



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TVÁŘECÍHO NÁSTROJE PRO VÝROBU VÍKA

DESIGN OF FORMING TOOL PRODUCTION OF COVER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR BĚHAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MILAN DVOŘÁK, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Běhal

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:

Návrh tvářecího nástroje pro výrobu víka

v anglickém jazyce:

Design of forming tool for production of cover

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Možnosti technologie tváření ke zhotovení zadané součásti z ocelového plechu.

Po výběru technologie, včetně ekonomického rozboru, navrhnout tvářecí nástroj pro roční produkci 100 000 kusů.

Cíle bakalářské práce:

Návrh tvářecího nástroje s ohledem na zadané vyráběné množství součástí.

Seznam odborné literatury:

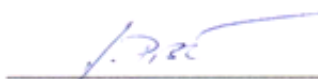
1. BAČA, Jozef; BÍLIK, Jozef; TITTEL, Viktor. Technológia tvárnenia. 1.vyd. Bratislava : STU, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
2. BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. 1.st. ed. New York: Industrial Press. 2004. 219p. ISBN 0-8311-3182-9.
3. FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

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

V Brně, dne 26.10.2010

L.S.



prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu





prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Abstrakt

Bakalářská práce předkládá návrh tvářecího nástroje pro výrobu víka. Víko je vyrobeno z hlubokotažného pozinkovaného ocelového plechu DC05 + ZE 25/25 v počtu 100 000 ks za rok. Postup výroby je řešen postupovým tažením z pásu plechu. Výsledkem práce je výkresová dokumentace postupového sdruženého tvářecího nástroje.

Abstract

The Bachelor work presents the project of shanking tool for cover producing . The cover is made from deep drawing zinc-coated steel sheet DC05 + ZE 25/25 numbering about 100 000pc per year. Procedure of production is solved by sequence drawing from strap. The result is design documentation of sequence combined shanking tool.

Bibliografická citace

BĚHAL, P. *Návrh tvářecího nástroje pro výrobu víka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 37 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

Prohlášení autora

Tímto prohlašuji, že bakalářskou práci na téma návrh tvářecího nástroje pro výrobu víka jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené odborné literatury a pramenů, pod odborným vedením vedoucího práce.

Datum: 27. 05. 2011

.....

Petr Běhal

Poděkování

Děkuji tímto zaměstnanci FSI VUT Brno doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Obsah

| | |
|--|----|
| Abstrakt | 4 |
| Bibliografická citace | 5 |
| Prohlášení autora | 6 |
| Poděkování | 7 |
| Obsah | 8 |
| Úvod | 9 |
| 1 Popis součásti | 10 |
| 2 Materiál | 10 |
| 3 Tažení součásti z pásu | 11 |
| 3.1 Analýza tažení kuželového výtažku | 11 |
| 3.2 Procesní parametry tažení | 11 |
| 3.3 Analýza střížného procesu | 13 |
| 3.4 Procesní parametry při stříhání | 15 |
| 4 Vybrané parametry technologie výroby | 17 |
| 4.1 Stanovení rozměrů výchozího polotovaru výtažku | 17 |
| 4.2 Stanovení počtu tahů při tažení | 19 |
| 4.3 Tažení pásu s nástřihem | 20 |
| 5 Technologické výpočty nástroje | 22 |
| 5.1 Krok 1 | 22 |
| 5.2 Krok 2 | 24 |
| 5.3 Krok 3 | 25 |
| 5.4 Krok 4 | 26 |
| 5.5 Stanovení těžiště nástroje | 28 |
| 6 Popis nástroje | 28 |
| 7 Návrh lisu | 29 |
| 8 Ekonomické hodnocení | 29 |
| 9 Závěr | 31 |
| Seznam použitých podkladů | |
| Seznam použitých zkratk a symbolů | |
| Seznam příloh | |

Úvod

Cílem bakalářské práce je návrh tvářecího nástroje pro sériovou výrobu víka. Technologie tváření je progresivní beztržiskovou technologií. Člení se na plošné tváření a objemové tváření. Plošné tváření se zabývá tvářením plechů stříháním, tažením, ohýbáním, rovnáním, lemováním.

Výhodou technologie tváření je ekonomická rentabilita výroby součástí z možností úspory materiálu a energie. Rentabilita výroby vychází z možnosti použití postupových sdružených nástrojů při výrobě součástí. Tyto nástroje se vyznačují možností použití více technologických operací v jednom nástroji.

V současné době se technologie tváření rozvíjí směrem k zdokonalování stávajících technologických postupů a vývojem nových netradičních výrobních postupů. Technologie tváření se uplatňuje zpravidla v sériové a hromadné výrobě.

Na tváření materiálu má vliv plasticita kovů. Plasticita kovů vychází ze struktury složení kovů, které krystalizují v krystalových mřížkách. Atomy kovů jsou v těchto krystalových mřížkách pravidelně geometricky uspořádány. Každý kov je složen z krystalových buněk a tyto krystalové buňky vytváří krystalovou mřížku.

Pro jednotlivé kovy jsou typické určité krystalové mřížky. Tyto mřížky mohou být různé dle druhu materiálu. Většina technických kovů krystalizuje v soustavě krychlové nebo šesterečné. V krychlové prostorově středěné mřížce krystalizuje železo, chrom a další kovy. V šesterečné mřížce krystalizuje například hořčík, zinek, titan. U technických kovů mřížka obsahuje velké množství poruch různých typů.

Mezi tyto poruchy řadíme bodové poruchy, čárové poruchy, plošné poruchy a prostorové poruchy. Bodové poruchy se dále dělí na vakance, intersticie, substituce. Vakance vznikají neobsazením místa v krystalové mřížce, intersticie vkládá cizí atom v do mřížkové polohy, substituce nahrazuje atom v krystalové mřížce. Čárové poruchy jsou dislokace, které se v krystalickém materiálu pohybují skluzem nebo difúzí. Skluz atomových rovin v krystalové mřížce je zásadním faktorem při plastickém přetvoření kovů. Difuze se projevuje šplháním vakancí a intersticií. Dislokace svým pohybem vytváří napětí v tvářeném materiálu, které je důsledkem působení tvářecí síly.

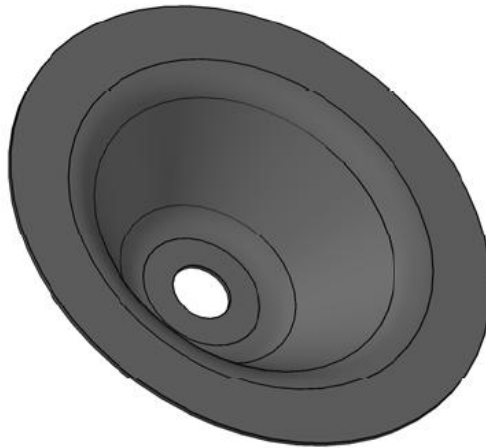
Tvářecí síla způsobuje deformace tvářeného materiálu. Každou trvalou (plastickou) deformaci předchází deformace pružná (elastická). Elastická deformace je charakteristická tím, že po odlehčení materiálu se materiál vrátí do původní polohy. Plastická deformace je naopak charakteristická tím, že po odlehčení materiálu se materiál nevrátí do původní polohy před zatížením. Plastická deformace při tváření probíhá za podmínek zpevňování.

Důvodem zpevnění je nahromadění dislokací a zmenšení jejich pohyblivosti. Toto nahromadění dislokací vychází z toho, že některé dislokace znehybní a způsobí vnitřní pnutí, které zablokuje ostatní dislokace. Deformační zpevnění se projevuje zvýšením meze kluzu a pevnosti, zmenšením tažnosti a vrubové houževnatosti. Dále se také zhoršuje tepelná a elektrická vodivost, mění se magnetické vlastnosti.

Odstranění příčin deformačního zpevnění je závislé na teplotě a čase a provádí se mezioperačním žíháním. Důvodem k odstranění zpevnění je vyčerpání plasticity kovu. Používá se u hlubokého tažení na více operací, zařazením např. po 2 respektive 3 operaci a u objemového tváření u složitých součásti.

1 Popis součásti

Víko je vyrobeno z ocelového hlubokotažného pozinkovaného plechu pro použití v automobilovém průmyslu. Funkcí víka je zaslepení otvoru v karosérii automobilu. Na víko nejsou kladeny žádné specifické pevnostní požadavky. Roční produkce výrobku bude 100 000 kusů za rok.



Obr. 1.1 Zadaná součást víko

Víko se vyrobí na postupovém sduženém nástroji, který bude táhnout výtazek a současně stříhat otvory v jedné operaci z pásu hlubokotažného plechu.

2 Materiál

Materiál součásti je hlubokotažný pozinkovaný ocelový plech označený DC05 + ZE25/25 dle ČSN EN 10152. Ocel je nelegovaná s číselným označením 1.0312 a jakostí povrchu A. Norma dále udává nepřítomnost deformačních čar podobu 6 měsíců. Parametry materiálu uvádí tabulka 1.1.

Tab. 2.1 Chemické složení a mechanické vlastnosti plechu¹¹

| R_e | R_m | A_{80} | r_{90} | n_{90} | Chemické složení pro rozbor tavby | | | |
|---------|---------|----------|----------|----------|-----------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| MPa | MPa | min % | min | min | C max % | P max % | S max % | Mn max % |
| 140/180 | 270/330 | 40 | 1,9 | 0,200 | 0,06 | 0,025 | 0,025 | 0,35 |

Mezi parametry patří^{6,9}:

- mez kluzu R_e (resp. Smluvní mez kluzu $R_p0,2$) – toto kritické napětí σ_t v diagramu tahové zkoušky vyjadřuje přechod materiálu s pružného do plastického stavu,
- smluvní mez pevnosti R_m – vyjadřuje poměr mezi maximální silou před porušením zkušební tyče a výchozí plochou průřezu zkušební tyče,
- tažnost A_{80} – je plastické prodloužení v % při největším zatížení zkušební tyče,
- součinitel plastické anizotropie r_{90} – poměr skutečné plastické deformace šířky ke skutečné plastické deformaci tloušťky zkušební tělesa vystaveného jednoosému tahovému napětí,

- exponent deformačního zpevnění n_{90} – zkušební těleso se podrobí jednoosé tahové deformaci předepsanou konstantní rychlostí v oblasti homogenní plastické deformace. Exponent n se vypočítá tak, že se buď uvažuje část křivky napětí deformace v plastické oblasti, nebo celá oblast homogenní plastické deformace.

Zinkový povlak je nanášen elektrolyticky z obou stran plechu. Šířka vrstvy povlaku je $25\mu\text{m}$.

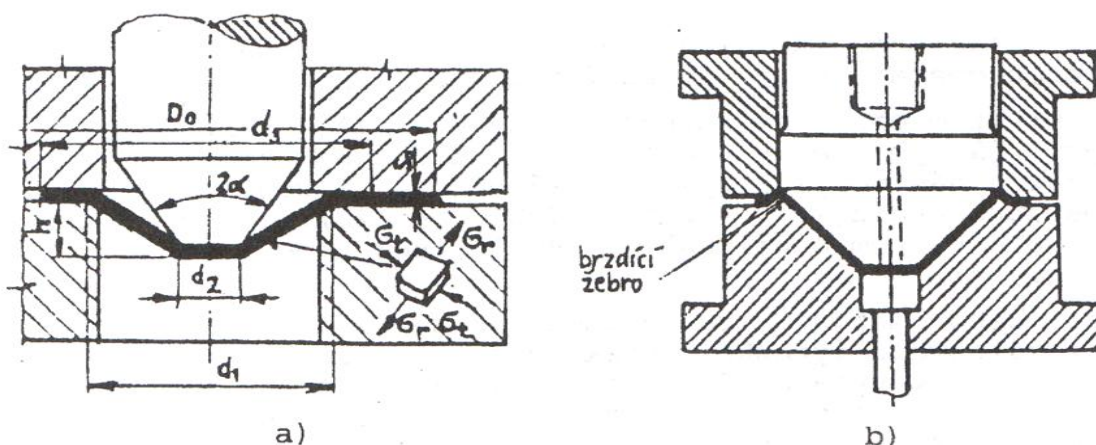
3 Tažení součásti z pásu

Tažení je proces, při kterém z pásu plechu v jednom nebo několika tazích vyrobí duté těleso, které se z pásu vystříhne. Rozlišují se dva způsoby tažení v pásu bez nástřihu a tažení v pásu s technologickým nástřihem nebo výstřihem.

3.1 Analýza tažení kuželového výtažku

Kuželové výtažky se zhotovují hůře v porovnání s válcovými výtažky. Hlavní problém je v tom, že polotovar má zvětšený sklon k tvoření vln a záhybů a proto v daném případě záleží na podmínkách při tváření ve zvětšení radiálních a zmenšení tangenciálních tlakových napětí. Dále ve zvýšení pevnosti kovu v nebezpečném průřezu⁸.

Ze schémata tažení (obr. 2.1a) je vidět velkou nepřidržovanou plochu přístřihu, vymezenou mezikružím průměrů d_1 a d_2 . V průběhu tažení může vzniknout v této ploše zvlnění v radiálním směru. Toto zvlnění je vyvoláno působením tangenciálních tlakových napětí σ_t . Snížením σ_t se dosáhne konstrukční úpravou např. vytvořením brzdícího žebra na tažnici (obr. 2.1b)⁸.



Obr. 3.1 Tažení mělkých kuželových výtažků⁸

U kuželového tvaru je značné ztenčení stěny u zaoblení dna dosahuje dle Romanovského cca 27 % a zesílení příruby dochází až o 10 %.

3.2 Procesní parametry tažení

Mezi procesní parametry při tažení patří tažná síla, síla přidržovače, tažná práce. Procesní parametry se určí pro tažení s přidržovačem bez ztenčení stěny. Na základě těchto parametrů se určí velikost lisu.

Tažná síla

Na velikost tažné síly má vliv radiální tahové napětí, které se mění v závislosti na poloměru tažnice, na přirozeném přetvárném odporu, na složce napětí od tření mezi přidržovačem, na napětí vyjadřující odpor proti ohybu na tažné hraně tažnice. Deformační odpor σ_d při tažení v první operaci je vyjádřen vzorcem¹:

$$\sigma_d = (\sigma_1 + \sigma_t) \cdot e^{\mu \frac{\pi}{2}} + \sigma_o \quad (3.1)$$

kde: σ_1 – odpor proti ideální deformaci při tažení bez zřetele na ztráty třením a na ohyb (radiální napětí) [MPa],
 σ_t – napětí vyvolané třením od tlaku přidržovače [MPa],
 σ_o – napětí vyvolané ohybem přístřihu na zaoblené hraně tažnice [MPa],
 $e^{\mu \frac{\pi}{2}}$ – součinitel vyjadřující vliv tření na zaoblené hraně tažnice.

Teoretickým způsobem stanovení tažné síly s využitím smykových kluzných čar se zabývali také např. G. Sachs, L. A. Šofman, B. P. Zvorono, V. S. Nėdorezov.

Praktické vzorce vychází z předpokladu, že dovolené napětí nebezpečného průřezu musí být menší na mezi pevnosti R_m taženého materiálu. V tomto smyslu je i skutečná tažná síla menší než maximální tažná síla $F_t < F_{max}$, při které dochází k porušení stěny výtazku. Tažná síla je uváděna pro tažení s přidržovačem¹:

$$F_t = \pi \cdot t \cdot d_k \cdot k_p \cdot R_m \text{ [N]} \quad (3.2)$$

kde: F_t – tažná síla [N]
 k_p – součinitele tažení válcových součástí s širokou přírubou je uveden v tabulce č.1 v příloze č.1
 d_k – menší průměr kuželovité součásti [mm]
 t – výchozí tloušťka plechu [mm]
 R_m – mez pevnosti v tahu [MPa]

Síla přidřovače

Síla přidřovače je závislá na tlaku přidřovače a ploše přidřovače. Plocha přidřovače je přidřovaná plocha příruby na začátku tažení v určeném tahu tažení. Sílu přidřovače lze počítat dle vztahu (3.2)⁸.

$$F_p = p_p \cdot S_p \text{ [N]} \quad (3.3)$$

kde: F_p – síla přidřovače [N]
 S_p – Plocha přidřovače [mm²]
 p_p – tlak přidřovače [MPa]

Tlak přidřovače má různou velikost podle druhu taženého materiálu, tloušťky plechu a stupni tažení. Podle Siebela se tlak přidřovače pro první tah stanoví dle (3.4) a podle Šofmana se v druhém tahu tlak přidřovače zjistí dle (3.5)⁹.

dle Siebela:

$$p_p = 0,0025 \cdot \left[(K - 1) + \frac{0,5 \cdot d}{100 \cdot t} \right] \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (3.4)$$

kde: K – stupeň tažení

dle Šofmana:

$$p_p = 0,02 \cdot \frac{K-1}{t} \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (3.5)$$

Pro tenké plechy lze přibližně volit přidržovací tlak $p_p = (0,005 \div 0,01)R_m$, anebo se může volit dle tab. 3.2.

Tab. 3.1 Hodnoty tlaku přidržovače p_p [MPa] pro různé materiály⁹

| materiál | hlubokotažná ocel | hliník | měď | mosaz |
|-------------|-------------------|------------|------------|------------|
| p_p [MPa] | 2,0 až 3,0 | 0,8 až 1,2 | 1,2 až 1,8 | 1,5 až 2,0 |

Celková tažná síla

Celková tažná síla při tažení s přidržovačem je součtem tažné síly a síly přidržovače⁹.

$$F_c = F_t + F_p \text{ [N]} \quad (3.6)$$

Tažná práce

Celková tažná práce A_c při tažení s přidržovačem je součet tažné práce a tažné práce přidržovače⁹.

$$A_c = A_t + A_p \text{ [J]} \quad (3.7)$$

kde: A_t – tažná práce [J]
 A_p – práce přidržovače [J]

Tažná práce A_t se zjistí podle vzorce (3.8)

$$A_t = F_t \cdot h \cdot \psi \text{ [J]} \quad (3.8)$$

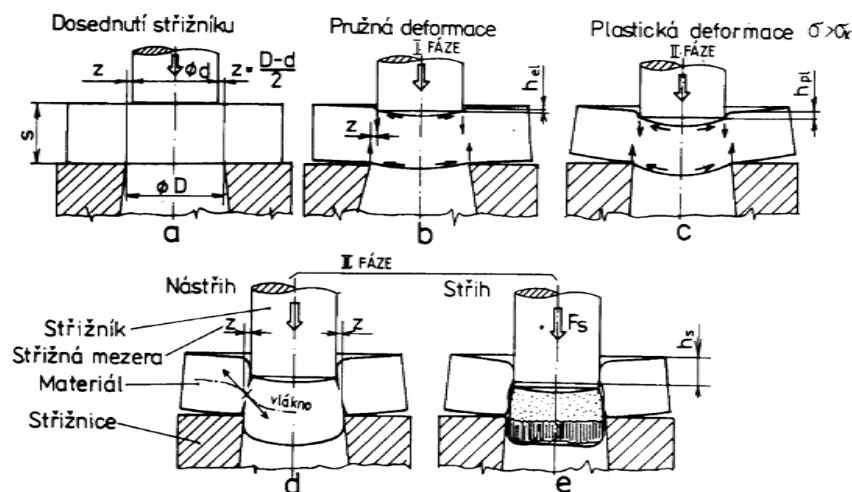
kde: h – výtažku po určitém tahu [mm]
 $\psi = 0,6 \div 0,8$ – součinitel plnosti z diagramu

Práce přidržovače se stanoví dle vzorce (3.9).

$$A_p = F_p \cdot h \cdot \psi \text{ [J]} \quad (3.9)$$

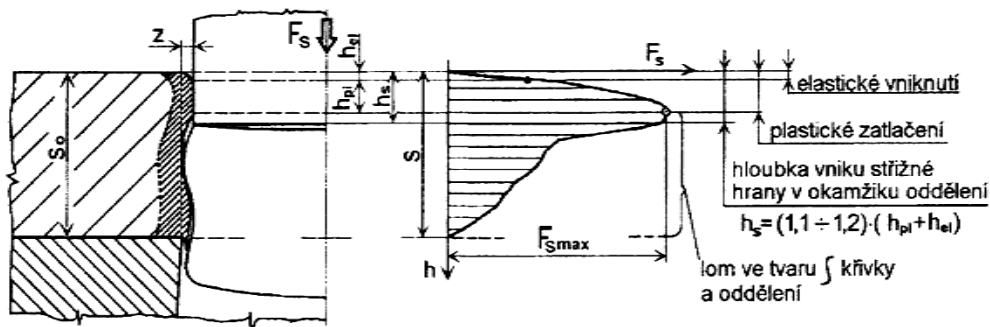
3.3 Analýza střížného procesu

Stříhání je základní operací dělení materiálu, která nesplňuje základní definici tváření, protože je u kovů zakončena porušením-lomem v ohnisku deformace. Plastická deformace je zde nežádoucím jevem. Stříhání je definované jako postupné oddělování materiálu podél křivky stříhu, vytvořené relativním pohybem dvou břitů. Tyto břity vytváří střížné-smykové napětí. Dle obr. 2.1 má proces stříhání tři základní fáze⁶.



Obr. 3.2 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí⁶

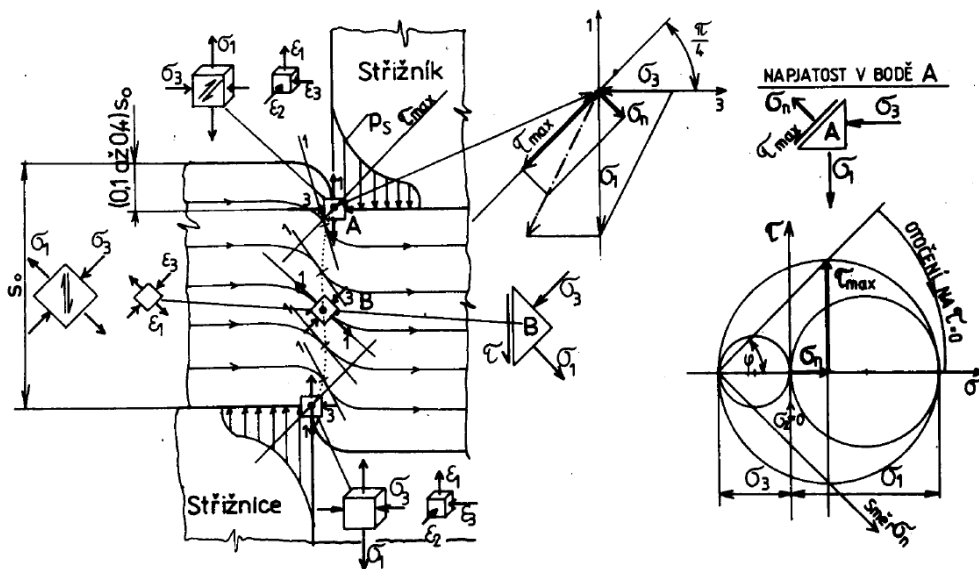
Průběh sřížné síly v závislosti na hloubce vniknutí sřížníku je na obr. 2.2. Elastické vniknutí je charakterizováno krátkou dráhou a růstem sřížné síly. Po této fázi dochází k plastické deformaci-přetvoření s nárůstem sřížné síly. Potom následuje prudký pokles sřížné síly, který charakterizuje nástup vzniku prvních trhlin porušení a poté vlastní lom⁶.



Obr. 3.3 Charakteristický průběh sřížného procesu a sřížné síly⁶

Rozbor stavu napjatosti při uzavřeném sříhání [6], [9]

Při uzavřeném sříhání, kdy obrys nože tvoří uzavřenou čáru je ohybový moment navenek vyvážen. Ohybový moment může způsobit nežádoucí trvalé deformace malých výstřížků ze silnějších plechů. Sřížná síla je větší o vliv tření v pružné svírané sřížné ploše při protlačení výstřížků. Materiál mezi sřížnými hranami je natahován současně vytlačován do stran a proto ovlivňuje místo vznikajícím břitům. Podél vrstvy znázorněné na obr.2.3, se prodlužují, výrazně mění křivost a mezi břity se zmenšuje tloušťka plechu⁶.



Obr. 3.4 Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném sříhání¹

Podle teorie maximálních smykových napětí způsobí největší smykové napětí τ_{max} porušení materiálu v místě sříhu.

Forejt uvádí na základě vztahu (3.10). Při porušení materiálu při sříhání musí přetvárný odpor dosáhnout meze pevnosti v tahu $\sigma_p = R_m$. Z tohoto vztahu získáme konečný tvar rovnice pro sřížné napětí (3.12).

$$\sigma_1 = \frac{4}{3\sqrt{3}} \sigma_p \approx 0,77 \sigma_p \text{ [MPa]} \quad (3.10)$$

$$\tau_s = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{3}{2}\sigma_3 \text{ [MPa]} \quad (3.11)$$

$$\tau_s = \sigma_1 = 0,77 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (3.12)$$

Podle druhu materiálu a tloušťky stříhaného plechu různí autoři uvádí střížný odpor v rozmezí $\tau_s = (0,55 \text{ až } 0,9)R_m$. [MPa]

Bača uvádí střížný odpor τ_s [MPa] dle empirických vzorců, kde R_m je mez pevnosti materiálu. Pro jednotlivé materiály jsou uvedeny tyto vzorce:

pro zadaný materiál:

$$\text{ocel } \tau_s = 110 + 0,56 \cdot R_m \quad (3.13)$$

pro další materiály:

$$\text{mosaz } \tau_s = 171 + 0,285 \cdot R_m \quad (3.14)$$

$$\text{dural } \tau_s = 173 + 0,236 \cdot R_m \quad (3.15)$$

$$\text{hliník, zinek, nikl } \tau_s = 0,75 \cdot R_m. \quad (3.16)$$

Většina literárních podkladů uvádí, že pevnost ve stříhu $\tau_s = 0,8R_m$, což odpovídá výše uvedeným předpokladům. Napětí ve stříhu τ_s je zároveň deformačním odporem ve stříhu nebo také střížným odporem.

3.4 Procesní parametry při stříhání

K procesním parametrům při stříhání se zahrnuje střížná síla, stírací síla, protlačovací síla, celková střížná síla, střížná práce^{6,9}.

Střížná síla

V odborné literatuře např. Forejt uvádí střížnou sílu určenou vztahem (3.17) následně:

$$F_s = n \cdot L \cdot (t - h_s) \cdot \tau_s = (1,0 \text{ až } 1,3)(t - h_s) \cdot L \cdot 0,77R_m \text{ [N]} \quad (3.17)$$

kde: $n = 1,0$ až $1,3$ – zvyšující koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek při stříhání.
 L – délka křivky stříhu (obvod střížníku) [mm]
 h_s – hloubka vniknutí střížné hrany [mm]

Pro tvrdý a křehký materiál se doporučuje $h_s \approx 0,1t$ a pro měkký a houževnatý materiál se doporučuje $h_s \approx 0,6t$.

Další autor v odborné literatuře Bača uvádí střížnou sílu určenou vztahem (3.18). Střížná síla je součinem střížného odporu a střížné plochy. Při stříhání dochází k otupení nástroje a to je vyjádřeno součinitelem otupení.

$$F_s = k \cdot \tau_s \cdot S \text{ [N]} \quad (3.18)$$

kde: $k = 1,1$ až $1,3$ – součinitel otupení
 τ_s – střížný odpor [MPa]
 S – střížná plocha [mm²]

Stírací síla

$$F_{st} = c_1 \cdot F_s \text{ [N]} \quad (3.19)$$

kde: $c_1 = 0,02$ až $0,12$ – součinitel stírání pro ocel do tloušťky 1 [mm]
 F_s – střížná síla [N]

Protlačovací síla

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_s \text{ [N]} \quad (3.20)$$

kde: $c_2 = 0,05$ – součinitel protlačení pro ocel do tloušťky 1 [mm]
 F_s – střížná síla [N]

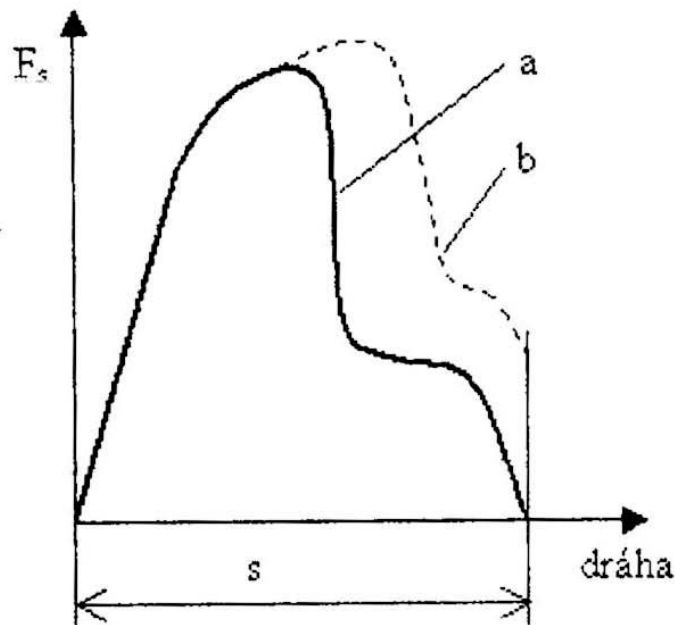
Celková střížná síla

$$F_c = F_s + F_{st} + F_{pr} \text{ [N]} \quad (3.21)$$

kde: F_s – střížná síla [N]
 F_{st} – stírací síla [N]
 F_{pr} – protlačovací síla [N]

Výpočet střížné práce

Střížná práce je dána velikostí střížné síly a dráhy po které střížná síla působí. Střížná práce je dána plochou pod křivkou pracovního diagramu a počítá se podle vztahu (3.22)⁹.



Obr. 3.5 Pracovní diagram při stříhání v stříhadlech⁹,
a – větší střížná mezera, b – menší střížná mezera.

$$A = \psi \cdot F_s \cdot t \text{ [J]} \quad (3.22)$$

kde: F_s – střížná síla [N]
 t – tloušťka plechu [mm]
 ψ – součinitel plnosti

Součinitel plnosti je funkcí tloušťky a dosahuje hodnot:

$\psi = 0,75$ až $0,55$ pro $t < 2$ mm,
 $\psi = 0,55$ až $0,45$ pro $t = 2$ až 4 mm,
 $\psi = 0,45$ až $0,3$ pro $t > 4$ mm,

Vyšší hodnoty součinitele plnosti platí pro měkčí materiály.

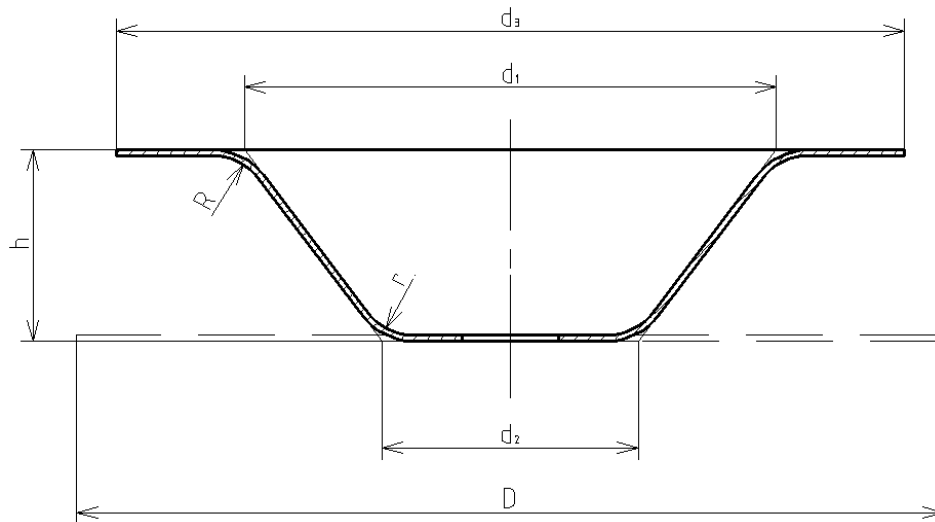
4 Vybrané parametry technologie výroby

Mezi vybrané parametry technologie výroby řadíme souhrn podmínek, které umožňují vlastní výrobu součásti danou technologií. Při tažení se jedná o tažnou vůli mezi tažníkem a tažnicí.

4.1 Stanovení rozměrů výchozího polotovaru výtažku

Stanovení rozměrů výchozího polotovaru výtažku se stanoví dle empirického vzorce (4.1)⁸, který pro kuželové výtažky uvádí např. Dvořák. Pro ověření správnosti výpočtu rozměrů výchozího polotovaru výtažku se využije grafická metoda¹.

Rozměry výchozího polotovaru dle empirického vzorce



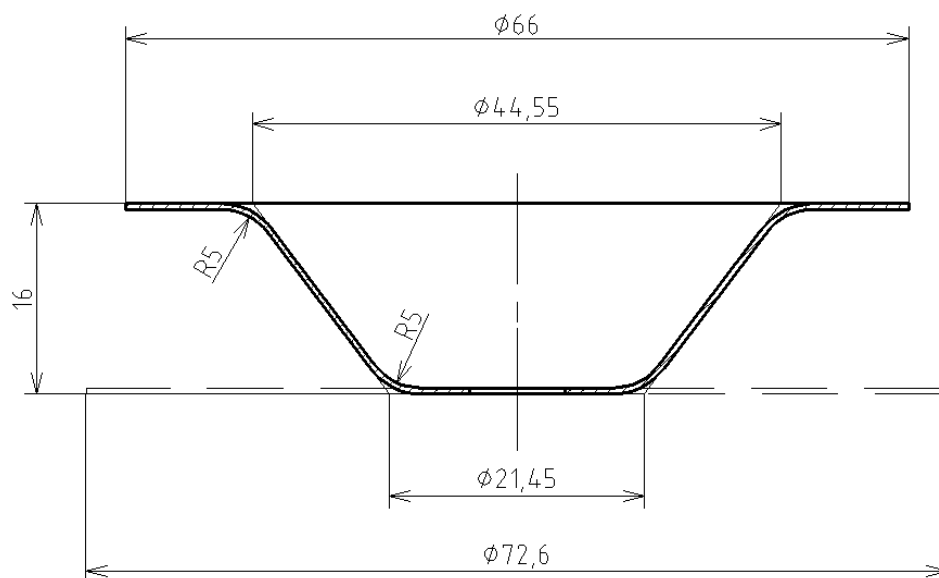
Obr. 4.1 Náskres součásti

Hodnoty dosazované do empirického vzorce (4.1) jsou zobrazeny na obr. 4.1.

$$D = \sqrt{d_2^2 + 2h(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_1^2} \text{ [mm]} \quad (4.1)$$

Stanovení velikosti rozměrů polotovaru dosazením hodnot do vzorce dle obr.4.2.

$$D = \sqrt{21,45^2 + 216(44,55 + 21,45) + 66^2 - 44,55^2} = 70,3 \text{ mm}$$



Obr. 4.2 Výkres součásti s stanovenými hodnotami

Stanovení rozměru výchozího polotovaru grafickou metodou

Stanovení velikosti polotovaru výtažku je na obr. 4.3. Tvořící křivka polotovaru je nakreslena v měřítku 1 : 1. Tato křivka se rozdělí na jednotlivé úseky l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 . Pro jednotlivé úseky se určí těžiště T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 . Rozměry jednotlivých úseků l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 se vynesou na libovolně položenou přímku, která je rovnoběžná s osou výtažku o . Jednotlivé délky úseků l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 se spojí libovolným bodem (pólem) O a tak se dostane vláknový obrazec vytvořený úseky l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 a pólovými paprsky S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 . Dále se zakreslí přímky rovnoběžné s osou výtažku o a protínající těžiště T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 . Na tyto přímky se vynesou příslušné rovnoběžky z vláknového úhelníku $S_1 \parallel S_1', S_2 \parallel S_2', S_3 \parallel S_3'$ atd.

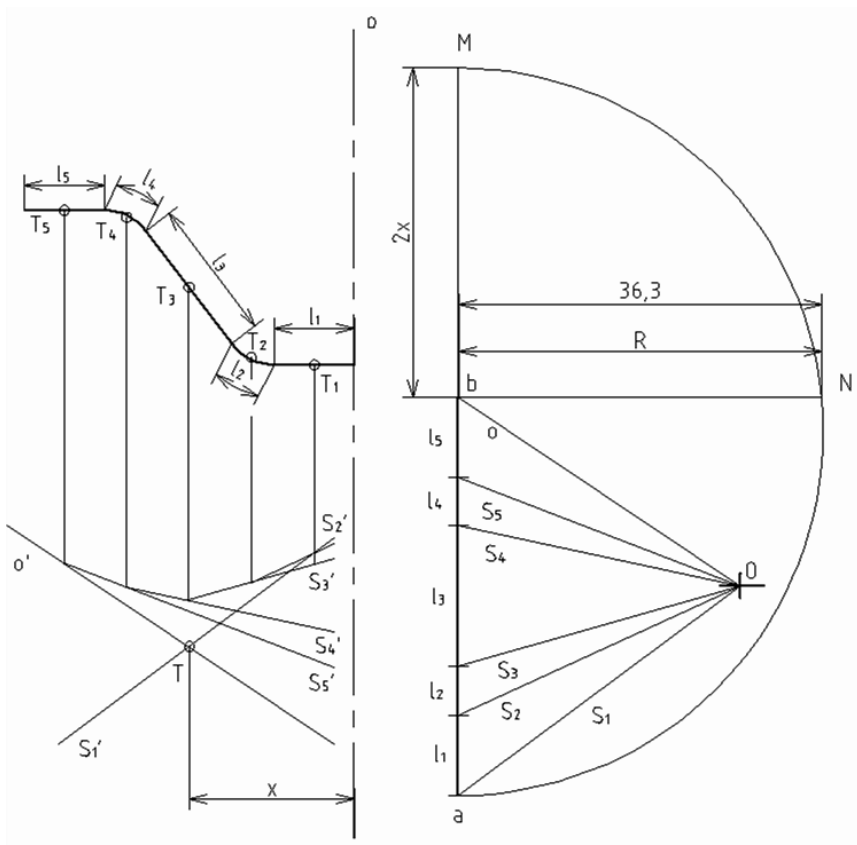
Průsečík paprsků S_1' a S_5' stanoví polohu těžiště T a vzdálenost x těžiště T od osy výtažku. Následně se prodlouží přímka m a na ni se nanese vzdálenost dvakrát x . Na přímce o délce $a - M$ se sestrojí půlkružnice a z bodu b sestrojíme kolmici. Kolmice protíná půlkružnici v bodě N . Přímka $b - N$ je poloměrem R hledaného polotovaru výtažku. Průměr D se stanoví dle vzorce (4.2).

$$R = \frac{D}{2} \text{ [mm]} \quad (4.2)$$

$$D = 36,3 \cdot 2 = 72,6 \cong 73 \text{ mm}$$

Posouzení metod stanovení rozměrů polotovaru výtažku

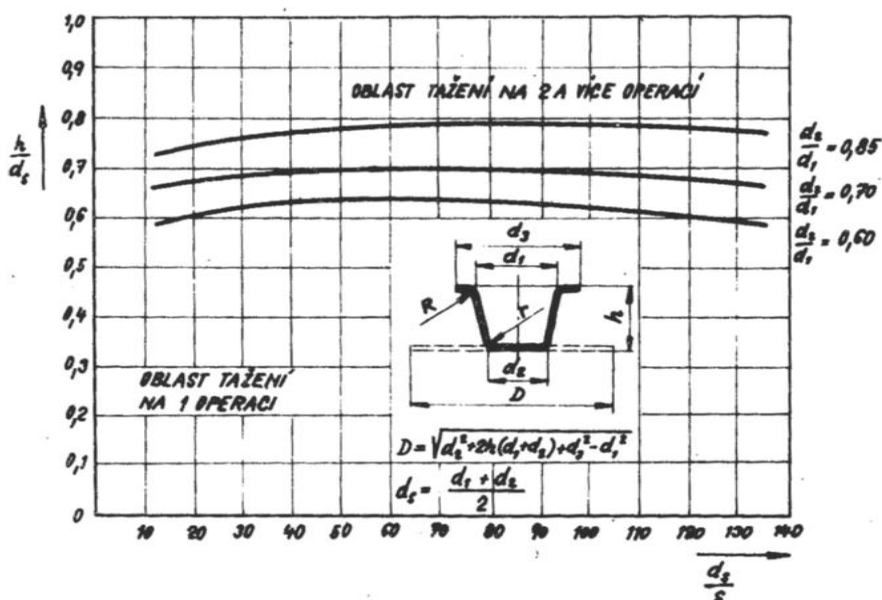
Velikost rozměru polotovaru stanovená empirickým vzorcem je menší než velikost rozměru stanovená grafickou metodou. Volí se průměr polotovaru $D = 72,6$ mm.



Obr. 4.3 Grafické stanovení velikosti polotovaru výtažku

4.2 Stanovení počtu tahů při tažení

Pro kuželové výtažky středně hluboké uvádí v odborné literatuře např. Dvořák, je-li poměr $t/d \cdot 100 < 2,5$ táhne se s přídržovačem zpravidla na dvě tažné operace⁸. Ke stanovení potřebného počtu tahů lze použít i diagram mezního stupně tažení kuželových ploch, který je zobrazen na obr. 4.4⁸.



Obr. 4.4 Mezní stupeň tažení kuželových ploch⁸

Tento diagram je stanoven za podmínek:

- materiál hlubokotažný plech
- $t = (0,5 \text{ až } 1,5) \text{ [mm]}$
- $r = 5 \text{ až } 10s \text{ [mm]}$
- $R = 5 \text{ až } 10s \text{ [mm]}$

Stanovení počtu tahů

$$\frac{t}{D} \cdot 100 = \frac{0,5}{66} \cdot 100 = 0,75$$

Z daného výpočtu vyplývá splnění podmínky $t/d \cdot 100 < 2,5$ a proto se stanovil počet tahů na dva tahy.

4.3 Tažení pásu s nástřihem

Pro tažení pásu s nástřihem např. Bača uvádí pro výtažky o $d \geq 15 \text{ mm}$ a poměru výšky výtažku h k jeho průměru $h/d \geq 2$ použití nástřihu pásu plechu. Tato podmínka je také závislá na tvaru výtažku.

Zadaný výtažek splňuje podmínku $d \geq 15 \text{ mm}$ a proto se bude táhnout s nástřihem. Pásky plechu pro zadanou součást se vyrobí v kooperaci včetně nástřihu.

Rozvržení pásu plechu

Rozeř výchozího materiálu D_v se stanoví jako součet jednotlivých výchozích rozměrů polotovarů D a daného přídávku p . Přídavek p kompenzuje posunutí výtažku ke straně¹.

$$D_v = D + p \text{ [mm]} \quad (4.3)$$

Velikost přídávku se stanoví dle tabulky č. 2 v příloze č. 1 na 2,5 mm.

$$D_v = 73 + 2,5 = 75,5 \text{ mm}$$

V odborné literatuře Bareš uvádí délku výstřihu $l = (1,02 \text{ až } 1,05) \cdot D_v \text{ [mm]}$ a vzdálenost mezi sousedními výstřihy $a = (0,2 \text{ až } 0,3) \cdot D_v \text{ [mm]}$.

$$l = 1,04 \cdot 75,5 = 78,5 \text{ mm}$$

$$a = 0,3 \cdot 75,5 = 22,7 \text{ mm}$$

Šířka pásu b se při použití tvarových výstřížků stanoví dle:

$$b = l + 2c \text{ [mm]} \quad (4.4)$$

Šířka odstřihu materiálu c se stanoví dle tabulky č. 2 v příloze č. 1 na 3,3 mm.

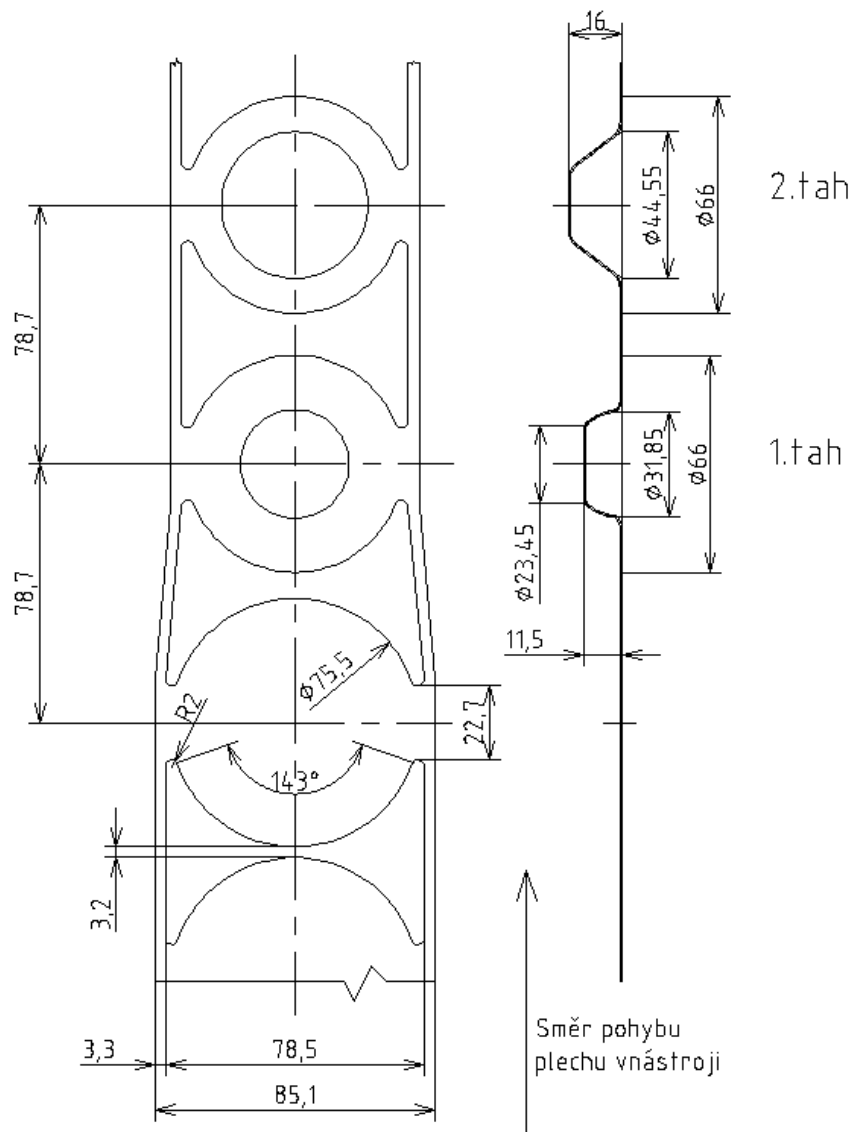
$$b = 78,5 + 2 \cdot 3,3 = 85,1 \text{ mm}$$

Velikost můstku n se stanoví dle tabulky č. 3 v příloze č. 1 na 3,2 mm.

Krok při tažení stanoví dle :

$$K = D_v + n \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

$$K = 75,5 + 3,2 = 78,7 \text{ mm}$$



Obr. 4.5 Nástřihový plán

Návrh technologického postupu

Návrh technologického postupu výroby stanoví jednotlivé kroky v postupovém sdruženém nástřihu. Jednotlivé kroky pro tažení jsou patrné z obr. 4.5.

1. Krok

Z pásu plechu s zhotovenými nástřihy se v prvním kroku táhne sférický výtažek.

2. Krok

V druhém kroku se z pásu plechu táhne konečný kuželový výtažek.

3. Krok

V třetím kroku se stříhá otvor v dnu kuželového výtažku.

4. Krok

V poslední kroku se vystřihne konečný tvar zadané součásti.

5 Technologické výpočty nástroje

Technologické výpočty zahrnují výpočty procesních parametrů pro každý krok včetně výpočtu základních rozměrů činných částí nástroje. Procesní parametry stříhání a tažení jsou uvedeny v předchozích kapitolách. Mezi základní rozměry činných částí nástroje se řadí tažná vůle, střížná vůle, rozměry střížníků a střížnic, rozměry tažníků a tažnic.

Mezi vlastnosti ovlivňující přesnost příčného průřezu výtažku se řadí přesnost zhotovení pracovních částí tažníku a tažnice. Přesnost zhotovení pracovních částí tažníku a tažnice odpovídá stupni přesnosti IT7 – IT8. Při tažení výtažků orientační přesnost v příčném průřezu odpovídá stupni přesnosti IT11 – IT12¹.

Přesnost součástí při stříhání záleží na řadě činitelů. Jedním z nich je přesnost zhotovení střížníku a střížnice. Přesnost zhotovení střížníku a střížnice odpovídá přesnosti IT7. Ve stříhadlech se zvýšenou přesností, s vodícími stojánky a zařízením k přidržení polotovaru v okamžiku stříhání orientační přesnost výstřížků se pohybuje v rozmezí IT9 – IT11¹.

5.1 Krok 1

Průměr výtažku pro první tah

V odborné literatuře pro součinitel tažení m_1 sférických výtažků uvádí např. Kotouč, že tažení sférických výtažků se provádí vždy na více operací, přestože koeficient tažení $m = 0,45$ je konstantní³.

$$d_1 = m_1 \cdot D = 0,45 \cdot 73 = 32,85 \text{ mm}$$

Hloubka výtažku pro první tah [2]

V odborné literatuře uvádí např. Kotouč:

$$h = 0,7 \cdot r_1 \text{ [mm]} \quad (5.1)$$

r_1 – poloměr sférického výtažku [mm]

$$h = 0,7 \cdot 16,425 = 11,5 \text{ mm}$$

Tažná síla

- Střední průměr výtažku

$$d_s = d - t = 23,45 - 0,5 = 22,95 \text{ mm}$$

- Tažná síla

$$F_t = \pi \cdot t \cdot d_k \cdot k_p \cdot R_m = \pi \cdot 0,5 \cdot 22,95 \cdot 0,75 \cdot 330 = 8922,3 \text{ N}$$

- Maximální tažná síla

$$F_{tmax} = \pi \cdot t \cdot d_k \cdot R_m = \pi \cdot 0,5 \cdot 22,95 \cdot 330 = 11896,4 \text{ N}$$

- Kontrola na utržení dna

$$F_t < F_{tmax}$$

Nedojde k utržení dna.

Podmínka použití přídržovače

Materiálová konstanta z pro hlubokotažný plech je stanovena dle normy ČSN 22 7301 na 1,9.

$$U = 50 \cdot \left(z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{0,5}}{\sqrt[3]{73}} \right) = 86,54$$

- $V = \frac{100 \cdot d}{D} = \frac{100 \cdot 22,95}{73} = 31,4$
- $U \geq V$ je nutný přídržovač

Přídržovací síla

- Plocha přídržovače

$$S_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (73^2 - 32,85^2) = 3337,8 \text{ mm}^2$$

- Přídržovací síla

Přídržovací tlak p_p se stanoví z tab.3.1.

$$F_p = p_p \cdot S_p = 2,5 \cdot 3337,8 = 8344,5 \text{ N}$$

Celková tažná síla

$$F_c = F_t + F_p = 8922,3 + 8344,5 = 17266,8 \text{ N}$$

Vykonaná práce

- Tažná práce

$$A_t = \frac{F_t \cdot h \cdot \psi}{1000} = \frac{8922,3 \cdot 11,5 \cdot 0,7}{1000} = 71,8 \text{ J}$$

- Práce přídržovače

$$A_p = \frac{F_p \cdot h \cdot \psi}{1000} = \frac{8344,5 \cdot 11,5 \cdot 0,7}{1000} = 67,2 \text{ J}$$

- Celková práce

$$A_c = A_t + A_p = 71,8 + 67,2 = 139 \text{ J}$$

Tažná mezera, průměr tažníku a tažnice [1]

- Tažná mezera

V odborné literatuře uvádí např. Kotouč pro tažnou mezeru, je-li tažná mezera m_t větší než tloušťka polotovaru t , je optimální velikost jednotné tažné mezery dle (5.2)³.

$$m_t = 1,2 \cdot t \text{ [mm]} \quad (5.2)$$

$$m_t = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ mm}$$

- Průměr tažnice

Vzorec k stanovení rozměrů pracovních částí tažnice je s přídavkem na opotřebení¹.

$$d_{1t} = (d_{11} - 0,8 \cdot U_s)^{+p_t} \text{ [mm]} \quad (5.3)$$

kde: d_{11} – vnější průměr výtažku [mm]

U_s – dolní úchylka výtažku [mm]

p_t – dovolená úchylka na zhotovení tažníku a tažnice o stupni přesnosti IT7 – IT8

$$d_{11} = d_{21} + 2 \cdot m_t = 31,85 + 2 \cdot 0,6 = 33,05 \text{ mm}$$

$$d_{1t} = (33,85 - 0,8 \cdot 0,16) = 33,72^{+0,025} \text{ mm}$$

- Průměr tažníku

Vzorec k stanovení rozměrů pracovních částí tažníku je s přídatkem na opotřebení¹.

$$d_{2t} = (d_{21} + 0,2 \cdot U_h)_{-pt} \text{ [mm]} \quad (5.4)$$

kde: d_{21} – vnitřní průměr výtažku [mm]
 U_h – horní úchylna výtažku [mm]

$$d_{2t} = (31,85 + 0,2 \cdot 0,16) = 31,88_{-0,025} \text{ mm}$$

5.2 Krok 2

Průměr a hloubka výtažku pro druhý tah

Průměr a hloubka výtažku se stanoví z konečných rozměrů součásti dle obr. 4.2.

Tažná síla

- Střední průměr výtažku

$$d_s = d - t = 21,45 - 0,5 = 20,95 \text{ mm}$$

- Tažná síla

$$F_t = \pi \cdot t \cdot d_k \cdot k_p \cdot R_m = \pi \cdot 0,5 \cdot 20,95 \cdot 0,18 \cdot 330 = 1954,7 \text{ N}$$

- Maximální tažná síla

$$F_{tmax} = \pi \cdot t \cdot d_k \cdot R_m = \pi \cdot 0,5 \cdot 20,95 \cdot 330 = 10859,7 \text{ N}$$

- Kontrola na utržení dna

$$F_t < F_{tmax}$$

Nedojde k utržení dna.

Podmínka použití přídržovače [12]

- Materiálová konstanta z pro hlubokotažný plech je stanovena dle normy ČSN 22 7301 na 1,9.

$$U = 50 \cdot \left(z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{0,5}}{\sqrt[3]{66}} \right) = 86,25$$

$$V = \frac{100 \cdot d}{D} = \frac{100 \cdot 20,95}{66} = 31,74$$

- $U \geq V$ je nutný přídržovač

Přidržovací síla

- Plocha přídržovače

$$S_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (66^2 - 44,55^2) = 592,8 \text{ mm}^2$$

- Přidržovací síla

Přidržovací tlak p_p se stanoví z tab.3.1.

$$F_p = p_p \cdot S_p = 2,5 \cdot 592,8 = 1482 \text{ N}$$

Celková tažná síla

$$F_c = F_t + F_p = 1954,7 + 1482 = 3436,8 \text{ N}$$

Vykonaná práce

- Tažná práce

$$A_t = \frac{F_t \cdot h \cdot \psi}{1000} = \frac{1954,7 \cdot 16 \cdot 0,7}{1000} = 21,9 \text{ J}$$

- Práce přidržovače

$$A_p = \frac{F_p \cdot h \cdot \psi}{1000} = \frac{1482 \cdot 16 \cdot 0,7}{1000} = 16,6 \text{ J}$$

- Celková práce

$$A_c = A_t + A_p = 21,9 + 16,6 = 38,5 \text{ J}$$

Tažná mezera, průměr tažníku a tažnice

- Tažná mezera

$$m_t = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ mm}$$

- Průměr tažnice

$$d_{12} = d_{22} + 2 \cdot m_t = 43,5 + 2 \cdot 0,6 = 44,7 \text{ mm}$$

$$d_{1t} = (44,7 - 0,8 \cdot 0,16) = 44,57^{+0,025} \text{ mm}$$

- Průměr tažníku kde:

$$d_{2t} = (43,5 + 0,2 \cdot 0,16) = 43,53_{-0,025} \text{ mm}$$

5.3 Krok 3

Střížná síla

- Plocha stříhu

$$S = \pi \cdot d \cdot t = \pi \cdot 8 \cdot 0,5 = 12,5 \text{ mm}^2$$

- Střížný odpor

$$\tau_s = 110 + 0,56 \cdot R_m = 110 + 0,56 \cdot 330 = 294,8 \text{ MPa}$$

- Střížná síla

$$F_s = k \cdot \tau_s \cdot S = 1,2 \cdot 294,8 \cdot 12,5 = 4422 \text{ N}$$

Stírací síla

$$F_{st} = c_1 \cdot F_s = 0,07 \cdot 4422 = 309,5 \text{ N}$$

Protlačovací síla

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_s = 0,05 \cdot 4422 = 221,1 \text{ N}$$

Celková střížná síla

$$F_c = F_s + F_{pr} + F_{st} = 4422 + 309,6 + 221,1 = 4957,7 \text{ N}$$

Výpočet střížné práce

$$A = \frac{\lambda \cdot F_s \cdot t}{1000} = \frac{0,65 \cdot 4422 \cdot 0,5}{1000} = 1,3 \text{ J}$$

Střížná mezera, průměr střížníku a střížnice

- Velikost střížné vůle¹

Velikost střížné vůle v se volí 4 % z tloušťky t materiálu.

$$v = 0,04 \cdot 0,5 = 0,02 \text{ mm}$$

- Velikost střížné mezery

$$m_s = \frac{v}{2} = \frac{0,02}{2} = 0,01 \text{ mm}$$

- Průměr střížnice¹

Vzorec k stanovení rozměrů pracovních částí střížnice je s přídavkem na opotřebení.

$$d_{1s} = (d_{11} - 0,8 \cdot U_h)^{+ps} \text{ [mm]} \quad (5.5)$$

kde: d_{11} – vnější průměr střížnice [mm]

U_s – dolní úchylka výstřížku [mm]

P_s – dovolená úchylka na zhotovení střížníku a střížnice o stupni přesnosti IT7

$$d_{11} = d_{21} - 2 \cdot m_s = 8 - 2 \cdot 0,01 = 8,02 \text{ mm}$$

$$d_{1s} = (7,98 - 0,8 \cdot 0,075) = 7,92^{+0,015} \text{ mm}$$

- Průměr střížníku¹

Vzorec k stanovení rozměrů pracovních částí střížníku je s přídavkem na opotřebení.

$$d_{2s} = (d_{21} + 0,8 \cdot U_h)_{-ps} \text{ [mm]} \quad (5.6)$$

kde: d_{21} – vnitřní průměr střížníku [mm]

U_h – horní úchylka výstřížku [mm]

$$d_{2s} = (8 + 0,8 \cdot 0,075) = 8,06_{-0,015} \text{ mm}$$

5.4 Krok 4

Střížná síla

- Plocha stříhu

$$S = \pi \cdot d \cdot t = \pi \cdot 66 \cdot 0,5 = 103,6 \text{ mm}^2$$

- Střížný odpor

$$\tau_s = 110 + 0,56 \cdot R_m = 110 + 0,56 \cdot 330 = 294,8 \text{ MPa}$$

- Střížná síla

$$F_s = k \cdot \tau_s \cdot S = 1,2 \cdot 294,8 \cdot 103,6 = 36675 \text{ N}$$

Stírací síla

$$F_{st} = c_1 \cdot F_s = 0,07 \cdot 36675 = 2567 \text{ N}$$

Protlačovací síla

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_s = 0,05 \cdot 36675 = 1833,75 \text{ N}$$

Celková střížná síla

$$F_c = F_s + F_{pr} + F_{st} = 36675 + 2567 + 1833,8 = 41075 \text{ N}$$

Výpočet střížné práce

$$A = \frac{\lambda \cdot F_s \cdot t}{1000} = \frac{0,65 \cdot 41075 \cdot 0,5}{1000} = 13,4 \text{ J}$$

Výpočet velikosti střížné vůle

- Velikost střížné vůle

$$v = 0,04 \cdot 0,5 = 0,02 \text{ mm}$$

- Velikost střížné mezery

$$m_s = \frac{v}{2} = \frac{0,02}{2} = 0,01 \text{ m}$$

- Průměr střížnice

$$d_{1s} = (66 - 0,8 \cdot 0,19) = 65,85^{+0,030} \text{ mm}$$

- Průměr střížníku

$$d_{21} = d_{22} - 2 \cdot m_s = 66 - 2 \cdot 0,01 = 65,98 \text{ mm}$$

$$d_{2s} = (65,98 + 0,8 \cdot 0,19) = 66,132^{-0,030} \text{ mm}$$

Kontrola střížníků na otlačení

$$\sigma_{dov} = \frac{F_s}{S_{stř}} < 2490 \text{ MPa} \quad (5.7)$$

- Střížník ϕ 8 mm

$$\sigma_{dov} = \frac{1415}{411} = 3,4 \text{ MPa} < 2490 \text{ MPa}$$

- Střížník ϕ 66,132

$$\sigma_{dov} = \frac{11666,2}{3434,9} = 3,4 \text{ MPa} < 2490 \text{ MPa}$$

Napětí na dosedací ploše střížníků v opěrné desce je menší než dovolené napětí v tlaku σ_{dov} .

Kontrola střížníků na vzpěr

Pro štíhlé střížníky se provádí kontrola na vzpěr³. Pro střížník o ϕ 8 mm a délce $l = 95$ mm se provede kontrola na vzpěr.

Pro plný kruhový střížník se moment setrvačnosti průřezů určí ze vztahu²:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} [\text{mm}^4] \quad (5.8)$$

$$I = \frac{\pi \cdot 8^4}{64} = 201,1 \text{ mm}^4$$

Kritická síla F_{krit} , která by způsobila vybočení střížníku se určí ze vztahu²:

$$F_{krit} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = n \cdot F_s [\text{N}] \quad (5.9)$$

Koeficient bezpečnosti n se volí 1,5 až 2.

$$F_{krit} = 1,5 \cdot 1415 = 2122,5 \text{ N}$$

Kritická délka střížníku²:

$$l = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_s}} \text{ [mm]} \quad (5.10)$$

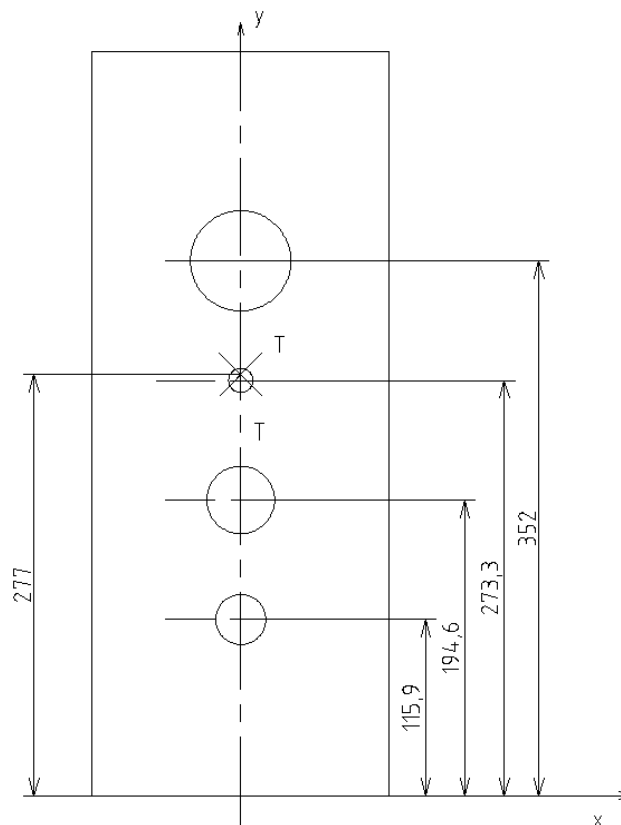
$$l = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 201,1}{2122,5}} = 626,7 \text{ mm}$$

5.5 Stanovení těžiště nástroje

V postupových sdužených nástrojích probíhá několik tvářecích operací současně. Výslednice těžiště tažných a střížných sil stanoví umístění stopky. Správným umístění stopky se zabrání klopným momentům, které sníží životnost nástrojů a způsobí předčasné opotřebení beranu lisu⁸.

Těžiště je určeno souřadnicemi osy **x** a **y** T [X; Y]. Součást je kruhového tvaru a pás je symetrický podle osy **y**, souřadnice **x** je nulová.

$$Y = \frac{\sum F \cdot y}{\sum F} = \frac{17266,8 \cdot 115,9 + 3436,8 \cdot 194,6 + 4957,7 \cdot 273,3 + 41075 \cdot 352}{17266,8 + 3436,8 + 4957,7 + 41075} = 277 \text{ mm}$$



Obr. 5.1 Stanovení polohy těžiště tažných a střížných sil

6 Popis nástroje

Postupový nástroj je navržen pro ruční podávání. K stanovení délky kroku při podávání pásu plechu dané šířky 85 mm jsou určeny dorazy. Pro vytažení výtažku z tažnice má nástroj vyhazovač. Po provedení 4 operací je odpad z pásu plechu vysunut z nástroje dále zpracováván na dalším pracovišti.

Nedodržením bezpečné vzdálenosti 8 mm mezi střížníkem a střížnicí při horní poloze beranu je postupový nástroj konstruován jako nebezpečný. Nástroj je označen podle předpisů bezpečnosti práce.

Návrh konstrukce nástroje včetně použitých materiálů je v příloze ve výkresu sestavy nástroje.

7 Návrh lisu

Součást se vyrobí na výstředníkovém lisu. Lis se volí z katalogu firmy Toma industries s. r.o. Pro návrh vhodného lisu je rozhodující celková tažná a střížná síla. Pro trvalý provoz má být lis zatížen 80 % síly, pro kterou je konstruován⁸.

Celková střížná síla a tažná síla je 67 kN, celková odebraná práce je 193 J. Velikost nástroje pro upnutí na stole lisu je šířka 315 mm a délka 500 mm a proto volím lis LEN 25 C. Vybrané parametry lisu¹³ jsou uvedeny v tab. 6.1.

Tab. 7.1 Vybrané parametry lisu

| | | | |
|--|-------------------|----------|-------|
| Technické údaje | | LEN 25 C | MJ |
| Jmenovitá síla lisu | | 250 | kN |
| Počet zdvihů – trvalý chod P/R | | 75/155 | 1/min |
| Využitelný počet jednotlivých zdvihů P/R | | 60/– | 1/min |
| Max. tloušťka zpracovaného plechu P/R | trvalý chod | 2,5/1,6 | mm |
| | jednotlivé zdvihy | 5/– | mm |
| Max. odebraná práce P/R | trvalý chod | 630/400 | J |
| | jednotlivé zdvihy | 320/200 | J |
| Plocha stolu | | 450x560 | mm |

8 Ekonomické hodnocení

V ekonomickém hodnocení se porovnají variabilní náklady při tažení z pásu plechu na postupovém sdruženém nástroji s variabilními náklady při odděleném tažení a stříhání s přístříhu plechu. V cenové kalkulaci nebudou zahrnuty fixní náklady.

Výpočet spotřeby materiálu

Výrobní série 100000 tis. ks/r

Počet kusů výtažku z tabule je 276 ks

- Počet kusů tabulí na výrobu série výstřížků

$$P_{tab} = \frac{\text{Výrobní série}}{P_{vt}} = \frac{100000}{276} = 363 \text{ ks} \quad (8.1)$$

- Cena tabule

$$C_{tab} = 758 \text{ Kč}$$

- Celková cena materiálu

$$N_{mat} = P_{tab} \cdot C_{tab} = 363 \cdot 758 = 275154 \quad (8.2)$$

Variabilní náklady pro postupový nástroj

- Měsíční výrobní dávka

$$Q_m = \frac{Q}{12} = \frac{100000}{12} = 8334 \text{ Ks} \quad (8.3)$$

- Výrobní čas

Výrobní čas pro jeden kus $t_{A1} = 0,3 \text{ min} \cdot \text{ks}^{-1}$

- Celkový strojní čas

$$t_A = \frac{t_{A1}}{60} \cdot Q = \frac{0,3 \cdot 100000}{60} = 500 \text{ Nh} \quad (8.4)$$

- Náklady na mzdy $M_h = 105 \text{ Kč}$

$$N_{mz} = t_A \cdot M_h = 500 \cdot 105 = 52500 \text{ Kč} \quad (8.5)$$

- Náklady na elektrickou energii

$$\text{Cena el. energie } C_{el} = 4,10 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1} \quad (8.6)$$

Příkon elektromotoru lisu $P = 5 \text{ kW}$

$$N_{el} = P \cdot t_A \cdot C_{el} = 5 \cdot 500 \cdot 4,1 = 10250 \text{ Kč} \quad (8.7)$$

- Celkové variabilní náklady

$$N_V = N_{mat} + N_{mz} + N_{el} = 275154 + 52500 + 10250 = 337904 \text{ Kč} \quad (8.9)$$

- Variabilní náklady jednoho kusu výrobku

$$C_{V1} = \frac{N_{V1}}{Q} = \frac{337904}{100000} = 3,4 \text{ Kč} \quad (8.10)$$

Variabilní náklady pro tažení a stříhání z přístřihu plechu

- Měsíční výrobní dávka

$$Q_m = \frac{Q}{12} = \frac{100000}{12} = 8334 \text{ Ks}$$

- Výrobní čas

Výrobní čas pro jeden kus $t_{A1} = 0,9 \text{ min} \cdot \text{ks}^{-1}$

- Celkový strojní čas

$$t_A = \frac{t_{A1}}{60} \cdot Q = \frac{0,9 \cdot 100000}{60} = 1500 \text{ Nh}$$

- Náklady na mzdy $M_h = 105 \text{ Kč}$

$$N_{mz} = t_A \cdot M_h = 1500 \cdot 105 = 157500 \text{ Kč}$$

- Náklady na elektrickou energii

$$\text{Cena el. energie } C_{el} = 4,10 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$$

Příkon elektromotoru lisu $P = 5 \text{ kW}$

$$N_{el} = P \cdot t_A \cdot C_{el} = 5 \cdot 1500 \cdot 4,1 = 30750 \text{ Kč}$$

- Celkové variabilní náklady

$$N_V = N_{mat} + N_{mz} + N_{el} = 275154 + 157500 + 30750 = 463404 \text{ Kč}$$

- Variabilní náklady jednoho kusu výrobku

$$C_{V2} = \frac{N_V}{Q} = \frac{463404}{100000} = 4,6 \text{ Kč}$$

Porovnání variabilních nákladů

- Porovnání nákladů na jeden kus výrobku

$$C_V = C_{V2} - C_{V1} = 4,6 - 3,4 = 0,6 \text{ Kč} \quad (8.11)$$

- Rozdíl nákladů na výrobní sérii

$$N_{roz} = 100 - \left(\frac{N_{V1}}{N_{V2}} \cdot 100 \right) = 100 - \left(\frac{337904}{463404} \cdot 100 \right) = 27 \% \quad (8.12)$$

Rozdíl mezi variabilními náklady na sdruženém nástroji a variabilními náklady při výrobě z přístřihu činní 27 %. Tento ukazatel stanovuje výhodnější použití sdruženého nástroje oproti použití samostatných nástrojů pro každou operaci.

9 Závěr

Cílem bakalářského projektu bylo navržení tvářecího nástroje pro výrobu víka postupovým tažením. Byl navržen postup výroby na postupovém sdruženém nástroji s ručním vkládání pásu plechu.

Pro zadanou součást byla stanovena velikost polotovaru ϕ 73 mm grafickou metodou. Tato hodnota byla ověřena také výpočtem. Stanovení počtu tahů při tažení bylo stanoveno na 2 tahy. Pro tažení z pásu plechu se stanovilo provedení pásu plechu s nástřihy. Nástřihy budou provedeny na objednávku v kooperaci.

Pro postup výroby byly stanoveny 4 kroky v postupovém sdruženém nástroji. Dva kroky jsou určeny pro tažení a dva kroky jsou určeny pro stříhání. Po výpočtu procesních parametrů bylo stanoveno těžiště tažných a střížných sil. Toto těžiště určuje umístění stopky nástroje.

Sdružený postupový nástroj má vedení stojánky. Vložkované tažnice i střížnice jsou zalisovány do těla nástroje. Nástroj má dva vyhazovače a jeden přídržovač. Vedení pásu plechu je pomocí vodících lišt.

Stroj pro výrobu zadané součásti byl vybrán z katalogu výrobce Toma industries s. r.o. byl navržen výstředníkový lis LEN 25C.

Porovnáním variabilních nákladů pro výrobu na postupovém sdruženém nástroji a variabilních nákladů pro výrobu z přístřihů plechu ukazuje na ekonomicky vhodnější požití postupového sdruženého nástroje.

Základním stavebním kamenem při tvorbě bakalářské práce bylo studium dostupné literatury a norem podložené studiem na FSI VUT Brno.

Seznam použitých podkladů

- [1] BAREŠ, Karel. a kol., et al. *Lisování*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1971. 544 s.
- [2] NOVOTNÝ, Karel. *Nástroje přípravy : část I. - tváření*. 1. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1982. 179 s.
- [3] KOTOUČ, Jiří. kol., et al. *Tvářecí nástroje*. 1.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
- [4] BOLJANOVIĆ, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. 1.st. ed. New York: Industrial Press. 2004 219p. ISBN 80-214-2374-9
- [5] ŘASA, Jaroslav a ŠVERCL, Josef. *Strojnické tabulky I*. 1.vyd. Praha: Scientia, 2004. 754 s. ISBN 80-7183-312-6.
- [6] FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. *Teorie tváření a nástroje*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [7] ŘASA, Jaroslav a ŠVERCL, Josef. *Strojnické tabulky 2*. 1.vyd. Praha: Scientia, 2007. 587 s. ISBN 978-80-86960-20-3.
- [8] DVOŘÁK, Milan a GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 170.s s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [9] BAČA, Jozef; BÍLIK, Jozef; TITTEL, Viktor. *Technológia tvárenia*. 1. vyd. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0. [kniha]
- [10] ČSN online : ÚNMZ [online]. Verze 3.3. 2010 [cit. 2010-12-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.unmz.cz/urad/csn-on-line>>.
- [11] TOMA INDUSTRIES spol [online]. 2006 [cit. 2010-10-18]. Výstředníkové lisy. Dostupné z WWW: <toma.sk>.

Seznam použitých zkratk a symbolů

| Zkratka | Význam | Jednotky |
|------------|---------------------------------------|----------------------|
| A_{80} | tažnost | [%] |
| A_c | celková práce | [J] |
| A_p | práce přidržovače | [J] |
| A_t | tažná práce | [J] |
| D | výchozí průměr polotovaru | [mm] |
| D_v | průměr výchozího materiálu | [mm] |
| C_{tab} | cena tabule plechu | [Kč] |
| C_{el} | cena el. energie | [kWh ⁻¹] |
| C_v | cena jednoho kusu výrobku | [Kč] |
| Q | počet výrobků | [ks] |
| Q_m | měsíční výrobní dávka | [ks] |
| I | moment setrvačnosti | [mm ⁴] |
| L | délka křivky stříhu (obvod střížníku) | [mm] |
| N_{mat} | náklad na materiál | [Kč] |
| N_{mz} | náklady na mzdy | [Kč] |
| N_{el} | náklady na el. energii | [Kč] |
| N_v | celkové náklady | [Kč] |
| N_{roz} | rozdíl mezi náklady | [%] |
| M_h | hodinová mzda | [Kč] |
| F_c | celková síla | [N] |
| F_{krit} | kritická síla | [N] |
| F_p | síla přidržovače | [N] |
| F_{pr} | protlačovací síla | [N] |
| F_s | střížná síla | [N] |
| F_{st} | stírací síla | [N] |
| F_t | tažná síla | [N] |
| F_{tmax} | maximální tažná síla | [N] |
| K | stupeň tažení | [-] |
| R_e | mez kluzu | [MPa] |
| R_m | mez pevnosti | [MPa] |
| P_{tab} | počet tabulí | [ks] |
| P | příkon elektromotoru | [kW] |
| S | střížná plocha | [mm ²] |
| S_p | plocha přidržovače | [mm ²] |
| U_h | horní úchylka výtažku | [mm] |
| U_s | dolní úchylka výtažku | [mm] |
| a | vzdálenost mezi výstřižky | [mm] |
| b | šířka pásu | [mm] |
| c | šířka odstříhu materiálu | [mm] |
| d_1 | průměr výtažku pro první tah | [mm] |
| d_k | menší průměr kuželovité součásti | [mm] |
| d_s | střední průměr výtažku | [mm] |
| h | hloubka výtažku po určitém tahu | [mm] |
| h_s | hloubka vniknutí střížné hrany | [mm] |
| l | délka | [mm] |
| n | koeficient otupení | [-] |
| m_1 | součinitel tažení pro první tah | [-] |
| m_s | střížná mezera | [mm] |

| Zkratka | Význam | Jednotky |
|-------------------------|---------------------------------------|----------|
| m_t | tažná mezera | [mm] |
| n_{90} | součinitel deformačního zpevnění | [-] |
| k | součinitel otupení | [-] |
| k_p | součinitele tažení válcových součástí | [-] |
| p_p | tlak přidržovače | [MPa] |
| r_1 | poloměr sférického výtažku | [mm] |
| p_t | dovolená úchylka | [mm] |
| t | výchozí tloušťka plechu | [mm] |
| t_A | celkový strojní čas | [Nh] |
| t_{Al} | dávkový čas | [Nh] |
| r_{90} | součinitel plastické anizotropie | [-] |
| v | střižná vůle | [mm] |
| τ_s | střižný odpor | [MPa] |
| ψ | součinitel plnosti z diagramu | [-] |
| σ_d | deformační odpor | [MPa] |
| σ_1 | odpor proti ideální deformaci | [MPa] |
| σ_t | napětí vyvolané třením | [MPa] |
| σ_o | napětí vyvolané ohybem | [MPa] |
| $e^{\mu \frac{\pi}{2}}$ | součinitel vyjadřující vliv tření | [-] |

Seznam příloh

| | | |
|---------------|-----------------|-------------|
| Příloha č. 1 | Tabulky | |
| Příloha č. 2 | Výkres součásti | K-VUT-BP-01 |
| Příloha č. 3 | Výkres sestavy | K-VUT-BP-02 |
| Příloha č. 4 | Výkres součásti | K-VUT-BP-03 |
| Příloha č. 5 | Výkres součásti | K-VUT-BP-04 |
| Příloha č. 6 | Výkres součásti | K-VUT-BP-05 |
| Příloha č. 7 | Výkres součásti | K-VUT-BP-06 |
| Příloha č. 8 | Výkres součásti | K-VUT-BP-07 |
| Příloha č. 9 | Výkres součásti | K-VUT-BP-08 |
| Příloha č. 10 | Výkres součásti | K-VUT-BP-09 |
| Příloha č. 11 | Výkres součásti | K-VUT-BP-10 |

Příloha č. 1

Tabulka 1 Velikost součinitele k_p pro tažení válcových součástí s širokou přírubou z oceli 08 -15 (pro $S/D \cdot 100 = 0,6 - 2,0$)¹

| Poměr $\frac{dpř}{d}$ | Součinitel pro první tah $m_1 = \frac{d_1}{d}$ | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,35 | 0,38 | 0,40 | 0,42 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,75 |
| 3,0 | 1,0 | 0,9 | 0,83 | 0,75 | 0,68 | 0,56 | 0,45 | 0,37 | 0,30 | 0,23 | 0,18 |
| 2,8 | 1,1 | 1,0 | 0,90 | 0,83 | 0,75 | 0,62 | 0,50 | 0,42 | 0,34 | 0,26 | 0,20 |
| 2,5 | – | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,82 | 0,70 | 0,56 | 0,46 | 0,37 | 0,30 | 0,22 |
| 2,2 | – | – | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,77 | 0,64 | 0,52 | 0,42 | 0,33 | 0,25 |

Těchto součinitelů lze použít pro kuželovité a kulovité součásti s přírubou při tažení v tažidle bez tažného žebra. Při tažení těchto součástí v tažidlech s tažným žebrem zvětšuje se hodnota součinitelů k_p o 10 % až 20% a oblast přetržení se příslušně zvětšuje.

Tabulka 2 Hodnoty přídavek p [mm] s ohledem na nástřih a výstřih v pásu plechu a jeho tloušťkou¹

| Úprava nástřihu | Tloušťka výchozího materiálu t [mm] | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | do 0,5 | 0,6 až 0,9 | 1,0 až 1,4 | 1,5 až 2,0 | 2,1 až 2,4 |
| S příčnými nástřihy | 1,5 až 1,9 | 2,0 až 2,4 | 2,5 až 2,9 | 3,0 až 3,4 | 3,5 až 3,9 |
| S výstřihy při poměru h/d | | | | | |
| do 1 | 2,1 až 2,5 | 2,6 až 3,0 | 3,1 až 3,5 | 3,6 až 4,0 | 4,1 až 4,5 |
| 1 až 1,1 | 2,7 až 3,1 | 3,2 až 3,6 | 3,7 až 4,1 | 4,2 až 4,6 | 5,2 až 5,6 |

Tabulka 3 Optimální šířka odstřížků c [mm]¹

| R_m [MPa] | D_v [mm] | Tloušťka materiálu t [mm] | | | | | |
|----------------|---------------|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | do 0,3 | 0,3 až 0,6 | 0,6 až 0,9 | 0,9 až 1,4 | 1,4 až 2,0 | 2,0 až 3,0 |
| $R_m > 250$ | 21 až 50 | 3,0 | 2,8 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 3,2 |
| | 51 až 80 | 3,5 | 3,3 | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,6 |

Tabulka 4 Hodnoty můstek n [mm]¹

| R_m [MPa] | D_v [mm] | Tloušťka materiálu t [mm] | | | |
|----------------|---------------|-----------------------------|------------|------------|------------|
| | | do 0,6 | 0,7 až 1,2 | 1,3 až 2,0 | 2,1 až 6,0 |
| $R_m > 250$ | 21 až 50 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 3,2 |
| | 51 až 80 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 |