



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE VÝROBY VÍKA TVÁŘENÍM
TECHNOLOGY OF PRODUCTION COVER BY FORMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PATRIK ŘEZÁČ

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MILAN DVOŘÁK, CSc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Patrik Řezáč

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

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

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

Technologie výroby víka tvářením

v anglickém jazyce:

Technology of production cover by forming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh technologie výroby součásti z průmyslové praxe pomocí vybrané varianty technologie tváření. Vypracování výkresové dokumentace, výpočet parametrů technologického procesu, ekonomické zhodnocení. Zadání pro kombinované bakalářské studium s návazností na výrobní praxi.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je přehled možností technologií výroby se zaměřením na technologii tváření pro zadanou součást. Vlastní návrh varianty technologie tváření, ekonomicky a početně doložený, včetně výkresové dokumentace. Vlastní řešení reálné pro průmyslovou praxi.

Seznam odborné literatury:

1. FOREJT, Milan a Miroslav, PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. 1.st. ed. New York: Industrial Press, 2004. 219 p. ISBN 0-8311-3182-9.
3. BAČA, Jozef, Jozef, BÍLIK a Viktor, TITTEL. Technológia tvárenia, 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
4. VOJTĚCH, Dalibor. Materiály a jejich mezní stavy. 1. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. 212 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
5. DVOŘÁK, Milan, František, GAJDOŠ a Karel, NOVOTNÝ. Technologie tváření. Plošné a objemové tváření. 3.vyd.Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

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

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

V Brně, dne 14.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá vypracováním technologického postupu výroby víka nádrže tvářením a to tvářením za studena - technologií tažení plechu. Materiálem pro výrobu je zvolena ocel P 355 NB určená k výrobě tlakových nádrží. Součástí práce je vypracování technických výkresů nádrže na LPG, víka této nádrže, výkres sestavy tažidla a výkres tažnice. Nedílnou součástí jsou i technologické výpočty nutné pro výrobu. Volba stroje pro výrobu a ekonomické zhodnocení výrobního procesu.

Klíčová slova: technologický postup, tažení plechu, technologické výpočty.

Abstract

The aim of this Bachelor's thesis is to develop a technological process of a production concerning the tank lid forming, namely the cold forming - technologies for deep drawing. As a material for the production of steel is chosen P 355 NB intended for the production of pressure tanks. Parts of this work are also technical drawings developing of LPG tank, of the tank lid, of paper-weight assembly, and the drawing of dies. Technological calculations needed for the production are the integral part as well. And also a choice of machines for the production and economic evaluation of the production process.

Keywords: technological proces, deep drawing, technological calculations.

Bibliografická citace:

ŘEZÁČ, Patrik. *Technologie výroby víka tvářením*. Brno, 2015. 40 s. 6 příloh. CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

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 Brně dne 25. 5. 2015

.....
Patrik Řezáč

Poděkování

Tímto děkuji panu doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. z VUT v Brně za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Děkuji také své rodině za podporu, v celém průběhu studia.

Obsah:

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování

Úvod.....	9
1 Výběr technologie.....	10
2 Technologie tažení.....	12
2.1 Proces přetvoření materiálu.....	12
2.1.1 Deformace materiálu	13
2.1.2 Materiálové předpoklady	14
2.1.3 Zákony ve tváření.....	15
2.2 Popis technologického procesu.....	17
2.2.1 Technologičnost výtažku.....	17
2.2.2 Parametry technologického procesu.....	19
2.3 Vady výtažků.....	26
3 Výroba zadané součásti - víka.....	28
3.1 Technologické výpočty a návrh technologického postupu.....	28
3.2 Volba tvářecího stroje.....	33
4 Ekonomické zhodnocení.....	35
5 Závěr.....	40

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů
Seznam příloh
Seznam obrázků
Seznam tabulek

Úvod

Historie technologie tváření kovů započala v době bronzové a je úzce spjata s vývojem materiálů. S nástupem průmyslové revoluce se ve výrobním procesu přecházelo od ruční výroby k tovární strojní velkovýrobě. Byly vyvíjeny a vyráběny stroje, které umožňovaly rychlejší a přesnější výrobu. Také technologické postupy jak v oblasti plošného, tak objemového tváření prošly velkou proměnou. Souběžně s rozvojem strojů a technologie se vyvíjely materiály, u nichž se rozšiřovala oblast ohraničená mezí kluzu a pevnosti. V této oblasti je materiál schopen měnit tvar bez porušení. Tato schopnost plastické deformace je označována jako tvařitelnost.

Naproti tomu tváření je technologický proces, při kterém dochází ke změně tvaru materiálu. Plošné tváření dělíme na tváření za tepla a tváření za studena, při těchto operacích nedochází k odebrání třísky. Průvodním jevem, jsou plastické deformace materiálu způsobené působením vnějších sil a změna struktury materiálu s následnými změnami mechanických vlastností.

Technologie plošného tváření je levnou a efektivní technologií pro výrobu širokého sortimentu výrobků, obr. 1 Výrobky z hlubokotažného materiálu. Dosažitelné stupně přesnosti leží v rozsahu IT 7÷12, v závislosti na druhu použité technologie. Rovněž využitelnost materiálu je různá, odvíjí se hlavně od tvaru výrobku.

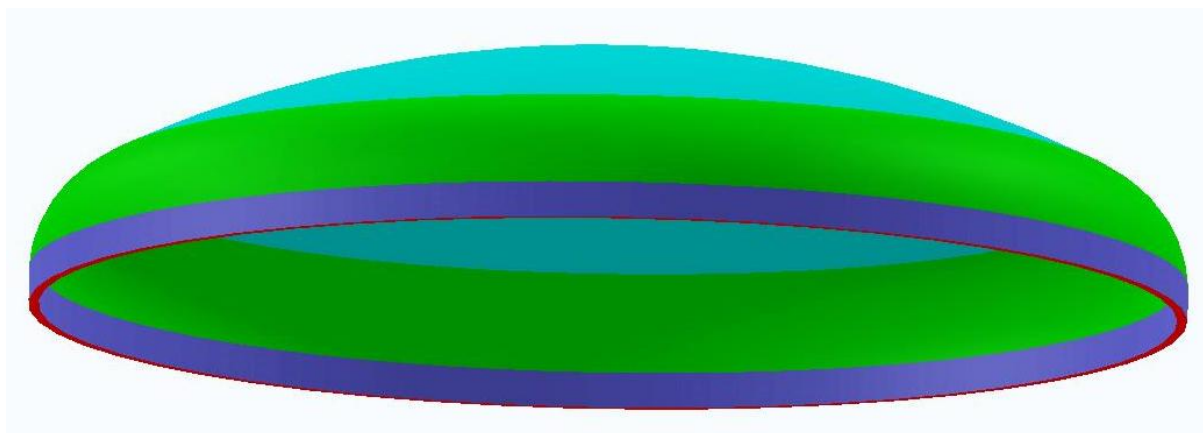
Pro návrh technologického postupu je důležité, aby umožňoval výrobu součástky s danými užitnými vlastnostmi. Je tedy důležitá správná volba materiálu, polotovaru a vhodného výrobního postupu s ohledem na použitou technologii a strojní vybavení výrobního závodu.



Obr. 1 Výrobky z hlubokotažného materiálu [1].

1 Výběr technologie [2][3][4]

Cílem této práce je stanovit technologický postup výroby víka tvářením. Výběr samotné technologie výroby spočívá v nastínění principů a možností různých technologických postupů. Dalším aspektem pro její výběr je také strojní vybavení firmy.



Obr. 1.1 Víko válcové nádrže na LPG.

Jedná se o klenuté víko běžně používané na tlakových nádobách pro různé tlaky a různého určení dle media. Stejně široké spektrum, jako pro účel použití, je také množství druhů materiálů, ze kterých je možné tyto víka vyrábět. Toto víko bude vyráběno jako součást tlakové nádoby a to přídatně nádrže pro LPG, používané v automobilovém průmyslu, obr. 1.1. Víko bude hluboce klenuté o ϕ 400 mm, se dvěma poloměry klenutí $r_1 = 40$ mm a $r_2 = 400$ mm s celkovou výškou 93 mm, z oceli P 355 NB a materiál bude mít tloušťku 3,5 mm. Jedná se o uklidněnou, jemnozrnnou, nízkouhlíkovou, mikrolegovanou konstrukční ocel, jenž je určená pro výrobu součástí tlakových nádob. Chemické složení – tabulka 1.1 a mechanické vlastnosti - tabulka 1.2:

Tab. 1.1 Chemické složení oceli P 355 NB (jednotka - hmotnostní %) [5].

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
max. 0,18	max. 0,5	max. 1,1÷1,7	max. 0,025	max. 0,010	max. 0,3	max. 0,08
N	Nb	Ti	V	Al	CU	Nb+Ti+V
max. 0,012	max. 0,05	max. 0,03	max. 0,1	min. 0,02	max. 0,3	<0,12

Tab. 1.2 Mechanické vlastnosti oceli P355NB [5].

Mez pevnosti v tahu [MPa]	Mez kluzu [MPa]	Tažnost [%]
490 ÷ 630	355	min. 22

Tato víka budou používána pro nádrže o minimálním objemu 100 l. Nádrž je konstruována na provozní tlak 2,5 MPa, zkušební tlak je 3,5 MPa. Prodejní cena nádrže se pohybuje mezi 4000 ÷ 6000 Kč. Životnost nádrže omezuje vyhláška č.341 MD ČR na 10 let, pak je nutné nádobu vyměnit, v případě změny homologačních předpisů je nutné měnit i příslušenství.

Přehled použitelných technologií pro výrobu nádrží a vík:

Kování

Jedná se o objemové tvářením za tepla, prováděné rázovou nebo klidně působící silou. Probíhá nad rekrystalizační teplotou (70% teploty tavení daného materiálu).

Materiál se nezpevňuje a k tvářením stačí síly 10x menší, než u tvářením za studena. Nevzniká anizotropie a materiál má příznivou strukturu a zvýšené mechanické vlastnosti. Povrch však

bývá nekvalitní vlivem výskytu okují.

Výroba je velmi energeticky a časově náročná. Tento způsob je vhodný pro výrobu dílů nádob o velkých tloušťkách stěn odolávající extrémnímu zatížení, obr. 1.2 tlaková nádoba reaktoru.

Kovotlačení

Technologie rotačního zpracování polotovaru z plechu. Při kovotlačení je polotovar upnut mezi tvárnici připevněnou na unašeči a příložku přes pinolu koníku. Tváření je prováděno pomocí válečků a kladek, tlačím plechu na tvárnici. Získají se tak duté výtlačky se značným přetvořením



Obr. 1.3 Tvářecí centrum firmy Leifeld [7].

a se zpevněnou povrchovou vrstvou.

Obr. 1.2 Tlaková nádoba reaktoru [6].

Výhodou této technologie jsou nízké pořizovací náklady nástrojů. Samotný proces lze automatizovat, obr. 1.3, na stroji pak následně na jedno upnutí můžeme i upíchnout okraj výrobku. Delší výrobní časy však tuto metodu více předurčují k malosériové, případně kusové výrobě.

Tažení plechu

Tažení plechu

Další technologií tváření za studena je tažení plechu. Tvářený materiál je deformován tažníkem, který jej protahuje tažnicí. Z rovinných přístřihů získáváme prostorové duté výtlačky požadovaných

operace se stříháním.

Cena nástrojů je sice vyšší, než u kovotlačení, ale technologický proces lze snadno automatizovat a dosáhnout krátkých výrobních časů, při zachování požadavků na tvarovou a rozměrovou přesnost, obr. 1.4 Tvářecí linka firmy Lauffer.

Tyto vlastnosti technologii tažení plechu předurčují pro velkosériovou výrobu.

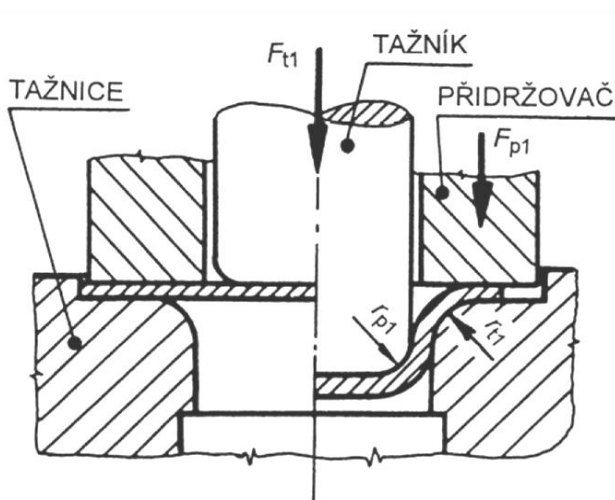
Vzhledem k parametrům zadané součástky, víko nádoby dle obrázku: 1.1, s produkcí 70000 kusů za rok, se jako ideální pro výrobu jeví technologie tažení plechu.



Obr. 1.4 Tvářecí linka firmy Lauffer[8].

2 Technologie tažení [2][3][4][9][10][11][12][13]

Tažením plechu lze vyrábět součástky rozličných tvarů a rozměrů. Běžně dosažitelný



Obr. 2.1 Tažení plechu s přídržovačem [9].

technologie tažení nepevným nástrojem a to kapalinou (metoda Hydroform nebo Wheelon) nebo tváření pryží (metody Guerin nebo Marform – obr. 2.2).

Podle samotných výtažků lze tažení rozdělit na výrobu symetrických a nesymetrických, případně na výrobu rotačních a nerotačních výtažků.

Legenda obr. 2.2:

- 1 – pryžový polštář;
- 2 – objímka;
- 3 – přístřih plechu;
- 4 – přídržovač;
- 5 – tažník;

2.1 Proces přetvoření materiálu

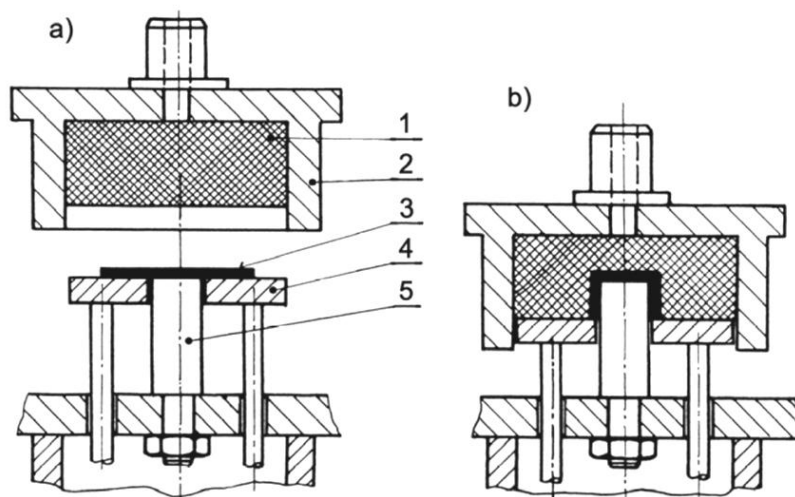
Cíleným působením vnějších sil je dosahováno změny tvaru tělesa. Při plošném tváření je nežádoucí narušení celistvosti materiálu, což neplatí pro stříhání. Je nutné respektovat zákonitosti, kterými se řídí proces přetvoření materiálu.

stupněm přesnosti je IT 11÷12, při kalibrování lze dosáhnout stupně IT 7÷8. Materiál výrobků vykazuje zlepšené mechanické vlastnosti zejména pevnost a tvrdost, jako následek přetvárných pochodů.

Tuto technologii lze rozdělit na prosté tažení, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování a přetahování. Dále se rozlišuje tažení s přídržovačem (obr. 2.1), tažení s tažnou hranou nebo s brzdým žebrem. Do technologie tažení patří jak tyto konvenční způsoby tažení tažidlem, tak některé speciální

Legenda obr. 2.1:

- F_{p1} – síla přídržovače [N];
- F_{t1} – tažná první operace síla [N];
- r_{p1} – poloměr zaoblání tažníku [mm];
- r_{t1} – poloměr zaoblání tažnice [mm];

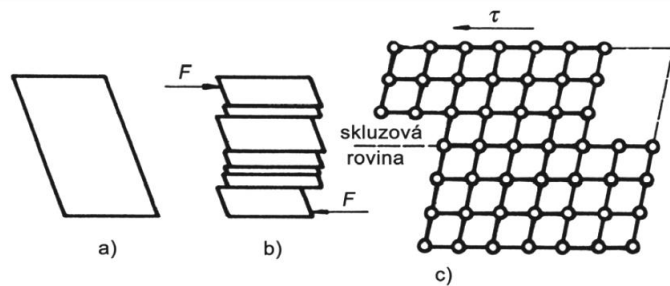


Obr. 2.2 Tažení metodou Marform [9].

- a) situace při vložení přístřihu
- b) situace při dokončení

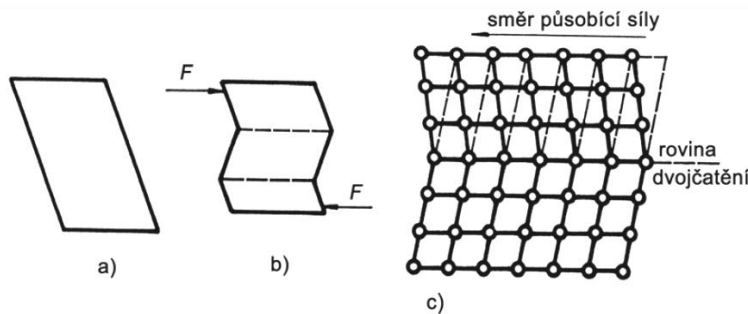
2.1.1 Deformace materiálu

Proces plastického přetvoření materiálu je možný dvěma pochody: deformace skluzem (obr. 2.3) a deformace dvojčatěním (obr. 2.4). Při tažení plechu dochází nejčastěji k deformaci pomocí skluzových rovin. Deformace se projeví v momentě, kdy napětí dosáhne kritické hodnoty. Tyto roviny jsou uvedeny do pohybu ve směru rovin nejhustěji obsazených atomy. V počátečním stádiu plastické deformace dochází k jednoduchému skluzu, systémy vykonávají pouze translační pohyb s malým zpevněním krystalové mřížky. Při pokračujícím zatěžování dochází ke složitějšímu skluzu, kdy se do procesu zapojují další skluzové systémy a dochází k jejich natáčení, následkem je větší zpevnění materiálu.



Obr. 2.3 Plastická deformace skluzem [9].

Legenda obr. 2.3 a 2.4:
 F – síla;
 τ – smykové napětí;

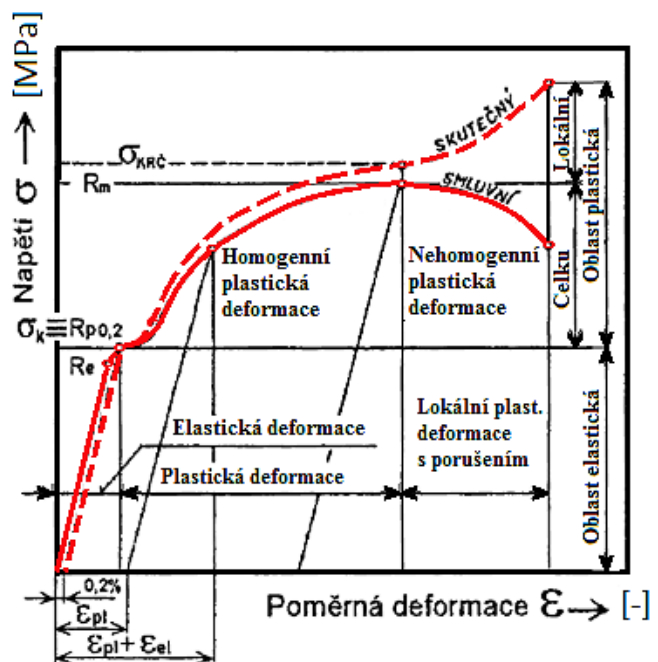


Obr. 2.4 Plastická deformace dvojčatěním [9].

Plastická deformace zvaná dvojčatění vzniká vytvořením zrcadlového obrazu nedeformované části krystalu kolem roviny dvojčatění při působení vnějších sil. Vzhledem k tomu, že dochází k velkému zpevnění tak deformace kovu bývá malá. Při tvářecím procesu je vyžadována naopak velká možnost

deformace materiálu, proto je dvojčatění nežádoucí jev.

Průvodním jevem zatížení tělesa silou je tedy jeho deformace. Při malém zatížení se jedná o deformaci elastickou, která je charakteristická tím, že po odeznění zatížení deformace zaniká. Vzroste-li zatížení nad určitou mez, tzv. mez kluzu (R_e), dochází na tělese k homogenním plastickým deformacím. Krystalická mřížka je deformována do té míry, že po odlehčení zatížení těleso nezíská svůj původní tvar. Avšak zatížení není tak vysoké, aby na tělese docházelo k porušení spojitosti. Tato oblast končí v bodě R_m (obr. 2.5) – mez pevnosti. Po následném zatížení se už pohybujeme v oblasti nehomogenní plastické deformace. Na zkoušeném vzorku vzniká lokální zúžení, tzv. krček. Při dalším zvýšení



Obr.2.5: Tahový diagram [4].

zatížení, po překonání meze pevnosti a na tělese jsou patrné první známky poškození. Následné zvýšení zatížení končí destrukcí materiálu.

Vhodné vlastnosti materiálu pro tváření jsou patrné z průběhu grafu tahové zkoušky. Charakteristická je pro ně ne příliš strmá oblast elastických deformací,

nevýrazná mez kluzu a pokud možno co nejširší oblast plastických deformací. Veličina, která popisuje schopnost materiálu plasticky se deformovat je tažnost:

$$A = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100 [\%] \quad (2.1)$$

A – tažnost [%];

L_0 – počáteční délka zkoušeného vzorku [mm];

L_1 – konečná délka zkoušeného vzorku [mm];

Kontrakce materiálu je další charakteristickou vlastností z pohledu plastických deformací:

$$Z = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 [\%] \quad (2.2)$$

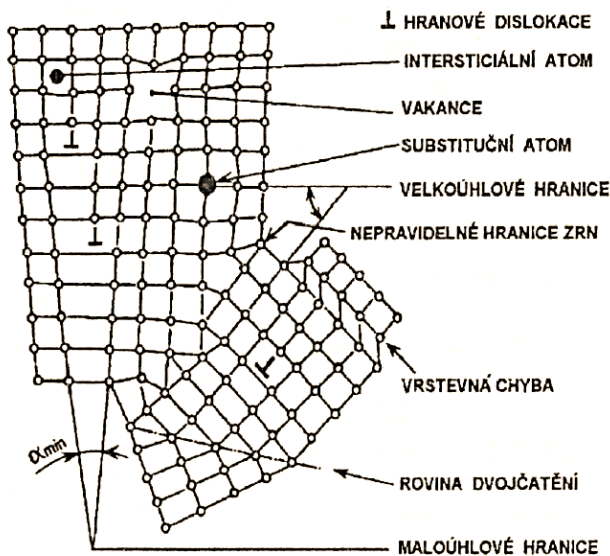
Z – kontrakce [%];

S_0 – počáteční plocha průřezu zkoušeného vzorku [mm²];

S_1 – konečná plocha průřezu zkoušeného vzorku [mm²];

2.1.2 Materiálové předpoklady

Kovy jsou polykrystalické látky, jejichž struktura je tvořena větším množstvím krystalů



Obr. 2.6 Poruchy v krystalové mřížce kovů [3].

S výrobními podmínkami výroby plechů je spojen vznik anizotropie materiálu. Je to směrová odlišnost mechanických a fyzikálních vlastností v závislosti na deformaci zrn materiálu ve směru válcování. U plechů se rozeznává anizotropie plošná popisující rozdílnost vlastností v rovině plechu a součinitel plastické anizotropie popisující rozdílné vlastnosti v rovině kolmé k ploše plechu.

Legenda obr. 2.5:

Plná čára – smluvní diagram tahové zkoušky;

Přerušovaná čára – skutečný diagram tahové zkoušky;

R_e – mez kluzu [MPa];

R_m – smluvní mez pevnosti v tahu [MPa];

$R_{p0,2}$ – smluvní mez kluzu [MPa];

σ_K – napětí na mezi kluzu [MPa];

$\sigma_{KRČ}$ – napětí na mezi pevnosti v tahu [MPa];

ϵ_{el} – poměrná elastická deformace [-];

ϵ_{pl} – poměrná plastická deformace [-];

(zrn). Při tuhnutí kovu vzniká v tavenině mnoho náhodně orientovaných krystalizačních center, které se formují do krystalizačních bloků (subzrn). Již v této fázi lze ovlivnit vhodnost materiálu pro tváření. Snahou je vyrobit jemnozrný homogenní materiál s nevýraznou mezí kluzu a širokou oblastí plastické deformace.

Velmi nežádoucí jsou poruchy v krystalové mřížce kovů (obr. 2.6):

A) Bodové poruchy – vakance, intersticie nebo substituce;

B) Čárové poruchy – hranové, šroubové a smíšené;

C) Plošné poruchy – hranice zrn, vrstvené chyby a plochy dvojčatění;

D) Prostorové poruchy – široké hranice zrn a vměstky;

Dalším aspektem, který ovlivňuje schopnost materiálu snášet deformace z hlediska změny jeho struktury je jeho schopnost vystárnout. Tento nežádoucí jev je potlačován tak, že materiál uklidníme mikrolegováním. Tímto výrobním postupem je získáván hlubokotažný plech. Použitím plechů s touto úpravou je podmíněno následným technologickým procesem.

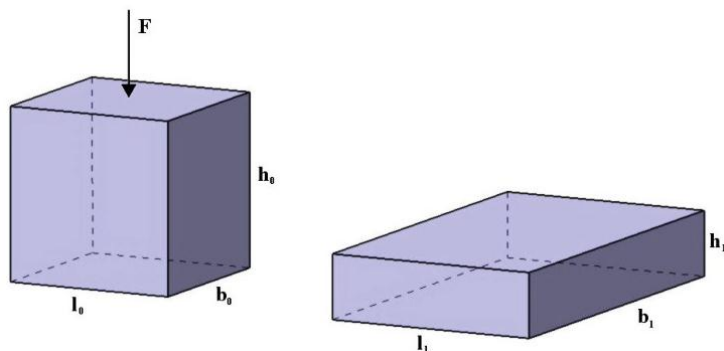
Případnou vhodnost plechů pro tvářeni lze odzkoušet kalíškovacími zkouškami například Erichsenovou zkouškou, při které se měří hloubka vtažení koule o průměru 20 mm do vytvoření trhliny. Případně zkouškou Fukuiho kdy je vtažen kruhový rondel, s centrálním otvorem do kuželové tažnice. Také v tomto případě zkouška končí vznikem prvních trhlín.

Pro tvářeni jsou vhodné všechny materiály s mezí pevnosti $R_m = 300 \div 600$ MPa (střední pevnost) jedná se o nezelezné kovy, oceli s nízkým obsahem uhlíku a nízkolegované oceli, struktura by měla být feriticko-perlitická (s globulárním perlitem). Tvárnost ocelí lze zvýšit žiháním naměkko, případně kombinací normalizačního žihání a žihání naměkko.

2.1.3 Zákony ve tvářeni

A/ Zákon stálosti objemu:

Při plastické deformaci se objem materiálu nemění, mění se pouze rozměry a tvar, viz obr. 2.7 znázornění této změny.



Legenda k obr. 2.7:

F – působící síla [N];

l_0 – původní délka [mm];

h_0 – původní výška [mm];

b_0 – původní šířka [mm];

l_1 – přetvořená délka [mm];

h_1 – přetvořená výška [mm];

b_1 – přetvořená šířka [mm];

Obr. 2.7 Zákon stálosti objemu [10].

Jak je patrné z obr. 2.7 platí:

$$V_0 = l_0 \cdot h_0 \cdot b_0 = V_1 = l_1 \cdot h_1 \cdot b_1 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2.3)$$

V_0 – původní objem [mm³];

V_1 – přetvořený objem [mm³];

Úpravou rovnice (2.3) je získán vztah:

$$\frac{l_1}{l_0} \cdot \frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} = 1 \quad (2.4)$$

Po zlogaritmování vztahu (2.4) je získána rovnice skutečné logaritmické deformace:

$$\ln \frac{l_1}{l_0} + \ln \frac{h_1}{h_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \text{ [-]} \quad (2.5)$$

φ_1 – logaritmická deformace délky [-];

φ_2 – logaritmická deformace výšky [-];

φ_3 – logaritmická deformace šířky [-];

B/ Zákon stálosti potencionální energie změny tvaru:

Nahromaděná potencionální deformační energie tělesa se rovná deformační práci sil na těleso působící. Její velikost je pro dané podmínky tvářeni (teplota, rychlost a stupeň deformace) konstantní hodnotou nezávislou na schématu napjatosti.

C/ Zákon nejmenšího odporu:

Z principu minima vynaložené energie plyne, že elementy přetvářeného tělesa se přesunují ve směru nejmenšího odporu.

Pro příklad je možné uvést zápustkové kování, kdy pro úplné vyplnění dutiny zápustky je vyvolán odpor tečení materiálu do výronkové drážky můstkem.

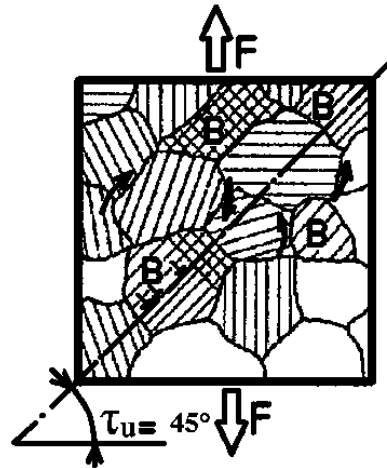
D/ Zákon maximálních smykových napětí a zákon zpevnění:

K plastické deformaci tvářeného tělesa dojde, jestliže smykové napětí dosáhne kritické hodnoty, které je závislé na druhu materiálu a podmínkách plastické deformace. Kritické smykové napětí působí v rovinách nakloněných o 45° vůči hlavnímu směru působících sil vyvolávajících napětí (obr. 2.8).

Při deformaci materiálu za studena dochází ke zpevnění materiálu vlivem deformačních převážně skluzových pochodů. Zpevnění je úměrné vlastnostem požitého materiálu a velikosti konečné deformace. Dalším faktorem je teplota při, které dochází k tváření, s rostoucí teplotou klesá zpevnění. Následně i rychlost přetvoření ovlivňuje proces deformace. Čím je vyšší rychlost tím více kluzových rovin je uvedeno do pohybu. Dochází ke zvýraznění meze kluzu a jejímu přiblížení mezi pevností.

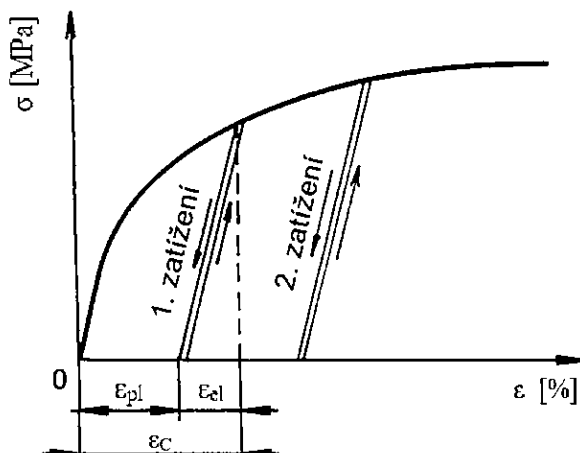
E/ Zákon odpružení po trvalé změně tvaru

Koexistence elastické a plastické deformace při zatížení materiálu je příčinou toho, že deformované těleso po odeznění zatěžovací síly změní svůj tvar. Změna se řídí



Obr. 2.8 Působení smykového napětí [4].

Legenda obr. 2.8:
 F – působící síla [N];
 B – zrna materiálu;
 τ_u – úhel smykového napětí [MPa];



Obr. 2.9: Celková deformace [4].

Hookovým zákonem, je tedy přímo úměrná velikosti elastické deformace. Elastická deformace má lineární průběh a projeví se i po opakovaném zatěžování nad mezi kluzu. Ta postupně roste, jak je patrné z obr. 2.9.

Hookův zákon:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = \frac{F}{S} \text{ [MPa]} \quad (2.6)$$

σ – napětí [MPa];

ε – poměrná deformace [-];

E – Youngův modul pružnosti [MPa];

S – plocha zatěžovaného průřezu [mm²];

Celková poměrná deformace:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl} = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_{pl} \text{ [-]} \quad (2.7)$$

ε_{el} – poměrná elastická deformace [-];

ε_{pl} – poměrná plastická deformace [-];

ε_c – celková poměrná deformace [-];

F/ Zákon přídavných napětí

Přídavná napětí vznikají vlivem tření a s ním spojeným vývinem tepla jako důsledek změny tvaru tvářeného tělesa. Také další faktory jako chemická nestejnorodost a nerovnoměrné mechanické vlastnosti tvářeného materiálu výrazně ovlivňují vznik těchto napětí. Ty následně snižují tvárnost a můžou vést až k porušení celistvosti materiálu vytvořením mikrotrhlin případně makrotrhlin. Vzniku vnitřních pnutí je možné částečně předejít například použitím vhodného maziva nebo speciálního nástroje (účinkem vibrací nebo ultrazvuku). Snížení jejich vlivu v hotovém výrobku je možné žiháním tvářeného materiálu.

G/ Zákon podobnosti

Podmínky geometrické, mechanické a fyzikální podobnosti pro dvě různá tělesa jsou splněny, jestliže

- pro geometrickou podobnost platí, že poměr jednotlivých stran tělesa je shodný a poměr průřezů se rovná poměru druhých mocnin jejich stran;
- mechanická podobnost nastává, jestliže poměr působících sil k druhým mocninám příslušných rozměrů je stejný spolu s rovností měrných tlaků. Udává také, že poměry objemů přetvářených těles jsou stejné jako poměry přetvárných prací. Dále, že koeficient na třecích plochách je stejný;
- fyzikální podobnost bude zabezpečena, jestliže bude zabezpečeno stejné chemické složení, struktura a fázový stav tvářených těles, dále pak stejné deformační rychlosti při stejných teplotách s podobně rozloženými napětími;

H/ Zákon tření

Na styčných plochách nástroje a tvářeného materiálu vzniká při deformačních pochodech aktivní nebo pasivní tření. Aktivní tření je to, s jehož pomocí jsou prováděny tvářecí operace, například válcování. Pasivní tření působí větší opotřebení nástrojů, zvyšuje spotřebu energie a brání rozvoji plastické deformace. Smykové napětí v místě kontaktu dvou povrchů je projevem odporu proti relativnímu pohybu stýkajících se těles, řídí se Coulombovým zákonem:

$$\tau = f \cdot \sigma_n \text{ [MPa]} \quad (2.8)$$

- τ – smykové napětí [MPa];
- f – součinitel smykového napětí[-];
- σ_n – normálové napětí [MPa];

Dále je možné kluzné tření rozdělit na

- suché tření kdy styčné plochy dvou těles nejsou mazány;
- mezní tření zde je omezena tvorbou třecích svarů pomocí tenké vrstvy maziva (cca 1 μ m), mazání je nedokonalé a může docházet ke kovovému styku povrchů;
- hydrodynamické tření platí zde hydrodynamické zákony a vrstva maziva dokonale oddělí plochy nástroje od tvářeného materiálu;
- smíšené tření, to je nejčastější druh tření při tvářecích operacích, jedná se o kombinaci tření hydrodynamického a mezního;

2.2 Popis technologického procesu

Tažení plechů je jednou z technologií plošného tváření, při které dochází ke změně tvaru polotovaru – prístřihu plechu, za působení vnějších sil. Pomocí lisovacích tažidel vznikne tvar miskovitěho tvaru, který se nazývá výtažek.

Výtažky lze zhotovit:

a) Na jednu operaci – výtažek je tažen z rondelu, působením tažníku a tažnice je vytvořen válcový úsek výtažku. Materiál rondelu se vytáhne do oblasti stěny a současně napěchuje působením tlakového tangenciálního napětí.

b) Více operačním tažením – kdy v další operaci se použije jako vstupní polotovar výtažek z předchozí operace. Proces pěchování a vytahování probíhá v šikmém úseku výtažku, který může být přitlačován přidržovačem.

Při tvorbě technologického postupu je nezbytné respektovat některá výrobní omezení a zásady spojené se zvolenou technologií.

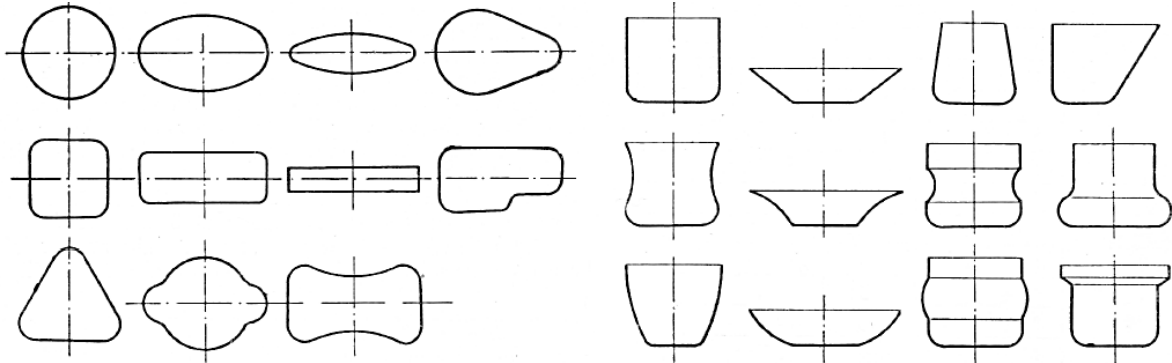
2.2.1 Technologičnost výtažku

Technologičnost výtažků je především závislá na volbě materiálu, zvláště když jde o výtažky vyžadující vysoký stupeň deformace a větší počet tahů. Je vhodné používat hlubokotažný materiál (uklidněnou ocel) i pro méně náročné výtažky pokud se déle skladuje nebo pokud jsou delší časy mezi jednotlivými operacemi.

Nejvhodnější tvar výtažku je válec s kolmým dnem ke stěně. Zvýšení tvarové složitosti vede k zdražení nástroje nebo navýšení počtu pracovních operací.

Tolerance tloušťky sten výtažku pokud možno nepředepisovat, z technologického hlediska je lepší volit silnější plech. Přídavek několika milimetrů na výšku může zvýšit počet tahů, pak je nutno použít další nástroj. Nebo to může být příčinou vyčerpání plasticity materiálu a bude nutno zařadit mezioperaci žíhání, což má negativní dopad na výslednou cenu výrobku. Nerozšiřovat zbytečně přírubu s ohledem na minimální šířku příruby.

Mezi zvlášť obtížné tvary výtažků patří:



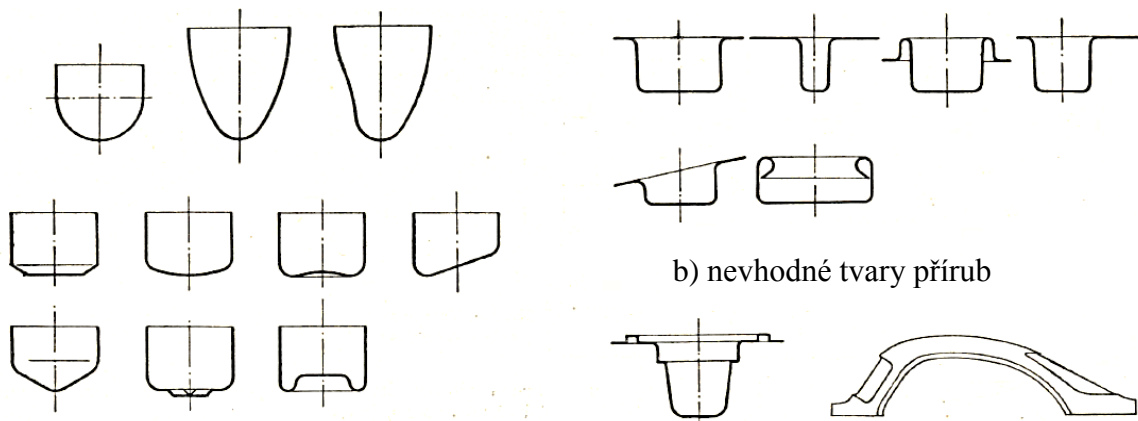
a) příčný tvar pláště

b) podélný tvar pláště

Obr. 2.10 Odchylnky od ideálního tvaru výtažku [11].

Podle příčného tvaru pláště: úzké hranaté tvary s ostrými rohy, nesymetrické tvary, pláště na některých částech vyduuté, obr. 2.10 a).

Podle podélného tvaru pláště: kuželové pláště, nesymetricky se rozevírající, s místním větším rozšířením, obr. 2.10 b).



a) nevhodné tvary den

b) nevhodné tvary přírub

c) nevhodné složité tvary

Obr. 2.11 Nevhodné tvary výtažků [11].

Podle dna: kuželová dna, hluboce tvarovaná, šikmá k ose tažení, obr. 2.11 a).

Podle příruby: široké příruby, šikmé k ose výtažku, nesouměrné šíře, složitě tvarované, uvnitř výtažku, obr. 2.11b).

Nevhodné jsou také celkově složité tvary, na kterých není zřetelné rozlišení stěny a příruby výtažku, obr. 2.11c).

Přechody mezi přírubou, pláštěm a dnem mají mít minimální rádius, toto platí i u nerotačních tvarů mezi jednotlivými stěnami výtažku. Přechodový poloměr má zaručit tažení bez zmetků.

Ploché výtažky z tenkých plechů je nutné tvarově vyztužit (vyboulit, olemovat) v poměru k jejich velikosti a tvaru, případně opatřit tvarovou přírubou.

Odpružení je největší po prvním tahu, proto jsou výtažky zhotovené více tahy přesnější. Rozměrovou přesnost je možno také zvýšit kalibrováním výrobku. Kvalita a přesnost výroby je závislá také na technologické kázni pracovníků v lisovně a na dobrém technickém stavu strojů a nástrojů.

2.2.2 Parametry technologického procesu

Velikost přístřihu

Při určování velikosti kruhového přístřihu pro daný výtažek se vychází z předpokladu, že plocha přístřihu je stejná jako plocha výtažku. Toto platí za předpokladu, že se nemění tloušťka stěny, nejedná se tedy o tažení se ztenčením stěny. Pro válcový výtažek bez příruby platí:

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} \quad [\text{mm}] \quad (2.9)$$

D – průměr přístřihu [mm];

d – průměr výtažku [mm];

h – výška výtažku [mm];

Pro výtažky s přírubou platí:

$$D = \sqrt{d_p^2 + 4 \cdot d \cdot h - 3,44 \cdot d \cdot r} \quad [\text{mm}] \quad (2.10)$$

d_p – průměr příruby [mm];

Velikost přístřihu pro složitější tvary se spočítá podle Guldinova pravidla: povrch rotačního tělesa vytvořený otáčením křivky libovolného tvaru podle osy se rovná součinu z délky tvořící křivky a dráhy těžiště této křivky, pak platí:

$$S_G = 2 \cdot \pi \cdot x \cdot l \quad [\text{mm}^2] \quad (2.11)$$

S_G – plocha podle Guldinova pravidla [mm²];

x – vzdálenost těžiště tvořící křivky od osy tělesa [mm];

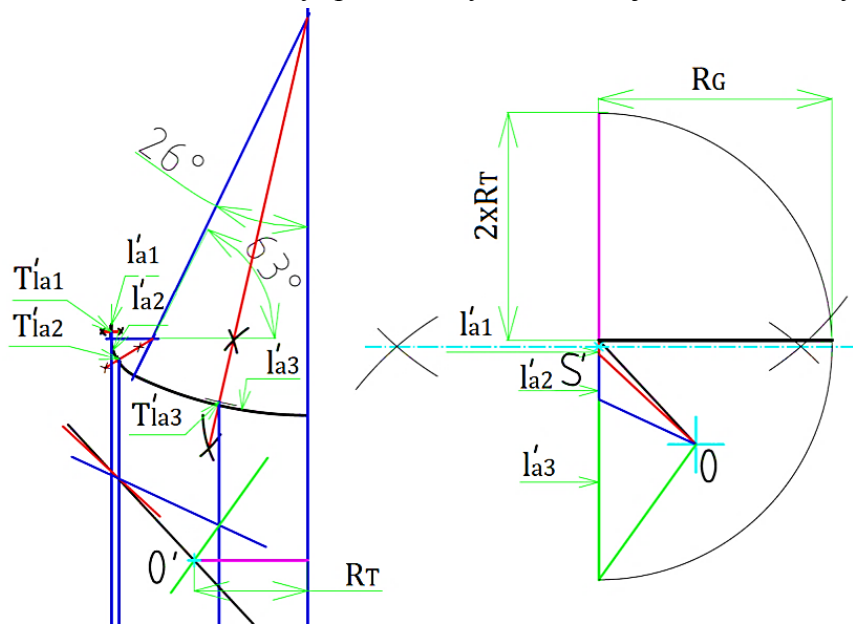
l – délky tvořící křivky [mm];

Pro průměr přístřihu následně platí:

$$D = \sqrt{8 \cdot L_x} \quad [\text{mm}] \quad (2.12)$$

L_x – součet součinů dílčích délek (l) a vzdáleností těžišť těchto délek od osy tělesa (x) [mm²];

Určit velikost rondelu lze také pomocí graficko-analytické metody, obr. 2.12. V tomto případě se rozdělí křivka, která tvoří osu stěny průřezu výrobku, na jednotlivé úseky ($l'_{a1} \div l'_{a3}$). Dále je vyhledáno těžiště jednotlivých úseků ($T'_{la1} \div T'_{la3}$), z nichž se sestrojí rovnoběžky s osou součásti. Pomocí spojených jednotlivých úseků délek osy stěny průřezu výrobku se vytvoří úsečka délek. Z ní jsou vedeny spojnice do libovolného bodu (bod O), které tvoří paprskový obrazec. Jednotlivé paprsky, které spojují bod O s hraničními body úsečky délek, se následně přenesou na přímky



Obr. 2.12 Schéma graficko-analytické metody.

Legenda obr. 2.12:

l'_{a1} – délka prvního úseku [mm];

l'_{a2} – délka druhého úseku [mm];

l'_{a3} – délka třetího úseku [mm];

T'_{la1} – těžiště prvního úseku;

T'_{la2} – těžiště druhého úseku;

T'_{la3} – těžiště třetího úseku;

O – spojnice paprskového obrazce;

O' – obraz spojnice paprskového obrazce;

S' – střed půlkružnice graficko-analytické metody;

R_T – poloměr těžiště tvořící křivky [mm];

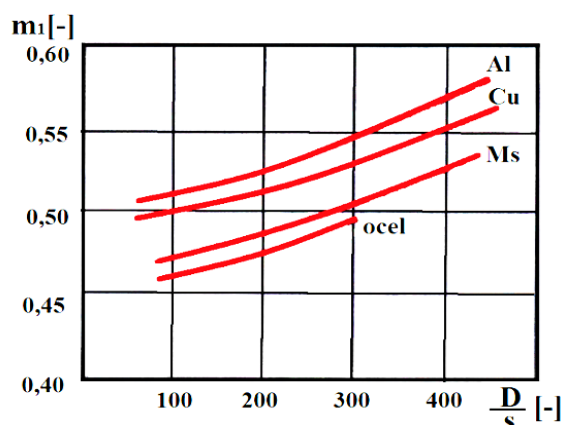
R_G – poloměr příst. z graficko-analyt. metody [mm];

této kolmici, mezi průnikem kolmice přes půlkružnici a vrcholem úsečky délek je poloměr přístřihu (RG).

Velikost přístřihu se zvětšuje o 3% při jedno operačním tažení a následně o 1% na každou další operaci tažení, s ohledem na cípatost výtažku. Je nutné zohlednit i vliv anizotropie plechu a přidat dalších 2÷7% velikosti průměru přístřihu.

Odstupňování tahů pro válcové výtažky

Překročí-li stupeň deformace jistou maximální mez, více obr. 2.13, dojde k poškození výtažku. Naproti tomu je snaha o minimalizaci počtu tažných operací. Aby, bylo plně využito mechanických vlastností materiálu, je počet tahů, obr. 2.14, u výtažku stanoven pomocí součinitele tažení. Dosáhne-li jeho velikost mezní hodnoty je třeba tažení provést na více tahů. Pro ocelové plechy je doporučená hodnota $m_1 = 0,46 \div 0,62$. Pro další tahy se doporučuje hodnota součinitele $0,75 \div 0,85$.



Obr. 2.13 Mezní hodnoty součinitele tažení [4].

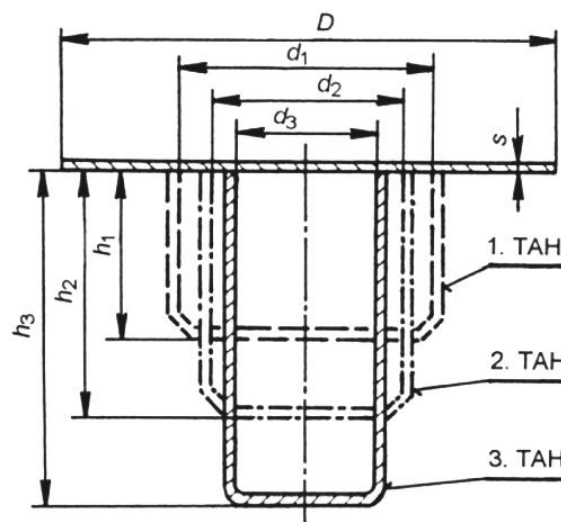
Legenda obr. 2.13:

m_1 – součinitel tažení pro první tah [-];

D – průměr přístřihu [mm];

s – tloušťka materiálu [mm];

jdoucí z těžnic. V průsečíku krajních spojnic leží obraz libovolného bodu O. Jeho vzdálenost od osy výrobku, je poloměr těžiště tvořící křivky (RT), ten se nanese dvakrát na přímku, na níž leží úsečka délek, tak aby tvořili jednu úsečku. Na ní se pak vyhledá střed (S') a narýsuje se půlkružnice. V bodě, který spojuje úsečku délek a dvojnásobek poloměru těžiště tvořící křivky je vztyčena kolmice. Délka úsečky vniklé na



Obr. 2.14 Odstupňování tažných operací [9].

Legenda k obr. 2.14:

D – průměr přístřihu [mm];

s – tloušťka materiálu [mm];

d_1 – průměr výtažku po prvním tahu [mm];

d_2 – průměr výtažku po druhém tahu [mm];

d_3 – průměr výtažku po třetím tahu [mm];

h_1 – výška výtažku po prvním tahu [mm];

h_2 – výška výtažku po druhém tahu [mm];

h_3 – výška výtažku po třetím tahu [mm];

Určení počtu tažných operací

Pro první operaci:

$$m_1 = \frac{d_1}{D} [-] \quad (2.13)$$

m_1 – součinitel tažení pro první tah [-];

D – průměr přístřihu [mm];

d_1 – průměr výtažku po prvním tahu [mm];

Pro n-tou operaci:

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} [-] \quad (2.14)$$

m_n – součinitel tažení pro n - tý tah [-];

d_n – průměr výtažku po n-tém tahu [mm];

d_{n-1} – průměr výtažku po n-1-vém tahu [mm];

Celkový součinitel tažení:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n [-] \quad (2.15)$$

m_c – celkový součinitel tažení [-];

m_1 – součinitel tažení pro první tah [-];

m_2 – součinitel tažení pro druhý tah [-];

m_n – součinitel tažení pro n - tý tah [-];

Stupeň tažení:

$$K = \frac{D}{d} = \frac{1}{m} [-] \quad (2.16)$$

K – stupeň tažení [-];

m – součinitel tažení [-];

D – průměr přístřihu [mm];

d – průměr výtažku [mm];

Stanovení počtu tažných operací pro výtažky s plochým dnem se řídí součinitelem tažení. U výtažků kde je nebezpečí ztráty stability procesu tažení a vznik vln I. druhu, vlivem nepodepření části plochy taženého materiálu, je nutné počet operací korigovat podle údajů ze směrnice pro stanovení mezních stupňů přetvoření pravidelných tvarů součástí z plechu. Zde je stanoveno, že pro výtažky s polokulovým dnem je nutné zjistit poměr vnitřního průměru výtažku a tloušťky stěny materiálu. Podle této hodnoty pak z grafu určit počet tažných operací, graf je přílohou č. 1 této práce.

Dále je třeba vzít v potaz tato doporučení, vycházející z poměru síly materiálu a průměru přístřihu:

a) Je-li:

$$\Delta s = \frac{s}{D} \cdot 100 > 3 [-] \quad (2.17)$$

Δs – poměrná tloušťka materiálu [-];

s – tloušťka materiálu [mm];

D – průměr přístřihu [mm];

- táhne se bez přidržovače na jeden tah v uzavřené tažnici s kalibrací v závěru operace;

a) Je-li:

$$\Delta s = \frac{s}{D} \cdot 100 < 3$$

- je doporučeno použít, tažení s přidržovačem a brzdícím žebrem, případně zpětné tažení;

a) Je-li:

$$\Delta s = \frac{s}{D} \cdot 100 > 0,5$$

- je doporučeno použít brzdící lišty nebo zpětné tažení;

Tažnice

Velikost poloměru zaoblení tažnice ovlivňuje rozložení napětí v materiálu a tím vznik vad při tažení. Při jeho zvýšení se zvětší plocha nepodepřeného materiálu a je nebezpečí vzniku

vln I. druhu, obr. 2.15. Výhodou je snadnější tažení - možnost použít menších tvářecích sil a výroby hlubšího výtažku s vyšším stupněm přetvoření na jednu operaci.

Poloměr zaoblení tažnice pro první tah se vypočte podle vzorce:

$$r_{t1} = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d) \cdot s} \text{ [mm]} \quad (2.18)$$

r_{t1} – poloměr zaoblení hrany tažnice [mm]

s – tloušťka materiálu [mm];

D – průměr přístřihu [mm];

d – průměr výtažku [mm];

Legenda k obr. 2.15:

R_t – poloměr tažníku [mm];

r_{p1} – poloměr zaoblení hrany tažníku [mm];

r_{t1} – poloměr zaoblení hrany tažnice [mm];

r_{t2} – zvětšený poloměr zaoblení hrany tažnice [mm];

F_{p1} – síla přidržovače [N];

F_{p2} – síla přidržovače pro zvětšený poloměr zaoblení hrany tažnice [N];

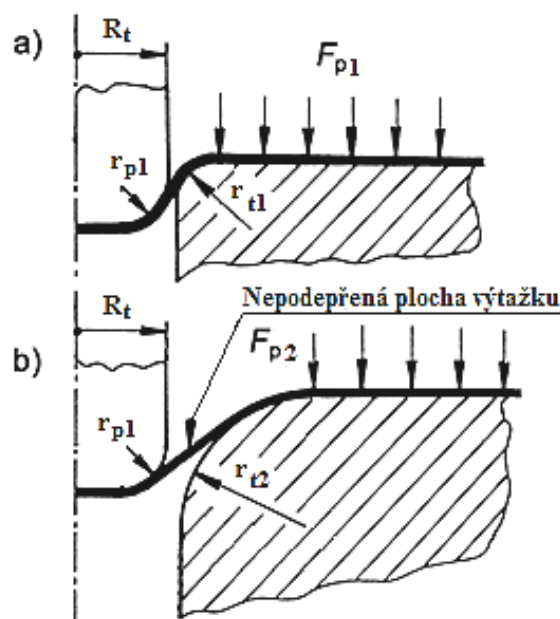
Pro první tah:

$$r_{t1} = (8 \div 10) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.19)$$

Pro další tahy:

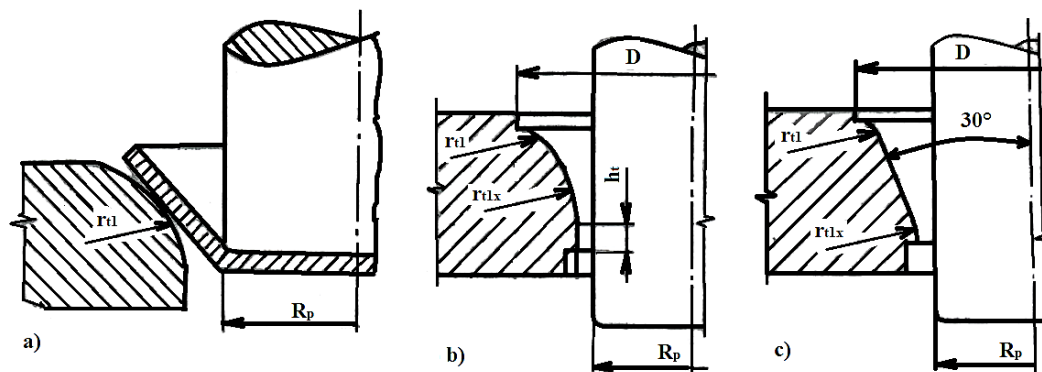
$$r_{t1} = (6 \div 8) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.20)$$

Vztah 2.20 lze využít pod podmínkou, že bude použito maximálně stejných hodnot jako u prvního tahu.



Obr. 2.15 Vliv poloměru zaoblení tažné hrany tažnice [9].

Můžeme použít také zjednodušené vztahy, které uvádí ČSN 22 73 01:



a) Velký rádius r_{t1} ; b) Traktrix křivka – evolventa řetězovky; c) kuželová plocha

Obr. 2.16 Možné úpravy tažných ran [3].

Legenda obr 2.16:

r_{t1} - poloměr zaoblení hrany tažnice [mm];

r_{tlx} - poloměr zaoblení hrany tažnice na výstupu [mm];

R_p – poloměr tažníku [mm];

h_t - výška válcové části [mm];

D – průměr přístřihu [mm];

Proces tažení lze také ovlivnit tvarem tažné hrany, obr. 2.16. Tohoto postupu se používá při tažení tlustých plechů a nízkém stupni tažení. Stabilita procesu je zachována i při větším stupni deformace s nižší hodnotou součinitele tažení. V případě použití traktrix křivky můžeme táhnout s velmi malými silami a se součinitelem tažení $m = 0,35$.

Při tažení nepravidelných, nesymetrických nebo hranatých tvarů výtažků, dochází ke ztrátě stability

tažného procesu v důsledku nerovnoměrně rozložené deformace materiálu. Ke stabilizaci procesu lze přispět konstrukční úpravou tažnice, kdy ji doplníme o brzdící lištu nebo tažnou hranu, obr. 2.17. Případně je možné vyrobit tažnici s brzdícím žebrem nebo využít nerovnoměrného tlaku přidržovače.

Také tvar výstupní části tažnice ovlivňuje technologický proces. Je-li ve spodní části ostrá hrana, lze přes ni výtažek stáhnout, díky jeho odpružení. V případě, že má tažnice kuželový tvar otvoru je nutné při tažení použít vyhazovač.

Pro výšku válcové části funkčního otvoru tažnice platí, že větší výška prodlouží její životnost, avšak negativně ovlivní povrch výtažku a vynutí si zvýšení tvářecích sil.

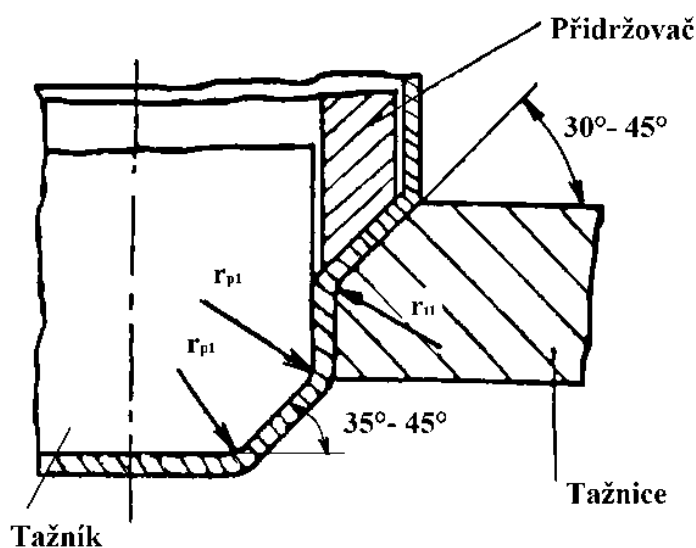
Výška válcové části funkčního otvoru tažnice se řídí vztahem:

$$h_t = (2 \div 8) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.21)$$

h_t - výška válcové části [mm];

Tažník

Poloměry zaoblení tažníků vychází z poloměru zaoblení tažnic většinou jsou stejné, toto platí pro první a předposlední tah. Při postupovém tažení se pro mezitahy obvykle hrany tažníku skosí pod úhlem $35^\circ \div 45^\circ$, obr. 2.18. Vztahy pro minimální rozměry poloměrů jsou uvedeny tabulce 2.1. V případě nutnosti výroby menšího poloměru, je nutné zařadit další operaci, při které se nemění průměr výtažku, pouze se upraví poloměr zaoblení, kalibrováním nebo tlačením.

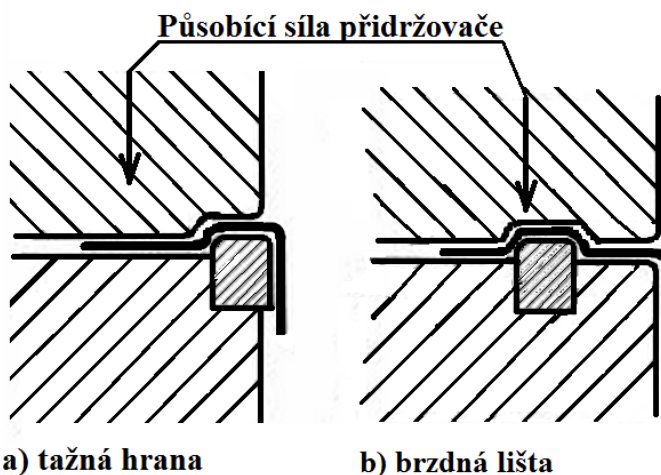


Obr. 2.18 Skosení tažníku a přidržovače [3].

Tažník má mít otvor pro zavzdušnění prostoru mezi tažníkem a výtažkem, pod čelem tažníku. Tímto způsobem se zabráňuje vzniku podtlaku při stírání výrobku. Díra je v ose tažníku, o průměru $5 \div 6$ mm, boční vyústění je minimálně stejného průměru a umístěné výše než je předpokládaná výška výtažku. Další faktor usnadňující setření výtažku z tažníku je drsnost povrchu tažníku.

Tab. 2.1 Minimální hodnoty zaoblení tažníku [3].

Průměr výtažku [mm]	Vztah pro poloměr zaoblení tažníku [mm]:
10 ÷ 100	$r_{p1} = (3 \div 4) \cdot s$ (2.22)
100 ÷ 200	$r_{p1} = (4 \div 5) \cdot s$ (2.23)
200 a více	$r_{p1} = (5 \div 7) \cdot s$ (2.24)



Obr. 2.17 Tažná hrana a brzdná lišta [10].

Jsou požadovány hladké boky tažníku, pro snadnější setření výtažku. Naopak čelo tažníku by mělo být drsnější, aby k němu tažený materiál lépe přilnul.

Tažník i tažnici lze vyrobit z jednoho kusu nebo jejich funkční části opatřit vyměnitelnými vložkami.

Přidržovač – použití, tvar a síla

Použitím přidržovače je omezena tvorba přeložek a zvrásnění. Jeho použití je důležité hlavně pro tenké plechy, u silných plechů je stabilita procesu přetvoření dostatečně velká, a proto není nutné použití přidržovače.

Tab. 2.2 Materiálové konstanty [13].

Materiálová konstanta	Ocelový hlubokotažný plech	Mosazný plech	Hliníkový plech
Z_p	1,90	1,95	2,00

Součinitel určující nutnost použití přidržovače se vypočítá ze vzorce:

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D}} \right) [-] \quad (2.25)$$

k_p – součinitel určující nutnost použití přidržovače [-];

Z_p – materiálová konstanta [-], tabulka 2.2;

s – tloušťka materiálu [mm];

D – průměr přístřihu [mm];

Je-li $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$, musí se výtažek táhnout s přidržovačem. Tab. 2.3 Měrný tlak přidržovače [3].

Je-li $k_p < \frac{100 \cdot d_1}{D}$, není přidržovač potřebný.

d_1 – průměr výtažku po prvním tahu [mm]

Přidržovač se použije v těchto případech:

a) Zjistí-li se výpočtem, že je nutné použít přidržovač, viz vztah 2.25;

b) Při druhém, popřípadě dalším tahu, jestliže součinitel tažení je menší než 0,9;

c) Pro paraboloidní a polokulové tvary výtažku platí, je-li $\frac{s}{D} \cdot 100 < 3$ - táhne se s přidržovačem a brzdícím žebrem případně se použije zpětné tažení;

Použití různých druhů přidržovačů se také řídí průměrem výtažku, je-li do 60 mm, lze použít přidržovač se zaoblenou hranou, se zaoblením stejným jako na tažníku. Pro výtažky nad 60 mm se hrana přidržovače zkosí pod úhlem $30^\circ \div 45^\circ$, obr. 2.18.

Pod přidržovačem musí zůstat minimální příruba, jejíž doporučené velikosti se řídí podle vztahu:

$$d_p \geq d + 1,2 \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.26)$$

d_p – průměr příruby [mm];

Měrný tlak přidržovače se určuje podle pevnosti a tloušťky taženého materiálu. Přehled používaných tlaků je v tabulce 2.3. V praxi se skutečný tlak nastavuje tak, aby při tažení nedocházelo ke vzniku vln, na přírubě a k trhlinám, na výtažku.

Síla přidržovače se vypočítá ze vztahu:

$$F_{p1} = S_p \cdot p_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot p_p \text{ [N]} \quad (2.27)$$

F_{p1} – síla přidržovače [N];

S_p – plocha pod přidržovačem [mm²];

p_p – tlak přidržovače [MPa];

D – průměr přístřihu [mm];

d – průměr výtažku [mm];

Tažná mezera

Při tažení bez ztenčení stěny se velikost tažné mezery volí větší než je tloušťka plechu,

tak aby byla větší, než je výrobní tolerance plechu, obr. 2.19, a aby jí prošel zesílený okraj výtažku. Pro více operační tažení se velikost tažné mezery postupně zmenšuje.

Na kalibrování volíme tažnou mezeru jako 1,1 násobek tloušťky plechu. Pro tažení se ztenčením stěny je mezeru dána počtem výrobních operací a výslednou tloušťkou stěny výtažku.

Při malé tažné mezeře dochází k pěchování válcové stěny výtažku a následně k nárůstu tažné síly. Příliš velká tažná mezeru způsobuje nestabilitu v procesu tažení a vznik vln I. druhu na stěnách výtažku.

Výpočet tažné mezery pro první tah:

$$t_m = (1,2 \div 1,3) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.28)$$

t_m – tažná mezeru [mm];

Výpočet tažné mezery pro poslední tah:

$$t_m = (1,1 \div 1,2) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.29)$$

Tažná síla

Tažnou sílu lze vypočítat dvěma způsoby, a to pomocí vztahu, který vychází z rozboru napjatosti a deformací, tzv. teoretický vzorec. Nebo ze vztahu, který vychází z maximálního přípustného napětí ve výtažku, z meze pevnosti - praktický vzorec. Ten udává, že nejvyšší možné napětí vyvolané tažnou silou musí být menší, než síla potřebná na utržení dna výtažku. Síla pro utržení dna výtažku:

$$F_d = \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m \text{ [N]} \quad (2.30)$$

Skutečná tažná síla:

$$F_t = \pi \cdot c \cdot d \cdot s \cdot R_m \text{ [N]} \quad (2.31)$$

F_d – síla pro utržení dna [N];

F_t – tažná síla [N];

c – koeficient vyjadřující vliv součinitele tažení [-];

d – průměr výtažku [mm];

s – tloušťka materiálu [mm];

R_m – mez pevnosti [MPa];

Výpočet skutečné tažné síly se od síly pro utržení dna výtažku liší pouze použitím koeficientu „c“, který koriguje vypočtenou sílu tak, aby nedošlo k poškození výtažku. Hodnoty koeficientu vyjadřujícího vliv součinitele tažení jsou v tabulce 2.4.

Tab. 2.4 Hodnoty koeficientu vlivu součinitele tažení [13].

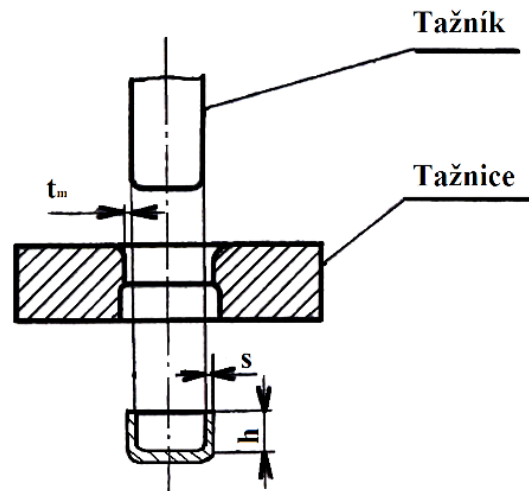
$m_1 = \frac{d_1}{D}$	0,55	0,575	0,6	0,625	0,65	0,675	0,7	0,75	0,8
c	1,0	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,6	0,5	0,4

m_1 – součinitel tažení pro první tah [-];

D – průměr přístřihu [mm];

d_1 – průměr výtažku po prvním tahu [mm];

Jelikož se materiál tvářením zpevňuje, je nutné pro každou další tažnou operaci zvýšit hodnotu síly o 10% ÷ 15% nebo výtažek vyžítat. Pro kalibraci je nutné počítat se silami 1,5 ÷ 3 krát vyššími.



Obr 2.19 Tažná mezeru [13].

Legenda obr. 2.19:

t_m – tažná mezeru [mm];

s – tloušťka materiálu [mm];

h – výška výtažku [mm];

Celková tažná síla se vypočte:

$$F_c = F_t + F_{p1} \text{ [N]} \quad (2.32)$$

F_c – celková tažná síla [N];

F_t – tažná síla [N];

F_{p1} – síla přidržovače [N];

Tažná práce

Tažná práce je důležitá pro výběr stroje pro provedení tažných operací, obr. 2.21, lze ji spočítat:

$$A_t = \frac{C \cdot F_c \cdot h}{1000} \text{ [J]} \quad (2.33)$$

A_t – tažná práce [J];

C – opravný koeficient zaplnění plochy,

$$C = \frac{2}{3} \text{ [-]};$$

F_c – celková tažná síla [N];

h – výška výtažku [mm];

Mazání

Použitím vhodného maziva se předejde zadírání taženého materiálu v nástroji a dosáhne se hladšího povrchu výtažku. Mazána je pouze tažnice, pro tažník je výhodnější větší tření. Díky snížení tření je zvýšena plynulost přetvárného procesu a uspořena energie. Základní druhy maziv:

a) Maziva kapalná - jedná se o oleje organické,

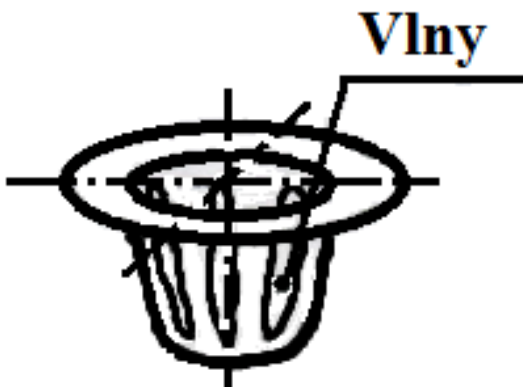
syntetické nebo minerální, mohou se používat i ve formě olejových emulzí. Patří sem také mýdlové emulze ze sodných i draselných mýdel. Chlórparafin ředěný olejem nebo benzínem se používá pro nejnáročnější tahy;

b) Maziva pevná – mazací tuky, složené z minerálního oleje a mastné přísady, grafit nebo sírník molybdeničitý;

Volba maziva je závislá na přilnavosti k materiálu, na jeho schopnosti odolávat tlaku, dále na tom jak odvádí teplo. Důležitý je také způsob nanášení a odstraňování z výtažku. V neposlední řadě je také důležitá zdravotní nezávadnost a vliv na životní prostředí.

2.3 Vady výtažků

Vlny

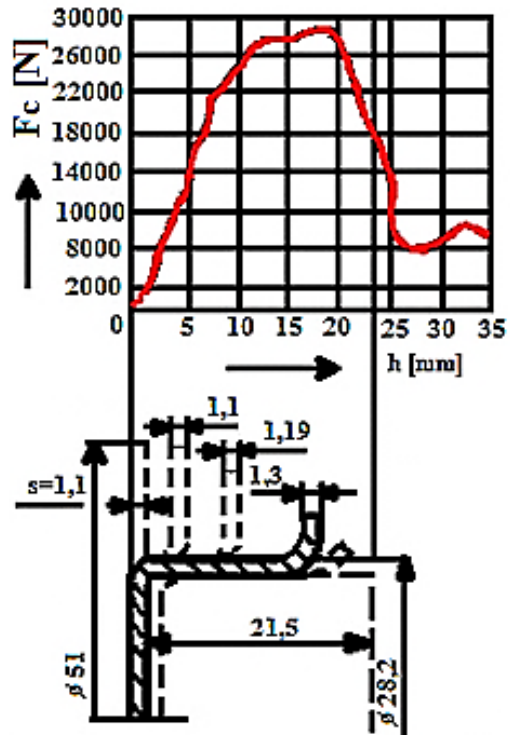


Obr. 2.22 Vlny I. druhu na kuželovém výtažku [3].

A/ Vlny I. druhu

Vlny I. druhu na výtažku vznikají u neválcových ploch, např.: kuželů, paraboloidů, polokoulí a podobně. Důvodem je volný materiál, který se neopírá o tažnici ani o tažník. Dochází zde k vypínání materiálu a vlivem nerovnoměrnosti deformačního napětí způsobeného tažnou silou dochází ke ztrátě tvarové stability materiálu (obr. 2.22).

Této vadě výrobku lze předejít více operačním tažením nebo odstupňováním tahů. Případně jako poslední operaci zařadit kalibrování.



Obr. 2.20 Graf tažné práce [10].

Legenda obr. 2.20:

F_c – celková tažná síla [N];

s – tloušťka materiálu [mm];

h – výška výtažku [mm];

B/ Vlny II. druhu

Tyto vlny vznikají na přírubě výtažku, vlivem nerovnoměrnosti deformačního zatížení způsobené tvářecí silou a tokem materiálu.

Jak je, z obr. 2.23 patrné je tato nerovnoměrnost značná a zanechává v materiálu značné vnitřní pnutí. Tento jev lze eliminovat použitím přidržovače.

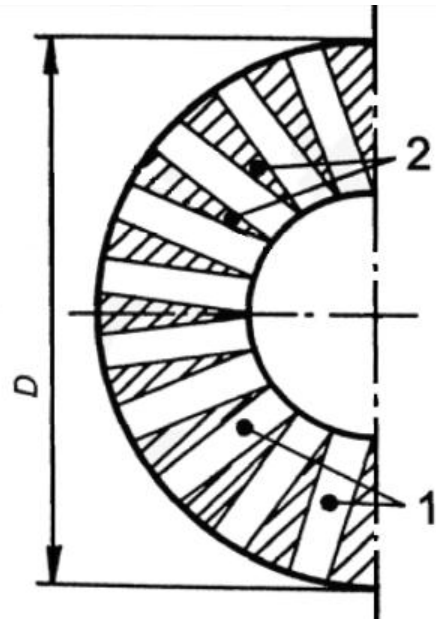
Cípatost

Při válcování plechů vzniká anizotropie materiálu vlivem jeho formování na válcovací trati. Tažným procesem dochází k dalšímu protažení zrn materiálu a plošná anizotropie se ještě zvýší. Ve spojení s dalšími vlivy jako jsou nestejnětloušťka plechu nebo nestejně přidržení okrajů při tažení, je výsledkem nerovnoměrný okraj výtažku (vzniknou tzv. cípy). Toto je průvodní jev všech výtažků, proto se už při stanovení velikosti přístřihu přičítají 3% velikosti na první tah a 1% na každý další tah. Okraj výtažku je pak nutno zarovnat odstříhnutím případně upíchnutím.

Trhliny

Výtažek je porušen trhlinou vlivem:

- Překročení meze pevnosti způsobené vyčerpáním plasticity materiálu - k trhlině dojde nejčastěji v přechodu dna a pláště.
- Vystárnutí materiálu, lze jim předejít renovací materiálu nebo jeho vyžiháním.
- Skrytých vad materiálu.
- Technologické nekázně pracovníků v lisovně.
- Špatný technický stav strojů a nástrojů.



Obr. 2.23 Předpoklady pro vznik vlny II. druhu [9].

Legenda k obr. 2.23

- 1 – plochy přemístování materiálu v radiálním směru;
- 2 – plochy přemístování materiálu v radiálním i tangenciálním směru;
- D – průměr přístřihu [mm];

3 Výroba zadané součásti - víka [2][3][4][12][13][15][17]

Jak již bylo výše uvedeno předmětem této práce je stanovení technologie výroby víka zásobní nádrže na LPG. Tyto přídatné nádrže se používají běžně jako zásobníky plynu alternativního pohonu osobních automobilů. Pro osobní hromadnou dopravu je více používán jako náhradní zdroj paliva CNG. Najdou se ovšem i méně tradiční formy využití LPG pro pohon, obr. 3.1 Motocykl s pohonem na LPG. Vedle nesporné finanční výhody je zde i nezanedbatelný environmentální aspekt posilující výhodnost používání těchto paliv.

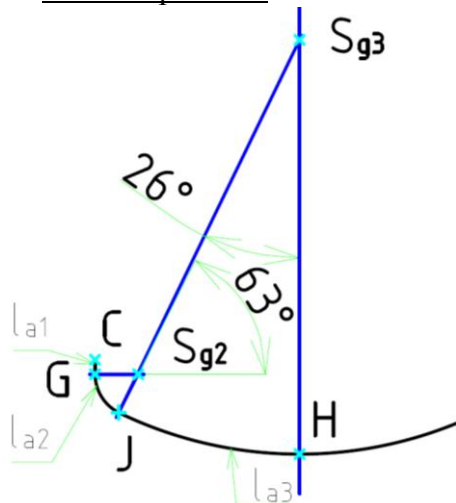


Obr. 3.1 Motocykl s pohonem na LPG [15].

Víka budou používána na válcových ležatých nádobách o minimálním objemu 100 l. Vnější průměr je 400 mm, délka 930 mm, tloušťka stěny 3,5 mm a hmotnost prázdné nádrže je 31,2 kg. Další údaje o rozměrech nádrže jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci, označení výkresu 2015/LPG-01 – příloha č. 2, detail víka 2015/LPG-02 – příloha č. 3. Nádobu je vyrobena z konstrukční oceli P 355 NB, tento materiál je vhodný pro svařované tlakové nádoby na plyn. Příruba nádrže je vyráběna z konstrukční oceli S 355 J2 G3 jedná se o universální nelegovanou konstrukční jemnozrnnou ocel s vysokou vrubovou houževnatostí a zaručenou svařitelností.

3.1 Technologické výpočty a návrh technologického postupu

Velikost přístřihu



Obr. 3.2 Rozdělení osy stěny průřezu víka.

a l_{a3} leží těžiště na spojnici středu oblouku a středu křivky. Pro výpočet jeho vzdálenosti od středu oblouku platí:

$$l_{Tx} = r \cdot \frac{\sin \alpha}{\arccos \alpha} \quad [mm] \quad (3.1)$$

l_{Tx} – vzdálenost těžiště od zvažovaného bodu [mm];

Velikost přístřihu bude stanovena graficko-analytickou metodou, měřítko výkresů je 1:2. Pro jeho stanovení je nutné rozdělit osu stěny průřezu výrobku. Jednotlivé úseky jsou znázorněny na obr. 3.2. Dále je nutné najít těžiště jednotlivých úseků. Pro každou osově symetrickou křivku platí, že těžiště leží na této ose. Stanovené úseky jsou osově symetrické, l_{a1} je úsečka a její těžiště je tedy v jejím středu. Pro kruhové úseče l_{a2}

Legenda k obr. 3.2:

C, G, J a H – hraniční body oddělující jednotlivé úseky;

S_{g2} – střed kruhové úseče úseku l_{a2} ;

S_{g3} – střed kruhové úseče úseku l_{a3} ;

l_{a1} - délka úsečky CG [mm];

l_{a2} - délka kruhové úseče ohraničená body G a J, se středem v S_{g2} [mm];

l_{a3} - délka kruhové úseče ohraničená body J a H, se středem v S_{g3} [mm];

r – poloměr [mm];
 α – polovina úhlu, který svírají úsečky spojující střed kružnice s krajními body kruhové úseče [°];

Za předpokladu, že platí:

$$\text{arc } \alpha = \frac{\alpha \cdot \pi}{180} [-] \quad (3.2)$$

Je možno vztah 3.1 upravit:

$$l_{Tx} = r \cdot \frac{\sin \alpha}{\text{arc } \alpha} = r \cdot \frac{\sin \alpha}{\frac{\alpha \cdot \pi}{180}} = \frac{180 \cdot r \cdot \sin \alpha}{\alpha \cdot \pi} [\text{mm}] \quad (3.3)$$

Těžiště úseku l_{a1} :

Toto těžiště leží ve středu úsečky CG. Lze jej snadno graficky určit více na obr. 3.3.

Těžiště úseku l_{a2} :

$$l_{Tla2} = \frac{180 \cdot r_{la2} \cdot \sin \alpha_{la2}}{\alpha_{la2} \cdot \pi} = \frac{180 \cdot 20,88 \cdot \sin 31,5}{31,5 \cdot \pi} = 19,84 \text{ mm}$$

l_{Tla2} – vzdálenost těžiště od bodu S_{g2} [mm];

r_{la2} – poloměr kruhové úseče [mm];

α_{la2} – polovina úhlu $GS_{g2}J$ [°];

Těžiště úseku l_{a3} :

$$l_{Tla3} = \frac{180 \cdot r_{la3} \cdot \sin \alpha_{la3}}{\alpha_{la3} \cdot \pi} = \frac{180 \cdot 200,88 \cdot \sin 13}{13 \cdot \pi} = 199,16 \text{ mm}$$

l_{Tla3} – vzdálenost těžiště od bodu S_{g3} [mm];

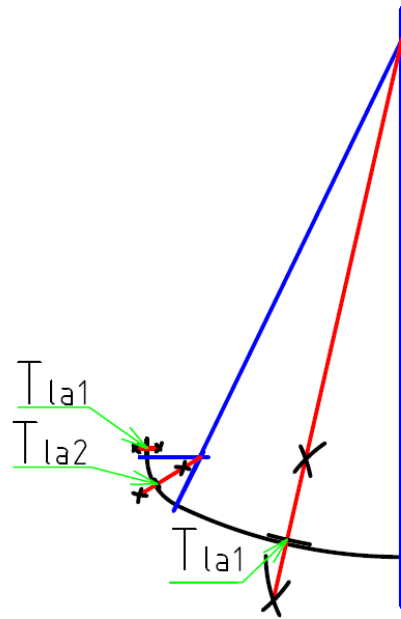
r_{la3} – poloměr kruhové úseče [mm];

α_{la3} – polovina úhlu $JS_{g3}H$ [°];

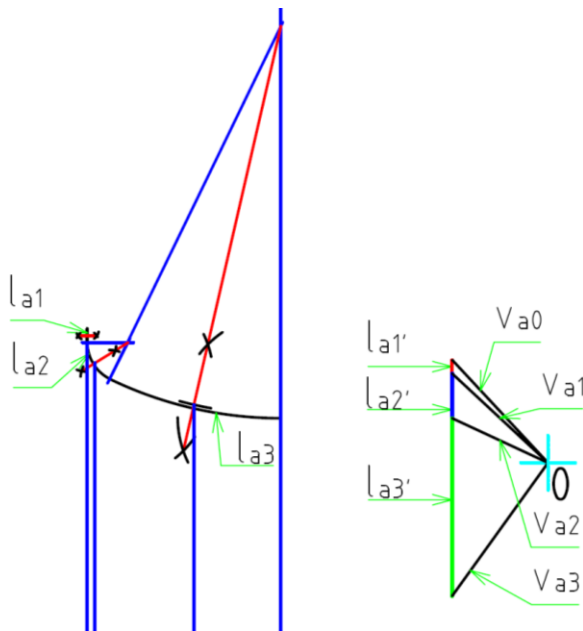
V obrazi se zakreslí osy symetrie jednotlivých úseků, na obr. 3.3 zvýrazněny červenou barvou. Na osách se pak vyznačí těžiště jednotlivých křivek, obr. 3.3 body T_{la1} , T_{la2} a T_{la3} .

Pro vytvoření paprskového obrazce je nutné znát délku křivek l_{a1} , l_{a2} a l_{a3} . l_{a1} je úsečka délku lze odečíst z výkresu (14mm). Délky kruhových úsečí l_{a2} a l_{a3} určíme podle vzorce:

$$l_x = r \cdot \beta \cdot \frac{\pi}{180} [\text{mm}] \quad (3.5)$$



Obr. 3.3 Vyhledání těžišť křivek obrazce.



Obr. 3.4 Paprskový obrazec.

l_x – délka úseku [mm];

β – úhel, který svírají úsečky spojující střed kružnice s krajními body kruhové úseče [°];

Délka l_{a2} :

$$l_{a2} = r_{la2} \cdot \beta_{la2} \cdot \frac{\pi}{180} = 20,88 \cdot 63 \cdot \frac{\pi}{180} = 22,96 \text{ mm}$$

l_{a2} – délka úseku l_{a2} ;

β_{la2} – úhel $GS_{g2}J$ [°];

Délka l_{a3} :

$$l_{a3} = r_{la3} \cdot \beta_{la3} \cdot \frac{\pi}{180} = 200,88 \cdot 26 \cdot \frac{\pi}{180} = 91,16 \text{ mm}$$

l_{a3} – délka úseku l_{a3} ;

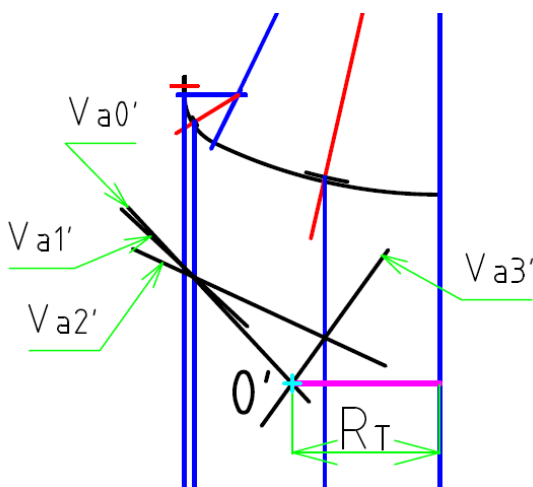
β_{la3} – úhel $JS_{g2}H$ [°];

Jednotlivé délky úseků l_{a1} , l_{a2} a l_{a3} nanese na společnou přímku, obr. 3.4. Zvolíme libovolný bod v prostoru (O), který neleží na přímce s l_{a1} , l_{a2} a l_{a3} . Spojením

krajních bodů úseků s bodem O, vznikne paprskový obrazec, jehož ramena tvoří přímky v_{a0} , v_{a1} , v_{a2} a v_{a3} . Dále narýsujeme rovnoběžky s pomyslnou osou víka vycházející z těžišť jednotlivých úseků.

Narýsuje se rovnoběžka s přímkou v_{a0} , tak aby protнула přímkou jdoucí z T_{la1} , obr. 3.5. Do tohoto průsečíku se přenese rovnoběžka s v_{a1} . Tak vznikne průsečík v_{a1} a přímky jdoucí z T_{la2} do něž se nakreslí rovnoběžka s v_{a2} . Do bodu průtnutí v_{a2} a přímky vycházející z T_{la3} se vloží rovnoběžka s v_{a3} . Místo průtnutí přímek v_{a0} a v_{a3} je hledaný bod O' . Kolmice vedená z tohoto bodu na pomyslnou osu víka je rozměr označený R_T – poloměr těžiště tvořící křivky.

Poslední fází vyhledávání velikosti přístřihu je nanesení dvojnásobku velikosti R_T na



Obr. 3.5 Vyhledání poloměru těžiště tvořící křivky.

přímku, na níž jsou naneseny úseky l_{a1} , l_{a2} a l_{a3} do bodu K. Na úsečce, která tak vznikne, bude nalezen střed (bod S'). Z bodu S' se narýsuje půlkružnice. V bodě K se vztyčí kolmice k přímce, na níž leží body K a S' . Velikost úsečky vzniklé mezi bodem K a průnikem kolmice s půlkruhem je R_G – poloměr přístřihu z graficko-analytické metody. Následným změřením je získána velikost poloměru 117,82 mm. Průměr přístřihu je nutné vypočítat podle měřítka zvoleného na výkresu:

$$D_G = 2 \cdot R_G \cdot m_G \text{ [mm]} \quad (3.6)$$

$$D_G = 2 \cdot 117,82 \cdot 2 = 471,28 \text{ mm}$$

D_G – průměr přístřihu z graficko-analytické metody [mm]

m_G – měřítko výkresů [-]

K této hodnotě je nutné přičíst 2÷7% kvůli anisotropii plechu. Byl zvolen přídavek 4%, lze pak počítat:

$$D_{GA} = 1,04 \cdot D_G \text{ [mm]} \quad (3.7)$$

$$D_{GA} = 1,04 \cdot 471,28 = 490,13 \text{ mm}$$

D_{GA} – korigovaný průměr přístřihu z graficko-analytické metody [mm]

Další korekce průměru bude provedena na základě počtu tažných operací.

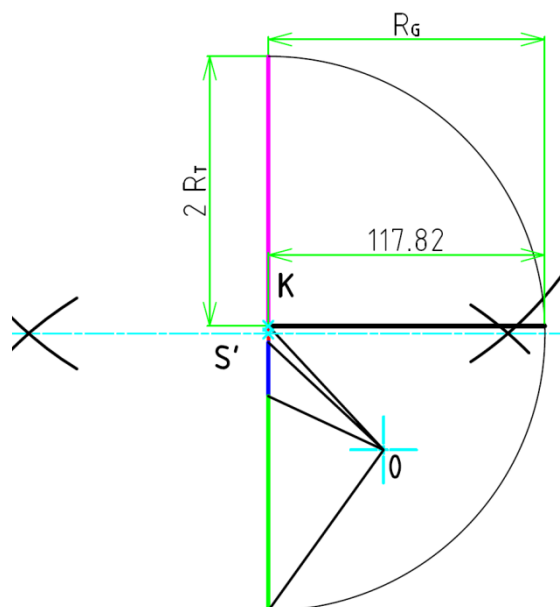
V případě, že je náčrt paprskového obrazce zpracováván v měřítku je nutné hodnotu D_G přepočítat podle tohoto měřítka. Pro účely této práce byly náčrty zpracovány v měřítku 1:2 a jsou uloženy jako – příloha č. 4.

Stanovení počtu tažných operací

Součinitel tažení:

Pro jeho výpočet bude použit modifikovaný vztah 2.13[3], získáme tak vztah pro součinitel tažení, určující počet tahů:

$$m = \frac{d}{D} = \frac{400}{490,13} \doteq 0,82$$



Obr. 3.6: Vyhledání poloměru přístřihu pomocí paprskového obrazce.

Mezní součinitel tažení pro první operaci se stanoví podle grafu na obr. 2.13[4], je nutné znát poměr přístřihu ku tloušťce materiálu:

$$P = \frac{D}{s} \text{ [mm]} \quad (3.8)$$

$$P = \frac{D}{s} = \frac{490,13}{3,5} \doteq 140,04 \text{ mm}$$

P – poměr přístřihu [-];

D – průměr přístřihu [mm];

s – tloušťka materiálu [mm];

Z grafu pak lze odečíst, že m_{mez} je 0,47. Celkový součinitel tažení je výrazně vyšší, než mezní součinitel tažení. Z těchto vypočtených hodnot by bylo možné stanovit, že víko lze vyrobit na jeden tah. Jedná se však o výtažek polokulového tvaru, proto je nezbytné provést kontrolu technologičnosti výtažku pomocí grafu ze směrnice pro stanovení mezních stupňů přetvoření pravidelných tvarů součástí z plechu. Vypočte se poměr pro stanovení mezního stupně tažení polokoulí, rozměry jsou dány rozměrem víka podle na výkresu 2015/LPG-02:

$$P_{ms} = \frac{d}{s} \text{ [-]} \quad (3.9)$$

P_{ms} – poměr pro stanovení mezního stupně tažení polokoulí [-];

d – průměr výtažku [mm];

s – tloušťka materiálu [mm];

$$P_{ms} = \frac{393}{3,5} = 112,29$$

Hodnoty grafu byli zjištěny experimentálně a platí pro materiál označený dle ČSN 41 1320 jako 11 320, materiálový ekvivalent pro tuto ocel je podle označení EN 10027-1 DD 11. Pro další stanovení postupu je nutno porovnat vlastnosti obou materiálů, více tabulka 3.1:

Tab. 3.1 Porovnání mechanických vlastností materiálů [5][17].

Materiál:	Pevnost v tahu [MPa]	Mez kluzu [MPa]	Tažnost [%]
P355NB	490 ÷ 630	355	min. 22
DD11	280 ÷ 440	max. 360	min. 25

Podle grafu z přílohy 1 je mezní hodnota pro jedno operační výrobu v rozmezí 110÷112. Výroba víka tedy podle tohoto součinitele musí probíhat na více operací. Vzhledem k vysoké hodnotě součinitele tažení a téměř mezní hodnotě poměru pro stanovení počtu tažných operací tažením polokoulí je zvolena výroba na dvě operace. Mechanické vlastnosti materiálu jsou sice rozdílné, přesto je podle výše jmenované příručky možno počítat s nižším stupněm přetvoření do 10%.

Po stanovení počtu operací je nutné provést konečnou úpravu velikosti přístřihu a přičíst k D_{GA} 3% +1% jako korekci tažných operací:

$$D = 1,04 \cdot D_{GA} \text{ [mm]} \quad (3.10)$$

$$D = 1,04 \cdot 490,13 = 509,74 \doteq 510 \text{ mm}$$

D – průměr přístřihu [mm]

D_{GA} – korigovaný průměr přístřihu z graficko-analytické metody [mm]

Použití přidržovače:

Pro paraboloidní a polokulové tvary výtažků se stanovuje použití přidržovače ze vztahu pro poměrnou tloušťku přístřihu, podle 2.17[3]:

$$\Delta s = \frac{s}{D} \cdot 100 = \frac{3,5}{510} \cdot 100 = 0,69$$

Poměr 0,686 je menší než 3 - je nutno použít, tažení s přidržovačem a brzdícím žebrem, případně zpětné tažení.

Stanovení postupu tažení:

V první operaci bude vytažen mělký válcový výtažek s minimální přírubou. Rozměrové poměry výtažku pro první tah musí být takové, aby výtažek potřeboval přidržovač. Proto jeho velikost bude stanovena ze vztahu pro zjištění použití přidržovače (2.25):

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{3,5}}{\sqrt[3]{510}} \right) = 83,29$$

Tuto hodnotu je nutné porovnat s poměrem $\frac{100 \cdot d_1}{D}$ z něhož se vyjádří d_1 :

$$k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D} \rightarrow d_1 \leq \frac{k_p \cdot D}{100}$$

$$d_1 \leq \frac{83,292 \cdot 510}{100} \leq 424,79 \cong 424 \text{ mm}$$

Velikost příruby stanovíme podle 2.26:

$$d_p \geq d + 1,2 \cdot s \text{ [mm]}$$

$$d_p \geq 424 + 1,2 \cdot 3,5 \geq 428,2 \text{ mm}$$

Jsou-li známé minimální velikosti výtažku po prvním tahu a minimální velikost příruby je třeba dopočítat výšku výtažku. Průměr přístříhu je 510 mm šířka příruby je 428,2 mm, výška výtažku není jejich prostým rozdílem, protože do výtažku se otisknou zaoblení tažníku a tažnice. Je tedy nutné počítat s délkou oblouku. Výška výtažku se určí ze vztahu:

$$h = \frac{D - d_p - u_{rp1} - u_{rt1}}{2} \text{ [mm]} \quad (3.11)$$

u_{rp1} – délkový úbytek způsobený zaoblením tažníku [mm];

u_{rt1} – délkový úbytek způsobený zaoblením tažnice [mm];

Pro další výpočty je nezbytně nutná znalost parametrů nástroje.

Tažnice:

Pro výrobu víka bude použita v první operaci tažnice se zaoblenou hranou. Minimální velikost zaoblení je vypočtena podle vzorce 2.19[3]:

$$r_{t1} = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d) \cdot s} = 0,8 \cdot \sqrt{(510 - 424) \cdot 3,5} = 13,88 \cong 14 \text{ mm}$$

Výška válcové části funkčního otvoru tažnice pro první tah se řídí vztahem 2.22[9], pro její výpočet byl zvolen koeficient 3. Takto určená výška funkční části otvoru tažnice zaručí její optimální opotřebení a neovlivnění povrchu výtažku.

$$h_t = (2 \div 8) \cdot s \text{ [mm]}$$

$$h_t = 3 \cdot 3,5 = 10,5 \text{ mm}$$

Tažník:

Poloměr zaoblení tažníku pro první tah (r_{p1}) se vypočte podle vzorce 2.25[13]:

$$r_{p1} = (5 \div 7) \cdot s \text{ [mm]}$$

$$r_{p1} = 5 \cdot 3,5 = 17,5 \cong 18 \text{ mm}$$

Minimální poloměr tažníku je vyhovující pro plánovaný technologický proces.

Tažná mezera:

Výpočet tažné mezery pro první tah podle vztahu 2.29[3]:

$$t_{m1} = (1,2 \div 1,3) \cdot s \text{ [mm]}$$

$$t_{m1} = 1,2 \cdot 3,5 = 4,2 \text{ mm}$$

Výpočet tažné mezery pro poslední tah podle vztahu 2.30[3]:

$$t_{m2} = (1,1 \div 1,2) \cdot s \text{ [mm]}$$

$$t_{m2} = 1,1 \cdot 3,5 = 3,85 \text{ mm}$$

Volba tažné mezery je také ovlivněna výsledným tvarem výtažku, byly zvoleny koeficienty tak, aby tažná mezera byla pokud možno co nejmenší a přispěla ke stabilizaci tažného procesu.

Se znalostí poloměrů zaoblení a za použití vzorce pro délku oblouku (3.5) spočítáme úbytek délky jimi způsobený:

$$u_{rp1} = \left(r_{p1} \cdot \beta \cdot \frac{\pi}{180} \right) - r_{p1} = \left(18 \cdot 90 \cdot \frac{\pi}{180} \right) - 18 = 10 \text{ mm}$$

$$u_{rt1} = \left(r_{t1} \cdot \beta \cdot \frac{\pi}{180} \right) - r_{t1} = \left(14 \cdot 90 \cdot \frac{\pi}{180} \right) - 14 = 8 \text{ mm}$$

$$h = \frac{D - d_p - u_{rp1} - u_{rt1}}{2} = \frac{510 - 428,2 - 10 - 8}{2} = 31,9 \text{ mm}$$

Na první tah bude vyroben mělký výtažek o průměru příruby 428,2 mm, průměru válcové části 424 mm a minimální výšky výtažku 31,9 mm. Součinitel pro první tah bude podle 2.13[3]:

$$m = \frac{d_1}{D} = \frac{424}{510} = 0,83$$

Ve srovnání s mezním součinitelem je vypočtená hodnota dostatečně vysoká pro provedení prvního tahu. Tímto způsobem se docílí v polotovaru výtažku před druhým tahem radiální vypnutí v jeho střední části a zvýší se tak jeho odolnost proti vzniku vln I. druhu.

Ve druhém tahu bude vytažen finální tvar víka, dle výkresu 2015/LPG-02. Polotovar výtažku bude nasazen na tvarovanou tažnici nástroje, spustí se přidržovač a následně tažníkem bude materiál vtlačěn do uzavřené tažnice, kde dojde ke kalibraci tvaru víka. Stabilita procesu bude podporována přidržovačem. Součinitel pro druhý tah, podle 2.13:

$$m_2 = \frac{d_2}{D} = \frac{400}{424} = 0,94$$

Hodnota vypočteného součinitele pro druhý tah je dostatečně vysoká pro jeho provedení.

Výpočet přetvárné síly:

Skutečná tažná síla se vypočte ze vztahu 2.31[2], koeficient vyjadřující vliv součinitele tažení (c) z tabulky 2.4 je 0,4. Pro první tah:

$$F_{pt1} = \pi \cdot c \cdot d \cdot s \cdot R_m = \pi \cdot 0,4 \cdot 424 \cdot 3,5 \cdot 630 = 1334735,17 \doteq 1334,74 \text{ kN}$$

Síla přidržovače podle 2.26[3], tlak přidržovače 2 MPa:

$$F_{pp1} = S_p \cdot p_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot p_p = \frac{\pi}{4} \cdot (510^2 - 424^2) \cdot 2 = 126172,64 \doteq 126,17 \text{ kN}$$

F_{pp1} – síla přidržovače pro první tažnou operaci [N];

Celková tvářecí síla pro první tažnou operaci dle 2.32[3]:

$$F_{pc1} = F_{pt1} + F_{pp1} = 1334,74 + 126,17 = 1460,91 \text{ kN}$$

F_{pt1} – celková síla pro první tažnou operaci [N];

Pro druhý tah spojený s kalibrací:

$$F_{tK} = 3 \cdot F_{pc1} = 3 \cdot 1460,91 = 4382,73 \text{ kN}$$

F_{tK} – tažná síla kalibrování [N];

Tažná práce

Tažná práce pro kalibrování je vyčíslena podle vztahu 2.33[2]:

$$A_t = \frac{c \cdot F_c \cdot h}{1000} = \frac{2 \cdot 4382724 \cdot 93}{1000} = 271729,26 \text{ J}$$

Výtažek bude vyroben na dvě operace. V první operaci bude vyroben, z kruhového přístřihu o průměru 510 mm, polotovar válcového tvaru s plochým dnem o průměru 481,7 mm. Druhá dokončovací operace bude provedena tažníkem s vypuklým čelem pro výrobu finálního tvaru víka o průměru 400 mm a jeho kalibrování.

Výkresová dokumentace je přílohou č. 5, s označením 2015/LPG-04/1 a 2015/LPG-04/2.

3.2 Volba tažného stroje

Pro hluboké tažení plechu se nejčastěji používají mechanické tažné lisy, které pracují na principu klikového mechanismu. Průběh tvářecí síly je závislý na dráze beranu, její velikost roste a maxima dosahuje až v dolní úvrati. Z tohoto faktu je zřejmé, že je velmi obtížné tvářet velkou silou na delší dráze beranu. Proti přetížení, například při seřizování nebo při nepřesném vložení přístřihu, jsou stroje chráněny různými druhy pojistek.

Další skupinou lisů používaných pro tažení jsou lisy hydraulické. Jejich velkou výhodou je, konstantní průběh tvářecí síly a její snadná regulace. Maximální síly lze dosáhnout v kterékoliv poloze beranu. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena než u mechanických lisů a náročnější údržba pramenící ze složitější konstrukce stroje.

Pro výrobu víka je třeba zvolit stroj, který disponuje jmenovitou tvářecí silou minimálně 4382,724 kN. Musí také mít dostatečnou výšku sevření a velikost stolu. Při nákupu nového

stroje je důležité zohlednit jeho možnosti zařazení do tvářecí linky, jeho možnosti z hlediska automatizace tvářecích procesů, jeho výrobnost a pokud možno univerzálnost použití pro jiné tvářecí operace. Dalším aspektem jsou vhodné stavebně-technické podmínky pro umístění stroje.

Pro výrobu víka byl zvolen klikový lis LKJA 630 vyráběný firmou ŽDAS, a.s., obr. 3.7. Stroj je určen především pro plošné tváření z plechu, lze jej použít i pro objemové tváření. Tvářecí síla je u těchto lisů vedena na kratší dráze, proto jsou obzvláště vhodné pro hromadnou výrobu menších a tvarově náročných „plechových“ výlisků nebo pro protlačování, tvarování a ostříhování. Charakteristickým znakem těchto lisů je svařovaný rám, ve kterém je uložen klikový mechanismus.

Lisy jsou vybaveny centrálním oběhovým mazáním, hydraulicky ovládanou spojko-brzdou, motorickým přestavováním beranu s odměřováním polohy, pneumatickým vyvažováním beranu nastavitelným s ohledem na hmotnost nástroje. Samozřejmostí je pojistka proti přetížení beranu a jeho aretace. Základní technické parametry jsou v přehledové tabulce:



Obr. 3.7 Klikový lis LKJA[16].

Tab. 3.2 Základní technické parametry klikového lisu LKJA630 [16].

Technický parametr	Hodnota parametru
Jmenovitá síla	6300 kN
Sevřená výška	750 mm
Zdvih	400 mm
Počet zdvihů – trvale	18 mm ⁻¹
Počet zdvihů – jednotlivě	10 mm ⁻¹
Upínací plocha beranu – šířka x hloubka	1200 x 1000 mm
Přestavení beranu	200 mm
Přidržovací síla	1000 kN
Upínací plocha stolu	1350 x 1200 mm
Výkon hlavního motoru	55 kW
Zdvih spodního přidržovače	150 mm
Přestavení spodního přidržovače	150 mm
Šířka lisu	3400 mm
Hloubka lisu	3250 mm
Výška lisu	6500 mm

4 Ekonomické zhodnocení [18] [19]

Ekonomika výrobních procesů je ovlivňována řadou faktorů mající vliv celkové náklady na 1 ks výrobku. Mezi nejdůležitější patří:

a) Materiál

- musí mít potřebné mechanické vlastnosti posuzované jednak z hlediska výrobní technologie, ale hlavně z hlediska funkčních vlastností výrobku. Je třeba vyrábět, s co nejnižší zmetkovitostí, z co nejlevnějšího materiálu. Význam ceny materiálu roste s počtem vyrobených kusů.

b) Technologický postup

- určuje počet nutných operací pro zhotovení požadovaného výrobku. S rostoucím počtem kroků roste složitost technologického procesu, vzrůstá jeho energetická náročnost, zvyšuje se riziko chyby a roste výrobní cena. S touto oblastí úzce souvisí pracnost výroby. Lidskou práci, zejména velmi fyzicky namáhavou, je žádoucí omezovat na minimální úroveň vkládáním automatizačních a mechanizačních prvků.

c) Stroj a nástroj

- vedle technických parametrů jako jsou rozměry a výkon stroje, rozhoduje při pořizování nového stroje také jeho výrobnost (počet zdvihů u lisů, řezná rychlost u soustruhů a podob.). Dále pak nároky na jeho provoz a údržbu.

- nástroj je limitován počtem vyrobitelných kusů, jeho životnost a cena je dána materiálem, ze kterého je vyroben. Prodloužení životnosti nástroje, ale i snížení zmetkovitosti, lze dosáhnout správným nastavením stroje případně použitím vhodného maziva.

d) Manipulace

- manipulace s materiálem a polotovary je také důležitým faktorem ovlivňující výslednou cenu výrobku. Na jednu technologickou operaci připadá až 8 operací manipulačních, manipulací s materiálem se v některých podnicích zabývá až 50% dělníků a náklady se pohybují na 20% zpracovatelských nákladů. Jedná se tedy o oblast s „největší ztrátou hodnot“ ve výrobním procesu.

Toto ekonomické hodnocení výrobního procesu se bude zabírat převážně spotřebou materiálu. Ceny strojů, nástrojů, materiálu náklady na provoz a mzdy je třeba chápat v kontextu tržní ekonomiky. Jedná se tedy převážně o ceny smluvní, jejichž hodnota podléhá výhradně nabídce a poptávce.

Variabilní náklady:

A) Materiál

Víko je vyrobeno z konstrukční oceli P 355 NB vhodné pro svařované tlakové zásobní nádoby na plyn. Jako vstupní polotovar byl zvolen plech o rozměrech 3500 x 3500 mm. Tento plech bude muset být nastříhán na tabulových nůžkách na pásy.

Pro určení šířky a délky pásu musí být stanoven nástřihový plán. Ke stanovení přepážky a okraje pro kruhovou součást použijeme graf z přílohy č. 5. Vzhledem k průměru přístřihu 510 mm, platí hodnoty pro délku hrany nad 100 mm, křivky E_4 a F_4 . Tloušťka plechu je 3,5 mm. Po odečtení z grafu vychází přídavek na přepážku 4,3 mm a pro okraj je to 11 mm. Výpočty pro délku kroku a šířku pásu vychází ze vztahů:

Délka kroku:

$$L_p + E_4 = K_s [\text{mm}] \quad (4.1)$$

Šířka pásu:

$$L_p + F_4 = M [\text{mm}] \quad (4.2)$$

L_p – velikost výstřihu [mm];

K_s – délka kroku [mm];

M – šířka pásu [mm];

Délka kroku podle 4.1[17]:

$$K_s = L_p + E_4 = 510 + 4,3 = 514,3 \text{ mm}$$

Šířka pásu podle 4.2[17]:

$$M = L_p + F_4 = 510 + 11 = 521 \text{ mm}$$

Tabulové nůžky mají délku stříhu až 4100 mm, pro tloušťky plechu do 4 mm. Stříhat se tedy budou plechové pásy o rozměrech 521x3500 mm. Dále bude tento pás rozdělen, pro snadnější manipulaci, po délce na tři části, s výsledným rozměrem 521x1166,7mm. Z této tabule plechu budou následně vystřiženy přístřihy o ϕ 510 mm, které budou výchozím polotovarem pro víko.

Počet výstřížků z malé tabule plechu (1166,7x521 mm):

$$\text{počet výstřížků} = \frac{\text{délka pásu}}{\text{délka kroku}} \quad (4.3)$$

$$\text{počet výstřížků z tabule} = \frac{1166,7}{514,3} = 2,27 \approx 2 \text{ ks výstřížků z pásu}$$

Počet výstřížků z pásu plechu (3500x521 mm):

$$\text{počet výstřížků z pásu} = \text{počet malých tabulí plechu} \cdot \text{počet výstřížků} \quad [\text{ks}] \quad (4.4)$$

$$\text{počet výstřížků z pásu} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ ks}$$

Počet pásů z tabule plechu:

$$\text{počet pásů} = \frac{\text{šířka tabule}}{\text{šířka pásu}} \quad [\text{ks}] \quad (4.5)$$

$$\text{počet pásů} = \frac{3500}{521} = 6,72 \approx 6 \text{ ks}$$

Počet výstřížků z tabule plechu:

$$\text{počet výstřížků z tabule} = \text{pásy z tabule} \cdot \text{výstřížky z pásu} \quad [\text{ks}] \quad (4.6)$$

$$\text{počet výstřížků z tabule} = 6 \cdot 6 = 36 \text{ ks}$$

Plocha výstřížku:

$$S_v = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 510^2}{4} = 204282,06 \text{ mm}^2$$

S_v – plocha výstřížku [mm²];

D – průměr přístřihu [mm];

Využití tabule plechu:

$$\text{využití} = \frac{\text{plocha výstřížků}}{\text{plocha tabule plechu}} \cdot 100 [\%] \quad (4.7)$$

$$\text{využití} = \frac{36 \cdot 204282,06}{3500 \cdot 3500} \cdot 100 \doteq 60,03\%$$

Odpad:

$$\text{odpad} = 100 - \text{využití} = 100 - 60,03 = 39,97\% \quad (4.8)$$

Celková spotřeba plechů:

$$\text{celk. spotř.} = \frac{\text{celkový počet kusů vík}}{\text{počet výstřížků z tabule plechu}} \quad (4.9)$$

$$\text{celk. spotř.} = \frac{70000}{36} \doteq 1944,44 \approx 1945 \text{ tabulí plechu}$$

Celková hmotnost plechu:

$$\text{celk. hmot.} = \text{celk. spotř.} \cdot \text{objem tabule} \cdot \text{hustota oceli} \quad [\text{kg}] \quad (4.10)$$

$$\text{celk. hmot.} = 1945 \cdot 3,5 \cdot 3,5 \cdot 0,0035 \cdot 7850 = 654626,22 \text{ kg} \doteq 654,63 \text{ t}$$

Cena za jeden kilogram plechu při jeho kusovém odběru se pohybuje v rozmezí 20÷25 Kč kg⁻¹ s DPH. Lze předpokládat, že při odběru výše uvažovaného množství by bylo možné dohodnout i cenu lepší. Cena za materiál bude kalkulována ve výši 17 Kč kg⁻¹. Pak je možno spočítat, že materiál bude stát:

$$\text{cena mater.} = \text{celk. hmot.} \cdot \text{cena za 1kg} \quad [\text{Kč}] \quad (4.11)$$

$$\text{cena mater.} = 654626,22 \cdot 17 = 11128645,74 \text{ Kč}$$

Odpad v tomto případě tvoří 39,966%, ten bude následně, očištěn od procesních kapalin a pakován. Předpokládaný výsledná cena za odprodej železného šrotu je 3 Kč kg⁻¹. Celková cena za druhotné suroviny:

$$\text{hodnota odpadu} = 0,4 \cdot \text{celk. hmot.} \cdot \text{cena za 1kg opadu} \quad [\text{Kč}] \quad (4.12)$$

$$\text{hodnota odpadu} = 0,4 \cdot 654626,22 \cdot 3 = 785551,46 \text{ Kč}$$

Předpokládané celkové náklady na materiál jsou ve výši:

$$\text{celk. cena mater.} = \text{cena mater.} - \text{hodnota odpadu [Kč]} \quad (4.13)$$

$$\text{celk. cena mater.} = 11128645,74 - 785551,46 = 10343094,28 \text{ Kč}$$

Náklady za materiál na jeden kus činí:

$$\text{mater. nákl. za kus} = \frac{\text{celk. cena mater.}}{Q} \text{ [Kč]} \quad (4.14)$$

$$\text{mater. nákl. za kus} = \frac{10343094,28}{70000} = 147,76 \text{ Kč}$$

Q – výrobní dávka [ks];

B) Náklady na provoz strojů:

Roční využitelné časové fondy:

Roční fond ručního pracoviště v jedné směně:

$$E_r = (365 - 52 - 52 - 10) \cdot 8 = 2008 \text{ hod rok}^{-1} \quad (4.15)$$

E_r – roční fond ručního pracoviště v jedné směně [hod rok⁻¹];

Z tohoto fondu pracovní doby vycházíme pro výpočet fondu pracovní doby strojního pracoviště:

$$E_s = E_r - 0,11 \cdot E_r = 2008 - 0,11 \cdot 2008 = 1787,12 \text{ hod rok}^{-1} \quad (4.16)$$

E_s – roční fond strojního pracoviště v jedné směně [hod rok⁻¹];

Výpočty ukazují, že stroj v jedné směně pracuje 1787,12 hod/rok. Za předpokladu, že jedna operace, obsahující: vložení – chod stroje – vyjmutí součástky, trvá 1,5min. Stroj za rok vyrobí:

$$\text{počet} = \frac{E_s}{t_{a1}} \text{ [ks rok}^{-1}] \quad (4.17)$$

$$\text{počet} = \frac{1787,12}{0,025} = 71484,8 \approx 71484 \text{ ks rok}^{-1}$$

t_{a1} – výrobní čas jednoho kusu [hod];

Na výrobu celé série tedy postačí provoz jednoho stroje na jednu lisovací operaci, s jistou rezervou. Za předpokladu, že výroba bude koncipována na dvě tažné operace prováděné na dvou různých lisech a bude vyrobena pouze požadovaná výrobní dávka je možno počítat náklady na spotřebovanou elektrickou energii stroji:

$$N_s = 2 \cdot (E_s - t_n) \cdot P_L \cdot C_e \text{ [Kč]} \quad (4.18)$$

$$N_s = 2 \cdot (1787,12 - 37,12) \cdot 58 \cdot 3,8 = 771400 \text{ Kč}$$

P_L – příkon lisu (účinnost elektromotorů je počítána na 95% P) [kW];

C_e – cena elektrické energie (3,8 Kč za kWhod⁻¹) [kč];

N_s – náklady provozu stroje [Kč];

K těmto nákladům je nutné připočítat i náklady na provoz tabulových nůžek, stroje na vystřihování přístřihu a karuselů na zarovnání víka:

$$N_{spo} = \{[(E_s - t_n) \cdot P_S] + [(E_s - t_n) \cdot P_S] + [(E_s - t_n) \cdot P_S]\} \cdot C_e \text{ [Kč]} \quad (4.19)$$

$$N_{spo} = [(1750 \cdot 23) + (1750 \cdot 24) + (1750 \cdot 42)] \cdot 3,8 = 591850 \text{ Kč}$$

N_{spo} – náklady provozu pomocných strojů [Kč];

P_S – příkon stroje [kW];

C) Náklady na mzdy:

Náklady na měsíční superhrubou mzdu se v těchto profesích pohybují kolem 27000 Kč. Náklady na mzdy dvou lisařů, dvou pracovníků zaměstnaných stříháním a pracovníka obsluhujícího karusel budou tedy:

$$\text{mzdy} = 12 \cdot 5 \cdot 27000 = 1620000 \text{ Kč}$$

Výrobní náklady:

$$N_v = \text{celk. cena mater.} + N_s + N_{spo} + \text{mzdy} \text{ [Kč]} \quad (4.20)$$

$$N_v = 10343094,28 + 771400 + 591850 + 1620000 = 13326344,28 \text{ Kč}$$

N_v – výrobní náklady [Kč];

Variabilní výrobní náklady na vytažení jednoho víka:

$$C_v = \frac{N_v}{Q} \text{ [Kč]} \quad (4.21)$$

$$C_v = \frac{13326344,28}{70000} = 190,38 \text{ Kč}$$

C_v – variabilní výrobní náklady na jedno víko [Kč];

Fixní náklady:

Tyto náklady zahrnují náklady na výrobní režie, náklady na stroje a nástroje, náklady na správu a řízení podniku.

A) Náklady správní:

$$N_{sp} = 1,3 \cdot N_v \text{ [Kč]} \quad (4.22)$$

$$N_{sp} = 1,3 \cdot 13326344,28 = 17324247,56 \text{ Kč}$$

N_{sp} – správní náklady [Kč];

B) Náklady na nástroje:

Hodnota nástroje bude stanovena podle předpokládané ceny za jeden kilogram. Ceny tažných nástrojů se pohybují v rozmezí $300 \div 400 \text{ Kč kg}^{-1}$. Kalkulace bude provedena na cenou 350 Kč kg^{-1} , a pro dva nástroje. Hmotnost nástroje je $1530,62 \text{ kg}$.

$$C_{ns} = 2 \cdot (P_{cn} \cdot m_{ns}) \text{ [Kč]} \quad (4.23)$$

$$C_{ns} = 2 \cdot (350 \cdot 1530,62) = 1071434 \text{ Kč}$$

C_{ns} – cena nástroje [Kč];

P_{cn} – poměrná cena nástroje [Kč kg^{-1}];

m_{ns} – hmotnost nástroje [kg];

Fixní náklady celkem:

$$N_f = N_{sp} + C_{ns} \text{ [Kč]} \quad (4.24)$$

$$N_f = 17324247,56 + 1071434 = 18395681,56 \text{ Kč}$$

Celkové náklady:

$$N_c = N_v + N_f \text{ [Kč]} \quad (4.25)$$

$$N_c = 13326344,28 + 18395681,5 = 31722025,84 \text{ Kč}$$

N_c – celkové náklady [Kč];

Celkové náklady na jedno víko:

$$N_{ck} = \frac{N_c}{Q} \text{ [Kč ks}^{-1}\text{]} \quad (4.26)$$

$$N_{ck} = \frac{31722025,84}{70000} = 453,17 \text{ Kč}$$

N_{ck} – celkové náklady na jedno víko [Kč];

Zisk:

Běžně generovaný zisk výrobce se pohybuje okolo 25% ceny produkovaného výrobku. Je možné pak počítat se ziskem:

$$Z_v = 0,25 \cdot N_c \text{ [Kč]} \quad (4.27)$$

$$Z_v = 0,25 \cdot 31722025,84 = 7930506,46 \text{ Kč}$$

Z_v - generovaný zisk [Kč];

Náklady se ziskem:

$$N_{c25\%} = 1,25 \cdot N_c \text{ [Kč]} \quad (4.28)$$

$$N_{c25\%} = 1,25 \cdot 31722025,84 = 39652532,31 \text{ Kč}$$

$N_{c25\%}$ – celkové náklady navýšené o zisk [Kč];

Celková cena jedno víka:

$$C_{vk} = \frac{N_{c25\%}}{Q} \text{ [Kč]} \quad (4.29)$$

$$C_{vk} = \frac{39652532,31}{70000} = 566,46 \text{ Kč}$$

C_{vk} – celková cena jednoho víka [Kč];

Q – výrobní dávka [ks];

Cena hotové nádrže na LPG se pohybuje v rozmezí 4000 ÷ 6000 Kč, hodnota dvou vík použitých pro jeho výrobu je 1132,92 Kč. Jedná se tedy cca o 23% z prodejní ceny. Vzhledem k tomu, že se jedná o technologicky velmi náročný díl nádrže s relativně vysokou produkcí odpadu, je možné tuto cenu považovat za konkurence schopnou.

5 Závěr

V bakalářské práci byla stanovena technologie výroby víka nádrže na LPG tažením plechu a vypracován technologický postup výroby. Materiál pro výrobu byl zvolen s ohledem na běžně používaný materiál pro výrobu těchto nádrží a to konstrukční ocel P 355 NB určená k výrobě svařovaných tlakových nádrží.

Byla vypracována výkresová dokumentace nádrže na LPG (příloha č. 2) a výrobní výkres víka nádrže (příloha č. 3). Na těchto základech byla stanovena velikost přístříhu graficko-analytickou metodou na 510 mm. Velikost rondelu a tvar víka měly zásadní vliv na stanovení počtu tažných operací a na jejich odstupňování. Počet operací byl stanoven na základě grafu mezního stupně tažení polokoulí (příloha č. 1), na dvě tažné operace. Nebylo možné řídit se pouze podle součinitele tažení, jeho hodnota byla 0,82, protože technologie pro výrobu byla navrhována pro výtažek polokulového tvaru, u něhož je nebezpečí vzniku vln I. druhu. Pro určení průměru výtažku v prvním tahu byly použity vztahy technologických výpočtů pro použití přídržovače pro válcové výtažky s plochým dnem. Bylo vypočteno, že průměr výtažku po této operaci má být 424 mm. Následně byly operace kontrolovány pomocí vztahu pro výpočet součinitele tažení, jeho hodnota je 0,83. V prvním tahu tedy bude vyroben mělký válcový výtažek s plochým dnem a přírubou s průměrem 428,2 mm. Druhým tahem, spojeným s kalibrací, bude pak dokončen finální vypuklý tvar víka. Součinitel tažení pro druhý tah je 0,94. Nedílnou součástí těchto výpočtů byly výpočty pro stanovení mezních rozměrů zaoblení tažníku – 18 mm a tažnice – 14 mm, výšky válcové části tažnice - 10,5 mm a tažné mezery pro první tah 4,2 mm a pro druhý tah 3,85 mm. Následně byla spočítána maximální tažná síla působící při tváření – 4382,73 kN a tažná práce – 271729,26 J. Z vypočítaných parametrů byl zvolen lis pro vytažení víka a to: klikový lis LKJA 630 vyráběný firmou ŽĐAS, a.s., který disponuje nejen dostatečnou tvářecí silou – 6300kN, ale i ostatečnou velikostí stolu – 1350 x 1200mm a sevřením lisu - 750 mm. Součástí této práce je také výkres sestavy tažidla a výkres tažnice (příloha č. 5).

Ekonomického zhodnocení výrobního procesu sestává ze stanovení nástřihového plánu a výpočtu spotřeby materiálu. Celkem je spotřebováno 1945 kusů plechových tabulí o hmotnosti 654,63 t plechu. Náklady na materiál, po odečtení hodnoty odpadu činí 10343094,28 Kč. Variabilní náklady na jedno víko pak činí 190,38 Kč, po přičtení fixních nákladů a generovaného zisku je cena víka stanovena na 566,46 Kč, kterou lze označit za konkurence schopnou.

Technologii výroby víka polokulového tvaru lze také řešit i jiným způsobem, například jako tažení zpětné. Výhodou je, že výroba probíhá jedním nástrojem na jednom stroji s kratšími výrobními časy. Nevýhodou je ovšem složitější a dražší nástroj a nižší přesnost výroby. V případě, že by nebyla sloučena druhá operace s kalibrováním, lze vyrábět přesněji a jednoduššími nástroji. Nevýhoda je v nárůstu počtu strojů, nástrojů a v delších výrobních časech.

Seznam použitých zdrojů

- [1] SFS Group: *Hlubkové tažení plechu* [online]. 2015. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.sfsintec.biz/mo/cz/cs/web/technologies___products/production_technologies/deep_drawing/deep_drawing_1.html
- [2] DVORÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Vysoké učení technické Brno: TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ* [online]. 2006 [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm
- [3] DVORÁK, Milan. 2013. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 169 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4747-9.
- [4] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. 2006. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [5] Union Ocel s.r.o.: *Katalog výrobků* [online]. 2013. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.unionocel.cz/files/download/norma_s/big-13_cz.pdf
- [6] ČTK. 2012. *Zpravy E15: TEMELÍN A BLANKA?* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://zpravy.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/temelin-a-blanka-nesrovnatelne-tvrdimetrostav-738856>
- [7] *Metallverarbeitung.german-pavilion.com: Leifeld Metal Spinning AG* [online]. 2014. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.metallverarbeitung.german-pavilion.com/content/en/exhibitors/exhibitors_detail.php?exhibitor_id=44794
- [8] *Lauffer: Press lines* [online]. 2015. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://lauffer.de/en/products/metalfforming-technology/press-lines>
- [9] ČADA, Radek. *Vysoká škola báňská - technická universita Ostrava: Technologie-I* [online]. 2007 [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TECH1/Technologie-I.pdf>
- [10] LENFELD, Petr. *Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie* [online]. 2015 [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
- [11] BAREŠ, Karel, a kol. 1971. *Lisování*. 1.vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury. 542 s.
- [12] TOMÁŠEK, Jiří. 1975. *Směrnice pro stanovení mezních stupňů přetvoření pravidelných tvarů součástí z plechu*. 1. vyd. Brno: Výzkumný ústav tvářecích strojů a technologie tváření. 53s.
- [13] ČSN 22 73 01. *Tažení dutých válcových výtazků: Směrnice pro konstrukci*. 2008. Praha: Český normalizační institut.
- [14] BAČA, Jozef a Jozef BÍLIK. 2000. *Technológia tvárenia*. 1. vyd. Bratislava: STU. 242 s. ISBN 80-227-1339-2.
- [15] NIČ, Jakub. 2014. *České motocyklové noviny: Modrá LPG Glide* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.cmn.cz/clanek-260/>
- [16] ŽĐAS, A.S. 2015. *Lisy klikové jednobodové LKJA* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=67>
- [17] U.S.STEEL KOŠICE S.R.O. 2015. *Výrobky válcované za tepla: ducts/cat-s/hot-roll/drawing.html*
- [18] FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I: Syllabus pro kombinované studium bakalářské o studijního programu STROJÍRENSTVÍ*. Brno, 2002. 75 s. Vedoucí Syllabu Forejt, Milan,. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/rocnikovy_projekt_I_forejt.pdf>.
- [19] HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty I*. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 197 s. ISBN 80-214-2871-6.

Seznam použitých symbolů

- A – tažnost [%]
At – tažná práce [J]
B – zrna materiálu
C, G, J a H – hraniční body oddělující úseky
C_e – cena elektrické energie (3,8 Kč kW hod⁻¹) [Kč kW hod⁻¹]
C_{ns} – cena nástroje [Kč]
C_v – variabilní výrobní náklady na jedno víko [Kč]
C_{vk} – celková cena jednoho víka [Kč]
D – průměr přístříhu [mm]
D_G – průměr přístříhu zjištěný podle graficko-analytické metody [mm]
D_{GA} – korigovaný průměr přístříhu z graficko-analytické metody [mm]
E – Youngův modul pružnosti [MPa]
E_r – roční fond ručního pracoviště v jedné směně [hod rok⁻¹]
E_s – roční fond strojního pracoviště v jedné směně [hod rok⁻¹]
F – působící síla [N]
F_c – celková tažná síla [N]
F_d – síla pro utržení dna [N]
F_{p1} – síla přidržovače [N]
F_{p2} – síla přidržovače pro zvětšený poloměr zaoblení hrany tažnice [N]
F_{pp1} – síla přidržovače pro první tažnou operaci [N]
F_{pt1} – síla pro první tažnou operaci [N]
F_t – tažná síla [N]
F_{t1} – tažná síla první operace [N]
F_{t2} – tažná síla druhé operace [N]
F_{tK} – tažná síla kalibrování [N]
K – stupeň tažení [-]
K_s – délka kroku [mm]
L₀ – počáteční délka zkoušeného vzorku [mm]
L₁ – konečná délka zkoušeného vzorku [mm]
L_p – velikost výstřížku [mm]
L_x – součet součinů dílčích délek (l) a vzdálen. těžišť těchto délek od osy tělesa (x) [mm²]
M – šířka pásu [mm]
N_c – celkové náklady [Kč]
N_{c25%} – celkové náklady navýšené o zisk [Kč]
N_{ck} – celkové náklady na jedno víko [Kč]
N_s – náklady provozu stroje [Kč]
N_{sp} – správní náklady [Kč]
N_{spo} – náklady provozu pomocných strojů [Kč]
N_v – výrobní náklady [Kč]
N_v – výrobní náklady [Kč]
O – spojnice paprskového obrazce
O' – obraz spojnice paprskového obrazce
P – poměr přístříhu [-]
P_{cn} – poměrná cena nástroje [Kč kg⁻¹]
P_L – příkon lisu (účinnost elektromotorů je počítána na 95% výkonu) [kW]
P_{ms} – poměr pro stanovení mezního stupně tažení polokoulí [-]
P_s – příkon stroje [kW]

Q – výrobní dávka [ks]
 R_e - mez kluzu [MPa]
 R_G - poloměr přístříhu z graficko-analytické metody [mm]
 R_m – mez pevnosti [MPa]
 $R_{p0,2}$ – smluvní mez kluzu [MPa]
 R_t – poloměr tažníku [mm]
 R_T - poloměr těžiště tvořící křivky [mm]
 S - plocha zatěžovaného průřezu [mm²]
 S' - střed půlkružnice graficko-analytické metody
 S_0 – počáteční plocha průřezu zkoušeného vzorku [mm²]
 S_1 – konečná plocha průřezu zkoušeného vzorku [mm²]
 S_G – plocha podle Guldinova pravidla [mm²]
 S_{g2} – střed kruhové úseče úseku l_{a2}
 S_{g3} – střed kruhové úseče úseku l_{a3}
 S_p – plocha pod přidržovačem [mm²]
 S_v – plocha výstřížku [mm²]
 T'_{la1} – těžiště prvního úseku
 T'_{la2} – těžiště druhého úseku
 T'_{la3} – těžiště třetího úseku
 T_x – vzdálenost těžiště od zvažovaného bodu [mm]
 V_1 – přetvořený objem [mm³]
 V_o – původní objem [mm³]
 Z – kontrakce [%]
 Z_p – materiálová konstanta [-]
 Z_v - generovaný zisk [Kč]
 Z_v - generovaný zisk [Kč]

b_0 – původní šířka [mm]
 b_1 – přetvořená šířka [mm]
 c – koeficient vyjadřující vliv součinitele tažení [-]
 d – průměr výtažku [mm]
 d_1 – průměr výtažku po prvním tahu [mm]
 d_p – průměr příruby [mm]
 d_v – vnitřní průměr výtažku [mm]
 f – součinitel smykového napětí [-]
 h – výška výtažku [mm]
 h_0 – původní výška [mm]
 h_1 – přetvořená výška [mm]
 k_p - součinitel určující nutnost použití přidržovače [-]
 l - délky tvořící křivky [mm]
 l_0 – původní délka [mm]
 l_1 – přetvořená délka [mm]
 l'_{a1} – délka prvního úseku [mm]
 l_{a1} - délka úsečky EF [mm]
 l'_{a2} – délka druhého úseku [mm]
 l_{a2} - délka kruhové úseče ohraničená body F a G, se středem v S_{g2} [mm]
 l_{a2} – délka úseku l_{a2} [mm]
 l_{a3} – délka kruhové úseče ohraničená body G a J, se středem v S_{g3} [mm]
 l'_{a3} – délka třetího úseku [mm]
 l_{a3} – délka úseku l_{a3} [mm]

l_{T1a2} – vzdálenost těžiště od bodu S_{g2} [mm]
 l_{T1a3} – vzdálenost těžiště od bodu S_{g3} [mm]
 l_x – délka úseku [mm]
 m – součinitel tažení [-]
 m_1 – součinitel tažení pro první tah [-]
 m_G – měřítko výkresů [-]
 m_c – celkový součinitel tažení [-]
 m_K – korigovaný součinitel dle směrnice pro stanovení mezních stupňů přetvoření pravidelných tvarů součástí z plechu [-]
 m_{mez} – mezní součinitel tažení pro první operaci [-]
 m_n – hmotnost nástroje [kg]
 m_{ns} – součinitel tažení pro n - tý tah [-]
 n_n – počet kusů nadvýroby [ks]
 n_t – počet tahů [-]
 p_p – tlak přidržovače [MPa]
 r – poloměr [mm]
 r_{1a2} – poloměr kruhové úseče [mm]
 r_{1a3} – poloměr kruhové úseče [mm]
 r_{p1} – poloměr zaoblení tažníku [mm]
 r_{t1} – poloměr zaoblení tažnice [mm]
 r_{t2} – zvětšený poloměr zaoblení hrany tažnice [mm]
 s – tloušťka materiálu [mm]
 t_m – tažná mezera [mm]
 t_n – doba nadvýroby [hod]
 u_{rp1} – délkový úbytek způsobený zaoblením tažníku [mm]
 u_{rt1} – délkový úbytek způsobený zaoblením tažnice [mm]
 x – vzdálenost těžiště tvořící křivky od osy tělesa [mm]

α – polovina úhlu, který svírají úsečky spojující střed kružnice s kraj. body kruh. úseče [°]
 α_{1a2} – polovina úhlu $FS_{g2}G$ [°]
 α_{1a3} – polovina úhlu $GS_{g3}J$ [°]
 β – úhel, který svírají úsečky spojující střed kružnice s krajními body kruhové úseče [°]
 β_{1a2} - úhel $FS_{g2}G$ [°]
 β_{1a3} - úhel $GS_{g2}J$ [°]
 Δs – poměrná tloušťka materiálu [-]
 ε – poměrná deformace [-]
 ε_{el} – poměrná elastická deformace [-]
 ε_{pl} – poměrná plastická deformace [-]
 σ – napětí [MPa]
 σ_K – napětí na mezi kluzu [MPa]
 $\sigma_{KRČ}$ – napětí na mezi pevnosti v tahu [MPa]
 σ_n – normálové napětí [MPa]
 τ_u – úhel smykového napětí [MPa]
 φ_1 – logaritmická deformace délky [-]
 φ_2 – logaritmická deformace výšky [-]
 φ_3 – logaritmická deformace šířky [-]

Seznam příloh

- Příloha č. 1 – Graf mezního stupně tažení polokouli;
Příloha č. 2 – Výkres nádrže 2015/LPG-01;
Příloha č. 3 – Výkres víka 2015/LPG-02;
Příloha č. 4 – Výkresy postupu zjišťování průměru přístřihu pomocí graficko-analytické metody;
Příloha č. 5 – Výkresy tažidla 2015/LPG-03/1 a 2015/LPG-03/2;
Příloha č. 6 - Graf pro stanovení přepážky a okraje pro kruhovou součást[16];

Seznam obrázků

- Obr. 1 Výrobky z hlubokotažného materiálu [1].
Obr. 1.1 Víko válcové nádrže na LPG.
Obr. 1.2 Tlaková nádoba reaktoru [5].
Obr. 1.3 Tvářecí centrum firmy Leifeld [7].
Obr. 1.4 Tvářecí linka firmy Lauffer[8].
Obr. 2.1 Tažení plechu s přídržovačem [9].
Obr. 2.2 Tažení metodou Marform [9].
Obr. 2.3 Plastická deformace skluzem [9].
Obr. 2.4 Plastická deformace dvojčatěním [9].
Obr. 2.5 Tahový diagram [4].
Obr. 2.6 Poruchy v krystalové mřížce kovů [3].
Obr. 2.7 Zákon stálosti objemu [10].
Obr. 2.8 Působení smykového napětí [4].
Obr. 2.10 Odchyly od ideálního tvaru výtažku [11].
Obr. 2.11 Nevhodné tvary výtažků [11].
Obr. 2.12 Schéma graficko-analytické metody.
Obr. 2.13 Mezní hodnoty součinitele tažení [4].
Obr. 2.14 Odstupňování tažných operací [9].
Obr. 2.15 Vliv poloměru zaoblení tažné hrany tažnice[9].
Obr. 2.16 Možné úpravy tažných ran [3].
Obr. 2.17 Tažná hrana a brzdné žebro [10].
Obr. 2.18 Skosení tažníku a přídržovače [3].
Obr. 2.19 Tažná mezera [12].
Obr. 2.20 Graf tažné práce [12].
Obr. 2.21 Vlny I. druhu na kuželovém výtažku [3].
Obr. 2.22 Předpoklady pro vznik vlny II. druhu [9].
Obr. 3.1 Motocykl s pohonem na LPG [13].
Obr. 3.2 Rozdělení osy stěny průřezu víka.
Obr. 3.3 Vyhledání těžišť křivek obrazce.
Obr. 3.4 Paprskový obrazec.
Obr. 3.5 Vyhledání poloměru těžiště tvořící křivky.
Obr. 3.6 Vyhledání poloměru přístřihu pomocí paprskového obrazce.
Obr. 3.7 Klikový lis LKJA [14].

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Minimální hodnoty zaoblení tažníku [3].

Tab. 2.2 Materiálové konstanty [12].

Tab. 2.3 Měrný tlak přidržovače [3].

Tab. 2.4 Hodnoty koeficientu vlivu součinitele tažení [12].

Tab. 3.1 Porovnání mechanických vlastností materiálů [5][17].

Tab. 3.2 Základní technické parametry klikového lisu LKJA630 [16].