovače na zesilující se okraj přístřihu	[MPa]
σ_v	výsledné tahové napětí	[MPa]
σ_1	radiální tahové napětí, které vzniká v oblasti příruby	[MPa]
τ_{ps}	$R_m \cdot 0,8$	[MPa]
φ	logaritmické přetvoření	[-]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	napětí	[MPa]
n_{90}, n_{45}, n_0	exponent deformačního zpevnění vůči směru válcování	[-]
r_{90}, r_{45}, r_0	součinitel plastické deformace vůči směru válcování	[-]
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	logaritmické přetvoření	[-]

Seznam příloh:

Příloha č. 1: Tabulka pro stanovení optimálních redukci

Příloha č. 2: Doporučené velikosti tlaků přidržovače

Příloha č. 3: Tabulka pro stanovení okrajů a přepážek nástřihového pásu

Výkres KRYT ELEKTROMOTORU

2D sestava TAŽNÝ NÁSTROJ

Kusovník TAŽNÝ NÁSTROJ

Výrobní výkres TĚLESO TAŽNÍKU

Výrobní výkres VLOŽKA TAŽNÍKU

Příloha č. 1

Tabulka pro stanovení optimálních redukci

Tažený materiál a jeho tloušťka (mm)	Redukce původního průměru (%)							
	1. tah		2. tah		3. tah		4. tah	
	běž.	max.	běž.	max.	běž.	max.	běž.	max.
plechy ocelové								
do 1,6	40	47	20	25	18	20	16	18
od 1,6 do 3,2	40	47	15	18	14	15	13	14
od 3,2 do 4,8	40	47	12	15	11	12	10	11
od 4,8 do 6,4	40	47	10	12,5	9	10	8	9
přes 6,4	40	47	8	10	7	8	6	7
plechy z mědi a jejích slitin								
do 1,6	44	50	24	30	22	24	20	22
od 1,6 do 3,2	44	50	18	24	16	18	14	16
od 3,2 do 4,8	44	50	15	18	14	15	13	14
od 4,8 do 6,4	44	50	12	15	11	12	10	11
přes 6,4	44	50	10	12	9	10	8	9
plechy hliníkové								
do 1,6	40	42	20	25	18	20	16	18
od 1,6 do 3,2	40	42	15	18	14	15	13	14
od 3,2 do 4,8	40	42	12	15	11	12	10	11
od 4,8 do 6,4	40	42	10	12,5	9	10	8	9
přes 6,4	40	42	8	10	7	8	6	7

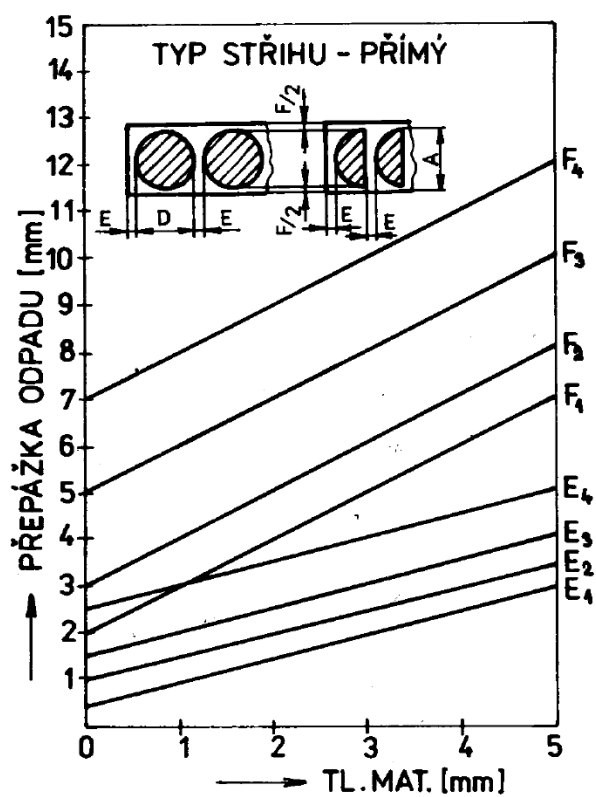
Příloha č. 2

Doporučené velikosti tlaků přidržovače

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

Příloha č. 3

Tabulka pro stanovení okrajů a přepážek nástřihového pásu



PRO DÉLKU HRANY A NEBO PRŮMĚR D : $E_1 F_1 = \text{DO } 15 \text{ mm}$ $E_3 F_3 = 50 \div 100 \text{ mm}$
 $E_2 F_2 = 15 \div 50 \text{ mm}$ $E_4 F_4 = \text{PŘES } 100 \text{ mm}$