



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA HLINÍKOVÉ NÁBOJNICE

PRODUCING OF ALUMINUM SHELL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Karel Šindelka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Karel Šindelka
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
Akademický rok:	2020/21

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

Výroba hliníkové nábojnice

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nábojnice je tenkostěnné pouzdro pro uložení prachové náplně, zápalky a střely náboje. V závislosti na způsobu použití se nábojnice zhotovují z kovů, plastů, ale i z papíru. Kovové nábojnice se vyrábějí z ocelí, mosazí a pro osvětlovací a signální náboje i z hliníku. Účelem práce je prověřit výrobní možnosti a na podkladě provedené analýzy navrhnout a zpracovat postup výroby hliníkové nábojnice.

Cíle bakalářské práce:

- Zhodnotit technologičnost nábojnice.
- Analyzovat možné způsoby výroby nábojnic a pro řešenou nábojnici navrhnout výrobní postup.
- Zpracovat literární studii se zaměřením na zvolené výrobní technologie.
- Navrhnout optimální výrobní postup, doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Vypracovat výkresovou dokumentaci funkčních částí tvářecích nástrojů.
- Provést technicko–ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené literatury:

MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press. 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

JANKOVÝCH, Róbert Hlavňové zbraně a střelivo, Vysoké učení technické v Brně, 2012. ISBN 978-8-260-2384-5.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA. Strojírenská technologie II, Technologie ve výrobě zbraní a munice. VA Brno.1999. 169 s.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření I. Brno: Univerzita obrany. 2008. 105 s. ISBN 978-8-7213-579-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

ŠINDELKA Karel: Výroba hliníkové nábojnice

Bakalářská práce je zaměřena na návrh výroby signální nábojnice velké ráže. Jako polotovár je zvolena kalota jenž bude vystřižena z hliníkového plechu, dle normy ČSN 42 4005. Díky dobré tváritelnosti za studena a velké výrobní sérii je vhodné využití technologii zpětného protlačování. Polotovár pro tuto operaci je kalibrovaný váleček, ze kterého následně vznikne tenkostěnný kalíšek. Jako další operací je tvarování dna nábojnice, při níž je zapotřebí vytvoření příruby a dutiny pro zápalku. Vzhledem že polotovár je vystřihovaný z tabule plechu, je vhodné zvolit víceřadé vystřihování, při němž je využití materiálu okolo 70%. Díky kombinované sestavě nástrojů je možné na jeden zdvih stroje provést několik operací. Tímto způsobem lze vyrábět stovky až tisíce kusů za hodinu. Průtlačník a průtlačnice jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 423 podle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: Zpětné protlačování, nábojnice, hliník AL 99.5, kalíšek

ABSTRACT

ŠINDELKA Karel: Production of aluminum cartridges

The bachelor's thesis is focused on the design of a large-caliber signal cartridge. As a semi-finished product, a dome is chosen, which will be cut from aluminum sheet, according to the ČSN 42 4005 standard. Thanks to good cold formability and a large production series, it is suitable to use back-extrusion technology. The semi-finished product for this operation is a calibrated roller, from which a thin-walled cup is subsequently formed. Another operation is the shaping of the bottom of the cartridge case, in which it is necessary to create a flange and a cavity for the match. Since the semi-finished product is cut from a sheet metal sheet, it is advisable to choose multi-row cutting, in which the material utilization is about 70%. Thanks to the combined set of tools, it is possible to perform several operations per machine stroke. In this way, hundreds to thousands of pieces can be produced per hour. The extruder and extruders are made of tool steel 19 423 according to the drawing documentation.

Keywords: Back extrusion, cartridge, aluminum AL 99.5, cup

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠINDELKA, Karel. *Výroba hliníkové nábojnice* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132193>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.

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 22. 2. 2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině, která mi umožnila studovat vysokou školu a po celou dobu studia mě podporovala.

ZADÁNÍ	
ABSTRAKT	
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	
PODĚKOVÁNÍ	
OBSAH	
ÚVOD	10
1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI	11
1.1 Možnosti výroby polotovaru signální nábojnice	12
2 Literární rešerše, výroby hliníkové nábojnice	15
2.1 Výroba polotovaru kalíšku protlačováním	15
2.1.1 Vystřihování polotovaru z plechu	15
2.1.2 Pěchování	16
2.1.3 Zpětné protlačování	17
2.1.4 Konstrukce průtlačníku	19
2.1.5 Konstrukce průtlačnice	20
2.2 Výroba polotovaru kalíšku tažením	21
2.2.1 Vystřihování rondelu z plechu.....	21
2.2.2 Tažení kalíšku s konstantní tloušťkou stěny.....	22
2.3 Tažení se ztenčením stěny pláště výtažku.....	23
2.3.1 Konstrukce nástroje pro tažení	26
2.3.2 Mazání v procesu tažení	27
2.3.3 Tažník s tažnice pro tažení nábojnic	27
2.4 Tvarování dna nábojnice	29
3 Návrh výroby hliníkové nábojnice	29
3.1 Stanovení objemu nábojnice	30
3.2 Stanovení rozměrů výchozího polotovaru	31
3.3 Vystřihování kaloty	32
3.4 Pěchování a protlačování	33
3.5 Lisování dna nábojnice	34
3.5 Základní rozměry protlačovacích nástrojů.....	35
3.6 Volba výrobního stroje	35
4 Technicko ekonomické zhodnocení.....	36
5 ZÁVĚRY	39

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK
SEZNAM OBRÁZKŮ
SEZNAM TABULEK
SEZNAM PŘÍLOH
SEZNAM VÝKRESŮ

ÚVOD [2], [4], [5]

V českých zemích je průmysl silně zakořeněn s více jak 120letou historií. Počátky lze hledat již za dob Rakouska Uherska, kdy bylo u nás soustředěno více jak 70% celého průmyslu monarchie a dodnes je průmysl největší tažnou silou naší ekonomiky.

Technologie tváření se využívá pro výrobu nejrůznějších výrobků v široké škále oborů ať už to je automobilový, letecký či právě zbrojní sektor. Díky dobré možnosti automatizace a nízkého množství odpadu z výroby je hojně využívána. Výhodami tváření je vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů spolu s omezením rozměrů konečného výrobku.

Výroba munice patří k velice sofistikovaným výrobním technologiím, v níž se používá řada velice specifických výrobních postupů a v česku patří k méně známým strojírenským odvětvím. Největší producent střeliva v naší zemi je již desetiletí zavedená firma SELIER BELLOT, jejíž počátky jsou již za dob Rakouska Uherska, která sídlí ve Vlašimi.



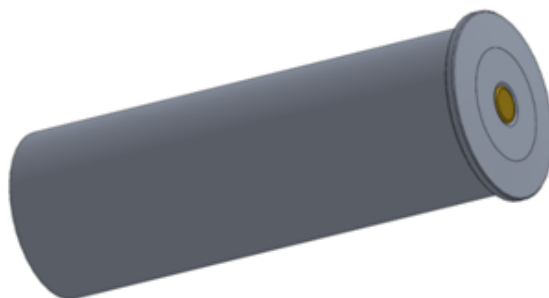
Obr. 1 Možné druhy signálního střeliva [1], [6], [3]

1 ROZBOR ZADANÉ SOUČÁSTI [2], [7], [8]

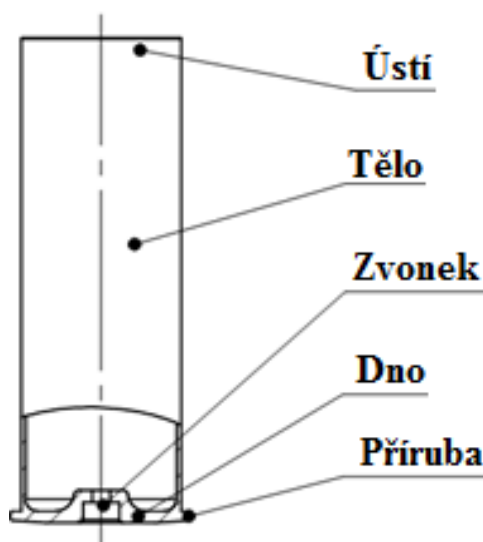
Zadaná součást je hliníková osvětlovací nábojnice s centrálním zápalem, jež je zobrazena na obr. 2. Tato nábojnice je poměrně velké ráže a to přesně 26,5 mm. Při pohledu lze usoudit, že se skládá ze dvou částí a to tenkostěnného obalu a samotného dna nábojnice. Dno nábojnice je více složitě, jelikož uprostřed se nachází zhloubení, kterému se říká zvonek. Ve zvonku se nachází zápalka typu boxer, která po udeření úderníkem zbraně zapálí výmetnou slož, která iniciuje vystřelení světelné složky do výšky.

Nábojnice je hliníková a má jednoduchý válcový tvar, protože jsou zde mnohem menší tlaky než u běžného střeliva. U kulových zbraní se střela tře o drážky v hlavni a tím se zvětšuje tlak na okolní součásti zbraně. U signálních zbraní, které žádné drážkování hlavně nemají se střela vůbec nedotýká hlavně. V dolní části ze strany zápalky je nábojnice opatřena okrajovým lemem, který má dvě funkce: Jednak slouží k zajištění nábojnice v hlavni, bez něhož by nám náboj po vsazení do hlavně vypadl ven. Dále se pomocí lemu vytahuje nábojnice z nábojové komory, protože po vystřelení hliníková nábojnice zvětší svůj průměr a k odtrhnutí od stěny hlavně je třeba použít vyhazovač. Tvar signální hliníkové nábojnice s popisem jednotlivých částí je na obr. 3.

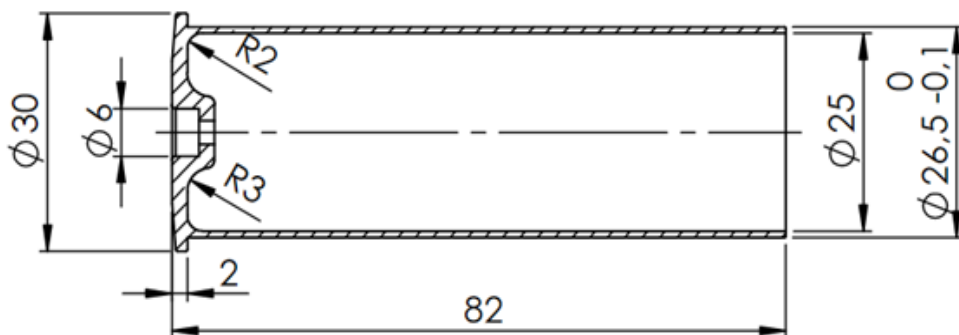
Pro hladké a bezproblémové vytahování nábojnice z nábojové komory jsou velmi důležité výrobní tolerance. Především jde o tolerance vnějšího průměru nábojnice, které musí umožnit hladké vzlouznutí do hlavně. Je vhodné eliminovat místa, jež by mohla být zeslabena velkými deformacemi. Největší tlaky vznikají při výstřelu u dna nábojnice a zde hrozí zeslabení nábojnice a následné možné prasknutí nábojnice. Pro tento fakt je u dna nábojnice přidáno zaoblení, které lze vidět na obr. 4.



Obr. 2 Model nábojnice



Obr. 3 Popis těla nábojnice



Obr. 4 Řez hliníkové nábojnice

S ohledem na poměrně nízké požadavky na mechanické vlastnosti a naopak na potřebu vysoké tvářitelnosti, byl pro nábojnici zvolen. V následující tab. 1 jsou uvedeny chemické a mechanické vlastnosti daného materiálu.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení Al 99,5 [-]

Materiál	Al 99.5			
Mechanické vlastnosti žíháno na měkko	Mez pevnosti Rm [MPa]	Mez kluzu Rp02 [MPa]	Tažnost A [%]	Tvrdość HBW [-]
	75,3	32,9	30	23
Chemické složení slitiny	hliník [%]	křemík [%]	železo [%]	mangan [%]
	Do 100	0,16	0,17	0,03

1.1 Možnosti výroby polotovaru signální nábojnice [2], [7], [10], [11], [13]

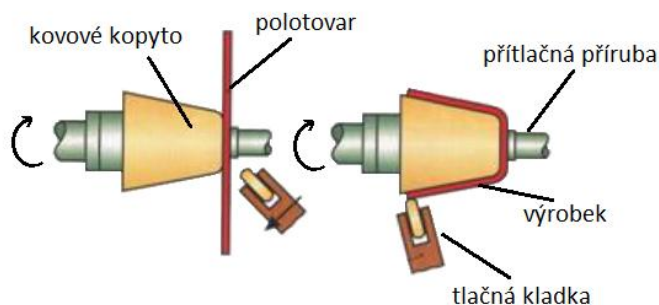
Pro výrobu hliníkové nábojnice lze využít technologii obrábění a tváření:

- Obrábění - jako výchozí polotovar bude hliníková tyč tažená za studena. Ke zhotovení konečného tvaru by byly využity operace soustružení, vrtání a případné dokončující operace. Největší zastoupení během výroby by jednoznačně patřilo soustružení viz obr. 5. Jednalo by se o časově náročnou výrobu s malým využitím materiálu. Postup by byl vhodný pro kusovou, či velice nízko sériovou výrobu.



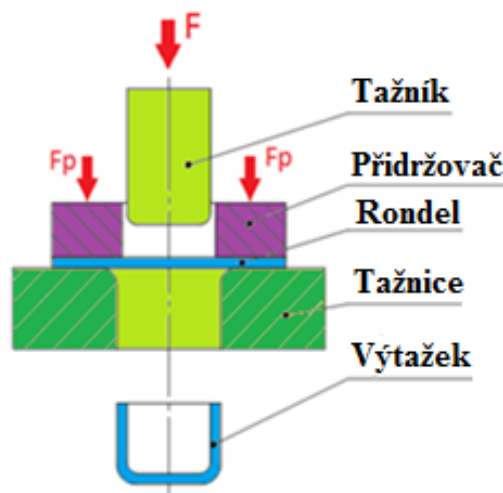
Obr. 5 Soustružení obrobku [15]

- Kovotlačení - Známé pod pojmem rotační tlačení kovu je výrobní proces výroby dutých těles. Celá tato technologie funguje na principu lokální deformace, kde se plech přihýbá silou ke kopytu. Tvářený polotovar kruhového průřezu se centricky upne na čelní plochu kopyta, tvar kopyta odpovídá požadovanému vnitřnímu tvaru výlisku. Při rotaci výlisku se působením kladky materiál lokálně plasticky deformuje a postupně získává tvar kopyta, viz obr. 6. Produktivita práce není nikterak veliká, proto se malosériové výrobě užívá rotační tlačení především pro výrobu nábojnic velkých ráží, kde není ekonomické vyrábět velmi drahé tažné nástroje. Výhodou může být také fakt, že lze i docílit proměnné tloušťky stěn. Pro velkosériovou výrobu hliníkových nábojnic malých ráží není tato technologie vhodná.



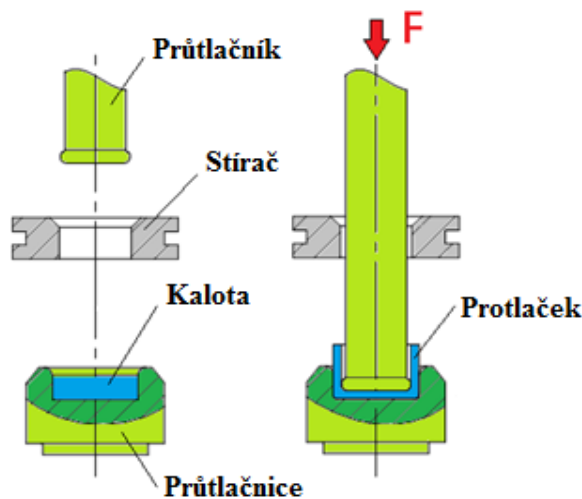
Obr. 6 Příklad kovotlačení kalíšku [13]

- Tažení plechu - Tažením, stejně jako rotačním tlačením se z rovinného plechu tzv. rondelu, se vytváří plocha prostorová. Princip tažení spočívá, že se výchozí plochý polotovár tažením přetváří tažníkem do miskovitého tvaru výtažku, viz obr. 7. Máme různé druhy tažení a to například hluboké tažení, mělké tažení, se ztenčením stěny, bez ztenčení stěny, s přidržovačem, bez přidržovače. Můžeme také rozdělit podle tvaru výtažku: rotační, nerotační či s velmi nepravidelnými tvary. Aby nastala v materiálu požadovaná trvalá deformace, musí napětí v materiálu převýšit hodnotu na mezi kluzu, ale zase nesmí být vyšší než pevnost v tahu. Není – li v prvním tahu dosaženo požadované redukce, pokračuje se dále v druhém, popřípadě v třetím tahu. Okraje výtažku bývají často nerovné a různě deformované, je to způsobeno otřepy po procesu stříhání. Je vhodné výtažek táhnout hlubší, aby po zastřížení okrajové části byly požadované rozměry dle výkresové dokumentace. Pro zhotovení polotovaru nábojnice lze s výhodou použít Tažení se ztenčením stěny.



Obr. 7 Schéma tažení s přidržovačem

- Protlačování - protlačování patří k technologiím objemového tváření. Protlaček, tj. produkt protlačovací operace, se z výchozího polotovaru, kterým je ze špalík ustřížený z tyče, nebo kalota vystřížená z plechu, získá působením vysokých tlaků v protlačovacím nástroji, jako příklad lze vidět zpětné protlačování na obr. 8. V deformovaném prvku vzniká trojosá tlaková napjatost, což velmi příznivě přispívá k zvýšení tvárnosti materiálu. Máme různé druhy způsobu protlačování kovu a to: dopředné, zpětné, sdružené a stranové. Největší uplatnění má především ve velkosériové výrobě součástí typu šroubů, matic, apod. Protlačování se nečastěji uskutečňuje bez ohřevu polotovaru neboli za studena. S ohledem na materiál nábojnice s vysokou tvárností je tento způsob zhotovení polotovaru nábojnice vhodný.

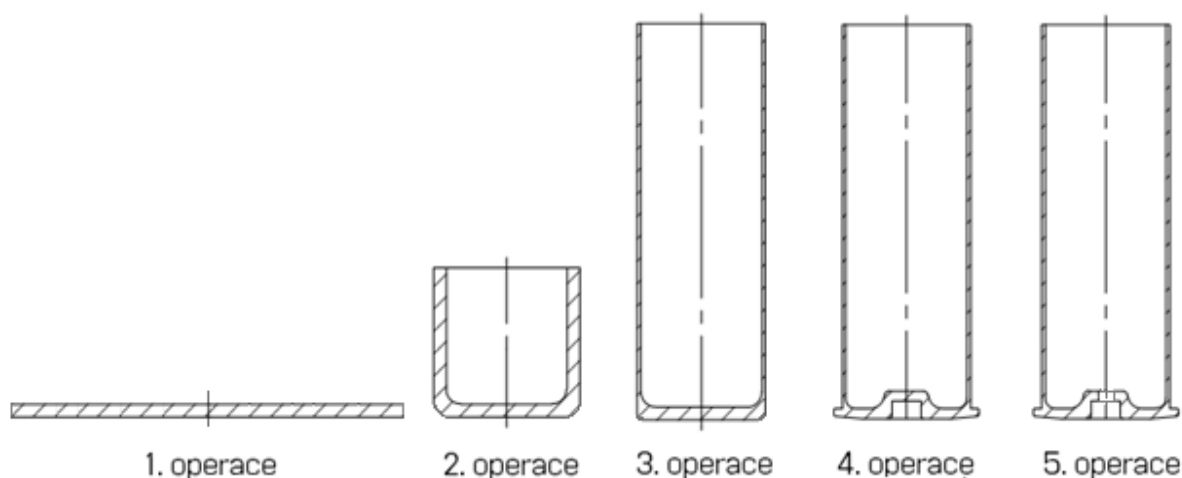


Obr. 8 Princip zpětného protlačování

Pro výrobu hliníkové nábojnice s ohledem na rozměry je jednoznačně vhodné vytvoření pláště tažením se ztenčením stěny, kde polotovár tvaru kalíšku lze vyrobit bud technologií

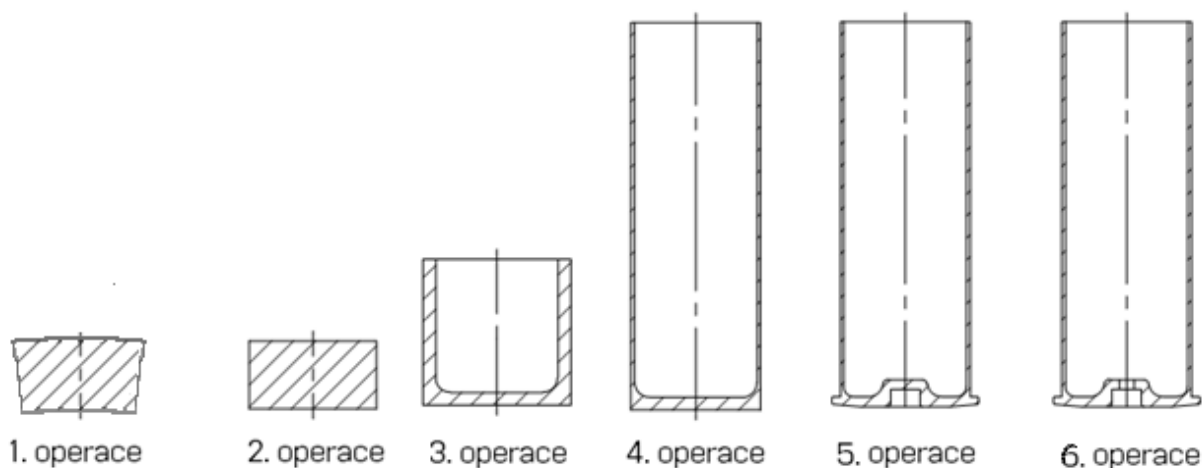
protlačování, nebo tažení bez ztenčení stěny. Oběma technologiemi je možné docílit téměř stejného výsledného produktu, avšak v případě zpětného protlačování je polotovarem kalota vystřižena z širokého plechu. Tloušťka nedovoluje dodávat plotovat ve formě svitku a je zde nutná kalibrace. Naopak při tažení, je produkt zhotoven z plechového výstřížku malé tloušťky. Materiál je dodáván ve svitku, díky němuž jsme schopni dobré automatizace a získáme tak dobrou efektivitu výroby.

Výroba polotovaru technologií tažení je v první operaci zaměřena na stříhání materiálu z pásu plechu. V následující operaci bude výroba mělkého kalíšku. Vyhotovení hlubokého výtažku tažením do tvaru a rozměru požadované nábojnice. Ve finální fázi přetvoříme dno nábojnice. Produkty jednotlivých operací jsou postupně schematicky rozkresleny na obr 9.



Obr. 9 Postup výroby nábojnice taženým polotovarem

Výroba polotovaru technologií protlačování a tažení je v první operaci zaměřena na vystřížení kaloty z plechu. Následuje kalibrování pro udržení přesnosti rozměrů. Zpětným protlačováním se vytvoří tvar kalíšku a nakonec tažením docílíme tvaru a rozměru požadované nábojnice. Ve finální fázi přetvoříme dno nábojnice. Produkty jednotlivých operací jsou postupně schematicky rozkresleny na obr. 10.



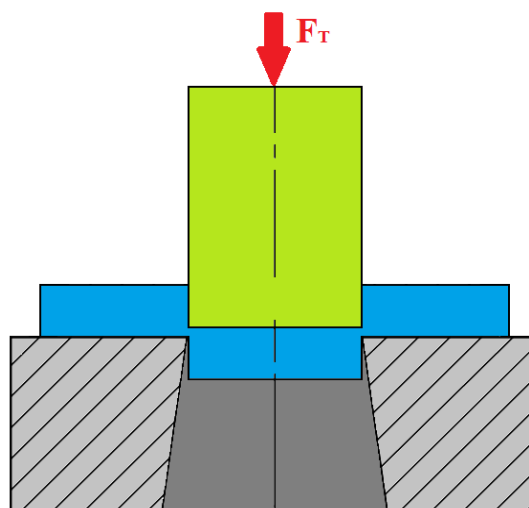
Obr. 10 Postup výroby nábojnice s protlačovaným polotovarem

2 Literární rešerše, výroby hliníkové nábojnice

2.1 Výroba polotovaru kalíšku protlačováním [2], [4], [12], [13]

2.1.1 Vystřihování polotovaru z plechu [4], [10]

Princi stříhání spočívá v oddělování požadovaného materiálu protilehlými nástroji, které lze vidět na obr 11. Důležitá je kvalita střížné plochy, která ovlivňuje další tvářecí operace. Celkově kvalitu nejvíce ovlivňuje velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu anebo použití přidržovače. Konstrukčními úpravami střížných nástrojů, zejména zaoblení střížníku nebo střížnice, lze zabránit vzniku střížné trhliny a tím získáme kvalitnější povrch. Tyto nedostatky odstraní technologie přesného stříhání. Stříhání je ekonomicky výhodné již při výrobní sérii nad 20 000 kusů nábojnic. Optimální hodnota střížné vůle nám zajistí přesné setkání trhlinek šířící se v materiálu od břitů nástroje.



Obr. 11 Stříhání plechu

Pro výpočet tloušťky stříhané kaloty je nutné znát celkový objem nábojnice O_{SP} , spočítaný v kap. 3.

Průměr kaloty vypočteme dle následujícího vztahu:

$$D_K = D_\xi - \Delta K = D_P - \delta - \Delta K \quad [\text{mm}] \quad (2.1)$$

kde: D_K – průměr vystřihované kaloty [mm]

D_ξ – průměr špalíku po kalibraci [mm]

ΔK – hodnota zvětšení průměru při kalibraci [mm]

D_P – vnitřní průměr průtlačnice [mm]

δ – vůle pro založení a středění kalibrovaného špalíku [mm]

Tloušťka kaloty je pak:

$$t_k = \frac{4 \cdot V_K}{\pi \cdot D_K^2} \quad [\text{mm}] \quad (2.2)$$

kde: V_K – objem kaloty [mm³]

D_K – průměr kaloty [mm]

Podle velikostí střížné vůle se odvíjí výsledná přesnost výstřižku, drsnost povrchu střížné hrany. Optimální hodnota střížné vůle se spočítá dle následujícího vztahu:

$$\frac{v}{2} = c * t * 0,32 * \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (2.3)$$

kde: c – konstanta, volíme v rozmezí 0,005 až 0,035 [-]
 τ_s – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

Velikost střížné síly se vypočítá ze vztahu:

$$F_S = S_{stříhu} * \tau_s \quad [\text{N}] \quad (2.4)$$

kde: $S_{stříhu}$ – je stříhaná plocha [mm²]
 τ_s – pevnost materiálu ve stříhu, pomocí tab. [MPa]

Tab. 2 Stanovení pevnosti materiálu ve stříhu [6]

Materiál	τ_s [MPa]
Ocel	(0,75 až 0,90) R_m
Hliník	(0,55 až 0,90) R_m
Dural	(0,60 až 0,75) R_m
Mosaz	(0,65 až 0,75) R_m

Práci potřebnou pro proces stříhání je možné spočítat dle následujícího vztahu

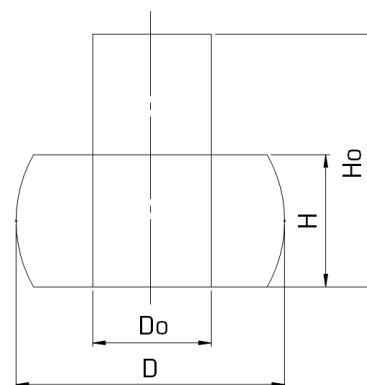
$$A_S = F_S * t * k \quad [\text{J}] \quad (2.5)$$

kde: k – součinitel, volí se v rozmezí 0,4 až 0,7 [-]
 τ_s – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

2.1.2 Pěchování [2], [4]

Jelikož surový materiál pro výrobu je dodáván ve formě tabule plechu, je nutná po vystřížení kaloty další operace. Tou je kalibrace, jež se provede pomocí technologie pěchování.

Pěchování je základní operací před vlastním protlačováním, při které se zmenšuje výška polotovaru a zvětšuje jeho příčný průřez viz obr. 12. Samotné pěchování lze realizovat buď za studena, či za tepla. Jako polotovar pro operaci pěchování za studena se používá nastříhaný drát či kalota vystřížená z plechu. Funkční plochy nástrojů jsou leštěny a je vhodné během procesu mazat. Mírou velikosti přetvoření při pěchování je stupeň deformace, který se vyjadřuje pomocí následujících dvou parametrů. Skutečného přetvoření φ , je dáno vztahem:



Obr. 12 Schéma pěchování

$$\varphi_0 = \ln \frac{D^2}{D_0^2} \quad [-] \quad (2.6)$$

kde: D_0 – počáteční průměr špalíku [mm]
 D – konečný průměr špalíku [mm]

Poměrné přetvořením ε , je dáno vztahem:

$$\varepsilon_0 = \frac{H_0 - H}{H_0} * 100 \quad [\%] \quad (2.7)$$

kde: H – konečná výška pěchovaného tělesa [mm]

H_0 – počáteční výška pěchovaného tělesa [mm]

Stanovení velikosti pěchovací síly:

Pěchovací sílu stanovíme ze znalosti meze pevnosti materiálu a konečné plochy válečku po pěchování:

$$F_{\text{pěchovací}} = R_m * S_p = R_m * \frac{\pi * D^2}{4} \quad [\text{kN}] \quad (2.8)$$

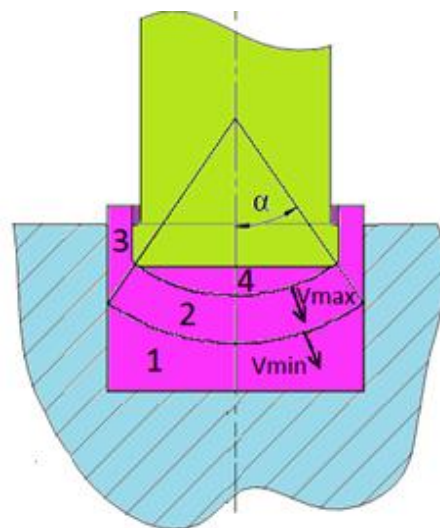
kde: R_m – mez pevnosti materiálu [MPa]

S_p – obsah příčného průřezu po spēchování [mm²]

2.1.3 Zpětné protlačování [2], [4], [8], [9], [12], [13]

Při technologii zpětného protlačování se váleček přetváří v duté těleso. Tvářený materiál se přemísťuje ze dna do stěn výtažku a přetvoření je zde nerovnoměrné. Díky technologii protlačování se značně sníží výrobní náklady a to z důvodů velkého využití materiálu. Při samotném protlačování se materiál pohybuje v opačném směru než pohyb průtláčnicku. Tloušťka stěny je v porovnání s průměrem velmi malá a podmínky deformace jsou rozdílné v počátečním a konečném stádiu procesu. Touto technologií se běžně vyrábí např. tuby, nábojnice či různé druhy kalíšků apod.

Deformovaný materiál lze rozdělit do čtyř základních pásem, které jsou zobrazeny na obr. 13. První se nachází na čele průtláčnicku, které se nazývá mrtvé pásmo s označením 4, jež se pohybuje současně s průtláčnickem stejnou rychlostí. Další pásma jsou oddělena sférickými plochami diskontinuity rychlosti. Pásmo 1 je dosud nedeformovaná oblast materiálu. Deformační pásmo 2 je další plochou diskontinuity rychlosti v_3 jež má tvar komolého kužele odděleného od již přetvořené plochy pásma 3. V pásmu 2 se mění rychlost přetvoření materiálu, čím více se vzdaluje od průtláčnicku, tím bude klesat i rychlost přetvoření. Kdyby byl materiál stlačitelný, tak by se shromažďoval ve stacionární zóně 1 a nedocházelo by k vytékání materiálu vzhůru. Jelikož tomu tak není, kov vytéká kuželovým pásmem 3 do trubkové části.



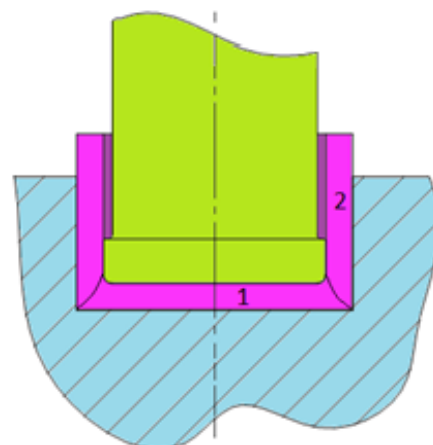
Obr. 13 Pásma deformací při protlačování [4]

Při dojetí průtláčnicku do koncové polohy ke dnu průtláčnice se změní rychlostní pole v deformovaném materiálu. Plastickou deformaci nalezneme pouze v pásmu 1, kde pohyb materiálu směrem dolů se určuje složkou rychlosti, která je lineárně úměrná k poloze každého bodu a nezávislá na jeho vzdálenosti od osy, viz obr. 14. Průtláčnick má stejnou rychlost jako pohyb všech dotýkajících se vertikálních bodů.

Vzhledem k tomu že se materiál v důsledku petchování zpevňuje, tak nelze nadále dosazovat tabulkovou hodnotu pevnosti materiálu viz tab. 1. Přesnou pevnost nově zpevněného materiálu získáme z aproximační křivky dle katalogu křivek přetvárných odporů. Příložený v příloze.

$$\sigma_f = 151,85 \cdot \varphi^{0,6165} + 38,62 \text{ [MPa]} \quad (2.9)$$

kde: σ_f – pevnost po zpevnění [MPa]
 φ – skutečné přetvoření [-]



Obr. 14 Hotový protlaček

Protlačovací síla a tlak

Výpočet protlačovacího tlaku je dost komplikovaný, proto se pro praktické účely používají zjednodušený vztah.

$$p_p = 1,152 \cdot \sigma_f \cdot \frac{S_0}{S_f} \cdot \left(\log \frac{S_0}{S_0 - S_f} + \frac{S_0}{S_0 - S_f} \cdot \log \frac{S_0}{S_f} + \log \frac{S_f}{S_0 - S_f} \right) \text{ [MPa]} \quad (2.10)$$

kde: p_p – protlačovací tlak [MPa]
 S_0 – plocha příčného průřezu protlačovaného polotovaru [mm²]
 S_f – plocha čela průtlačníku = $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$ [mm²]

Síla potřebná k protlačení kalíšku je známá jako součin protlačovacího tlaku a plochy, na niž působí průtlačník.

$$F_{\text{protlačovací}} = p_p \cdot S_f \quad \text{[kN]} \quad (2.11)$$

Díky znalosti protlačovací síly, lze vybrat i vhodný lis. Tento lis je nutné předimenzovat, aby jeho jmenovitá síla byla větší než teoreticky vypočítaná. Protlačování a petchování provádíme zároveň na jednom stroji, proto se celková síla spočítá součtem všech tvářecích sil:

$$F_{\text{Celková}} = F_{\text{petchovací}} + F_{\text{protlačovací}} \quad \text{[kN]} \quad (2.12)$$

Výpočet velikosti logaritmické a poměrné deformace

Velikost skutečné deformace je dána vztahem:

$$\varphi = \ln \frac{D^2}{D^2 - d^2} \quad \text{[-]} \quad (2.13)$$

kde: D – velký průměr kalíšku [mm]
 d – vnitřní průměr kalíšku [mm]

Velikost poměrné deformace je dána vztahem

$$\varepsilon = \frac{d^2}{D^2} \quad \text{[-]} \quad (2.14)$$

Mazání před procesem protlačování

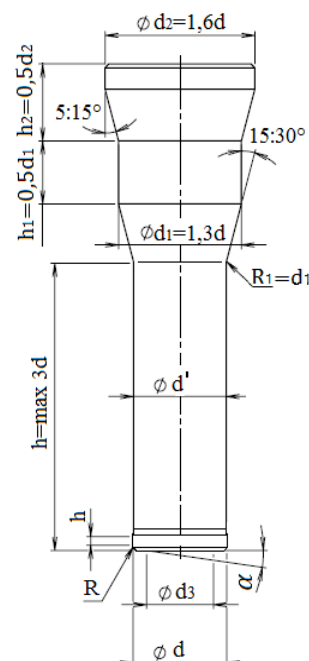
Podmínkou pro úspěšné protlačování hliníku za studena je vytvoření tenké vrstvy maziva mezi protlačkem a nástrojem. Vrstva maziva zamezí zadírání a zároveň snižuje sílu potřebnou k protlačování. Samotné mazivo musí dobře držet na povrchu protlačku. U ocelí se běžně používá, nanáší vrstva fosfátu, ale u hliníku to není zapotřebí, z důvodu lepší tvařitelnosti musí splňovat:

- Snadná aplikace i odstranění
- Nesmí způsobovat korozi
- Neobsahovat tvrdé částice
- Dobrá soudržnost s povrchem

2.1.4 Konstrukce průtlačníku: [4], [8], [11]

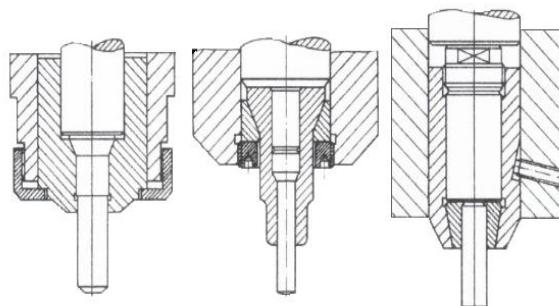
V procesu protlačování je kladen velký důraz na tvar a geometrii nástroje. Tyto dva důležité parametry nejvíce ovlivňují trvanlivost nástroje. Obvyklý tvar průtlačníku se základními konstrukčními vztahy na obr. 15. Při protlačování plných součástí je průtlačník zpravidla vyroben z jednoho kusu. Přechod mezi dříkem a upínací částí musí být pozvolný, z důvodu zabránění koncentrací napětí, které by vedlo k prasknutí nástroje. Všeobecně musí mít průtlačník dostatečnou houževnatost, tvrdost a pevnost, spolu s homogenní strukturou, jenž není náchylná k prasklinám a defektům. Materiály nástrojů se nejčastěji využívají legované nástrojové oceli s vysokým obsahem chromu a manganu. Průtlačník je vysoce namáhaná součást, a proto by měl splňovat následující materiálové vlastnosti:

- Vysoká odolnost vůči tlakovému zatížení
- Odolnost vůči otěru
- Vysoká pevnost
- Dobrá obrobiteľnosť
- Dostatečná houževnatost



Obr. 15 Průtlačník se základními rozměry [2],

Těmto požadavkům dobře vyhovují nástrojové oceli 19 423 či 19 436. Důležité je i vhodné upnutí průtlačníku do nástroje, jenž zajistí přesné vedení během operace. Možné způsoby upnutí průtlačníku v nástroji je na obr. 16. Může se stát že protlaček zůstává přichycený na povrchu průtlačníku. Je vhodné přidat do sestavy pomocný přidavný stírač, díky němu se lehce setře výrobek.



Obr. 16 Příkladů středění a uchycení průtlačníku [8]

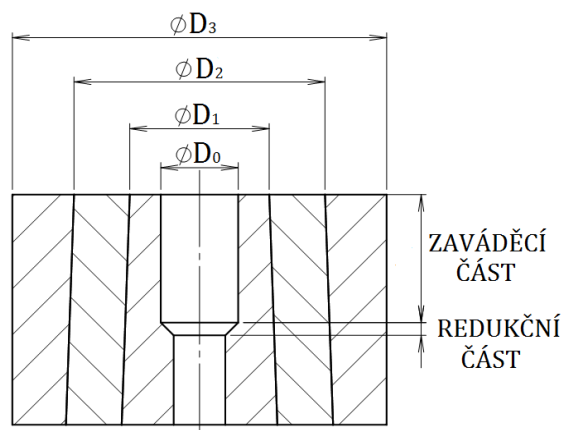
2.1.5 Konstrukce průtlačnice [4], [8]

Průtlačnice je jednou z důležitých částí tvářecího nástroje, která se nepohybuje. Vnější tvar je buď válcovitý nebo kuželovitý. Vnitřní část neboli dutina je určena tvarem vyráběné součásti. Lze ji rozdělit na část zaváděcí, kam vložíme polotovár a redukční část. Při protlačování působí na průtlačnici zatížení, proto je vhodné zalisování průtlačnice do jedné či více objímek, které se říká tzv. zděrování průtlačnice viz obr. 17. Tuhost nástroje se zlepší a díky tomu je průtlačnice schopna snášet vyšší namáhání a to až do tlaku $p \leq 1\,600$ [MPa]. Tvar průtlačnice se základními rozměry pro výpočet jsou zobrazeny na obr. 18. Odstupňování rozměrů objímek lze stanovit následovně:

$$D_1 = (1,6 \text{ až } 1,8) \cdot D_0 \text{ [mm]} \quad (2.15)$$

$$D_2 = (2,5 \text{ až } 3,2) \cdot D_0 \text{ [mm]} \quad (2.16)$$

$$D_3 = (4 \text{ až } 6) \cdot D_0 \text{ [mm]} \quad (2.17)$$



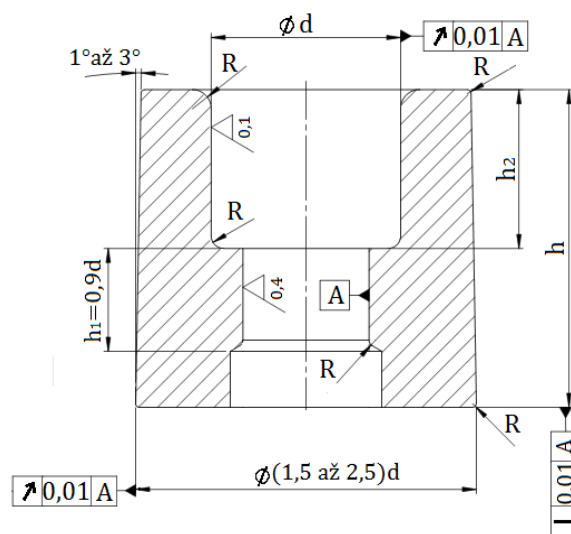
Obr. 17 Průtlačnice [10]

Průtlačnice by měla splňovat následující vlastnosti:

- Vysoká odolnost vůči tlakovému a rázovému zatížení
- Odolnost vůči opotřebení
- Dobrá obrobiteľnosť
- Dostatečná houževnatost

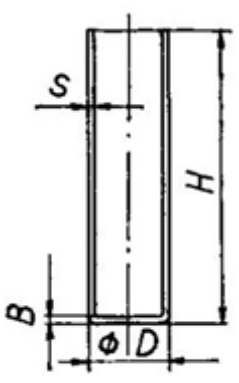
Těmto požadavkům dobře vyhovují nástrojové oceli, přesněji ocel 19 830 či 19 437. Při velkosériové výrobě lze použít i nástroje ze slinutých karbidů G3, G4 jenž mají vyšší životnost, která je úměrná k ceně nástrojů. Pro jednoduché vyjímání součásti z dutiny průtlačnice je vhodné použití vyhazovače.

Možnost výroby pláště nábojnice pouze protlačováním lze zjistit pomocí tab. 3. V případě, že samotnou technologií protlačování nejsme schopni vyhotovit požadovanou tloušťku stěny, bude zvolena technologie tažení se ztenčením stěny v následující podkapitole.



Obr. 18 Průtlačnice se základními rozměry [4]

Tab. 3 Možné rozměry nábojnice vyrobitelné protlačováním [2]

Náčrt průtlačku	Protlačovaný kov	Vnější	Výška	Tloušťka dna	Tloušťka stěny
		D [mm]	H [mm]	B [mm]	S [mm]
	Pb, Sn, Zn, Al	Do 10	7 D	0,04 D	0,02 D
		10 - 20	7 - 6 D	0,035 D	
		20 - 40	6 - 5 D	0,03 D	0,01 D
		40 - 60	5 - 4 D	0,02 D	
		60 - 80	4 - 3,5 D	0,017 D	
		80 - 100	3,5 - 3,2 D	0,015 D	
		100 - 120	3,2 - 3 D	0,012 D	
	Cu, Ms, bronz	Do 10	5 D	0,07 D	0,09 D
		10 - 20	4 D	0,07 D	0,08 D
		20 - 40	4 D	0,06 D	0,07 D
40 - 60		3 D	0,05 D	0,06 D	
60 - 80		2 D	0,04 D	0,05 D	

2.2 Výroba polotovaru kalíšku tažením [2], [4], [7], [8], [10], [11]

2.2.1 Vystřihování rondelu z plechu [4], [10]

Princip teorii stříhání se již popisován v kapitole 2.1.1, proto není nutné ji opět opakovat. Tloušťka vystřihovaného rondelu a též šířka výchozího pásu plechu se stanoví z objemu dna nábojnice. Je nutné respektovat i požadavky na mechanické vlastnosti dna nábojnice, neboť požadované pevnostní vlastnosti nábojnice lze dosáhnout deformačním zpevněním, při vhodně zvolené velikosti přetvoření materiálu.

Tloušťka rondelu je pak:

$$s_{ron} = \frac{4 \cdot O_D}{\pi \cdot D_1^2} \quad [\text{mm}] \quad (2.18)$$

kde: O_D – objem dnové části [mm³]

D_1 – průměr dnové části [mm]

Objem rondelu:

$$O_R = O_D + O_p + \Delta O_p \quad [\text{mm}^3] \quad (2.19)$$

kde: O_p – je objem pláště nábojnice [mm³]

ΔO_p – je přídavek na zarovnní délky pláště 2- 3% [-]

Průměr rondelu:

Vypočítáme ze stanoveného objemu a již dříve vypočítané tloušťky.

$$D_{ron} = \sqrt{\frac{4 \cdot O_R}{2 \cdot s_R}} \quad [\text{mm}] \quad (2.20)$$

2.2.2 Tažení kalíšku s konstantní tloušťkou stěny [7], [8], [10]

Tažení plechu je operace, kdy se z rovinné plochy plechu vytváří plocha prostorová jak je vidět na obr. 19. Tyto prostorové či duté nádoby vznikají tak, že je výstřížek z plechu protažen tažníkem skrz prstencovou tažnici. Takto lze vytvářet jak válcové, tak hranaté nádoby. U dna výtažku lze očekávat nepatrné prodloužení a tím i jeho ztenčení stěny o 2 % až 3%. Při kalíškování neboli jednooperačním tažení je však toto zeslabení dna výtažku nepodstatné a řeší se až u vícero operačních tažení. Největší deformací, která zde nastává je spěchování materiálu v tangenciálním směru φ_3 a prodloužení v radiálním směru φ_1 viz obr. 20 Obě tyto deformace dosahují maxima na konci výtažku. Velikost deformace ve směru šířky plechu φ_2 se ze začátku nachází v záporných hodnotách, ale postupně se mění na kladnou, avšak podle zákona o zachování objemu musí platit: $\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0$.

Při tažení tlustých plechů není nutné použít přidržovač, ale je zapotřebí vhodně upravit funkční plochu tažnice např.: zvětšit rádius zaoblení nebo místo zaoblení zda udělat kuželovou plochu. Díky této úpravě se dosáhne větší deformace a nižší hodnoty součinitele tažení, tím pádem i lepší stabilita celého procesu.

Napětí vyvolané tažnou silou v zaoblení příruby výtažku je důsledkem:

- tangenciální napětí σ_1 v radiálním směru, jenž při tažení tenkých plechů může způsobovat vznik vln.
- napětí σ_0 v ohybu na hraně tažnice
- třením mezi přidržovačem a okrajem rondelu: $\sigma_{tř}$

celkové napětí působící v plášti výtažku je:

$$\sigma_v = (\sigma_1 + \sigma_{tř} + 2\sigma_0) \cdot e^{1,6\mu} \quad [\text{MPa}] \quad (2.21)$$

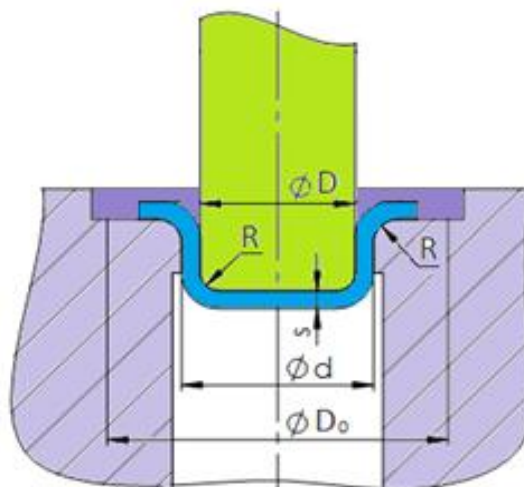
kde: σ_1 – radiální tahové napětí v oblasti příruby [MPa]

$\sigma_{tř}$ – napětí vyvolané třením [MPa]

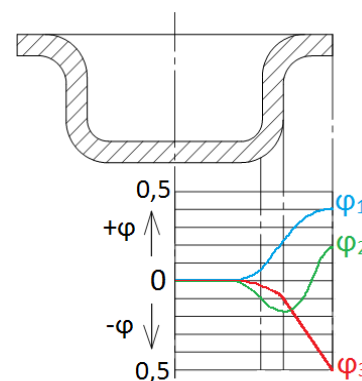
σ_0 – napětí vyvolané ohybem na zaoblené hraně tažnice [MPa]

μ – součinitel tření [-]

$e^{1,6\mu}$ – součinitel vyjadřující vliv tření na zaoblené hraně [-]



Obr. 19 Tažení bez ztenčení stěny



Obr. 20 Deformace u protlačování kalíšku

velikosti tažné síly spočítáme díky znalosti napětí σ_v dle následujícího vztahu:

$$F_T = \sigma_v \cdot \pi \cdot d_s \cdot s_0 \quad [\text{kN}] \quad (2.22)$$

kde: d_s - střední průměr výtažku [m]

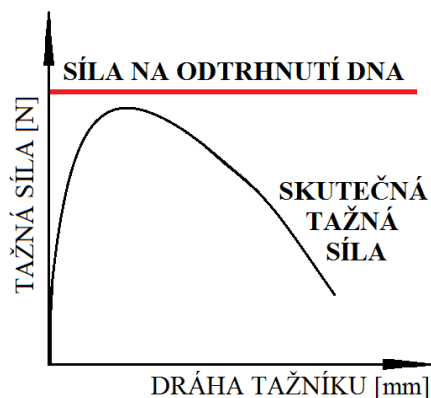
Výsledné tahové napětí σ_v se v průběhu tažení spolu s tažnou silou mění, viz obr. 21. Ve výrobě se může stát, že průběh tažné síly je odlišný. Jedním z důvodů je nedodržení optimální tažné vůle. Pro zjednodušení výpočtu se v praxi používá vzorec ke stanovení maximální síly na utržení dna výtažku.

Velikost této síly lze vypočítat ze vztahu:

$$F_t = c_1 \cdot \pi \cdot d_s \cdot s_{pol} \cdot R_m \quad [\text{kN}] \quad (2.23)$$

kde: c_1 – je konstanta, která vyjadřuje vliv součinitele tažení m s přihlédnutím k poměrné tloušťce d/D_0 viz tab. 4

s_{pol} – výchozí tloušťka plechu [mm]



Obr. 21 Průběh tažné síly [4]

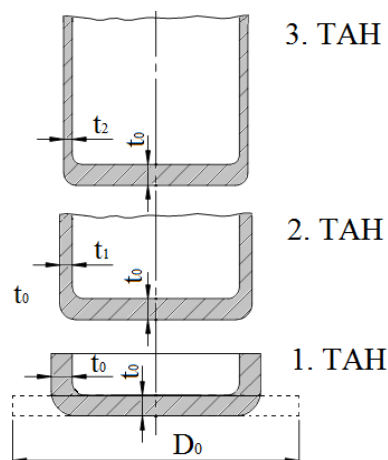
Tab. 4 Vybrané hodnoty c [9]

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

2.3 Tažení se ztenčením stěny pláště výtažku [4], [7], [8]

Jedná se o operaci, kde tloušťka stěn kalíšku je redukována v mezeře mezi tažnicí a tažníkem viz obr. 22. Dno se nikterak netváří a jeho tloušťka je stejná jako před operací. Na kontaktní ploše mezi tažníkem a výtažkem vzniká třecí síla, jejíž směr je totožný s pohybem tažníku. Tato třecí síla snižuje napětí v nebezpečném průřezu u dna nábojnice a díky ní jsme schopni získat vyšší stupeň deformace. Na element zobrazený na obr. 23, působí radiální tahové napětí σ_1 , normálové tlakové napětí σ_2 a tangenciální tlakové napětí σ_3 .

Vstupní polotovár je zhotoven tažením výtažku bez ztenčení stěny. Síla stěny kalíšku bude redukována mezi tažníkem a tažnicí. Lze vidět, že velikost mezery, v které se bude redukovat tloušťka je menší než vstupní tloušťka stěny. Vnitřní průměr výtažku se



Obr. 22 Ztenčení stěny v jednotlivých tazích

zmenšuje minimálně, a výlisek díky stíracímu kroužku posléze setřeme z tažníku. Výsledná šířka stěny může být zhotovena buď v jedné operaci či vícero operacích, vše záleží na stupních deformace a materiálových vlastnostech.

Síla potřebná k tažení je závislá na úhlu tažnice α . Velikost redukčního úhlu α závisí na velikosti tření μ mezi tažníkem, tažnicí a výtažkem viz obr 24. Je prokázáno, že součinitel tření μ působící mezi tažníkem a výtažkem je dvakrát větší, než mezi tažnicí a výtažkem. Díky zmenšení úhlu α lze dosáhnout větší zeslabení stěny v jedné operaci. Po této operaci nám zůstane tloušťka dna shodná s polotovarem, pouze se oddělí přebytečný materiál z hrdla nábojnice. Lze říci, že se jedná o bezodpadovou metodu, proto se rozměry polotovaru spočítají z celkového objemu nábojnice.

Pro výpočet tahového napětí ve směru osovém, tedy pokud je splněna podmínka že tření na tažníku a tažnici mají stejné hodnoty, byl odvozen vztah:

$$\sigma_v = \sigma_{ps} \cdot \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \ln \frac{t_0}{t_1} + \frac{\alpha}{2} \right) \quad [\text{MPa}] \quad (2.24)$$

kde: μ – je koeficient tření [-]
 t_0 – původní tloušťka stěny kalíšku před tažením [mm]
 t_1 – tloušťka stěny výtažku po tažení [mm]
 α – redukční úhel tažnice [°]

Ze znalosti koeficientu tření lze získat optimální velikost redukčního úhlu α_{opt} , při které je hodnota napětí minimální.

$$\alpha_{opt} = \sqrt{2\mu \cdot \ln \frac{t_0}{t_1} \cdot \frac{180}{\pi}} \quad [^\circ] \quad (2.25)$$

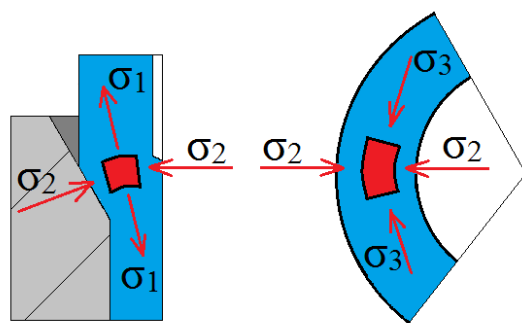
Výpočet tažné síly:

Tažná síla je při tažení výtažku složena ze dvou složek. První vyvolává redukci materiálu v tažnici a druhý z kontaktního tření materiálu na tažníku. Je dána vztahem:

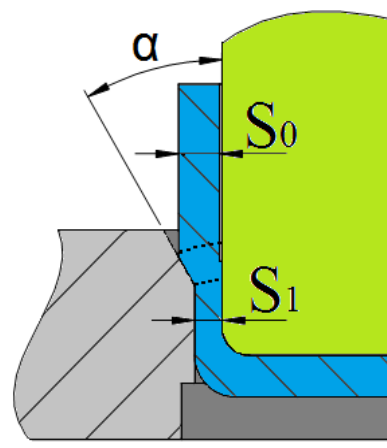
$$F_T = 0,13 \cdot \pi \cdot d_s \cdot s_1 \cdot \sigma_{ps} \cdot \left[\left(1 + \frac{2\mu}{\alpha} \right) \cdot \ln \frac{s_0}{s_1} + \frac{\alpha}{2} \right] \quad [\text{kN}] \quad (2.26)$$

Výpočet poměrné deformace, součinitele ztenčení a součinitele tažení

Jelikož se při tažení ztenčují pouze stěny výtažku a dno zůstává stejné, je zapotřebí spočítat poměr ploch těchto příčných řezů, neboli stupeň poměrné deformace:



Obr. 23 Napětí působící během tažení



Obr. 24 Ztenčení stěny při tažení

$$\varepsilon = \frac{S_{n-1} - S_n}{S_{n-1}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.27)$$

kde: S_{n-1} – je plocha příčného průřezu pro n-1 tou operaci. [mm²]
 S_n – je plocha příčného průřezu pro n-tou operaci [mm²]

Změna průměru výtažku vůči tloušťce stěny je velice malá, proto lze zvolit následující úpravu $t_{n-1} \approx t_n$. Deformaci je možné vyjádřit pomocí tzv. součinitele ztenčení:

$$K_z = \frac{t_{n-1} - t_n}{t_{n-1}} \cdot 100 = 1 - \frac{t_n}{t_{n-1}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.28)$$

kde: t_n – tloušťka stěny výtažku po operaci
 t_{n-1} – tloušťka stěny výtažku před operací

podobně lze vypočítat i součinitele tažení:

$$m_n = \frac{t_n}{t_{n-1}} \quad [-] \quad (2.29)$$

Stupeň poměrné deformace a součinitele ztenčení, jenž jsou dosažitelné při tažení různých materiálů jsou uvedeny v tab. 5. Nábojnice bude vyrobena z hliníku, proto jsou důležité údaje zvýrazněny barevně.

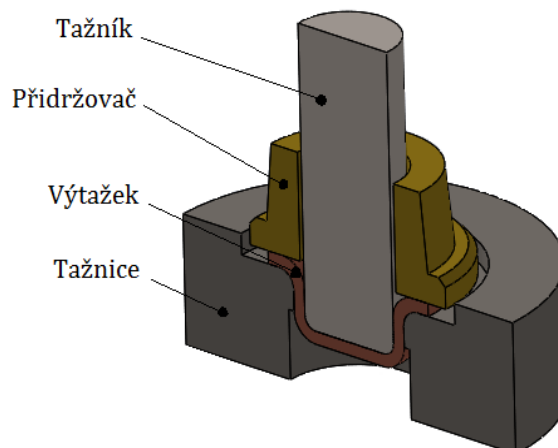
Tab. 5 Doporučené hodnoty poměrné deformace ε a součinitele ztenčení K_z , jak pro 1 tah, tak další tahy. [4]

Materiál výtažku	První tah		Druhý tah	
	[%]	K_z [%]	[%]	K_z [%]
Ocel měkká	45 - 60	45-40	35 - 45	65 - 55
Ocel 0,25-0,35%C	35 - 40	65-60	25 - 30	75 - 70
mosaz	60 - 70	40-30	50 - 60	50 - 40
hliník	60 - 65	40-35	40 - 50	60 - 50

Celkově se dosažitelný stupeň deformace u tažení dá zvýšit např.: určitým zmenšením vnitřního průměru výtažku. Při použití tohoto postupu se dosahuje vyšší přesnosti rozměru a tím pádem i zkvalitnění povrchu součásti. Další ovlivňující parametr je velikost redukčního úhlu α v tažnici, díky které se ovlivňuje velikost tažné síly. Při výrobě složitých tvarů nábojnic je zapotřebí materiál, nejčastěji ocel tepelně upravit, přesněji použít normalizační žihání, abychom dosáhli vhodných mechanických vlastností. V případě hliníkové nábojnice, která má vinikající tvařitelnos je tento proces je zbytečný.

2.3.1 Konstrukce nástroje pro tažení [2], [7], [9], [10], [11]

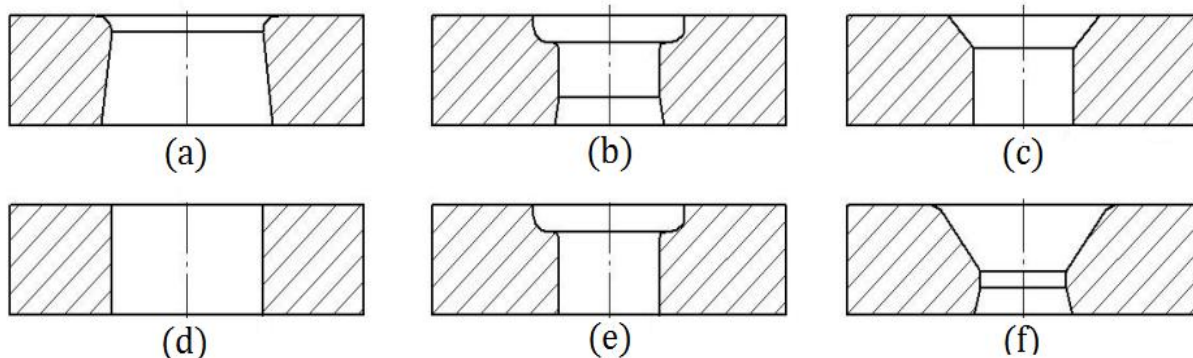
Konstrukční řešení nástrojů pro tažení bývá různé. Základem je pevná tažnice do které zajíždí tažník. Při tažení tenkých plechů hrozí zvlnění plechu ve vtažující se přírubě, proti tomuto nežádoucímu vlivu se používá přidržovač, který lze vidět na obr. 25 Pro zhotovení nízkého kalíšku postačí jedna tažná operace, ale při zhotovení hlubokých výtažků je třeba rozdělit operace na více tahů.



Obr. 25 Řez tažení s přidržovačem

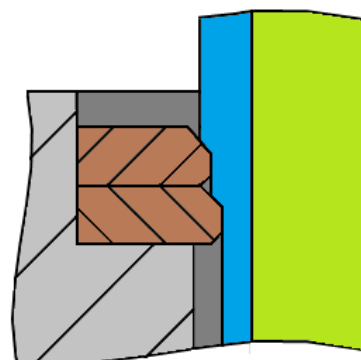
Konstrukce tažnice

Tvary tažnice jsou většinou prstencového tvaru, které jsou pevně přichycené v rámu stroje. Tažník se zasouvá do tažnice a vtažuje sebou materiál, který se vtažuje do mezery. Tvarů tažnic je velké množství, nejvíce používané jsou vidět na obr 26.



Obr. 26 Různé tvary tažnic [15]

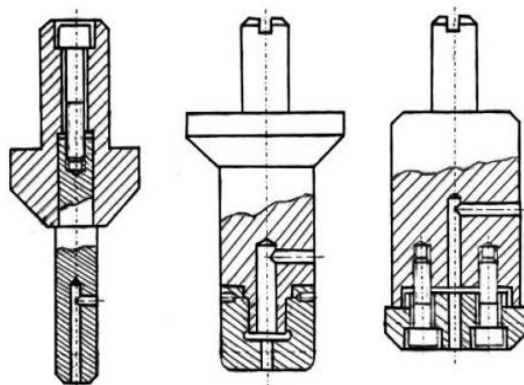
Nástroj pro tažení se ztenčením stěny se s oblibou konstruuje na dvě části, nebo i vícero částí tím pádem je i produktivnější, viz obr. 27. Při tažení se na vícero tažných kroužcích za sebou má oproti jedné kompaktní tažnici mnoho výhod. Celý proces zrychlí, zmenšuje se křivost výtažku a zlepší se i výsledný povrch. Místo výroby jedné složité tažnice se vyrobí několik jednoduchých, jež se posléze založí do matrice na sebe.



Obr. 27 Skládaná tažnice [9]

Materiál tažnic bývají nástrojové oceli, přesněji ocel 19 191 či 19 436. Pro méně namáhavé tažení hliníku lze použít i ocel 14 220, která se dobře cementuje. Při velkých výrobních sériích lze použít vložku z pevných materiálů, především slinutý karbid nebo keramiku, jež se zalisují do těla nástroje z běžné oceli.

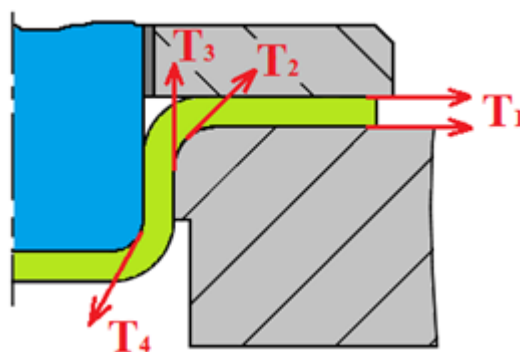
Funkční část tažníku je zpravidla konstruována jako válcová plocha s mírným úhlem. Pro lepší setření výtažku se funkční povrch vyleští. Důležitý je i odvzdušňovací kanálek vyvrtaný v ose tažníku, kde jeho vývod musí být výš než zhotovený výtažek, bez něj by vznikl na čele tažníku podtlak a bylo by obtížné výtažek setřít z tažníku. Možné varianty odvzdušnění tažníku jsou na obr. 28. Vnější průměr tažníku je zároveň vnitřní průměr výtažku.



Obr. 28 Příklady možného odvzdušnění tažníku [10]

2.3.2 Mazání v procesu tažení [8], [9]

Při tváření dochází mezi materiálem a nástrojem ke tření, které je zdrojem nežádoucího tepla. Tření negativně ovlivňuje životnost nástroje, především opotřebení na otěr. Dále tření zvyšuje tažnou sílu o 20% až 30% a má také vliv na hodnotu součinitele tažení. Třecí síly působící na výtažek při tažení jsou schematicky znázorněny na obr. 29. Síla T_1 vzniká mezi přírubou polotovaru výtažku a to jak na straně přidržovače, tak i na tažnici. V zaoblení tažnice vzniká síla T_2 , tato síla je ze všech tří největší a při součtu všech sil tvoří zhruba 75% velikosti. Síla T_3 vzniká v tažné mezeře a je ze všech tří nejmenší. Poslední a jediná žádaná třecí síla T_4 , jenž působí v zaoblení tažníku a zabraňuje posouvání materiálu ze dna do stěn výtažku. Maziva lze rozdělit to tři skupin:



Obr. 29 Třecí síly při tažení [9]

Maziva lze rozdělit to tři skupin:

- Kapalná maziva- minerální, syntetické, organické
- Konzistenční maziva- rostliné a živočišné tuky
- Tuhá maziva- grafit, mastek

2.3.3 Tažník s tažnicí pro tažení nábojnic [2], [7]

Konečná tloušťka stěny nábojnice se dosahuje postupně v řadě tažných operací. Víme, že tyto operace lze úspěšně zefektivnit více stupňovými tažnicemi, jež snižují celkový stupeň deformace v nábojnici. Mimo jiné je potřeba brát zřetel i na další faktory:

- Tvar a geometrie výtažku
- Tok materiálu v tažnici
- Tepelné zpracování
- Volba vhodného lisu

Tažníky mívají pracovní část mírně kuželovitou, proto je zapotřebí určit dva průměry o předepsané vzdálenosti, pro správnost konstrukce nástroje. Určí se z tloušťek stěn výtažku v určitých místech a z průměru tažnice dle následujících vztahů:

$$d_n^B = D_n - 2T_n^B \quad [\text{mm}] \quad (2.30)$$

$$d_n^H = D_n - 2T_n^H \quad [\text{mm}] \quad (2.31)$$

kde tloušťka stěn výtažku dle vztahu:

$$T_n^B = T^B - \frac{\Sigma\Delta}{2} - \frac{\rho}{2} - \frac{\delta M + \Delta T_t^B}{2} + \frac{\mu}{2} \quad [\text{mm}] \quad (2.32)$$

$$T_n^H = T^H - \frac{\Sigma\Delta}{2} - \frac{\rho}{2} - \frac{\delta M + \Delta T_t^H}{2} \quad [\text{mm}] \quad (2.33)$$

kde: T^B, T^H – nominální hodnoty tloušťka stěny v příslušném místě [mm]

$\Sigma\Delta$ – součet tolerancí pro výrobu a opotřebení nástrojů [-]

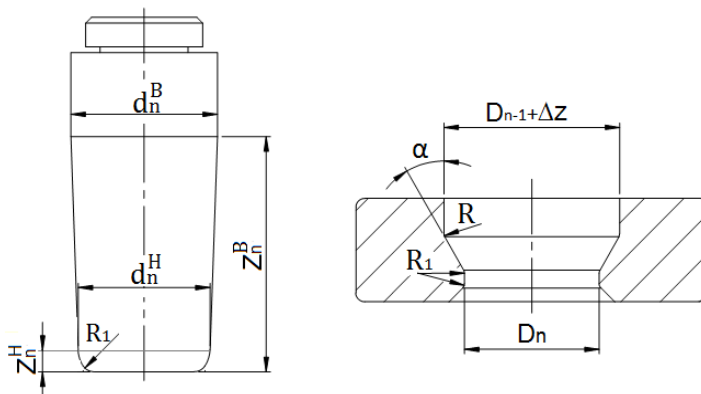
ρ – povolená excentricita výtažku [-]

δM – pružná deformace tažnice při tažení [-]

ΔT_t – tepelná roztažnost tažníku [C°]

μ – přídavek na opracování ústí nábojnice [mm]

Tažník a tažnice pro poslední tah jsou zobrazeny na obr. 30. V případě výroby hliníkové nábojnice je vnitřní průměr nábojnice konstantní po celé délce, tloušťka stěny je po celé délce pláště stejně veliká, proto je možné operaci zjednodušit tím, že se určí pouze jeden průměr, se kterým bude následně počítáno. Redukční úhel α , se během posledního tažení běžně snižuje, z důvodu lepší kvality výsledné plochy a také kalibrování průměru nábojnice. Jeho hodnota se pohybuje okolo 16° až 20°. Kde výsledný průměr spodní válcové části tažnice se vypočítá dle následujícího vzorce:



Obr. 30 Tažník spolu s tažnicí pro poslední operaci

$$D_n = D_{nob} - \Delta D_{nob} - \delta \quad [\text{mm}] \quad (2.34)$$

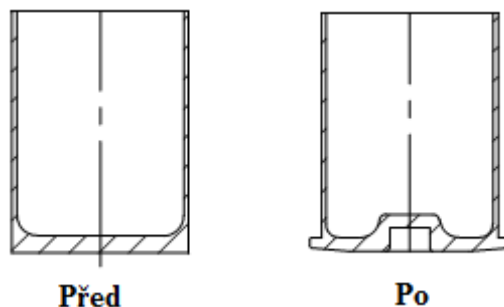
kde: D_{nob} – průměr pláště nábojnice u obruby [mm]

ΔD_{nob} – dovolená tolerance průměru D_{nob} [mm]

δ – velikost pružných deformací výtažku, volí se (0,002-0,003) D_{nob}

2.4 Tvarování dna nábojnice

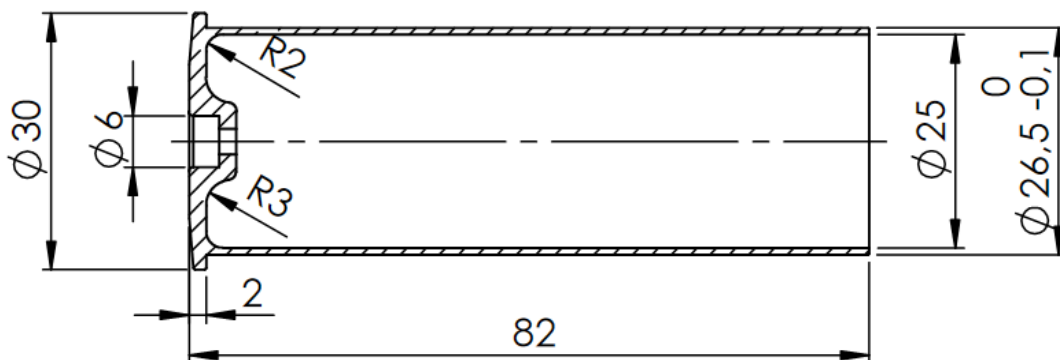
při zhotovení dna budou využívány operace objemového tváření, které ve dvou etapách vytvoří tvar dna nábojnice. V první operaci se nahrubo vytvoří otvor pro zápalku, dno se vyrovná a k okrajům se současně přemístí dostatečná zásoba materiálu pro budoucí přírubu. Konečný tvar získá v druhé operaci, kterou lze vidět na obr.:31. Nejprve se zaměří na přesun zásoby materiálu do příruby. Během této operace se zároveň kalibruje otvor zápalky. Jako další operace bude děrování otvoru ve dně. Velikost deformace u dna nábojnice je důležitá pro výslednou pevnost nábojnice.



Obr. 31 Tvarování dna nábojnice

3 Návrh výroby hliníkové nábojnice

Po prozkoumání různých technologických možností výroby z teoretické části práce, je vhodné vybrat nejvíce vhodnou metodu. S využitím tab. 3 lze stěnu nábojnice v procesu protlačování vyrobít pouze v jedné operaci. Lze konstatovat, že nejvýhodnější metodou výroby je protlačování, které je k výrobě pláště dostačující. Vyráběná nábojnice je zobrazena na obr. 32.



Obr. 32 Vyráběná hliníková nábojnice

Následuje výrobní postup, který se bude dodržovat:

- Vystřížení kaloty z plechu
- Kalibrace kaloty
- Zpětné protlačení kalíšku
- Tvarování u dna nábojnice
- Zarovnání ústí nábojnice

3.1 Stanovení objemu nábojnice

Stanovení velikosti polotovaru nábojnice, závisí na celkovém objemu hotové nábojnice. Tento objem se musí zvětšit o přídavek na zarovnání výšky výtažku viz obr. 33. Objem polotovaru zvětšíme o 4 %, čím se zvětší výška nábojnice zhruba od 4 do 5 mm, což je dostačující rezerva materiálu. Tento přebytečný materiál odstraníme v poslední operaci, kde bude upíchnut soustružnickým nožem.

- **Objem pláště nábojnice:**

$$V_{plášť} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot (26,5^2 - 25^2)}{4} \cdot 80 = 4\,853,8 \quad [\text{mm}^3]$$

kde: $V_{plášť}$ - objem pláště nábojnice

- **Objem dna nábojnice**

Jelikož se jedná o komplikovaný tvar viz obr. 34, který obsahuje zaoblení a zkosení je zapotřebí rozdělit výpočet do několika dílčích výpočtů jak je vidět na obr. 35. Pro větší přesnost výpočtu, je zapotřebí započíst i vystřižený otvor ze dna nábojnice.

Objem V_1 :

$$d_{T1} = D_1 - 2 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot L_1\right) = 30 - 2 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 6\right) = 26 \quad [\text{mm}]$$

kde- d_{T1} = průměr nesoucí těžiště tělesa 1 [mm]

$$V_1 = S_1 \cdot \pi \cdot d_T = \frac{0,5 \cdot 6}{2} \cdot \pi \cdot 26 = 122,5 \quad [\text{mm}^3]$$

Objem V_2 :

$$V_2 = \frac{\pi \cdot (D_1^2 - D_2^2)}{4} \cdot H_2 = \frac{\pi \cdot (30^2 - 15^2)}{4} \cdot 3,5 = 1\,855,6 \quad [\text{mm}^3]$$

Objem V_3 :

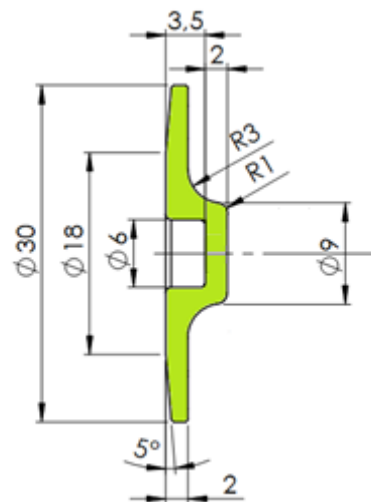
$$d_{T3} = D_3 - 2 \cdot \frac{4r}{3\pi} = 15 - 2 \cdot \frac{4 \cdot 3}{3\pi} = 12,45 \quad [\text{mm}]$$

kde- d_{T3} = průměr nesoucí těžiště tělesa 3

$$V_3 = S_3 \cdot \pi \cdot d_T = \frac{\pi \cdot R^2}{4} \cdot \pi \cdot d_T = \frac{\pi \cdot 3^2}{4} \cdot \pi \cdot 12,45 = 276,5 \quad [\text{mm}^3]$$



Obr. 33 Adheze při ústí nábojnice



Obr. 34 Dno nábojnice

Objem V_4 :

$$V_4 = \frac{\pi \cdot D_4^2}{4} \cdot H_4 = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} \cdot (3,5) = 98,9 \text{ [mm}^3\text{]}$$

Objem dna nábojnice:

$$V_{HRUBÁ} = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot H_0 = \frac{\pi \cdot 30^2}{4} \cdot 5,5 = 3\,887,7 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$V_{dna} = V_{HRUBÁ} - V_1 - V_2 - V_3 - V_4 = 20 = 3\,887,7 - 122,5 - 1\,855,6 - 276,5 - 98,9 = 1\,534,3 \text{ [mm}^3\text{]}$$

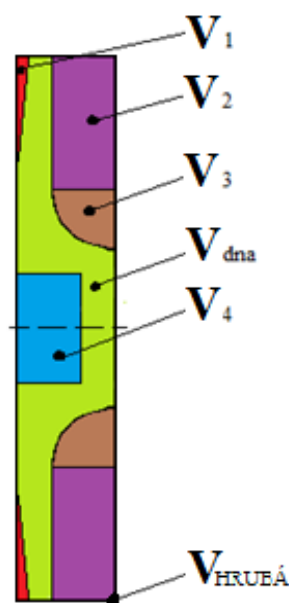
Celkový objem nábojnice:

$$V_{celkový} = (V_{plášť} + V_{dno}) = (4\,853,8 + 1\,534,3) = 6\,388,1 \text{ [mm}^3\text{]}$$

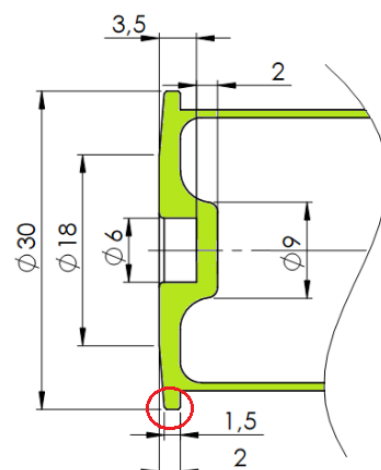
kde: $V_{celkový}$ - celkový objem nábojnice

Celkový objem nábojnice zjištěný pomocí SOLIDWORKS verze 2014 je 6 371,8 [mm³]. Rozdíl hodnot mezi vypočtenými a hodnoty z modelu je 17,7 [mm³] což je způsobeno nezapočtením zaoblení na hraně příruby viz obr. 36. Pro pozdější výpočty je vhodnější zvolit přesnější hodnoty objemu získané z modelu vymodelované v programu SOLIDWORKS. Objem nábojnice zvětšíme o přídavek na zarovnání výšky výtažku, volím zvětšení objemu polotovaru o 4%, což ve výsledku prodlouží plášť nábojnice o 4 až 5 mm, což jako rezerva materiálu dostačující.

$$V_k = V_{celkový} + (V_{celkový} \cdot 0,04) = 6\,371,8 + (6\,371,8 \cdot 0,04) = 6\,627 \text{ [mm}^3\text{]}$$



Obr. 35 Dílčí rozdělení dna



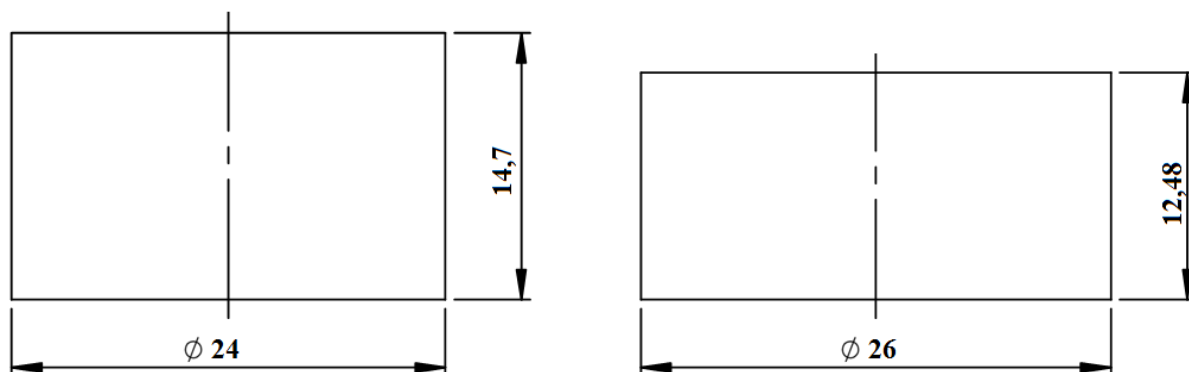
Obr. 36 Nezapočítaná zaoblení u dna

3.2 Stanovení rozměrů výchozího polotovaru

Polotovarem nábojnice bude kalota jejíž rozměry stanovíme z vypočteného objemu $V = 6\,371,8 \text{ [mm}^3\text{]}$ a konečného vnějšího průměru nábojnice $d = 26,5 \text{ [mm]}$. Z postupu výroby uvedeného na obr. 10 vyplývá, že protlačován bude kalibrováný tvar. Průměr kalibrováného polotovaru volíme, s ohledem na jeho založení do průtláčnice, 26 mm. Pro potřebnou velikost deformace při kalibraci pak volíme průměr kaloty 24 mm. Z objemu a průměry kaloty stanovíme její výšku, tedy tloušťku výchozího plechu ze které bude vystřihována.

Po procesu pýchování se musí váleček lehce založit do samotné dutiny průtláčnice, proto zde musí být dostatečná vůle, aby nedocházelo k zadírání v průtláčnici. Vzhledem k rozměrům válečku by vůle 0,5 [mm] měla být dostačující. Tuto vůli následně odečteme od vnějšího průměru nábojnice a získáme rozměry válečku po kalibraci, viz obr. 37.

$$t_{kal} = \frac{4 \cdot V_K}{\pi \cdot D_{kal}^2} = \frac{4 \cdot 6\,627}{\pi \cdot 26^2} = 12,48 \text{ [mm]}$$

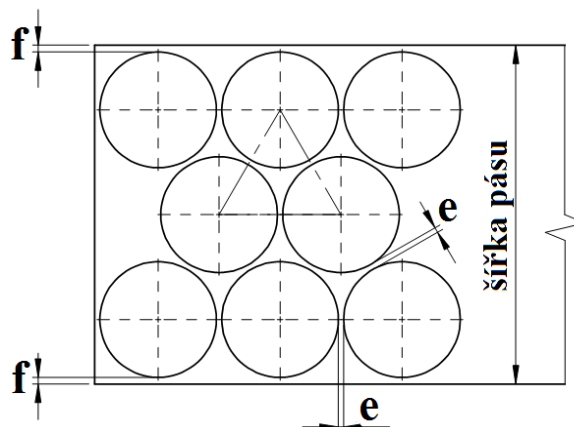


Obr. 37 Vlevo rozměry vystřižené kaloty z plechu, vpravo kalibrováný váleček.

3.3 Vystřihování kaloty

Dle tab. 3 je zřejmé že plášť nábojnice lze již vyrobít v jedné operaci. Pro stanovení rozměrů polotovaru protlačku je nutné použít následující postup, který zaručí správnost výpočtu. Vnitřní průměr nábojnice spolu s tloušťkou stěny je po celé délce konstantní. V procesu protlačování se tloušťka dna vypočte z celkového objemu dna hotové nábojnice. Jako polotovar bude použita kalota vystřižena z tabule plechu. Pro výpočet tloušťky plechu využijeme spočítaný celkový objem nábojnice V_{pol} , v kap. 3.1. Při výrobě 450 000 kusů nábojnic je vhodné zvolit i vhodný nástřihový plán, při kterém je co nejvíce využit materiál. Nejlepší úspory materiálu zaručuje využití trojřádeho způsobu vystřihování, viz obr. 38.

Pro získání průměru kaloty je zapotřebí od průměru nábojnice odečíst zvětšení po kalibraci a vůli δ , pro založení a středění kalibrovaného špalíku. Tato hodnota postačí v řádu desetin milimetru, proto volím 0,5[mm].



Obr. 38 Nástřihový plán trojřádeho vystřihování

Průměr kaloty vypočteme dle následujícího vztahu:

$$D_K = D_P - \delta - \Delta K = 26,5 - 0,5 - 2 = 24 \text{ [mm]}$$

Díky znalosti objemu vyhotovené nábojnice, lze již lehce vypočítat potřebnou tloušťku plechu, z něž se bude kalota vystřihovat. Šířka kaloty je pak:

$$t_k = \frac{4 \cdot V_K}{\pi \cdot D_K^2} = \frac{4 \cdot 6\,627}{\pi \cdot 24^2} = 14,65 \text{ [mm]}$$

Celkový objem výroby je v řádech statisíců kusů, proto výchozí materiál bude dodáváný z válcovny na zakázku v rozměrech 14,7 [mm].

Pro zjištění optimální stížné vůle je zapotřebí zvolit konstantu c a pevnost materiálu ve stříhu. Konstanta c se volí v rozmezí 0,005 až 0,035 [-] jelikož po stříhání následuje kalibrace, proto není zapotřebí mít kvalitní střížnou plochu, z tohoto důvodu volím $c=0,02$. Pevnost ve stříhu určím pomocí tab. 2, kde předepsaná pevnost pro hliník je v rozsahu (0,55 až 0,90) R_m [MPa], protože se jedná o čistý hliník, který je poměrně tvárný, volím hodnotu $0,7 R_m$ [MPa]

$$\frac{v}{2} = c \cdot t_k \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \rightarrow v = 2 \cdot 0,02 \cdot 14,7 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{52,7} = 1,38 \text{ [mm]}$$

Určení velikosti stížné síly je nutné pro zjištění velikosti práce vykonané během procesu a také pro vhodné zvolení velikosti lisu.

$$F_S = S \cdot \tau_s = \frac{\pi \cdot 24^2}{4} \cdot 52,7 = 23\,841 \text{ [N]}$$

Pro správný výpočet práce během stříhání je nutné vhodně zvolit součinitel k , jenž vyjadřuje podíl stížné dráhy k tloušťce plechu. Jeho hodnota je vzhledem k větší výšce plechu zvolena 0,5 [-].

$$A_s = F_S \cdot t_k \cdot k = 23\,841 \cdot 14,7 \cdot 0,5 = 175\,230 \text{ [J]}$$

3.4 Pěchování a protlačování

Ze znalosti rozměrů kalibrovaného válečku jsme schopni stanovit celkovou velikost pěchovací síly. Při výpočtu se použijí tabulkové hodnoty meze pevnosti materiálu a plocha válečku po kalibraci.

$$F_{pěchovací} = R_m \cdot S_p = R_m \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 75,3 \cdot \frac{\pi \cdot 26^2}{4} = 39\,978 \text{ [N]}$$

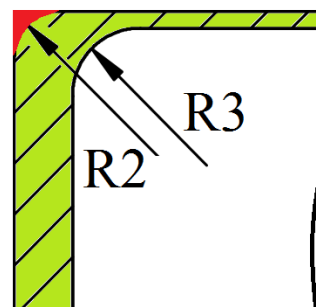
Pro následný protlačovací síly je třeba vycházet ze zpevnění materiálu ke kterému dojde při kalibraci. Velikost skutečného přetvoření φ v procesu pěchování, jež dána rozdílem hodnot průměrů.

$$\varphi = \ln \frac{D^2}{D_0^2} = \ln \frac{26^2}{24^2} = 0,16 \text{ [-]}$$

Při procesu pěchování se materiál zpevňoval, a tudíž již není možné nadále používat tabulkové hodnoty. Přesnější pevnost materiálu zajistíme z aproximační křivky z katalogu křivek přetvárného odporu.

$$\sigma_f = 151,85 \cdot \varphi^{0,6165} + 38,62 = 151,85 \cdot 0,16^{0,6165} + 38,62 = 87,69 \text{ [MPa]}$$

V samotném procesu protlačování je důležité stanovit výšku dna nábojnice, aby v dalších operacích, především při tvarování dna nábojnice byla dostatečná zásoba materiálu. Díky výšce dna víme i jak hluboko musí průtláčník zajet do průtláčnice. Během výpočtu je nutné vnější objem zaoblení $V_{R2} = 69 \text{ [mm}^3\text{]}$, červeně označen na obr. 39, odečíst od objemu $V_{dna} = 1534,3 \text{ [mm}^3\text{]}$. Následně z rovnice pro objem získáme potřebnou tloušťku dna.



Obr. 39 Objem zaoblení R2

$$V_{dna} = 1534,3 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$V_{R2} = 69 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$V_{dna'} = V_{dna} - V_{R2} = 1465,3 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$V_{dna'} = \frac{\pi \cdot D_{protl}^2}{4} \cdot t_{dna} \rightarrow t_{dna} = \frac{4 \cdot V_{dna'}}{\pi \cdot D_{protl}^2} = \frac{4 \cdot 1465,3}{\pi \cdot 26,5^2} = 2,67 \rightarrow 2,7 \text{ [mm]}$$

Samotný výpočet protlačovacího tlaku se spočítá ze znalosti plochy příčného průřezu a plochy průtlačníku.

$$p_p = 1,152 \cdot \sigma_f \cdot \frac{S_0}{S_f} \cdot \left(\log \frac{S_0}{S_0 - S_f} + \frac{S_0}{S_0 - S_f} \cdot \log \frac{S_0}{S_f} + \log \frac{S_f}{S_0 - S_f} \right) = 1,152 \cdot 87,69 \cdot \frac{530,9}{490,8} \cdot \left(\log \frac{530,9}{530,9 - 490,8} + \frac{530,9}{530,9 - 490,8} \cdot \log \frac{530,9}{490,8} + \log \frac{490,8}{530,9 - 490,8} \right) = 290,79 \text{ [MPa]}$$

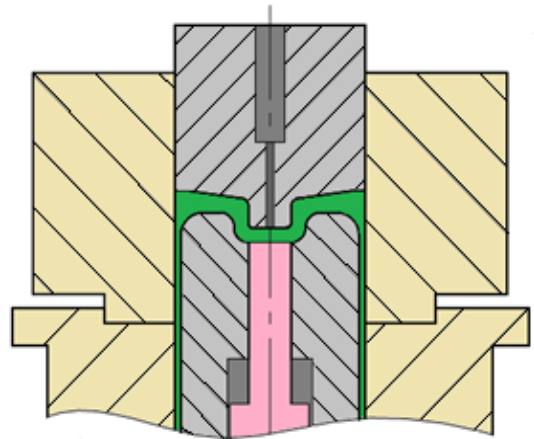
Pro zvolení vhodného pracovního lisu je zapotřebí spočítat samotnou sílu potřebnou k protlačení. K určení samotné síly využijeme znalost protlačovacího tlaku z předešlého výpočtu, který vynásobíme s plochou průtlačníku.

$$F_{protlačovací} = p_p \cdot S_f = p_p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 290,79 \cdot \frac{\pi \cdot 25^2}{4} = 142\,740 \text{ [N]}$$

Po procesu protlačování se přebytečný materiál u hrdla nábojnice upíchne a bude následovat operace tvarování dna nábojnice.

3.5 Lisování dna nábojnice

Celková deformace dna je velmi důležitá pro celkovou pevnost a mechanické vlastnosti nábojnice. Lisování se provádí po procesu protlačování, kde jsme již zarovnali plášť na správnou délku. Celá operace tvarování bude probíhat ve třech po sobě jdoucích etapách. V první operaci je protlaček nasazen na trn a dno je následně tvarováno tlakem viz obr. 40. Středová část dna nábojnice se tvaruje nahrubo a současně se vyrovnává dno. Následně se přemisťuje materiál k okraji, kde bude v další etapě využitý na budoucí přírubu. V předešlém procesu protlačování se materiál u dna minimálně zpevňoval, proto pro další výpočty lze využít stejnou hodnotu pevnosti. Celkový tvar je však komplikovaný a pro zjednodušení výpočtu je vhodné počítat pouze s válcovou plochou.



Obr. 40 Vytvoření zvonku u dna nábojnice

$$F_{dna1} = R_m \cdot S_{p1} = R_m \cdot \frac{\pi \cdot D_{ana1}^2}{4} = 87,69 \cdot \frac{\pi \cdot 26,5^2}{4} = 48\,365 \text{ [N]}$$

V druhé operaci se rezerva materiálu u okraje následně přemísťuje do příruby, současně s tímto procesem kalibrujeme i otvor pro zápalku viz obr. 41. Výpočet pěchovací síly je obdobný jako v předešlém případě.

$$F_{dna2} = R_m \cdot S_{p2} = R_m \cdot \frac{\pi \cdot D_{dna1}^2}{4} = 87,69 \cdot \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 61\,984 \text{ [N]}$$

V závěrečné operaci je zapotřebí vytvoření otvoru u dna nábojnice, v místě uložení zápalky. To se provede vystřížením otvoru viz obr 42. Po tomto procesu je nábojnice hotová a již další tváření či obrábění není zapotřebí. Následuje pouze oplach v lázni na odstranění maziva, popřípadě tištění nápisů dle návrhu, poté jsou nábojnice zabaleny a expedovány.

3.5 Základní rozměry protlačovacích nástrojů

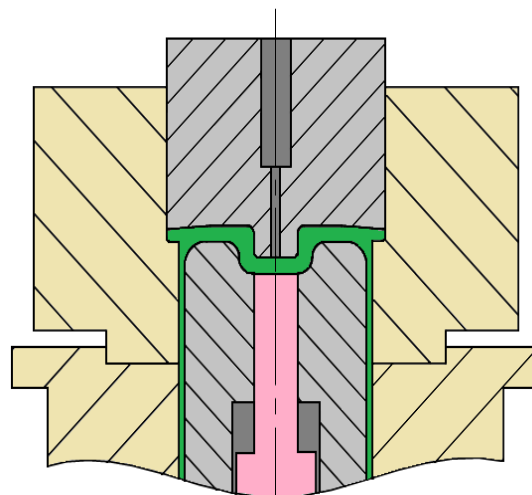
Jako vstupní polotovary pro operaci je kalibrovány hliníkový váleček, který se protlačí na jednu operaci do podoby tenkostěnného kalíšku. Materiál nástroje bude použita nástrojová ocel 19 423. Samotná konstrukce nástrojů vychází z celkového rozměru nábojnice. Pracovní průměr průtlačníku je shodný s vnitřním rozměrem nábojnice, tedy $d=25$ [mm], Otvor v průtlačnici je i zároveň vnější rozměr nábojnice. Výkres obou součástí jsou k nalezení v příloze. Veškeré ostatní funkční rozměry se určí dle poměrů viz obr. 15 a obr. 18. Průtlačník pro výrobu nábojnice je na konci zaoblen $R=3$ [mm]. Díky této vhodně zvolené konfiguraci, není již zapotřebí dalšího tvarování vnitřní části nábojnice.

3.6 Volba výrobního stroje [16]

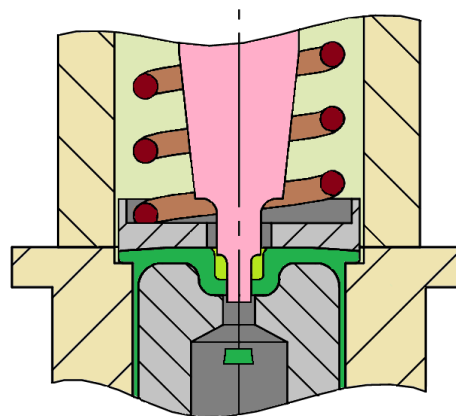
Při výrobě tak velkého množství kusů je zapotřebí správně zvolit stroj, který je možné dobře automatizovat. Speciálně pro výrobu hliníkové nábojnice je vhodné využít postupový lis, díky němu jsme schopni na jeden zdvih provést několik operací. Během jednoho zdvihu dojde k napěchování součásti a protlačení kalíšku. Pro správné určení lisu je zapotřebí sečtení všech sil. Tuto výslednou sílu z důvodů bezpečnosti navýšíme o 50%.

$$F_{celková} = F_{pěchovací} + F_{protlačovací} + F_{dna1} + F_{dna2} = 39\,978 + 142\,740 + 48\,365 + 61\,984 = 293\,067 \text{ [N]}$$

$$F_{stroje\ min.} = 1,5 \cdot 293\,067 = 439\,601 \text{ [N]}$$



Obr. 41 Lisování příruby nábojnice



Obr. 42 Vystřížení otvoru u dna zápalky

kde: $F_{stroje\ min.}$ – minimální jmenovitá síla lisu [N]

Díky znalosti celkové síly v procesu výroby, lze vybrat i hodný tvářecí stroj. Jako vhodného kandidáta pro výrobu jsem vybral postupový lis **X250S**, zobrazený na obr. 43, jehož výrobcem je německá firma HINTERKOPF. Tento výrobce má letité zkušenosti s výrobou protlačovacích strojů a to především protlačování neželezných kovů. Základní parametry stroje jsou zobrazeny v tab. 6.



Obr. 43 Postupový lis X250S [16]

Tab. 6 parametry postupového lisu X250S [17]

Tvářecí síla	2500	[kN]
Zdvih	350	[mm]
Max. počet zdvihů za minutu	250	[1/min]
Maximální jmenovitý zdvih síly	20	[mm]
Max průměr protlačku	59	[mm]
Maximální délka protlačku	260	[mm]

4 Ekonomické zhodnocení

Hliníková nábojnice s roční produkcí 450 tisíc kusů bude zhotovována na stroji **X250S**. Při tak velké výrobní produkci je vhodné ekonomické zhodnocení výroby a to především o dobré nacenění vyráběné součásti. Největší náklady jsou jistě u pořízení speciálního tvářecího automatu, materiál pro výrobu, energie a mzdy pracovníků. Díky tomu že celá operace probíhá bez nutnosti ohřevu je celkový proces velice rychlý. Během střihání je využito okolo 70 % a při protlačování 95 %, proto lze říci, že je dosaženo dobré hospodárnosti s materiálem. Celkové náklady pro výrobu zahrnují: náklady na pořízení stroje, náklady na materiál, náklady na mzdy obsluhy, náklady na energii. Polotovar je tabule pechu o rozměrech 2000x1000x14,7.

Přímé náklady

Spotřeba materiálu pro jeden kus.

$$S_{M1} = \rho \cdot V = 2700 \cdot 6\,371,8 = 0,017 \text{ [kg/ks]} \quad (4.1)$$

kde: ρ - hustota materiálu [kg*m³]

Náklady materiálu na celou sérii:

$$N_{materiál} = S_{M1} \cdot C_{mat} \cdot \eta = 0,017 \cdot 95 \cdot 450\,000 = 726\,750 \text{ [Kč]} \quad (4.2)$$

kde: C_{mat} – cena materiálu [Kč/kg]

η – počet kusů vyrobených za rok [ks]

Náklady na mzdy

$$t_V = (t_A + t_B) = \left(\frac{t_{A1}}{60} + \frac{t_{B1}}{60 \cdot d_{výr}} \right) = \left(\frac{0,01}{60} + \frac{0,005}{60 \cdot 50000} \right) = 0,00017 \text{ [h]} \quad (4.3)$$

$$N_{mzdy} = t_V \cdot M_t \cdot \eta = 0,00017 \cdot 280 \cdot 450000 = 21\,240 \text{ [Kč]} \quad (4.4)$$

kde: t_V – výrobní čas [h]

t_{A1} – výrobní čas na jeden kus [min]

t_{B1} – přípravný čas na jeden kus [min]

$d_{výr}$ – velikost výrobní dávky [ks]

M_t – hodinová mzda [Kč/h]

Náklady na energii

$$N_{energie} = P_{stroj} \cdot \eta_{stroj} \cdot t_{A1} \cdot C_{energie} \cdot n = 27 \cdot 0,8 \cdot 0,01 \cdot 4,83 \cdot 450\,000 = 469\,476 \text{ [Kč]} \quad (4.5)$$

kde: P_{stroj} – příkon stroje [kW]

η_{stroj} – využití stroje [-]

$C_{energie}$ – cena dodávané el. Energie [Kč/kWh]

Celkové náklady na výrobu:

$$N_{celkový} = N_{materiál} + N_{mzdy} + N_{energie} = 726\,750 + 21\,240 + 469\,476 = 1\,217\,466 \text{ [Kč]} \quad (4.6)$$

Náklady na jednu nábojnici:

$$N_{nábojnice} = \frac{N_{celkový}}{n} = \frac{1\,217\,466}{450\,000} = 2,7 \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

Nepřímé náklady

$$N_{náklady} = \frac{N_{nábojnice} \cdot n \cdot (V_r + S_r)}{100} = \frac{2,7 \cdot 450\,000 \cdot (200 + 100)}{100} = 3\,645\,000 \text{ [Kč]} \quad (4.8)$$

Variabilní náklady

$$V_{náklady} = N_{celkový} + N_{náklady} = 1\,217\,466 + 3\,645\,000 = 4\,862\,466 \text{ [Kč]} \quad (4.9)$$

Variabilní náklady na jeden vyrobený kus:

$$V_{náklady\ 1\ kus} = \frac{V_{náklady}}{n} = \frac{4\,862\,466}{450\,000} = 10,8 \text{ [Kč]} \quad (4.10)$$

Fixní náklady

Fixní náklady na nástroje jsou stanoveny hrubým odhadem.

$$F_{náklady} = 1\,200\,000 \text{ [Kč]}$$

Celkové náklady na výrobu

$$C_{náklady} = V_{náklady} + F_{náklady} = 4\,862\,466 + 1\,200\,000 = 6\,062\,466 \text{ [Kč]} \quad (4.11)$$

Celkové náklady na jeden vyrobený kus

$$C_{náklady\ 1\ kus} = \frac{C_{náklady}}{n} = \frac{6\,062\,466}{450\,000} = 13,5 \text{ [Kč]} \quad (4.12)$$

Celkový zisk se běžně volí kolem 40%

$$Z = \frac{C_{náklady} \cdot re}{100} = \frac{6\,062\,466 \cdot 40}{100} = 2\,424\,987 \text{ [Kč]} \quad (4.13)$$

kde: re –rentabilita [%]

Zisk na jeden kus

$$Z_{1\text{ kus}} = \frac{Z}{n} = \frac{2\,424\,987}{450\,000} = 5,4 \text{ [Kč]} \quad (4.14)$$

Cena jednoho kusu při zisku 40%

$$C_{kus} = \frac{C_{náklady} + Z}{n} = \frac{6\,062\,466 + 2\,424\,987}{450\,000} = 18,9 \text{ [Kč]} \quad (4.15)$$

Rovnovážný stav výroby:

$$R_{výroby} = \frac{F_{náklady}}{C_{1\text{ kus}} - V_{náklady\ 1\text{ kus}}} = \frac{1\,200\,000}{18,9 - 10,8} = 148\,146 \text{ [ks]} \quad (4.16)$$

Celkové náklady na výrobu se vrátí již po vyrobení **148 146** kusů nábojnic.

5 Závěry

Předmětem bakalářské práce je výroba hliníkové nábojnice válcového tvaru. Celková výška je 80 mm a vnější průměr 26,5 mm. Na spodní části je osazena přírubou pro snadné vyjímání z nábojové komory. Jako materiál pro výrobu je zvolen Hliník Al99,5 dle ČSN 4005, který je velmi dobře tvářitelný a pro výrobu je tudíž velice vhodný.

V teoretické části byly zhodnoceny různé způsoby výroby. Díky vyššímu počtu vyráběných kusů, zbyly na výběr pouze dvě technologie a to protlačování a tažení. Vzhledem k velmi příznivé tvářitelnosti hliníku je výhodnější využít protlačování při němž jsme schopni vytvořit plášť nábojnice pouze na jeden tah. Polotovarem je tedy kalota vystřižená z tabule plechu, která se následně kalibruje. Pomocí technologie zpětného protlačování získáme kalíšek s tenkými stěnami. V dalších operacích následuje samotné tvarování dna nábojnice a vystřížení otvoru pro zápalku. Celkový proces výroby bude probíhat pouze na jeden zdvih postupového lisu X250S. Tento lis plně vyhovuje požadovaným parametrům.

Díky ekonomickému zhodnocení lze říci, že návratnosti investice do výroby a strojů se navrátí po vyrobení 148 146 kusů nábojnic. Celková cena jedné nábojnice činí 18,9 Kč a čistý zisk z této částky je 5,4 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Signální náboj 26,5 mm. *Vojensko.cz* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <http://www.vojensko.cz/signalni-naboje-265mm?image=6>
2. LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie II: Technologie ve výrobě zbraní a munice*. 1. vyd. Brno: VA, 1999, 159s.
3. 26,5 Sig-ž1- Eksr signalizační prostředek. *Zelený sport* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <http://www.zelenysport.cz/vojensky-material-zbozi-pouze-na-export/26-5-sig-z1-eksr-sinalizacni-prostredek?vstoupit>
4. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
5. BAUMAN, Milan. *100 let českého průmyslu* [online]. 20. červen 2019, 08:00 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/pribehy-stoleti/100-let-ceskeho-prumyslu-jeste-pred-tim-nez-se-zrodila-prvorepublikovamince_47382.html
6. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. Praha: SNTL, 1990. s. 6. ISBN 80-03-00221-4. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:97613950-fd27-11e3-9806-005056825209>
7. DVOŘÁK, Milan, Karel NOVOTNÝ, František GAJDOŠ a Vysoké učení technické v Brně. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. s. 74. ISBN 80-214-2340-4. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:017aa032-0989-11e3-9584-001018b5eb5c>
8. LIDMILA, Zdeněk, Emil SVOBODA a Univerzita obrany. *Strojírenská technologie*. Brno: Univerzita obrany, 2006 [i.e. 2007]. s. 88. ISBN 978-80-7231-220-7. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:7664e5a0-8a2f-11e8-bb44-5ef3fc9ae867>
9. FOREJT, Milan, Miroslav PÍŠKA a Vysoké učení technické v Brně. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. s. 114. ISBN 80-214-2374-9. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:c54deae0-40ac-11e7-b3c8-005056825209>
10. HEMR, František. *Protlačování oceli za studena*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963. s. [4]. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:fae12c70-899a-11e8-ad64-005056825209>

11. DVOŘÁK,M.-GAJDOŠ,F.-NOVOTNÝ,E.: Technologie tváření. Plošné a objemové tváření. Akademické nakladatelství CERM,s.r.o. Brno, 2003, s.171. ISBN 80-214-2340-4
12. Revoluce v oblasti soustružení. *Techmagazin.cz* [online]. 2019, 3. 10. 2019 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/47687>
13. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9
14. Hladké hliníkové plechy. *Ehliník.cz* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/hladke-hlinikove-plechy-standard/kat-N300000101.html>
15. Technologie_tvareni. *Ust.fme.vutbr.cz* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/kapitola_3.htm#3.3.2
16. *TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ: STRÍHÁNÍ* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm#064
17. IMPACT EXTRUSION PRESSES. *Hinterkopf.de* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.hinterkopf.de/en/Solutions/impact-extrusion-presses.html>
18. X250S. *Hinterkopf.de* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.hinterkopf.de/en/Solutions/impact-extrusion-presses.html#&gid=1&pid>
19. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
20. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3rd ed. Cambridge University Press. 365 s., 2007. ISBN 987-0-521-88121-0
21. VÝROBA POUZDRA PROTLAČOVÁNÍM ZA STUDENA [online]. Brno, 2009 [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17940. Bakalářská práce. VUT.
22. Speciální maziva. *Fina-oleje* [online]. České Budějovice [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: https://www.finaoleje.cz/files/produkty/molyduval/spec_maziva_pro_tvareni_kovu.pdf
23. Materiálové normy. *Ferona online* [online]. Praha [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>

24. JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo*. Vysoké učení technické Brno, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5.
25. CITACE PRO [online]. b.r. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z:
<http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	jednotka
A_s	Práce při stříhání	[J]
c, c_1	Konstanta	[-]
$C_{energie}$	Cena dodávané el. Energie	[Kč/kWh]
C_{kus}	Cena jednoho kusu	[Kč]
C_{mat}	Cena materiálu	[Kč/kg]
$C_{náklady}$	Celkové náklady na výrobu	[Kč]
$C_{náklady\ 1\ kus}$	Celkové náklady na jeden vyrobený kus	[Kč]
D	Konečný průměr špalíku	[mm]
D_0	Počáteční průměr špalíku	[mm]
D_1	Průměr dna	[mm]
D_K	Průměr vystřihované kaloty	[mm]
D_{nob}	Průměr pláště nábojnice u obruby	[mm]
ΔD_{nob}	Dovolená tolerance průměru D_{nob}	[mm]
D_{protl}	Průměr protlačku	[mm]
D_P	Vnitřní průměr průtlačnice	[mm]
D_{ron}	Průměr rondelu	[mm]
D_{ξ}	Průměr špalíku po kalibraci	[mm]
d_s	Střední průměr výtažku	[mm]
d_{T1}	Průměr nosoucí těžiště tělesa 1	[mm]
d_{T3}	Průměr nosoucí těžiště tělesa 3	[mm]
$F_{celková}$	Celková síla	[kN]
$F_{dna\ 1}$	Pěchovací síla dna	[kN]
$F_{dna\ 2}$	Pěchovací síla dna	[kN]
$F_{náklady}$	Fixní náklady	[Kč]
$F_{pěchovací}$	Pěchovací síla	[kN]
$F_{protlačovací}$	Protlačovací síla	[kN]
F_S	Střížné síly	[kN]
$F_{stroje\ min.}$	Minimální jmenovitá síla lisu	[kN]
F_T	Tažná síla	[kN]
F_t	Síla na utržení dna	[kN]
H	Konečná výška pěchovaného tělesa	[mm]
H_0	Počáteční výška pěchovaného tělesa	[mm]
K_z	Součinitele ztenčení	[%]
ΔK	Zvětšení průměr při kalibraci	[mm]
k	Součinitel	[-]
M_t	Hodinová mzda	[Kč/h]
m_n	Součinitele tažení	[-]
$N_{celkový}$	Celkové náklady na výrobu	[Kč]
$N_{energie}$	Náklady na energii	[Kč]
$N_{materiál}$	Náklady na materiál	[Kč]
$N_{nábojnice}$	Náklady na jednu nábojnici:	[Kč]
$N_{náklady}$	Nepřímé náklady	[Kč]

O_D	Objem dna	[mm ³]
O_p	Objem pláště	[mm ³]
ΔO_p	Přídavek na zarovnání délky pláště 2- 3%	[-]
O_R	Objem rondelu	[mm ³]
p_p	Protlačovací tlak	[MPa]
P_{stroj}	Příkon stroje	[kW]
R_m	Mez pevnosti materiálu	[MPa]
$R_{výroby}$	Rovnovážený stav výroby	[ks]
S_0	Plocha příčného průřezu	[mm ²]
S_f	Plocha čela průtlačníku	[mm ²]
S_{M1}	Spotřeba materiálu na jeden kus	[kg]
S_n	Plocha průřezu pro n-tou operaci	[mm ²]
S_{n-1}	Plocha průřezu pro n-1 tou operaci	[mm ²]
S_p	Obsah příčného průřezu po spěchování	[mm ²]
s_{pol}	Výchozí tloušťka plechu	[mm]
s_{ron}	Tloušťka rondelu	[mm]
$S_{stříhu}$	Stříhaná plocha	[mm ²]
T^B, T^H	Nominální hodnoty tloušťka stěny	[mm]
ΔT_t	Tepelná roztažnost tažníku	[C°]
t_0	Tloušťka stěny kalíšku před tažením	[mm]
t_1	Tloušťka stěny výtažku po tažení	[mm]
t_{A1}	Výrobní čas na jeden kus	[min]
V_K	Objem kaloty	[mm ³]
v	Velikostí střížné vŭle	[mm]
t_{A1}	Výrobní čas na jeden kus	[min]
t_{B1}	Přípravný čas na jeden kus	[min]
t_k	Tloušťka kaloty	[mm]
t_n	Tloušťka stěny výtažku po operaci	[mm]
t_{n-1}	Tloušťka stěny výtažku před operací	[mm]
t_v	Výrobní čas	[h]
$V_{celkový}$	Celkový objem nábojnice	[mm ³]
V_{dno}	Objem dna nábojnice	[mm ³]
V_K	Objem kaloty	[mm ³]
$V_{náklady}$	Variabilní náklady	[Kč]
$V_{náklady\ 1\ kus}$	Variabilní náklady na jeden kus	[Kč]
$V_{plášť}$	Objem pláště nábojnice	[mm ³]
V_{R2}	Objem zaoblení R2	[mm ³]
v	Velikostí střížné vŭle	[mm]
Z	Celkový zisk	[Kč]
$Z_{1\ kus}$	Zisk na jeden kus	[Kč]
α	Redukční úhel tažnice	[°]
α_{opt}	Optimální úhel tažnice	[°]
δ	Vŭle pro založení	[mm]
ρ	Hustota materiálu	[kg*m ³]
η	Počet kusů vyrobených	[ks]
η_{stroj}	Využití stroje	[-]
φ	Skutečné deformace	[-]

φ_0	Skutečného přetvořením	[-]
ε	Poměrné deformace	[-]
ε_0	Poměrné přetvořením	[-]
μ	Součinitel tření	[-]
$e^{1,6\mu}$	Součinitel tření na zaoblené hraně	[-]
ρ	Povolená excentricita výtažku	[-]
δ	Velikost pružných deformací	[-]
τ_s	Pevnost materiálu ve stříhu	[MPa]
σ_0	Napětí na zaoblené hraně tažnice	[MPa]
σ_1	Radiální tahové napětí v oblasti příruby	[MPa]
σ_v	Napětí působící v plášti výtažku	[MPa]
σ_f	Pevnost materiálu po zpevnění	[MPa]
$\sigma_{tř}$	Napětí vyvolané třením	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Možné druhy signálního střeliva [1], [6], [3]	10
Obr. 2 Model nábojnice	11
Obr. 3 Popis těla nábojnice	11
Obr. 4 Řez hliníkové nábojnice	11
Obr. 5 Soustružení obrobku [15]	12
Obr. 6 Příklad kovotlačení kalíšku [13]	12
Obr. 7 Schéma tažení s přidržovačem	13
Obr. 8 Princip zpětného protlačování	13
Obr. 9 Postup výroby nábojnice s taženým polotovarem	14
Obr. 10 Postup výroby nábojnice s protlačovaným polotovarem	14
Obr. 11 Stříhání plechu	15
Obr. 12 Schéma pýchování	16
Obr. 13 Pásma deformací při protlačování [4]	17
Obr. 14 Hotový protlaček	18
Obr. 15 Průtlačník se základními rozměry [2]	19
Obr. 16 Příklady středění a uchycení průtlačníku [8]	19
Obr. 17 Průtlačnice	20
Obr. 18 Průtlačnice se základními rozměry	21
Obr. 19 Tažení bez ztenčení stěny	22
Obr. 20 Deformace u protlačování kalíšku [2]	22
Obr. 21 Průběh tažné síly [4]	23
Obr. 22 Ztenčení stěny v jednotlivých tazích	23
Obr. 23 Napětí působící během tažení [8]	24
Obr. 24 Ztenčení stěny při tažení	24
Obr. 25 Řez tažení s přidržovačem	25
Obr. 26 Různé tvary tažnic [15]	26
Obr. 27 Skládaná tažnice [9]	26
Obr. 28 Příklady možného odvodušnění tažníku [10]	26
Obr. 29 Třecí síly při tažení [9]	27
Obr. 30 Tažník spolu s tažnicí pro poslední operaci	28
Obr. 31 Tvarování dna nábojnice	28
Obr. 32 Výráběná hliníková nábojnice	29
Obr. 33 Adheze při ústí nábojnice	29
Obr. 34 Dno nábojnice	30
Obr. 35 Dílčí rozdělení dna	30
Obr. 36 Nezapočítaná zaoblení u dna	31
Obr. 37 Vlevo rozměry vystřižené kaloty z plechu, vpravo kalibrováný váleček	31
Obr. 38 Nástřihový plán trojřadého vystřihování	32
Obr. 39 Objem zaoblení R2	33
Obr. 40 Vytvoření zvonku u dna nábojnice	34

Obr. 41 Lisování příruby nábojnice	35
Obr. 42 Vystřížení otvoru u dna zápalky	35
Obr. 43 Postupový lis X250S [16].....	36

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení Al 99,5 [-]	12
Tab. 2 Stanovení pevnosti materiálu ve stříhu [6]	16
Tab. 3 Možné rozměry nábojnice vyrobitelné protlačováním [2]	21
Tab. 4 Vybrané hodnoty c [9]	23
Tab. 5 Doporučené hodnoty poměrné deformace ϵ a součinitele ztenčení K_z [4]	25
Tab. 6 Parametry postupového lisu X250S [17].....	36

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Křivky přetvárného odporu hliníku Al 99,5

SEZNAM VÝKRESŮ

Průtlačník	BP_183694_1
Průtlačnice	BP_183694_2
Nábojnice	BP_183694_3
Sestava	BP_183694_4
Kusovník	BP_183694_5