



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA MŘÍŽKY UMYVADLOVÉ VÝPUSTI PRODUCTION OF WASH BASIN DRAIN GRID

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN BĚHOUNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Běhounek

který/která studuje v **bakalářském studijním**

programu obor: **Strojírenská technologie**

(2303R002)

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

Výroba mřížky umyvadlové výpusti

v anglickém jazyce:

Production of wash basin drain grid

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh hromadné výroby nerezové mřížky používané v sestavě umyvadlové výpusti. Součástka je rotačního tvaru s přírubou a otvory. Bude vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny s využitím konvenčního nástroje. Na tuto problematiku bude také zaměřena aktuální literární studie.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu a variantní řešení možností výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti. Pro zvolenou technologii bude provedena aktuální literární studie, následovat bude návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty.

Součástí řešení bude i návrh sestavy nástroje, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. HELLWIG, W. und E. SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
3. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3 th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
6. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
7. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 12.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

BĚHOUNEK Martin: Výroba mřížky umyvadlové výpusti

Práce řeší návrh výroby mřížky umyvadlové výpusti. Jedná se o rotační součást vyráběnou z korozivzdorné oceli 17 240. S ohledem na materiál, tvar součástí a velikosti série 100 000 ks za rok, byla pro výrobu navržena technologie hlubokého tažení bez ztenčení stěny. Bylo rozhodnuto o výrobě přístřihu na postupovém stříhadle a tažením za pomoci lisu LKDA 315. Součástí práce je návrh konstrukce nástroje pro tažnou operaci doložený výkresovou dokumentací. V ekonomické části je spočítaná cena jednoho výrobku, která činí 9 Kč. Výroba se stává ziskovou po vyrobení 67 308 kusů.

Klíčová slova: Hluboké tažení, umyvadlová mřížka, ocel 17 240, tažný nástroj, lis LKDA.

ABSTRACT

BĚHOUNEK Martin: Production of wash basin drain grid

This thesis deals with a draft on manufacturing a sink grill. It is a rotary component that is made of corrosion-resistant steel 17 240. Considering the material, the shape of the component and the size of the production lot of 100 000 pieces a year, the suggestion for manufacturing this component is a technique of a deep drawing with no wall thinning. It has been decided that the trimming will be done with a progressive blanking die and the deep drawing will be done with the use of pressing machine LKDA 315. One part of this thesis is a draft of a design of a tool for deep drawing enclosed in a drawing documentation. In the economic segment, there is a total of expenses for one product which is 9 CZK. Production becomes profitable after manufacturing 67 308 components.

Keywords: Deep drawing, washbasin grid, steel 17 240, drawing die, press LKDA.

BIBLIOGRAFICKÉ CITACE

BĚHOUNEK, Martin. *Výroba mřížky umyvadlové výpusti*. Brno, 2014. 39 s. 5 výkresů, 2 přílohy. CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 30. 5. 2014

.....
Martin Běhounek

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografické citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

| | |
|---|----|
| ÚVOD | 9 |
| 1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU | 10 |
| 1.1 Varianty výroby | 11 |
| 2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ | 15 |
| 2.1 Technologické parametry | 15 |
| 2.1.1 Určení velikosti výchozího polotovaru | 16 |
| 2.1.2 Počet tažných operací..... | 18 |
| 2.1.3 Tažná mezera | 19 |
| 2.2 Volba přídržovače | 19 |
| 2.3 Tažná síla a práce | 20 |
| 2.4 Konstrukce nástrojů | 21 |
| 2.4.1 Tažnice | 21 |
| 2.4.2 Tažník | 22 |
| 2.4.3 Přídržovač | 23 |
| 2.5 Volba stroje | 24 |
| 2.5.1 Rychlost tažení..... | 25 |
| 2.6 Mazání při hlubokém tažení..... | 25 |
| 3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY | 26 |
| 3.1 Velikost přístříhu..... | 26 |
| 3.2 Technologické výpočty – stříhání | 27 |
| 3.3 Technologické výpočty – tažení | 30 |
| 3.4 Návrh nástroje | 32 |
| 3.5 Volba vhodného stroje – tažení..... | 36 |
| 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ | 37 |
| 5 ZÁVĚRY | 39 |

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam příloh

ÚVOD [3] [8]

V současné době je vyžadována inovace ve tvářecích technologiích a současně s tím i vývoj nových, moderních možností výroby, s důrazem na zlepšování výrobních podmínek zahrnujících, lepší využitelnost strojů, materiálů, energií, atd. V automatizované výrobě mají tvářecí technologie vysokou produktivitu, která mnohonásobně předčí běžné třískové obrábění a dosahuje lepších mechanických vlastností. Hlavní předností tváření je využití materiálu, kdy odpad tvoří pouze 5 - 10 %. Naopak při obrábění to může být i 80 %. Nevýhodou tváření jsou vysoké pořizovací ceny strojů i nástrojů a jisté rozměrové omezení vyráběných dílců. Podle použité technologie se rozděluje tváření na objemové (protlačování, kování, ražení, válcování, atd.) a plošné (stříhání, ohýbání, zakružování, tažení, atd.).

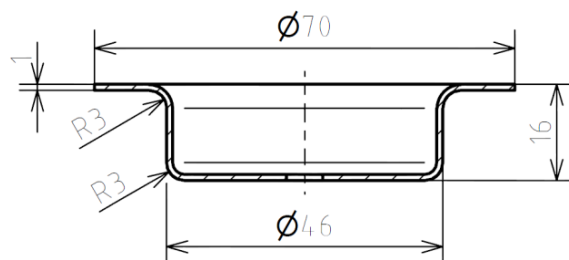
Tažení patří k nejdůležitějším lisovacím operacím, které tvoří více než 30% výroby lisoven. Dokonce i v malosériové výrobě při vhodném tvaru a náročnosti součástky lze pomocí tažení docílit ekonomického přínosu.



Obr. 1 Příklady výtažků [3]

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [8] [15]

Mřížka umyvadlové výpusti je vyrobena z plechu korozivzdorné oceli tloušťky 1 mm a je součástí sestavy odpadní umyvadlové výpusti. Je upevněna mezi dřezem a umyvadlovým potrubím pomocí šroubu M6 x 50. Musí tvarově pasovat do umyvadlové zátky z PVC plnicí těsnící funkci dřezu umyvadla. Její největší průměr je 70 mm a hloubka 16 mm. Na druhé straně musí mřížka výpusti dobře pasovat do zápachového uzávěru, viz obr. 3. Jak lze vidět v obrázku, vše musí být řádně utěsněno. Na obr. 2 lze vidět tvar celé součástky včetně otvorů na odtok vody.



Obr. 2 Model a výkres součásti

Obr. 3 Sestava umyvadlové výpusti [15]

Pro bezproblémový odtok vody a zabránění odtoku větších nečistot byl navržen tvar a rozložení otvorů podle obr. 2. Zmíněné nečistoty mají za následek ucpávání celé soustavy.

Materiál, ze kterého bude součástka vyráběna, by měl splňovat některé vlastnosti. Jednou z nich je, že musí být vhodný do vodního prostředí s vyššími teplotami. Také musí být odolný proti korozi a slabým kyselinám. Požadavkům by vyhovovaly tyto materiály:

- plast – malá odolnost proti vyšším teplotám a chemickému prostředí, malá pevnost
- pozinkovaná ocel – pozinkování je nákladné a je třeba dělat až jako finální operaci, což prodlužuje dobu výroby a tím zvyšuje cenu výrobku
- korozivzdorná ocel – dobré mechanické vlastnosti pro tváření, dobrá odolnost proti vysokým teplotám

Podle navrhovaných možností je nejvhodnější korozivzdorná austenitická ocel 1.4301 s přesným označením - CHROM NIKLOVÁ austenitická nestabilizovaná značená dle ČSN 10088-1 1.4301 (X5CrNi 18-10) staré označení AISI 304, ČSN 17240, AKV 7. Chemické složení vyhovuje normě pro použití výrobků pro potraviny a pitnou vodu.

Tab. 1 Chemické složení oceli 1.4301

| Cr [%] | Ni [%] | Si [%] | Mn [%] | P [%] | S [%] | C [%] |
|-----------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|
| 17 - 19,5 | 8 - 10,5 | < 1 | < 2 | < 0,045 | < 0,03 | < 0,07 |

Tento materiál je odolný proti korozi v prostředí běžného typu (voda, slabé alkálie, slabé kyseliny, průmyslové a velkoměstské atmosféry). Dobře svařitelný, ale v oblasti svaru náchylný k mezikrystalické korozi. Zpracovává se stříháním, ohýbáním, tažením - lze použít obou způsobů tažení, ale je vhodnější pro nepravé tažení (přetahování). Výrobek je vytahován z tloušťky materiálu. Dobře obrobitelný a lešitelný s maximální provozní teplotou do 450°C. Používá se pro běžné produkty k obecnému použití (gastronomická zařízení, vnější konstrukce, externí architektura, vodárny, zařízení ČOV ap.).

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 1.4301

| Mez pevnosti v tahu [MPa] | Mez kluzu [MPa] | Tažnost [%] | Teplota žíhání [°C] | Ostatní vlastnosti |
|---------------------------|-----------------|-------------|---------------------|---|
| 520-720 | 210 | 45 | 1000-1100 | Nemagnetická, nekalitelná, zpevňování za studena, |

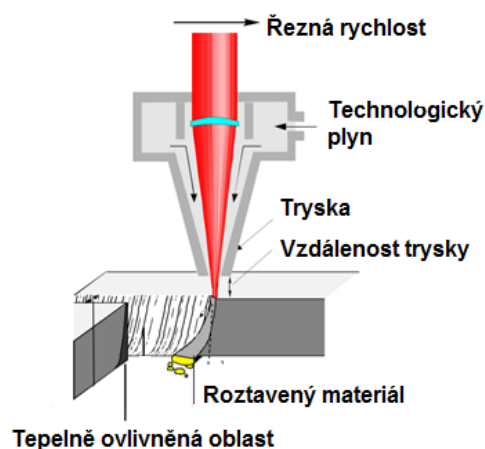
1.1 VARIANTY VÝROBY [1], [4], [5], [7], [10]

Součástka bude vyráběna v sériové výrobě o velikosti 100 000 ks/rok. Bude vyráběna na dvě hlavní operace. V první operaci je potřeba docílit vytvoření rondelu ze svitku plechu nebo pásu z plechové tabule. Mezi varianty, které by se mohly použít, patří:

- Řezání laserem

Je vhodné pro všechny typy konstrukčních materiálů s omezením jejich tloušťky. V případě obvyklých laserů (3 – 3,5 kW) u nelegovaných ocelí do cca 25 mm, korozivzdorných ocelí do cca 15mm. Dělení materiálu laserem je založeno na vysoké hustotě výkonu dopadajícího laserového svazku v místě styku s materiálem (obr. 4). Díky této vlastnosti dochází po dopadu svazku na materiál k jeho prudkému ohřevu, natavení a odpaření.

Tato technologie se využívá v sériové výrobě pevných materiálů a především složitých tvarů. Výhodou je velká rychlost řezání, prakticky nulové deformace plechů a vynikající kvalita řezu, nevýhodou jsou především vysoké investiční náklady. Pro vyráběnou součástku je tato technologie příliš nákladná.



Obr. 4 Schéma řezání laserem [12]

- Řezání vodním paprskem

Princip řezání vysokotlakým vodním paprskem spočívá ve stlačení vody na co nejvyšší tlak ve speciálním vysokotlakém čerpadle. Samotný řezací tlak vychází z vysokotlakého čerpadla, které vhání vodu pod tlakem do řezací hlavy, kde se pomocí abrazivní trysky usměřňuje v paprsek o průměru cca 0,15 - 2 mm (Obr. 5). Pro řezání měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní případy je třeba použít abrazivní paprsek (voda + příměs).

Zmíněná technologie má široké využití, ale pro zadanou součástku je příliš nákladná. Pro výrobu polotovaru k následnému protažení není potřeba taková přesnost na desetiny milimetru ani úhlové hrany, ale stačí jiná, méně přesná technologie, která bude co nejméně nákladná.

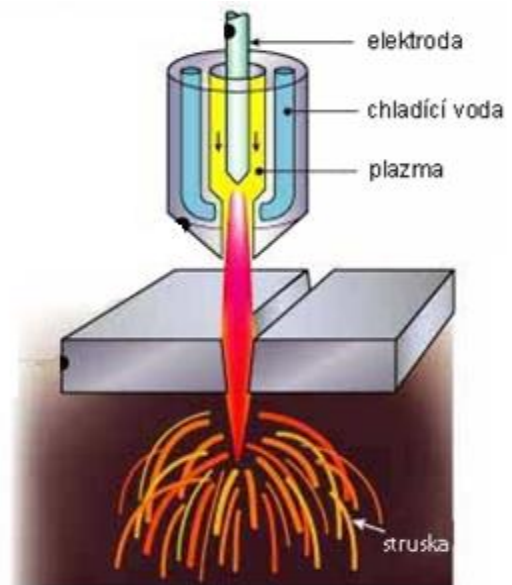


Obr. 5 Tryska vodního paprsku [7]

- Dělení plasmou

Vhodné technologie v závislosti na použitém typu plazmy pro řezání menších a středních tloušťek nelegovaných ocelí, ale také vysokolegovaných ocelí. Pro plazmu jsou typické vysoké rychlosti řezání, ale také nižší kvalita řezu daná jeho vyšší drsností a úhlem podkosení (cca 2 – 4°). Důsledkem zkoncentrování proudu plazmatu je získání vysoké hustoty výkonu a následně vysokých teplot (až 16 – 20 tis. K). Řezaný materiál je taven a tavenina vyfukována z řezné spáry pryč (obr. 6).

Ani tato technologie není vhodná, a to z toho důvodu, že kolem plasmového řezu je tepelně ovlivněná oblast, která může značným způsobem narušit plynulost tažení v dalším kroku nebo může připravit materiál o korozivzdornost. Dalším důvodem jsou vysoké pořizovací náklady a cena spotřebovaného plynu při řezání.



Obr. 6 Schéma řezání plasmou [12]

- Vysekávání

Beztržkové dělení deskových materiálů, které se používá pro vysekání složitých tvarů, které nelze dosáhnout metodou stříhání. Dále se vysekávání uplatňuje při výrobě jednodušších výrobků, jako jsou těsnicí kroužky či podložky. Vysekávat lze materiály do tloušťky až 6 mm. Pro vyseknutí součástky se používají razníky podle tvaru výrobku (obr. 7).

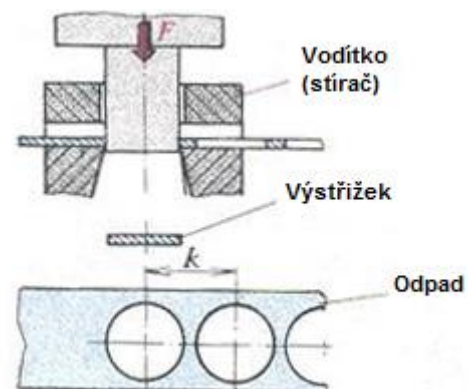
Technologie vysekávání je velmi používaná, zde by však nebyla dobře využita. Pořizovací cena stroje je nákladná a razníky jsou často opotřebovány.



Obr. 7 Ukázka razníků [16]

- Stříhání

Je to technologie oddělování části materiálu působením protilehlých řezných hran způsobujících v řezné rovině smykové napětí. Princip je možné vidět na obrázku 8. Stříhání probíhá ve třech krocích. V prvním kroku je oblast pružných deformací, kdy se materiál stlačuje a ohýbá a vtlačuje se do otvoru střížnice. Druhým krokem je oblast plastických deformací. Střížník se vtlačuje do plechu a ten do otvoru střížnice a napětí překračuje mez kluzu a na hranách střížníku a střížnice se blíží mezi pevnosti. Ve třetím



Obr. 8 Princip stříhání [12]

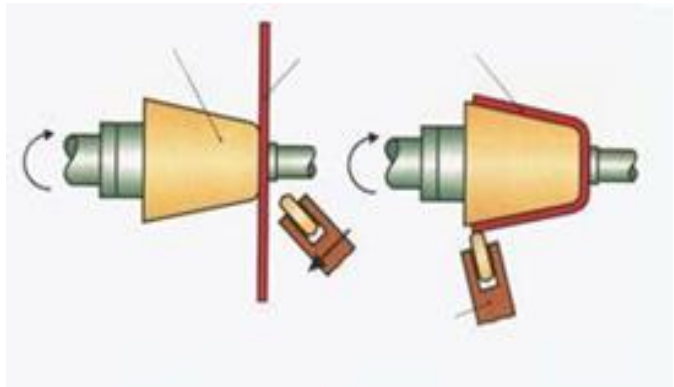
kroku začínají na hranách vznikat trhlinky, ty se rozšiřují, až dojde k utržení materiálu. Okraje po stříhu nejsou zcela rovinné a ustřižená plocha má určitou drsnost, která není v ploše rovnoměrně rozdělená.

Metoda stříhání je nejvýhodnější pro dělení materiálu, kde nejsou kladeny vysoké nároky na přesnost, a tvářený materiál je menší tloušťky (plech). Levná pořizovací cena a nízké výrobní náklady. Jediné opotřebení nastane na střižníku a střižnici, ale jelikož není kladen důraz na vysokou přesnost, tak to nebude častý problém, a po větším opotřebení daný kus bude buďto vyměněn, nebo přebroušen pro další použití.

Ve druhé operaci je požadavkem docílit výsledného tvaru prohlubně součásti (obr. 2). Mezi varianty, kterými by šel tento tvar u rotační součásti vytvořit lze zahrnout:

➤ Kovotlačení

Kovotlačení je naznačeno na obrázku 9. Rotační model nádoby se upevní na stroj spolu s nástřihem. Velikost nástřihu se používá o málo větší, než je průmět základny modelu - rozdíl od hlubokého tažení. Model s nástřihem se uvede do rotace a nástřih se přitlačuje zvláštními nástroji k modelu. Nástroje jsou na funkčním konci opatřeny buď třecím nebo valivým zakončením. Plech nástřihu se postupně přitlačuje a přetváří se v tvar modelu. Při tom dochází k ztenčení tloušťky plechu. Kroužlení se používá v těch případech, kde tažení vyžaduje příliš velký počet operací nebo je ekonomicky výhodnější. Výhodou jsou nízké náklady na stroj. Nevýhodou je možnost vyrábět pouze rotační vylisky, které mají bez kalibrace špatnou kvalitu povrchu. Využívá se především pro výrobu specifických tvarů rotačních součástí dutého tvaru.



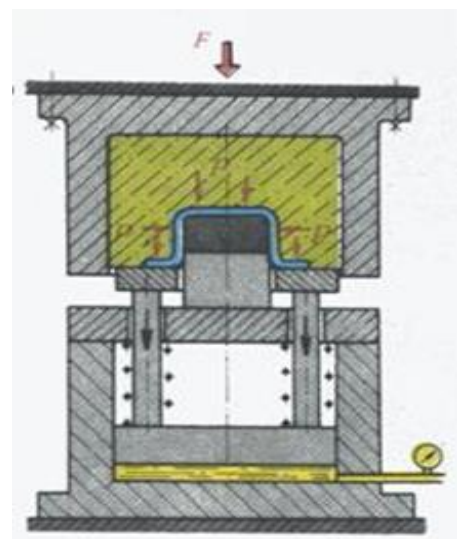
Obr. 9 Rotační tlačení dutých těles [12]

Tato technologie je vhodná spíše do kusové výroby součástí tvarově složitých pro tažení. Pro zadanou součást je nevýhodná i přes malé pořizovací náklady stroje.

➤ Tváření pryže - Marform

Je vhodné i pro hluboké tažení ocelových i nezelezných plechů. Výška pryže musí být alespoň trojnásobná, než je výška vylisku, aby nedocházelo k rychlému opotřebenému a ztrátě elasticity pryže (Obr. 10).

Princip metody je založen na elasticitě pryže, která je v ocelové skříni. Výtazek je formován tlačáním plechu pomocí tažníku do elastomeru, kde dostává výsledný tvar. Výhodou je, že pryž nezanechává na povrchu žádné stopy. Nevýhodou je potřeba velkých sil, i když velké tlaky působí kladně na zvýšení plasticity. Je možné používat všechny typy lisů. Pryž se používá o různé tvrdosti. Vysoká pořizovací a provozní cena se nehodí pro zadanou součást.

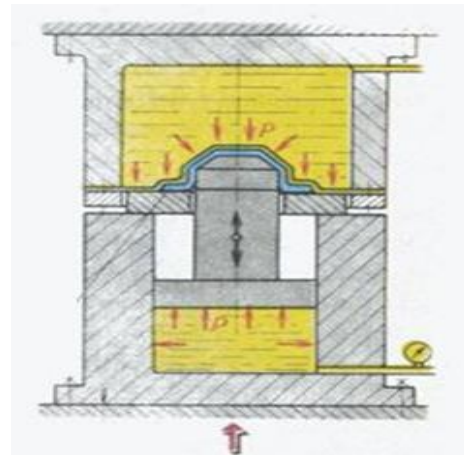


Obr. 10 Schéma metody Marform [12]

➤ Tváření kapalinou - Hydroform

Používá se pro hluboké tažení, ale místo pryže se používá nádoba s kapalinou, která je uzavřená tenkou vrstvou gumy zabraňující úniku kapaliny. Nejdříve se přitlačí přidržovač, aby se nezvlhnily okraje, a potom se tažník vtlačuje do nádrže a materiál se tváří. Nadbytek vody se vypouští ventilem (obr. 11). Hydrostatický tlak lze regulovat.

Způsob formování metodou Hydroform je vhodný a rychlý, ale bohužel pořizovací cena stroje je příliš vysoká. Pro zadanou součást by nebyly naplno využity jeho možnosti.



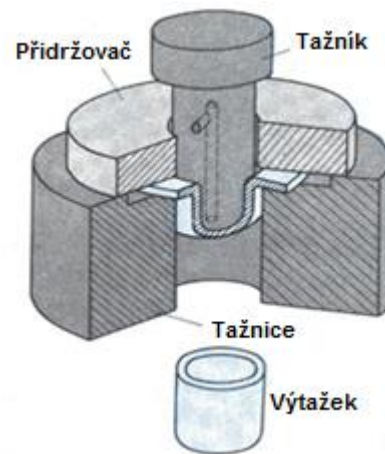
Obr. 11 Schéma metody Hydroform [12]

➤ Technologie tažení

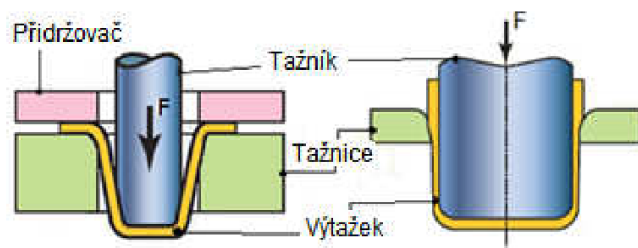
Jedná se o technologický způsob tváření, při kterém se v jednom nebo v několika tazích vyrobí z rovného plechu (přístříhu) duté těleso - polouzavřená nádoba. Nástrojem je tažidlo, které se skládá z tažníku a tažnice a ostatních konstrukčních částí (přidržovač, zakládací kroužek), viz obr. 12. Výrobkem je výtažek.

Rozdílné metody jsou blíže popsány normou ČSN 22 6001. Důležité je zmínit dva způsoby tažení: se ztenčením stěny a bez ztenčení stěny materiálu (obr. 13). Tažení se ztenčením je charakteristické redukcí tloušťky stěny v mezeře mezi tažníkem a tažnicí, toho se využívá u součástí, kde je požadována různá tloušťka dna a stěny výtažku. Naopak při tažení bez ztenčení nedochází k žádné výrazné změně tloušťky materiálu a po celém tvaru součástky zůstává tloušťka stěny stejná.

Tvorba výtažku tažením je vhodný a nejméně nákladný způsob. Pořizovací cena stroje není taková jako u předchozích technologií a vyplatí se z důvodu rychlosti jakým je výtažek vytvořen.



Obr. 12 Tažný nástroj [12]



Obr. 13 Tažení bez a se ztenčením stěny [1]

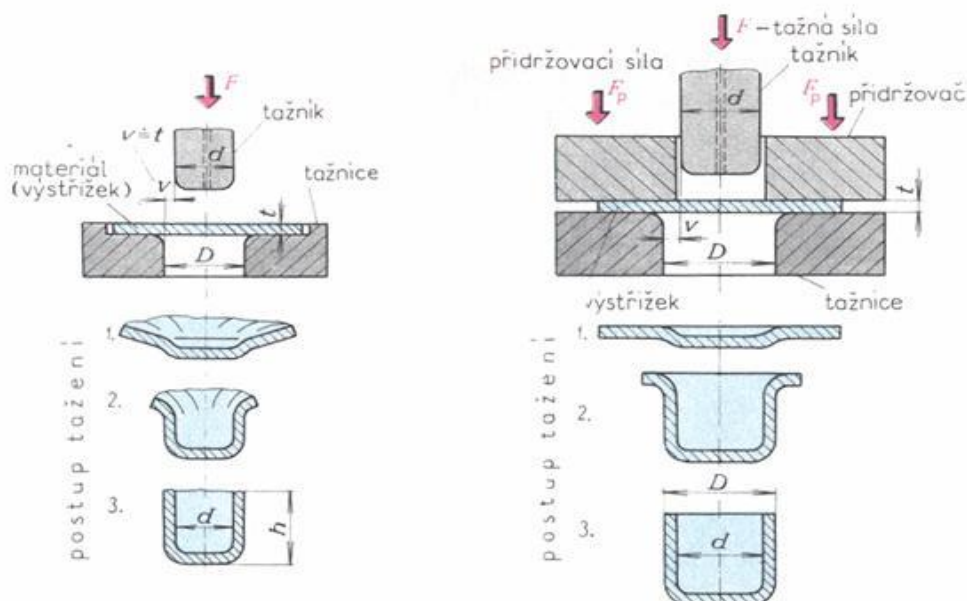
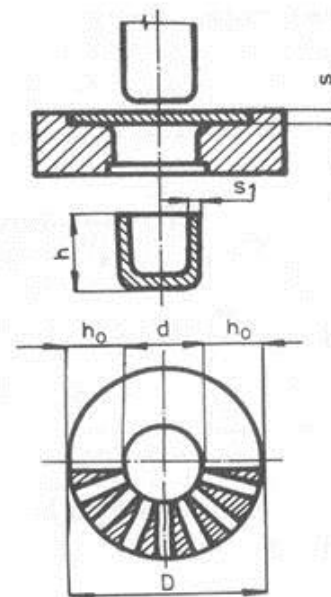
Z navržených a popsaných technologií dělení rondelů a tvorby požadovaného tvaru součástky je patrné, že nejvýhodnější varianta pro tvorbu zadané součástky bude v prvním kroku tvorba přístříhu na střížném nástroji a v dalším kroku bude požadovaný tvar vytvářen pomocí metody tažení bez ztenčení stěny. Zbylé otvory a technologické přídavky budou odstraňovány v následných operacích také metodou stříhání. Tyto technologie by měly zaručit nejméně nákladnou sériovou výrobu 100 000 ks/rok. Důležitá část tvorby této součásti je tažení bez ztenčení stěny, proto na něj bude zaměřena a důkladně popsána literární rešerže.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [1], [4], [6], [11], [12], [14]

Tažení je technologický proces tváření, kdy je z přístřihu plechu (rondele) zhotovena součást dutého tvaru. K vytvoření dochází působením tažníku přes tažnou hranu tažnice, kde musí být mezi tažníkem a tažnicí mezera, aby se neztenčovala stěna výrobku. Jednoduché tvary jsou obvykle zhotoveny v jedné operaci. Složitější dílce je nutné vyrobít na více operací. Při tažení je nutno dodržet optimální technologické a konstrukční parametry vycházející z výkresu a tvaru součásti.

V průběhu tažení se materiál v oblasti příruby intenzivně pěchuje ve směru tečného napětí. Případnému zvlnění krajů výtažku zabraňuje přidržovač. Přitom dochází k výraznému prodloužení ve směru tahu. Na konci příruby se zvětšuje tloušťka o 20 až 30 % podle stupně tažení. Naopak v místech prostorového ohybu u dna výtažku dochází k zeslabení stěny. Při tažení se tedy přesunuje značný objem kovu v přírubě a je vytlačován ve směru výšky nádoby, což dokumentuje

Obr. 14 Deformační schéma [12]



Obr. 15 Tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo) [12]

2.1 TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY [4], [11]

Pro zhotovení výtažku požadované jakosti je zapotřebí dodržet optimální technologické požadavky. Ty ovlivňují proces přeměny polotovaru na finální výtažek. Jedná se především o tažnou mezeru a součinitel tažení. S ohledem na rozměry výtažku je podstatné určit průměr výchozího přístřihu a počet operací potřebných k jeho zhotovení.

2.1.1 Určení velikosti výchozího polotovaru [4], [11]

Stanovení rozměrů výchozího polotovaru je založeno na rovnosti povrchu a objemu výstřížku i výtažku, kde tedy platí zákon zachování objemu. A velikost přístříhu lze jednoduše vyjádřit takto:

$$V_p = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot s_0 = V_v \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2.1)$$

$$V_v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s_0 + (\pi \cdot d \cdot h \cdot s_0) + \frac{\pi \cdot (D_0^2 - d^2)}{4} \cdot s_0 \text{ [mm}^3\text{]}, \quad (2.2)$$

kde: d – průměr hotového výtažku [mm]
 h – výška hotového výtažku [mm]
 V_p – objem přístříhu [mm³]
 V_v – objem hotového výtažku [mm³]

Dále lze praktikovat zákon zachování ploch, ale pouze v případě, že se tloušťka stěny po celém výtažku nemění ($s_0=s_1$) a zůstává stejná jako původní.

Pro plochu válcového výtažku lze vypočítat průměr výchozího polotovaru jako součet dílčích ploch po rozdělení výtažku na jednotlivé části, viz obr. 16.

Průměr výchozího polotovaru se vypočte:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_v}{\pi}} \text{ [mm]}, \quad (2.3)$$

$$S_v = \sum_{i=1}^n S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.4)$$

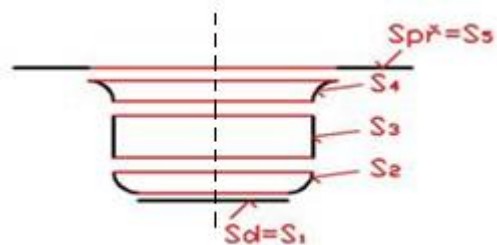
kde: D_0 - průměr výchozího polotovaru [mm]
 S_v - součet ploch jednotlivých částí povrchu výtažku [mm²]

Součtem ploch, které jsou rozděleny na 5 částí lze získat výsledný obsah plochy potřebný k vypočtení průměru přístříhu (rondele).

Plocha rovné části dna válcového výtažku:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.5)$$

kde: d_1 - Průměr, odpovídající rovné části dna válcového výtažku [mm]



Obr. 16 Rozdělení výtažku na úseky pro počítání [3]

Plocha zaoblené části výtažku u dna:

$$S_2 = \frac{\pi}{2} (\pi \cdot (D - 2 \cdot R) \cdot R + 4 \cdot R^2) \quad [\text{mm}^2], \quad (2.6)$$

kde: R - poloměr zaoblení na výtažku [mm]
D - průměr rovinné části výtažku [mm]

Rovinná plocha části výtažku:

$$S_3 = \pi \cdot D \cdot H \quad [\text{mm}^2], \quad (2.7)$$

kde: H - výška rovinné části výtažku bez zaoblení [mm]

Plocha zaoblené části výtažku u vrchní části:

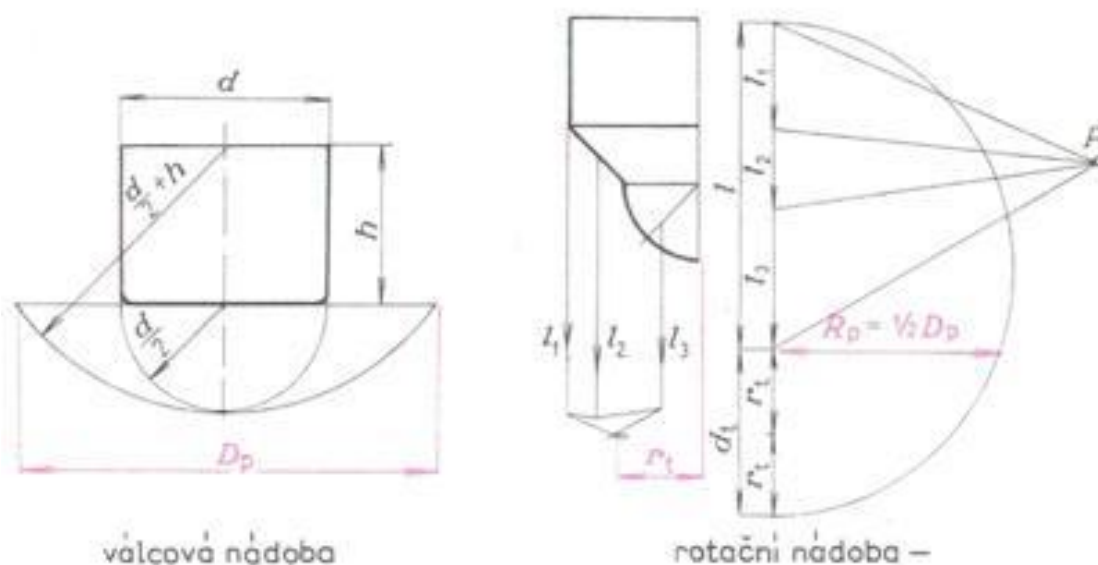
$$S_4 = \frac{\pi}{2} (\pi \cdot (D + 2 \cdot R) \cdot R + 4 \cdot R^2) \quad [\text{mm}^2], \quad (2.8)$$

Plocha rovinné části výtažku vrchní části:

$$S_5 = \frac{\pi}{4} (D_{\text{př}}^2 - D^2) \quad [\text{mm}^2], \quad (2.9)$$

kde: $D_{\text{př}}$ - největší průměr (průměr příruby) [mm]

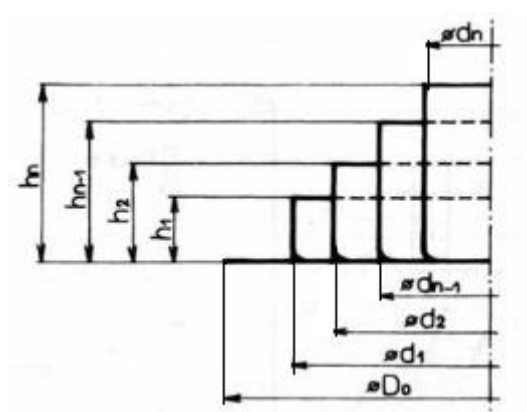
Další z možností stanovení velikosti polotovaru je grafické řešení. Graficky lze určit pouze rotační součásti a pro stanovení velikosti lze použít Guldinovy věty. Povrch rotačního tělesa se vypočítá, když se délka tvořící křivky L násobí drahou, kterou při otáčení opisuje těžiště tvořící křivky. Viz Obr. 17.



Obr. 17 Určení přístřihu grafickým řešením [3]

2.1.2 Počet tažných operací [3], [4]

Pro vlastní proces tažení je možné zhotovit výtažek na jednu operaci jen do určitého minimálního průměru. Pokud se zhotovuje výtažek s menším průměrem nebo s větší hloubkou, tak je nutno součást vyrobit za pomoci víceoperačního tažení. Schematicky nakresleno v obr. 18.



Obr. 18 Nákres tažení na více operací [3]

Podle součinitele tažení lze spočítat, na kolik operací bude daná součástka vyráběna. Hodnoty součinitele tažení jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Hodnoty součinitele tažení pro jednotlivé tahy

| Číslo tahu | Součinitel tažení | Poměrná tloušťka polotovaru (s_0/D_0)-100 | | | | | |
|------------|-------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 2,0-1,5 | 1,5-1,0 | 1,0-0,6 | 0,6-0,3 | 0,3-0,15 | 0,15-0,08 |
| 1. | $m_1=d_1/D_0$ | 0,48-0,50 | 0,50-0,53 | 0,53-0,55 | 0,55-0,58 | 0,58-0,60 | 0,60-0,63 |
| 2. | $m_2=d_2/d_1$ | 0,73-0,75 | 0,75-0,76 | 0,76-0,78 | 0,78-0,79 | 0,79-0,80 | 0,80-0,82 |
| 3. | $m_3=d_3/d_2$ | 0,76-0,78 | 0,78-0,79 | 0,79-0,80 | 0,80-0,81 | 0,81-0,82 | 0,82-0,84 |
| 4. | $m_4=d_4/d_3$ | 0,78-0,80 | 0,80-0,82 | 0,81-0,82 | 0,82-0,83 | 0,83-0,85 | 0,85-0,86 |
| 5. | $m_5=d_5/d_4$ | 0,80-0,82 | 0,82-0,84 | 0,84-0,85 | 0,85-0,86 | 0,86-0,87 | 0,87-0,88 |

Určení počtu operací závisí na velikosti a tvaru výtažku, druhu a tloušťce taženého materiálu. Potřebný počet tažných operací se staví pomocí součinitelů m_i . Koeficient je dán poměrem průměru d_1 válcového výtažku prvního tahu k průměru D přístřihu.

Celkový součinitel tažení je dán vztahem:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \dots \cdot m_n \quad (2.12)$$

Pro první tažnou operaci je dán vztahem:

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

Při určování počtu tažných operací, na které bude možné danou součást zhotovit, se vychází z průměru hotového dílce, střední hodnoty součinitele tažení a rozměru výchozího přístřihu. Celkový počet tažných operací je tedy:

$$n = 1 + \frac{\ln d_n + \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln m'} \quad [-], \quad (2.14)$$

kde: m' – střední součinitel tažení [-]

n – počet tažných operací [-]

Vyjde-li $n < 1,2$, předpokládá se zhotovení výtažku v jedné tažné operaci. Při $n > 1,2$ se jedná o dvě nebo více tažných operací a jejich počet se určí zaokrouhlením vypočtené hodnoty na nejbližší vyšší celé číslo. Střední součinitel tažení pro druhý a další tahy se uvažuje dle [4].

2.1.3 Tažná mezera [4], [12]

Podstatným krokem je určení tažné mezery. Ta se volí větší než je tloušťka plechu a jen při kalibraci je stejná. Příliš velká tažná mezera způsobuje zvlnění výtažku a menší zvětšuje tažnou sílu nebo může způsobit utržení dna (obr. 19).

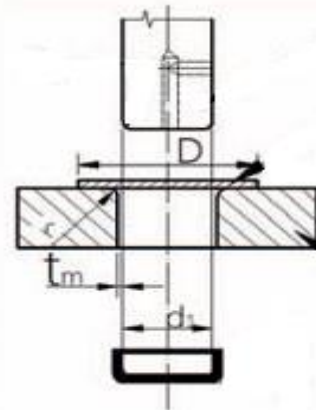
Tažná mezera se určuje dle ČSN 22 7301:

Pro první tah:

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (2.15)$$

Pro další tahy:

$$z_1 = (1,1 \div 1,2) \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (2.16)$$



Obr. 19 Tažná mezera [12]

2.2 VOLBA PŘIDRŽOVAČE [1], [4]

Protože při tažení postupuje materiál z příruby do válcové části, má plech v místě příruby snahu se vlnit, a to hlavně při vysokém stupni deformace. Při malém stupni deformace a při velké tloušťce materiálu se vlny netvoří, protože nejsou vysoké a vyhlazují se otvorem tažnice. Zabránit vzniku vln (obr. 20) lze přidržovačem, ovšem za cenu pěchování materiálu pod přidržovačem a růstu tloušťky.

V případě použití přidržovače je nutné znát velikost měrného tlaku přidržovače. Měrný tlak přidržovače závisí na tloušťce plechu, poměru výchozí tloušťky plechu oproti průměru nádoby, jakosti plechu a součiniteli tažení materiálu.

Při tažení nepravidelných tvarů se přidržovač musí použít vždy. U kruhových výlisků lze někdy táhnout bez přidržovače. Použití přidržovače se kontroluje podle empirických vztahů.



Obr. 20 Vznik vln na výtažku [1]

Podle normy ČSN 22 7301 se určuje součinitel „u“

$$u = 50 \left(e - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D}} \right) [-] \quad (2.17)$$

Kde: e - materiálová konstanta [-]

Materiálová konstanta je pro zadanou součást zvolena 1,9 a dále bude s touto hodnotou počítáno.

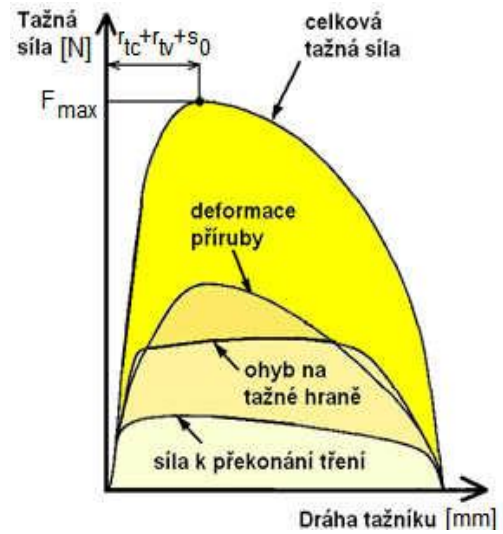
$$\text{pokud } u \geq \frac{100 \cdot d}{D} \text{ táhne se s přidržovačem} \quad (2.18)$$

V praxi se potřebný přidržovací tlak nastavuje experimentálně tak, aby nedocházelo ke zvlnění příruby nebo ke vzniku trhlin.

2.3 TAŽNÁ SÍLA A PRÁCE [3], [14]

Pro úspěšné tažení je potřeba spočítat tažnou sílu a práci, která musí být vyvinuta pro zhotovení výsledného tvaru součásti. Výpočet je nezbytný při zkoumání procesu tažení a pro praxi. Pomocí výpočtů se stanovuje maximální síla pro utržení dna výtažku, která se nesmí překročit. Po překročení této síly by se dno výtažku utrhl a výtažek by byl tedy zničený. Průběh tažné síly je znázorněn na obr. 21.

Celková tažná síla je při klasickém tažení složena ze tří hlavních složek, a to ze síly k překonání tření, síly pro ohyb na tažné hraně a deformace příruby. Síly k překonání tření ve stykových plochách, síly pro ohyb na tažné hraně a síly potřebné k plastické deformaci příruby.



Obr. 21 Průběh tažné síly [3]

Maximální síla, při níž dojde k utržení dna:

$$F_t = \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m \quad [\text{N}], \quad (2.19)$$

kde: s - tloušťka plechu [mm]
 R_m - mez pevnosti [MPa]

Celková tažná síla může být zvětšena o velikost síly přidržovače. To záleží na tom, zdali bude přidržovač potřeba. Síla přidržovače nesmí bránit pohybu plechu při vtahování do tažnice. Celková tažná síla se pro volbu stroje poté navyšuje o 30%.

Síla přidržovače

$$F_p = S \cdot p \quad [\text{N}], \quad (2.20)$$

kde: S - plocha příruby pod přidržovačem [mm²]
 p - měrný tlak mezi přidržovačem a přírubou [MPa]

Tab. 4 Doporučený tlak přidržovače

| Materiál | p[MPa] |
|----------------------------|------------|
| Ocelový hlubokotažný plech | 2,0 až 3,0 |
| Nerezový plech | 2,0 až 5,0 |
| Měděný plech | 1,2 až 1,8 |
| Mosazný plech | 1,5 až 2,0 |
| Hliníkový plech | 0,8 až 1,2 |

Celková tažná síla se tedy spočítá jako součet maximální síly pro utržení dna výtažku a síly přidržovače.

$$F_{tc} = F_t + F_p \quad [\text{N}] \quad (2.21)$$

Kde: F_t – Tažná síla [N]
 F_p – síla přidržovače [N]

Vypočtení tažné práce je důležitou součástí pro volbu stroje pro tažení. V případě, že by práce, kterou musí lis vykonat na jeden zdvih, byla větší, než kterou stroj dokáže vyvinout, mohlo by se stát, že by se stroj v půli operace zastavil.

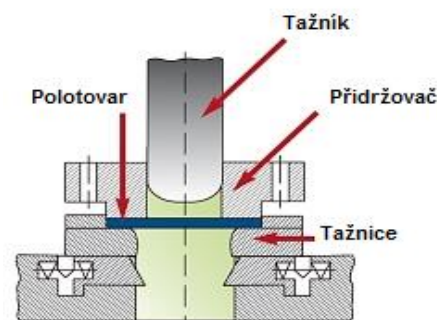
Určení tažné práce:

$$A = \frac{c \cdot F_{tc} \cdot H}{1000} \quad [\text{kJ}] \quad (2.22)$$

Kde: c – koeficient tažné práce [-] (0,6 až 0,8)

2.4 KONSTRUKCE NÁSTROJŮ [4], [1]

Tažné nástroje by se daly rozdělit na spodní a horní. Do spodní části patří tažnice, deska, stopky, atd., vodící a spojovací součásti (šrouby, atd.). Mezi horní část patří části: tažná (tažník, atd.), zajišťovací (hledáčky, atd.), přidržovací a zajišťovací součásti (přidržovače, stěrače, atd.). Pracovní součásti jsou tažník, tažnice a též přidržovač, který zabraňuje vzniku vln (obr. 22). Nástroje se dělí na nástroje pro první tah a pro další tahy. Mezi ně patří nástroje jednoduché, sloučené, speciální. Přidržovač může být pružinovým, pryžovým, pneumatickým, hydraulickým. Tažník je aktivní nástroj, jeho průměr udává vnitřní průměr výtažku.



Obr. 22 Popis částí při tažení [1]

Materiály, ze kterých jsou tyto části vyráběny, jsou uvedeny v tabulce 4. Tažnice jsou válcového tvaru, a to jen pro kruhové výlisky. Pro různé typy tažených součástí se mění i tvar tažné hrany.

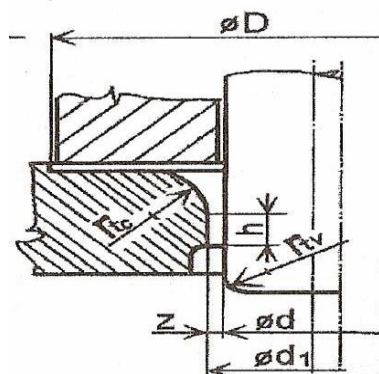
Tab. 5 Materiály tažných nástrojů

| Část tažidla | Materiál | HRC |
|-------------------|----------------------------------|---------|
| Tažník, tažnice | 19 191, 19 436, 12 061, 42 24 56 | 58 – 63 |
| Základové desky | 42 24 56, 42 26 61.2 | |
| Zakládací kroužky | 11 600 | |
| Přidržovač | 19 191, 19 436 42 24 56 | 61 - 63 |
| Vodící sloupek | 12 020, 14 220 | |
| Upínací deska | 12 060, 11 600 | |
| Upínací hlavice | 11 600 | |

2.4.1 Tažnice [12], [16]

Tvar a zaoblení tažné hrany tažnice a velikost tažné vůle mají rozhodující vliv na úspěch tažení. Konstrukce tažné hrany tažnice musí splňovat přesné požadavky a její poloměr se mění v závislosti na pořadí tahu. Schéma tažné hrany tažnice je vyobrazeno na obr. 23.

Tažnice se konstruuje jako celistvé, nebo vložkové (obr. 24), přičemž se vložkuje nejčastěji pouze tažná hrana. Jako vložky se používají tažnice zhotovené z nástrojové oceli



Obr. 23 Geometrie tažné hrany r_{tc} [12]

nebo slinutého karbidu, popřípadě keramiky. Vložky se do tažnic zalisovávají s předpětím, jehož se dosahuje ohřevem zděře nebo ochlazením vložky.

Vzorce pro určení geometrie tažné hrany (r_{tc}) při tažení s přidržovačem.

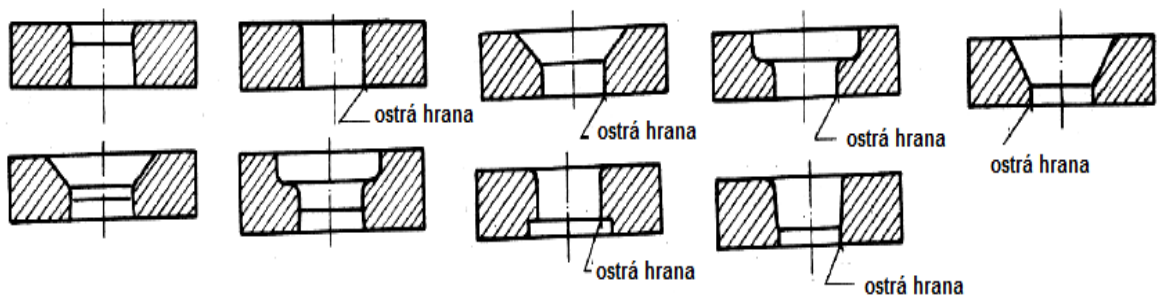
Pro 1. tah:

$$r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d) \cdot s} \quad [\text{mm}] \quad (2.23)$$

Pro druhý a další tahy:

$$r_{tc} = (6 \div 8) \cdot s_0 \quad [\text{mm}] \quad (2.24)$$

Jednotlivá konstrukční provedení tažnic (obr. 25):

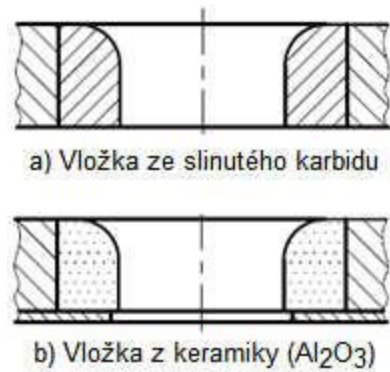


Obr. 25 Schéma některých konstrukčních provedení vložek tažnic [16]

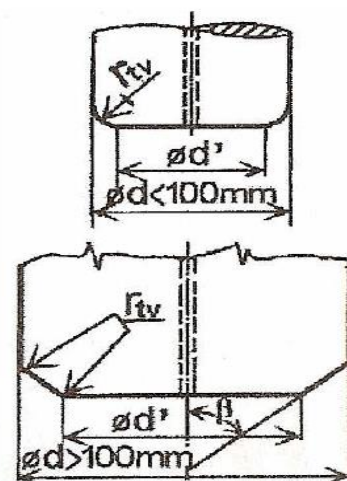
2.4.2 Tažník [12], [16]

Poloměr zaoblení tažníku (r_{tv}) vychází z poloměru tažné hrany tažnice a pro mezitahy se obvykle hrany tažníku upravují skosením pod úhlem $\beta = 35^\circ$ až 45° , viz obr. 26.

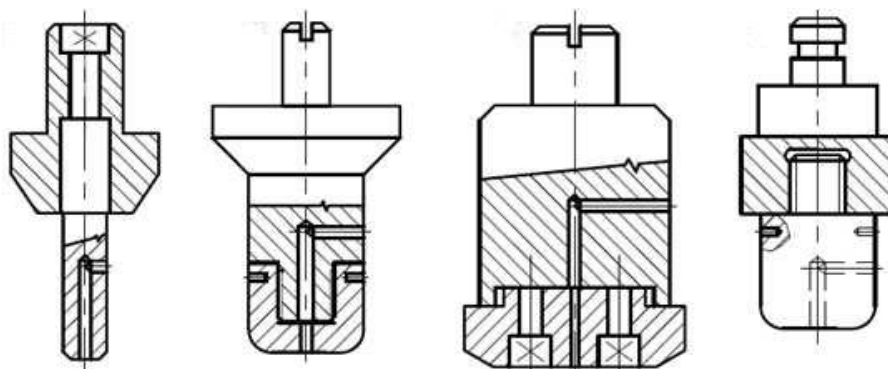
Tažníky jsou aktivními nástroji a jejich vnější průměr je současně vnitřním průměrem výtažku. Konstruují se jako celistvé, nebo vložkované, přičemž vložkování se provádí buď na tažné hraně, nebo na válcové části v případě použití zdrsňujících vložek pro zvýšení tření a snížení mezního koeficientu tažení. Velmi důležité je zavzdušnění prostoru výtažku. U klasických tažných nástrojů se provádí podélným otvorem nebo se využívá rozpružení výtažku, popřípadě kombinací obou.



Obr. 24 Vložkované tažnice [16]



Obr. 26 Zaoblení hran tažníku r_{tv} [12]



Obr. 27 Schéma některých konstrukčních provedení tažníků [16]

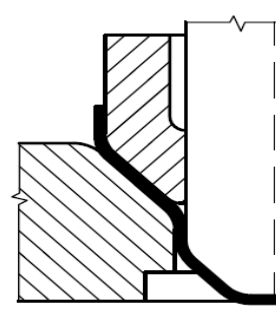
Tam, kde není možné provést z důvodu zeslabení stěny tažníku otvor pro odvzdušnění, vytváří se tažník kuželový nebo se na povrchu vytvoří odvzdušňovací rýha (obr. 27).

Zaoblení tažníku pro všechny tahy:

$$r_{tv} = (1 \text{ až } 2) \cdot r_{tc} \text{ [mm]} \quad (2.25)$$

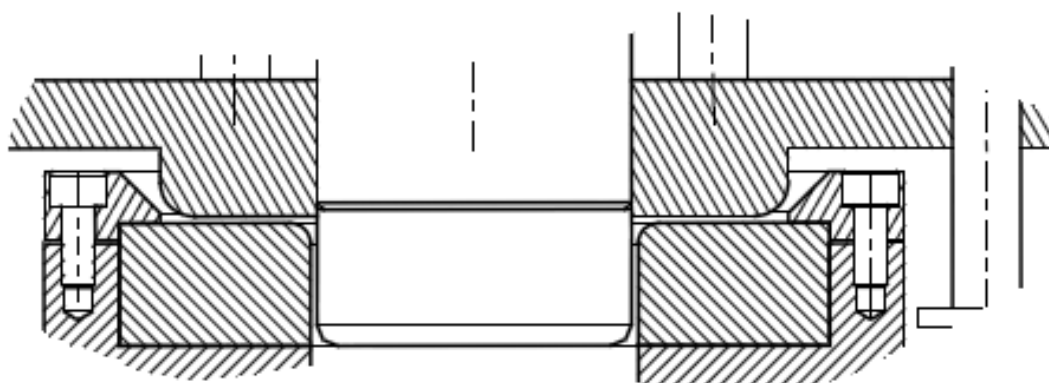
2.4.3 Přidržovač [12], [16]

Funkce přidržovače již byla zmíněna víš. Zde bude rozebrán spíše z konstrukčního hlediska. Je konstruován tak, aby se přizpůsoboval tvaru tažnice v jednotlivých fázích tváření. To je možné vidět na obrázku 29, kde je patrné, jak tvar přidržovače kopíruje tvar tažnice a tím drží celou plochu přístřihu a splňuje tím nejlépe funkci přidržení přístřihu. Pro zlepšení odporu proti tažení se používají ve víceoperačním tažení přidržovače se zkosením hrany pro lepší vedení přístřihu (obr. 28).



Obr. 28 Složitější tvar přidržovače [12]

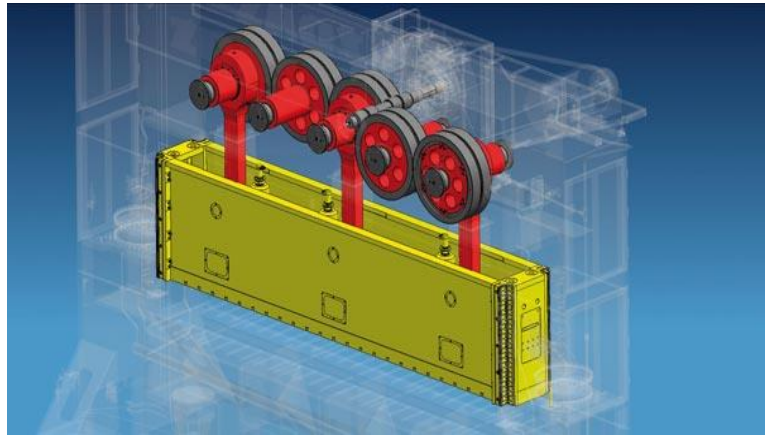
Cílem přidržovače je co nejvíce zefektivnit rychlost a přesnost výtažku a co nejméně zvyšovat tažnou sílu.



Obr. 29 Schéma přidržovače a vložky tažnice

2.5 VOLBA STROJE [3], [5], [7], [13], [16]

Po určení základních parametrů je důležité vybrat vhodný stroj, který dokáže vyvinout nejméně takovou celkovou tažnou sílu, jaká je uvedena podle teoretických výpočtů. Cílem pro výběr stroje je, aby byl stroj za co nejnižší pořizovací náklady a zároveň byl vhodný pro požadovanou práci.



Obr. 30 Mechanický lis [16]

Hlavním parametrem pro volbu lisu je jmenovitá síla, která určuje i velikost

základních částí lisu. Lisy používané pro tváření za studena se dělí dle jejich pohonu na mechanické, elektromagnetické, pneumatické a hydraulické. Pro operace tažení se pak užívá především lisů mechanických a hydraulických. Dle jejich konstrukce a působení na materiál se dále dělí na jednočinné, dvojčinné, trojčinné a postupové.

Mechanické tažné lisy (obr. 30) se od běžných lisů liší především většími pracovními zdvihy při stejných tlacích a výkonnějšími pohony. Klikové mechanické lisy se vyrábějí jako jedno, dvou, tří či čtyřbodové. Jde o počet ojníc, na kterých je zavěšeno smykadlo. Vícebodové zavěšení se používá pro výrobu velkých součástí a tam kde na beran působí excentrické síly. Ojnice zabraňují jeho zkřížení a snižují tak namáhání součástí stroje.

Hydraulické lisy (obr. 31) jsou pro hluboké tažení využívány nejčastěji. Energie pro tváření se získává přeměnou z tlakové energie kapaliny na základě Pascalova zákona. Pracovní kapalinou je hydraulický olej. Dle umístění zdroje energie rozlišujeme lisy s vlastním pohonem a akumulátorové lisy. Výhodou lisů s vlastním pohonem je absence složitého čerpadlového a akumulátorového systému. Není třeba je na pracovišti rozmisťovat dle rozvodu kapaliny. Čerpadlo s nádrží je přímo součástí stroje.



Obr. 31 Hydraulický lis [16]

2.5.1 Rychlost tažení [3], [12]

Je doba trvání tažné operace, respektive rychlost pohybu nástroje. Rychlost tažení je tedy dána dobou trvání jednoho pracovního zdvihu, kdy počet zdvihů lze u moderních lisovacích strojů měnit v určitém rozsahu. Měla by být volena tak, aby nedošlo k překročení kritické hodnoty a následnému porušení výtažku. U hydraulických lisů je rychlost tažení konstantní. U klikových lisů je rychlost tažení proměnlivá a při výpočtu se uvažuje její nejvyšší hodnota, které je dosaženo v okamžiku dosednutí tažníku na povrch taženého materiálu.

$$v \cong 0,105 \cdot n_l \cdot \sqrt{z_d \cdot p_t - p_t^2} \quad [\text{mm/s}], \quad (2.26)$$

kde: n_l – počet otáček lisu [min^{-1}]

z_d – celkový zdvih beranu lisu [mm]

p_t – pracovní zdvih tažníku (od dosednutí tažníku na materiál po dosažení krajní – spodní polohy tažníku [mm])

Tab. 6 Doporučené tažné rychlosti kovů

| Tažený materiál | Tažná rychlost [m/min] |
|---------------------------------|------------------------|
| Austenitická korozivzdorná ocel | 7 |
| Nelegovaná ocel | 17 |
| Hliník a jeho slitiny | 25 |

2.6 MAZÁNÍ PŘI HLUBOKÉM TAŽENÍ [4], [9]

Značný vliv na tažení kovů, má tření mezi nástrojem a taženým materiálem. Mazání a použití vhodného maziva má zásadní vliv na průběh celého procesu. Jedná se o problematiku, která je předmětem neustálého zkoumání a testování z důvodu náročných požadavků, které jsou na maziva kladeny. Musí výborně přilnout k podkladu a vytvořit vrstvu, která bude souvislá a rovnoměrná. Je důležité, aby vytvořený film maziva byl schopen odolávat vysokým tlakům a nedocházelo k jeho vytlačování z oblasti třecích ploch. Použité mazivo nesmí poškozovat nástroj ani výtažek, a to mechanicky ani chemicky.

Mazání se používá ke snížení tření (a tedy i tažné síly) a ke zlepšení kvality povrchu. Nemaže se celý přístřih. Ze strany tažníku je výhodné mít tření co nejvyšší, ze strany tažnice je potřeba tření co nejvíce snížit. Mezi přidržovačem a materiálem je potřeba co nejlepší mazání. Prostředky, které se používají pro mazání, nesmí poškozovat povrch nástroje a výrobku, musí lehce přilnout a vytvořit rovnoměrnou vrstvu.



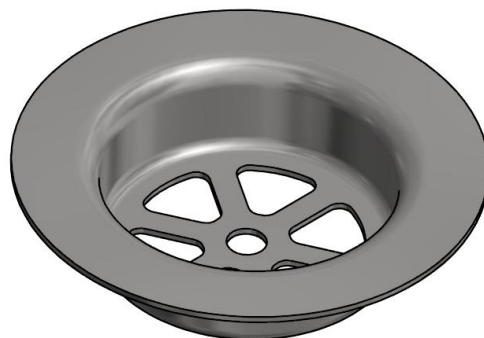
Obr. 32 Ukázka kapalných maziv používaných v praxi [9]

Druhy maziv:

- kapalná maziva: oleje minerální, organické a syntetické, chlorparafín, mazací tuky, lůj, včelí vosk, lanolín apod.
- tuhá maziva: sulfid molybdeničitý, grafit, prášková mýdla apod.

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY [3], [10], [11], [12]

Jak již bylo uvedeno, součástka (obr. 33) je použita v sestavě umyvadlové výpusti, kde plní funkci zábrany odtoku nečistot větších rozměrů. Je rotační osově symetrická součást s přírubou o největším průměru 70 mm, vnitřním průměru 46 mm a celkovou hloubkou 16 mm. Veškeré rozměry jsou uvedeny na výkresu BP-01-145298.



Obr. 33 Součástka s komponenty sestavy

Na dně je opatřena šesti otvory pro odtok vody a jedním otvorem v ose pro uchycení šroubem do sestavy. Zaoblené části mřížky určuje tvar tažníku a tažnice. Součástka je vyráběna v množství 100 000 ks/rok z korozivzdorné oceli 17 240 tloušťky 1 mm.

3.1 VELIKOST PŘÍSTŘIHU [3], [4],[11]

Obsah výtažku dle (2.4)

Plocha rovné části dna válcového výtažku:

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 39^2}{4} = 1\,194,59 \text{ mm}^2$$

Plocha zaoblené části výtažku u dna:

$$S_2 = \frac{\pi}{2} (\pi \cdot (D - 2 \cdot R) \cdot R + 4 \cdot R^2) = (\pi \cdot (45 - 2 \cdot 3) \cdot 3 + 4 \cdot 3^2) = 633,92 \text{ mm}^2$$

Rovinná plocha části výtažku:

$$S_3 = \pi \cdot D \cdot H = \pi \cdot 45 \cdot 9 = 1\,272,35 \text{ mm}^2$$

Plocha zaoblené části výtažku u vrchní části:

$$S_4 = \frac{\pi}{2} (\pi \cdot (D + 2 \cdot R) \cdot R + 4 \cdot R^2) = (\pi \cdot (45 + 2 \cdot 3) \cdot 3 + 4 \cdot 3^2) = 811,57 \text{ mm}^2$$

Plocha rovinné části výtažku vrchní části:

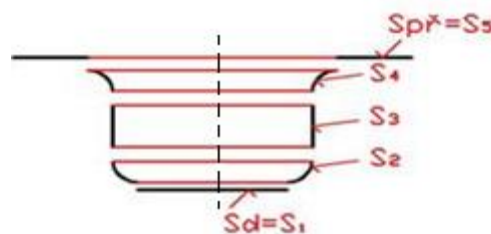
$$S_5 = \frac{\pi}{4} (D_{pr}^2 - D^2) = \frac{\pi}{4} (70^2 - 45^2) = 2\,258,02 \text{ mm}^2$$

$$S_v = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 = 1\,194,59 + 633,92 + 1\,272,35 + 811,57 + 2\,258,02 = 6\,170,45 \text{ mm}^2$$

Určení velikosti přístřihu dle (2.3):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6170,45}{\pi}} = 88,64 \text{ mm}$$

Z výše vypočteného vzorce lze stanovit, že výchozí polotovár bude mít průměr zaokrouhlený na hodnotu 89 mm. Ta může mít jistou nepřesnost, která je způsobena zjednodušením a neuvažováním skutečné geometrie součásti.



Obr. 34 Rozdělení výtažku [3]

Určení počtu tahů dle (2.14):

$$n = 1 + \frac{\ln d_n - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln m'} = 1 + \frac{\ln 45 - \ln(0,5 \cdot 89)}{\ln 0,75} = 0,96$$

Z uvedeného výpočtu je zřejmé, že zhotovené součásti o průměru 46 mm lze vytvořit na jednu tažnou operaci. Volba součinitele tažení m_1 byla zvolena 0,5 pro první tah a m' byl zvolen 0,75.

Nyní, když je jisté, že bude stačit jedna tažná operace pro vytvoření výtažku, lze přidat k průměru přístřihu přídavek na ostřížení, který je pro první tažnou operaci 3%. O tuto hodnotu bude tedy navýšen skutečný průměr 89 mm. S ohledem na maximální ekonomické využití se tento přídavek ne vždy používá nebo se následně experimentálně upravuje dle potřeby. Při výpočtech se počítá s konstantní tloušťkou stěny, ale ve skutečnosti dochází k menšímu zmenšení v některých oblastech a tedy i ke zvětšení uvažované plochy výtažku. Pro účely práce bude však s přídavkem na ostřížení dále počítáno. Pak tedy průměr přístřihu bude:

$$D_0 = D \cdot 1,03 = 89 \cdot 1,03 = 91,67 \text{ mm}$$

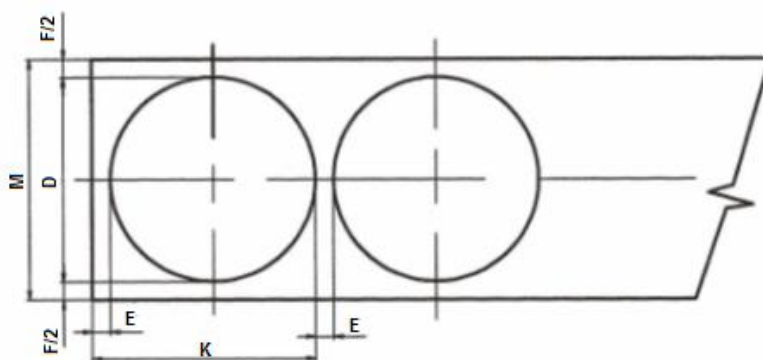
Výsledný průměr včetně přídavků bude tedy v dalších výpočtech uvažován $D_0 = 92 \text{ mm}$

3.2 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY – STRÍHÁNÍ [4], [16]

• Nástřihový plán

Pro výrobu součásti může být výchozím polotovarem přístřih zhotovený z pásu plechové tabule nebo ze svitku výchozího materiálu. Pro minimalizaci odpadu, který zvyšuje cenu výrobku, budou navrženy a porovnány některé varianty dělení tabulí a uspořádání výstřížků, ze kterých bude zvolena nejvhodnější varianta.

Velikosti můstek a mezer mezi jednotlivými výstřížky (obr. 35) byly určeny dle přílohy 1. Tyto a další důležité počáteční hodnoty potřebné pro výpočet počtu tabulí plechů nebo délek svitků na zadanou roční sérii jsou uvedeny v tab. 7.



Obr. 35 Nástřihový plán

Tab. 7 Vstupní hodnoty pro výpočet využití materiálu

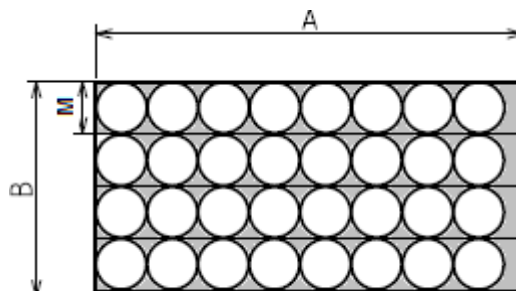
| Průměr přístřihu D_0 [mm] | Tloušťka plechu s_0 [mm] | Můstek E [mm] | Můstek F [mm] | Krok stříhu $K = D_0 + E$ [mm] | Šířka pásu $M = D_0 + F$ [mm] |
|-----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 92 | 1 | 2 | 6 | 94 | 98 |

a) Výroba přístřihu z tabule plechu 2000x1000 (AxB) – podélné dělení

Počet pásů z jedné tabule n_p :

$$n_p = \frac{B}{M} = \frac{1000}{98} = 10,2 \text{ pásů}$$

Z výpočtu lze stanovit, že z jedné tabule plechu bude vytvořeno 10 pásů, které lze použít pro další výpočty.



Obr. 36 Schéma podélného dělení

Počet přístřihů z jednoho pásu i_p :

$$i_p = \frac{A}{K} = \frac{2000}{94} = 21,2 \text{ přístřihů}$$

Počet přístřihů z jednoho pásu plechu byl vypočítán na 21 přístřihů. S touto hodnotou bude dále počítáno. Celkový počet přístřihů z tabule je součinem počtu pásů z tabule a počtu přístřihů z pásu.

Počet přístřihů z jedné tabule i_t :

$$i_t = n_p \cdot i_p = 10 \cdot 21 = 210 \text{ přístřihů}$$

Z jedné tabule plechu při daném rozložení lze tedy vystřihnout 210 přístřihů.

Využití jedné tabule μ :

$$\mu = \frac{i_t \cdot S_p}{S_t} \cdot 100 = \frac{i_t \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}}{A \cdot B} \cdot 100 = \frac{210 \cdot \frac{\pi \cdot 92^2}{4}}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 69,8\%$$

Využití tabule plechu o rozměru 2000x1000 mm dělené na podélné pásy s přímým uspořádáním výstřihků je 69,8%.

b) Výroba přístřihu z tabule plechu 2000x1000 (AxB) – příčné dělení

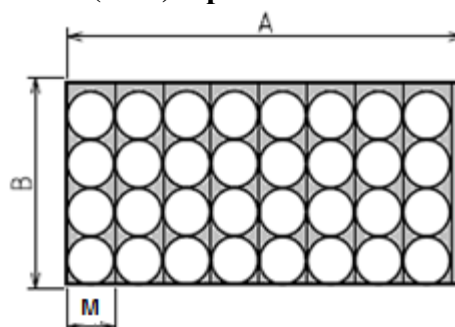
Počet pásů z jedné tabule n_p :

$$n_p = \frac{A}{M} = \frac{2000}{98} = 20,4 \text{ pásů}$$

Z výpočtu lze stanovit, že z jedné tabule plechu bude vytvořeno 20 pásů, které lze použít pro další výpočty.

Počet přístřihů z jednoho pásu i_p :

$$i_p = \frac{B}{K} = \frac{1000}{94} = 10,6 \text{ přístřihů}$$



Obr. 37 Schéma příčného dělení

Počet přístřihů z jednoho pásu plechu byl vypočítán na 10 přístřihů. S touto hodnotou bude dále počítáno. Celkový počet přístřihů z tabule je součinem počtu pásů z tabule a počtu přístřihů z pásu.

Počet přístřihů z jedné tabule i_t :

$$i_t = n_p \cdot i_p = 20 \cdot 10 = 200 \text{ přístřihů}$$

Z jedné tabule plechu při daném rozložení lze tedy vystřihnout 200 přístřihů, což je méně, než u předchozí varianty.

Využití jedné tabule μ :

$$\mu = \frac{i_t \cdot S_p}{S_t} \cdot 100 = \frac{i_t \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4}}{A \cdot B} \cdot 100 = \frac{200 \cdot \frac{\pi \cdot 92^2}{4}}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 66,5\%$$

Využití tabule plechu o rozměru 2000x1000 mm dělené na příčné pásy s přímým uspořádáním výstřížků je 66,5%.

c) Výroba přístříhu ze svitku o šířce $M = 98$ mm

Schéma uspořádání výstřížků pro stříhání ze svitku je stejné jako při přímém uspořádání, které je uvedeno výše v obr. 36 a 37. Využití se vypočítá z velikosti délky kroku a oblasti pro vystřížení přístříhu.

Využití svitku μ_s :

$$\mu_s = \frac{S_p}{S_u} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot D_0^2}{4}}{M \cdot K} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot 92^2}{4}}{94 \cdot 98} \cdot 100 = 72,2\%$$

Využití svitku plechu o šířce 98 mm je 72,2%.

Z uvedených variant a jejich porovnání navzájem je nejméně výhodná varianta výroby přístříhu z tabule plechu o rozměru 2000x1000 mm v příčném dělení pásů plechu, kde je využití pouze 66,5%. Naopak nejvýhodnější varianta je vystřihování přístříhů ze svitku plechu o šířce 98 mm, kde je využití 72,2%.

Z toho plyne, že při tomto provedení bude vznikat nejmenší množství odpadu a vzhledem k velikosti série, která je 100 000 ks/rok je tato varianta nejvýhodnější. Na základě těchto hodnot budou dodávány svitky o hmotnosti 4 500 kg a šířce 98 mm, kde délka svitku bude 5 849,47 m. Z jednoho svitku bude vytvořeno 62 228 přístříhů.



Obr. 38 Svitek plechu [16]

• Střížná síla

Vztah pro určení střížné síly potřebné k vystřížení přístříhu:

$$F_s = l \cdot s_0 \cdot \tau_s \cdot n_0 \quad [N]$$

Kde: l – délka střížné hrany (obvod výstřížku) [mm]

τ_s – pevnost ve stříhu ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$) [MPa]

n_0 – koeficient zahrnující vnější vlivy, především otupení nástroje ($n = 1,2 \div 1,55$) [-]

Výpočet střížné síly:

$$F_s = l \cdot s_0 \cdot \tau_s \cdot n_0 = \pi \cdot 92 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 720 \cdot 1,3 = 216\,423,1 \text{ N} = 216,4 \text{ kN}$$

Střížná síla potřebná k vystřížení přístříhu o průměru 92 mm je 216,4 kN. Tato síla bude velmi důležitým faktorem pro volbu vhodného stroje pro výrobu přístříhů.

3.3 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY – TAŽENÍ [4], [16],

- **Součinitele tažení**

Dle tab. 3 se volí součinitele tažení pro jednotlivé operace v závislosti na poměrné tloušťce. Koeficient, podle kterého jsou vybrány hodnoty z tabulky, se vypočte dle vztahu:

$$\frac{S_0}{D_0} \cdot 100 = \frac{1}{92} \cdot 100 = 1,087 \text{ mm}$$

$$m_1 = 0,48 \quad m_2 = 0,75 \quad m_3 = 0,78 \quad m_4 = 0,81 \quad m_5 = 0,83$$

- **Počet tažných operací**

Výše bylo zmíněno, že při tažení je možné dosáhnout v jednom tahu určitého minimálního průměru výtažku. Průměry, kterých lze dosáhnout lze vyjádřit z rovnice 2.13 společně s vypočtenými součiniteli v předchozí kapitole.

$$1. \text{ tah: } d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,48 \cdot 92 = 44,16 \text{ mm} \Rightarrow \text{průměr } d_1 = 45 \text{ mm}$$

Z toho plyne, že požadovaný průměr výtažku, který je podle výkresu 45 mm, lze vytvořit na jeden tah a nemusí se zde používat víceoperační tažení. Jsou tedy dodržena teoretická bezpečnostní opatření, podle kterých by měl být výtažek v pořádku vyroben.

Součinitel tažení je závislý na velké řadě faktorů ovlivňujících jeho velikost a následný průměr minimálního výtažku. Z tohoto důvodu jsou tyto výpočty pouze orientační s větší bezpečností a v praxi se experimentálně zkouší podle možností hodnoty zmenšovat, aby se ušetřily náklady na výrobu a doba tažení.

- **Poloměry zaoblených tažných hran**

- a) Zaoblení tažnice

Poloměr zaoblení tažné hrany tažnice dle (2.23):

$$r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{(D - d) \cdot s} = 0,8 \cdot \sqrt{(92 - 45) \cdot 1} = 6,85 \text{ mm}$$

Na základě této spočtené hodnoty lze stanovit, že zaoblení tažnice musí být 7 mm. V tomto případě je ale požadovaný poloměr zaoblení 3 mm a proto je zapotřebí změnit tažné hrany na 3 mm nebo použít po tažení kalibraci.

Jelikož kalibrování výtažku by zvedlo náklady na výrobu každého kusu, bude tedy změněn poloměr zaoblení tažnice na 3 mm, která bude vyzkoušena v provozu a zhodnocena. V případě nevyhovujících výsledků bude změněna výkresová dokumentace na poloměr zaoblení 7 mm. Ve druhém případě bude vytvářen výtažek na poměru zaoblení 7 mm a následně bude použita jako další operace kalibrování na požadovaný poloměr zaoblení, který je 3 mm.

- b) Zaoblení tažníku

Poloměr zaoblení tažné hrany tažníku dle (2.25):

$$r_{tv} = (1 \text{ až } 2) \cdot r_{tc} = 1 \cdot 7 = 7 \text{ mm}$$

Tažné hrany tažnice i tažníku jsou zvoleny stejné hodnoty, tedy 7 mm, a jak bylo zmíněno u zaoblení tažnice, je zapotřebí tyto hrany experimentálně upravit nebo po tažení kalibrovat.

- **Volba přidržovače**

Určení nutnosti použití přidržovače dle ČSN 22 7301 (2.17, 2.18):

$$u = 50 \left(e - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D}} \right) = 50 \left(1,9 - \frac{\sqrt{1}}{\sqrt[3]{92}} \right) = 83,9$$

Dle ČSN 22 7301 je nutné použít při tažení prvního tahu přidržovače, je-li: $u \geq \frac{100 \cdot d}{D}$

1. operace $\frac{100 \cdot d}{D} = \frac{100 \cdot 51}{92} = 55,44$ – nutné použít přidržovač

Jelikož platí $83,9 > 55,44$, platí podmínka použití a je nutné tedy v prvním tahu použít přidržovač.

- **Tažná mezera**

Určení tažné mezery dle ČSN 22 7301 (2.15):

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s = 1,25 \cdot 1 = 1,25 \text{ mm}$$

Tažná mezera bude podle výpočtů zvolena 1,25 mm.

Při určení velikosti tažné mezery je možné stanovit velikost tažné vůle, která je rovna dvojnásobku počítané mezery. Vzorec pro výpočet je tedy:

$$v_1 = 2 \cdot z_1 = 2 \cdot 1,25 = 2,5 \text{ mm}$$

Tažná vůle tedy bude nabývat hodnoty 2,5 mm a dle této hodnoty bude dále počítáno a konstruováno.

- **Celková tažná síla a práce**

Celková tažná síla se určí jako součet síly přidržovače a tažné síly. Síla přidržovače je dána součinem plochy pod přidržovačem a měrného tlaku (2.20). Měrný tlak pro tažení korozivzdorné oceli byl zvolen dle (tab. 4) 2,5 MPa. Plochy pod přidržovačem byly určeny pomocí softwaru Autodesk Inventor 2014.

Určení síly přidržovače:

$$F_p = S \cdot p = 4604,79 \cdot 2,5 = 11\,512 \text{ N}$$

Určení hodnoty přidržovací síly je pouze orientační. V praxi se tato hodnota nejčastěji volí experimentálně a kontroluje se podle simulací. Při experimentování v praxi se začíná s přidržovací silou 10% z tažné síly.

Výpočet síly dle (2.19). Počítá se z maximální síly před utržením dna výtažku. Mez pevnosti materiálu 17 240 je v rozmezí 520 až 720 MPa. Pro teoretické vypočtení tažných sil se používá vždy vyšší hodnota, která zaručí bezpečné tažení bez chyb. Součinitel n je zvolen podle příslušného součinitele tažení a poměrnou tloušťkou.

Maximální tažná síla, při níž dojde k utržení dna:

$$F_t = \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m \cdot n = \pi \cdot 51 \cdot 1 \cdot 720 \cdot 1,1 = 126\,895,2 \text{ N}$$

Určení celkové tažné síly dle (2.21):

$$F_{tc} = F_t + F_p = 126\,895,2 + 11\,512 = 138\,407,2 \text{ N} = 138,4 \text{ kN}$$

Dle kapitoly 2.3 se pro volbu vhodného stroje navyšuje celková tažná síla o 30%. Bude tedy zvolen lis o jmenovité síle větší než $F_c = 1,3 \cdot 138,4 = 179,9$ kN.

Práce lisu vykonaná v jednom zdvihu je dle (2.16) dána celkovou tažnou silou a hloubkou výtažku. Opravný součinitel c je v rozmezí 0,6 až 0,8 a je zvolen 0,7.

Určení tažné práce dle (2.22):

$$A = \frac{c \cdot F_{tc} \cdot H}{1000} = \frac{0,7 \cdot 138\,407,2 \cdot 15}{1000} = 1\,453,3\,J = 1,45\,kJ$$

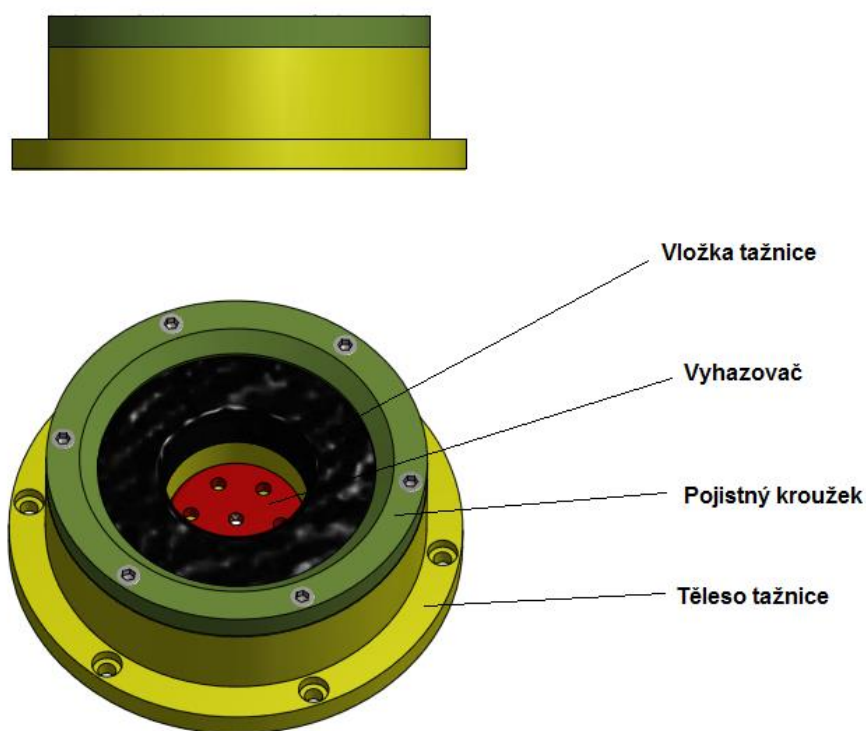
Práce, kterou vykoná lis při jednom zdvihu, bude rovna 1,45 kJ.

3.4 NÁVRH NÁSTROJE [3], [4], [11], [16]

Podle provedených výpočtů bude výtažek vyroben na jednu tažnou a několik střížných operací. S ohledem na požadovaný objem výroby a rychlost výroby, která je s tím spojená, je třeba uvažovat o postupovém stříhadle a následném tažném stroji.

Při postupu návrhu nástroje pro tažení je důležité řídit se vypočtenými hodnotami, a to v tomto případě průměrem přístříhu 92 mm a hloubkou tažení 15 mm. Výsledná součástka je rotačního tvaru s přírubou, je tedy jasné, že funkční části nástroje musí být také rotační a kopírovat tvar výsledného výtažku. Sestavu tažného nástroje lze rozdělit na dvě části a to na horní (tvářecí) a spodní (pevnou)

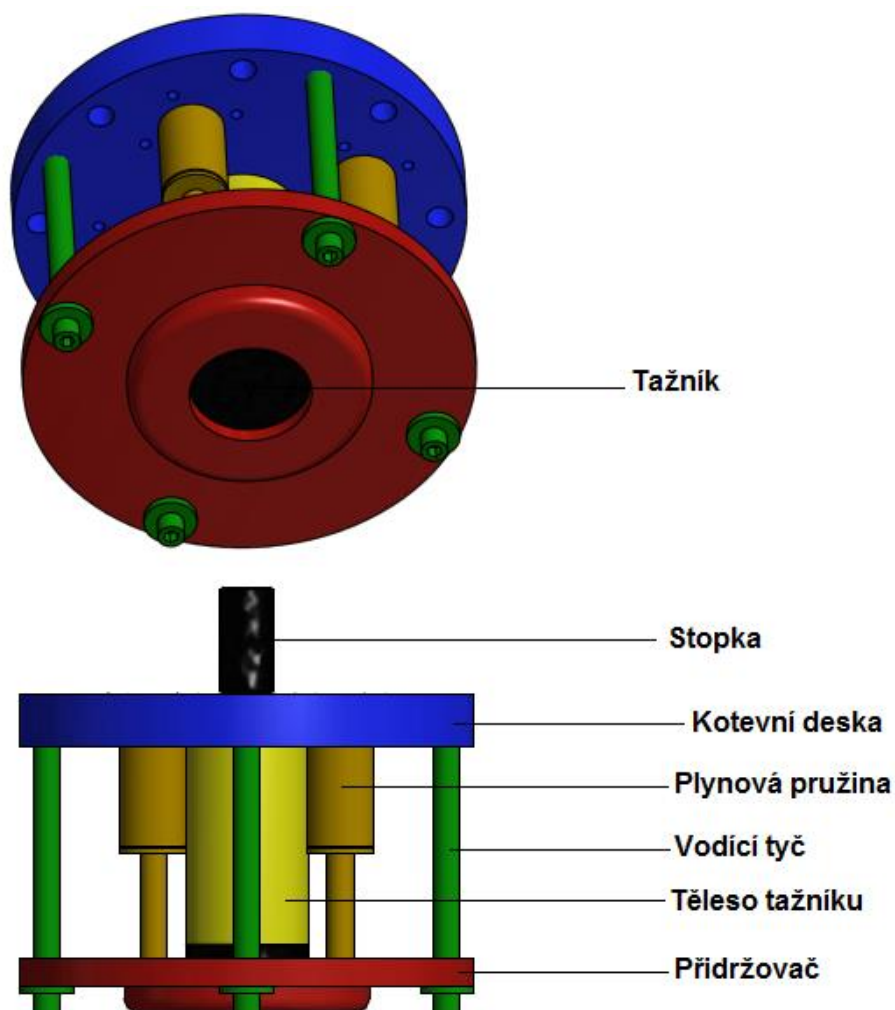
Dolní díl je na obr. 39. Je složený z tělesa tažnice, které je ukotvené do spodní části tažného stroje, vložky tažnice, vyhazovače a pojistného kroužku. Do tělesa tažnice je ve spodní části dutiny vložen vyhazovač, který je přišroubován závitem M10 k vyhazovací části na stroji. Vyhazovač má v sobě vyvrtaných 6 děr o průměru 5 mm, které plní funkci odvodu vzduchu, který by bránil plynulému tažení. Dále je v tažnici nalisovaná vložka tažnice, která je navíc zajištěna pojistným kroužkem, který je do tělesa tažnice přišroubovaný za pomoci šesti šroubů M6. Vložka tažnice je z pevného materiálu, která plní tažnou funkci a je přes její hranu tvořen výtažek.



Obr. 39 Spodní část tažného nástroje

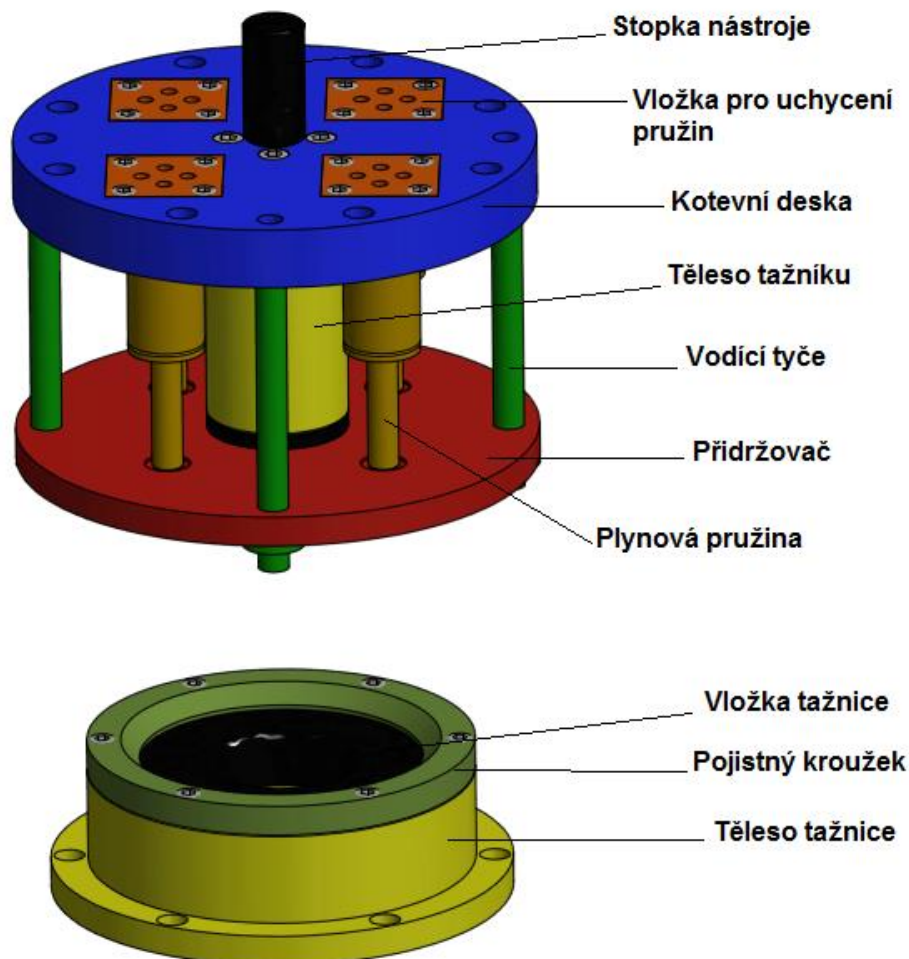
Jako horní sestava je definována pohybující se část (obr. 40), která se skládá z kotevní desky, tažníku, tělesa tažníku, stopky, plynových pružin, vodících tyčí, přidržovače a vložek pro ukotvení plynových pružin.

Kotevní deska zde slouží jako základní technologická část, do které je uchycena většina dílů sestavy. Nejprve se smontuje za pomoci čtyř šroubů M6x40 tažník a těleso tažníku. Tažník je vytvořený z oceli po tepelném zpracování. Přes jeho hranu se provádí tažení výtažku a je tedy náchylný na opotřebení. Pro co nejmenší tření, které zhoršuje kvalitu výtažku, je funkční část tažníku leštěna na drsnost povrchu $Ra = 0,2$. Po smontování těchto dílů je možné uchytit těleso tažníku do kotevní desky taktéž za pomoci čtyř šroubů M6. Tělesem tažníku i tažníkem je vrtná díra o průměru 5 mm v ose nástroje pro odvod vzduchu při tažení, který zhoršuje podmínky a zvyšuje nároky na síly. Dále jsou v kotevní desce přišroubovány celkem čtyři vložky pro uchycení plynových pružin. Ty jsou přišroubovány z vrchní části kotevní desky spolu se čtyřmi plynovými pružinami. Přidržovač je zde přichycen za pomoci čtyř vodících tyčí. Na opačném konci je vytvořený závit M10, který je zašroubován do kotevní desky do připravených otvorů. Jako poslední musí být umístěna přesně v těžišti nástroje stopka, která musí tvarově pasovat do otvoru v těžišti stroje. Tato stopka je do kotevní desky našroubována.



Obr. 40 Horní část tažného nástroje

Na obr. 41 je vyobrazen vypracovaný model sestavy tažného nástroje pro první tažnou operaci. Tato sestava funguje na principu zdvihu tažného stroje, do kterého je tento nástroj přimontován. Horní díl (kotevní deska) je uchycen pomocí technologických otvorů po obvodu součásti. Spodní část (těleso tažnice) je ukotveno do spodní části tažného nástroje pomocí otvorů po obvodu.


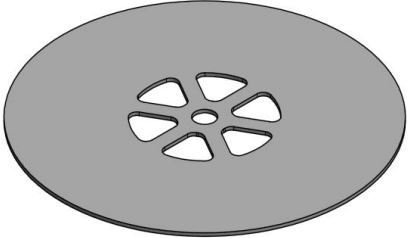
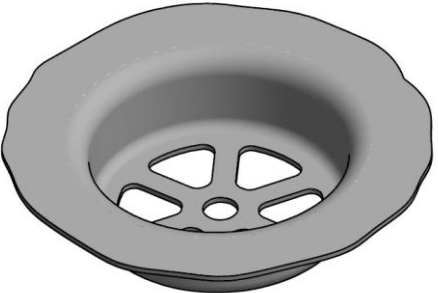
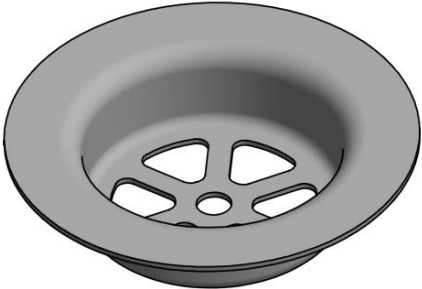
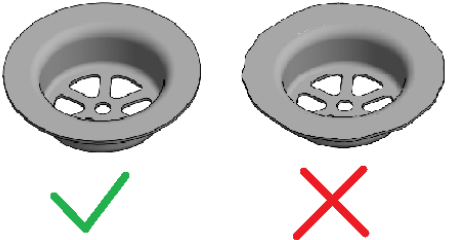


Obr. 41 Tažný nástroj pro třetí operaci

Při tvorbě výtažku je nutné nejprve vložit přístřih na vložku tažnice, kde zapadne přímo do otvoru v základacím kroužku a tím se zajistí jeho přesná poloha pro tažení. Po spuštění stroje začne horní část sjíždět dolů, kde nejprve dolehne přidržovač na přístřih. Po dosednutí začnou na přidržovač působit čtyři plynové pružiny, které jsou regulovatelné na potřebnou přidržovací sílu, která je 11 512 N. Po přitlačení potřebnou silou se začne vysunovat tažník a začne vytvářet výsledný tvar výtažku. Po dosažení úrovně prohloubení 15 mm se nástroj zastaví a začne se zvedat. Při zdvihu se nejprve vysune celý tažník, poté se uvolní přidržovač tím, že na něj přestanou tláčit plynové pružiny, a následně se začne přidržovač zvedat prostřednictvím vodících tyčí. Výtažek zůstane ve vložce tažnice. Vyhazovač výtažek vysune ven a poté ho lze snadno vyjmout.

Pro umístění stopky je tedy důležitý výpočet těžiště tažného nástroje. K tomu lze použít program například Autodesk Inventor Professional nebo jiných programů nebo lze početně zjistit. V tomto případě je to jednoduché, protože součást je rotační a celý nástroj je také rotačního tvaru, a proto bude těžiště nástroje přímo v ose tudíž uprostřed. Umístění stopky v těžišti je vidět na obrázku 40 a 41.

Tab. 8 Návrh postupu výroby

| Číslo operace | Popis činnosti | Vyobrazení |
|---------------|------------------------------------|--|
| 1 | Rovnání svitku plechu |  |
| 2 | Vystřížení přístřihu a otvorů |  |
| 3 | Tažení součásti na požadovaný tvar |  |
| 4 | Ostřížení technologických přídavek |  |
| 5 | Kontrola výrobku |  |

3.5 VOLBA VHODNÉHO STROJE – TAŽENÍ [11], [16]

U volby vhodného tvářecího stroje je zapotřebí vycházet ze spočtených tažných sil, kinematiky stroje, ale také z vybavenosti stroje. Parametry stroje musí vyhovovat uvažované konstrukci nástroje a rozměrům výtažku. Je třeba volit stroj s dostatečným zdvihem a prostorem pro upnutí nástroje jak v desce stolu, tak v beranu lisu.

Při výrobě zadané součásti bude pro tažné operace použit mechanický dvoudobý lis, který vychází z modelu LKDA 315 společnosti Žďas a.s. Jedná se o klikový lis se jmenovitou silou 3 150 kN. Ukázka stroje je znázorněna na obr. 42. Lis je vybaven centrálním oběhovým mazáním a motorickým přestavováním beranu s odměřováním polohy. Při volbě se vycházelo z velikosti vypočítaných tažných sil a především z požadovaného objemu produkce. Mechanické lisy umožňují větší počet zdvihů a tím zajištění dostatečné výrobní kapacity. Neméně důležité byly i nižší pořizovací náklady a fakt, že vyráběný dílec je jednoduchá součást rotačního tvaru s přírubou.

Celková síla spočtená dle vzorce 2.21 je 179,9 kN. Zvolený lis je tedy optimální s dostatečnou rezervou.

Tab. 9 Technické parametry stroje LKDA 315

| Základní technické parametry | | LKDA 315 |
|--|-------------------|-------------|
| Jmenovitá síla | kN | 3 150 |
| Sevřená výška | mm | 700 |
| Zdvih | mm | 300 |
| Počet zdvihů – trvale | min ⁻¹ | 20 |
| Počet zdvihů – jednotlivě | min ⁻¹ | 12 |
| Upínací plocha beranu | mm | 2050 x 1050 |
| Přestavení beranu | mm | 250 |
| Upínací plocha stolu – šířka x hloubka | mm | 2200 x 1200 |
| Přidržovací síla | kW | 630 |
| Zdvih spodního přidržovače | mm | 125 |
| Přestavení spodního přidržovače | mm | 80 |
| Výkon hlavního motoru | kW | 45 |
| Rozměry lisu A | mm | 3 050 |
| Rozměry lisu B | mm | 3 200 |
| Rozměry lisu C | mm | 5 300 |



Obr. 42 Mechanický lis LKDA 315 [16]

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [1],[15]

Aby bylo možné posoudit z finančního hlediska charakter výroby a provést srovnání jednotlivých variant, je třeba provést ekonomické zhodnocení. Jde tedy především o výpočet nákladů spojených s výrobou dané součástky navrženou technologií.

Tab. 10 Vstupní hodnoty ekonomického zhodnocení

| | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Šířka svitku: | $M = 98 \text{ mm}$ |
| Délka svitku: | $l_{sv} = 5\,849,47 \text{ m}$ |
| Tloušťka svitku: | $s_0 = 1 \text{ mm}$ |
| Délka kroku: | $K = 94 \text{ mm}$ |
| Hustota oceli: | $\rho_{Fe} = 7\,850 \text{ kg/m}^3$ |
| Počet přístřihů ze svitku: | $n_{vs} = 62\,228 \text{ ks}$ |
| Cena materiálu: | $c_{m1} = 88 \text{ Kč/kg}$ |
| Zhodnocení odpadu: | $c_{od1} = 4 \text{ Kč/kg}$ |
| Výrobní série: | $Q = 100\,000 \text{ ks/rok}$ |

a) Výpočet nákladů na materiál

- Počet svitků na roční sérii:

$$P_t = \frac{Q}{n_{vs}} = \frac{100\,000}{62\,228} = 1,61 \text{ svitků} \quad (4.1)$$

Je tedy zřejmé, že na roční sérii bude zapotřebí necelých dvou svitků. Přesněji 1,61 svitků.

- Cena jednoho svitku:

$$C_{mat} = c_{m1} \cdot P_t \cdot m_s = 88 \cdot 1,61 \cdot 4500 = 637\,560 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

$$m_s = V_s \cdot \rho_{Fe} = 0,098 \cdot 5\,849,47 \cdot 0,001 \cdot 7850 = 4\,500 \text{ kg}, \quad (4.3)$$

kde: V_s – objem svitku [m^3]
 m_s – hmotnost svitku [kg]
 ρ_{Fe} – hustota oceli [kg/m^3]

- Roční příjem z odpadu:

$$C_{od} = c_{od1} \cdot P_t \cdot m_{od} = 4 \cdot 1,61 \cdot 1251 = 8\,056 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

$$m_{od} = m_s \cdot (1 - \mu_s) = 4500 \cdot (1 - 0,722) = 1\,251 \text{ kg}, \quad (4.5)$$

kde: μ_s – využití svitku [-]
 m_{od} – hmotnost odpadu [kg]

- Celkové náklady na materiál:

$$N_{mat} = C_{mat} - C_{od} = 637\,560 - 8\,056 = 629\,504 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

Z vypočtených hodnot lze vidět, že po odečtení financí za výkup odpadu by byly celkové náklady na materiál v hodnotě 629 504 Kč. Tyto náklady budou dále použity pro výpočet ceny jednoho výrobku a dalších výpočtů.

b) Náklady na nástroje (fixní náklady)

Cena nástroje pro výrobu přístříhu: $N_{n1} = 40\,000$ Kč

Cena nástroje pro tažení: $N_{n2} = 60\,000$ Kč

Cena nástroje pro ostřížení: $N_{n3} = 40\,000$ Kč

Celkové náklady na nástroje: $N_n = 140\,000$ Kč

▪ Celkové náklady

Celkové náklady jsou pouze orientační. Nejsou zde započítány ceny nákupu strojů, fixní náklady (jednotlivé nástroje), energie, mzdy zaměstnanců, atd. Z toho důvodu lze orientačně navýšit cenu celkových nákladů z ceny na materiál o 10%.

$$N_c = N_{mat} \cdot 1,1 = 637\,560 \cdot 1,1 = 692\,454 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

▪ Náklady na jeden výtažek

Náklady na jeden výtažek se odvozují z celkových nákladů pro výrobu podělených počtem vyráběných kusů v sérii.

$$N_v = \frac{N_c}{Q} = \frac{692\,454}{100\,000} = 6,93 \frac{\text{Kč}}{\text{kus}} \quad (4.8)$$

Z výpočtů je zřejmé, že jeden výtažek lze vyrobit bez vedlejších nákladů za cenu 7 Kč.

▪ Cena výtažku se ziskem 30%

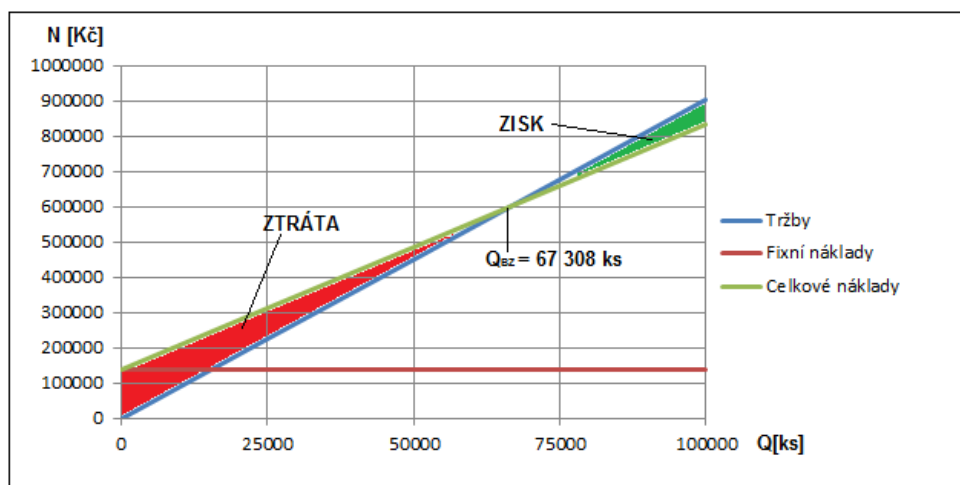
$$N_{vz} = N_v \cdot 1,3 = 6,93 \cdot 1,3 = 9,01 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

Se ziskem 30% lze prodávat hotový výrobek za 9 Kč za kus. Tuto cenu je nutné přizpůsobit aktuální ceně na trhu, kde lze procenta zisku měnit.

▪ Bod zvratu

$$Q_{BZ} = \frac{N_n}{N_{vz} - N_{vf}} = \frac{140\,000}{9,01 - 6,93} = 67\,307,7 \text{ ks} \quad (4.10)$$

Výpočty bylo zjištěno, že bod zvratu, kdy se stává výroba technologie ziskovou je po 67 308 vyrobených kusech při sériové výrobě 100 000 ks ročně. Z toho vyplývá, že daná technologie je ekonomicky výhodná. Graf závislosti nákladů objemu výroby je na obr. 43.



Obr. 43 Grafické řešení bodu zvratu

5 ZÁVĚRY

Mřížka je součástí sestavy umyvadlové výpusti, kde slouží jako síto větších nečistot, které se mohou dostat do odpadního potrubí. Jako vstupní materiál je použita korozivzdorná ocel 17 240. Jedná se o rotační dílec s přírubou o průměru přístřihu 92 mm, který se bude vyrábět v sérii 100 000 ks za rok.

S ohledem na minimální náklady spojené s ideálním tvarem součásti, byly rozebrány některé možné technologie výroby, ze kterých nejvíce vyhovuje tažení bez zeslabení stěny. Byly provedeny potřebné kontrolní a technologické výpočty. Podle vypočítaného průměru přístřihu bude zvolen jako vstupní materiál svitek plechu tloušťky 1 mm, šířce 98 mm a hmotnosti 4500 kg. Při srovnání využití vstupního materiálu mezi variantami přístřihu z tabule plechu nebo svitku, vyšlo využití svitku nejvýhodněji a to na 72,2%. Tento druh vstupního materiálu je výhodnější i z hlediska automatizace, kde lze lépe využít postupové stříhadlo na prostřížení otvorů v součástce a následný přístřih.

V technologických propočtech bylo zjištěno, že lze součástku vyrobit na jednu tažnou operaci, kde bude zapotřebí síla na protažení společně se silou přidržovací o velikosti 138,4 kN. Pro technologii tažení byl navržen lis LKDA 315 se jmenovitou silou 3 150 N, který dle svých parametrů bude pro zadanou součást plně vyhovující. Byla navržena výkresová dokumentace sestavy tažného nástroje a jeho hlavních částí.

V ekonomické části byly provedeny pouze orientační výpočty, ve výpočtech nejsou zahrnuté náklady na mzdy zaměstnanců a výrobní režie. Ze známých hodnot výpočtů byl určen bod zvratu, jehož hodnota je při uvažovaném třicetiprocentním zisku po vyrobení 67 308 kusů.

Z výsledků této práce je patrné, že výrobní cena jednoho kusu je 9 Kč. Tato hodnota bude v praxi ještě navýšena podle potřeb výrobního podniku. S jistotou lze říci, že dle těchto navržených technologií a technologických propočtů je možné touto cestou součástku zavést do výroby a sériově vyrábět.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [2]

1. Akademie tváření: Hluboké tažení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, č. 11 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni.html>>
2. Citace *Generátor citací* [online]. 2004 [cit. 2014-05-22]. Citace.com. Dostupné z: <<http://citace.com/generator.php?druh=8&ukol=1>>.
3. DVOŘÁK, Milan, Michaela MAREČKOVÁ *Ust.fme.vutbr.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-05-20]. VYBRANÉ TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_4.htm>.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
6. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
7. FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
8. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli (odborná kniha)*. 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
9. Grafit v mazivech - proč a kdy. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, č. 11 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/grafit-v-mazivech-proc-akdy.html>>
10. HELLWIG, W. und E. SEMLINGER. *Spanlose Fertigung: Stanzen*. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.
11. HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. *Metal Forming: Mechanics and Metalurgy*. 3 th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
12. LENFELD, Petr *Technologie II* [online]. 2005 [cit. 2014-05-19]. *Technologie plošného tváření - tažení*. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm>
13. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
14. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.
15. TRIKER. [online]. [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <<http://www.triker.cz/k-0601/Sifony-vypusti-lapace-podlahove-zlaby/Umyvadlove-a-drezove-vypusti/>>
16. ŽĎAS a.s.: *Mechanické lisy* [online]. 2013 [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <<http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?catid=19>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Značka | Popis | Jednotka |
|-----------|--|-----------------------|
| A | Tažná práce | [J] |
| c | koeficient tažné práce | [-] |
| c_{mat} | Cena jednoho svitku | [Kč] |
| c_{od} | Roční příjem, z odpadu | [Kč] |
| D | Průměr rovinné části výtažku | [mm] |
| d | Průměr hotového výtažku | [mm] |
| D_0 | Průměr výchozího polotovaru | [mm] |
| d_1 | Průměr, odpovídající rovné části dna válcového výtažku | [mm] |
| $D_{př}$ | Největší průměr (průměr příruby) | [mm] |
| e | Materiálová konstanta | [-] |
| F_p | Síla přidržovače | [N] |
| F_s | Střížná síla | [N] |
| F_t | Tažná síla | [N] |
| F_{tc} | Celková tažná síla | [N] |
| h | Výška hotového výtažku | [mm] |
| H | Výška rovinné části výtažku bez zaoblení | [mm] |
| i_p | Počet přístřihů z pásu | [ks] |
| l | Délka střížné hrany (obvod výstřizku) | [mm] |
| m' | Střední součinitel tažení | [-] |
| m_1 | Součinitel tažení pro 1. operaci | [-] |
| m_c | Celkový součinitel tažení | [-] |
| m_{od} | Hmotnost odpadu | [kg] |
| m_s | Hmotnost svitku | [kg] |
| n | Počet tažných operací | [-] |
| N_c | Celkové náklady | [Kč] |
| n_l | Počet otáček lisu | [min^{-1}] |
| N_{mat} | Celkové náklady na materiál | [Kč] |
| N_n | Celkové náklady na nástroje | [Kč] |
| n_o | Koeficient zahrnující vnější vlivy, především otupení nástroje | [-] |
| n_p | Počet pásů z tabule | [ks] |
| N_v | Náklady na jeden výtažek | [Kč] |
| N_{vz} | Cena výtažku se ziskem | [Kč] |
| p | měrný tlak mezi přidržovačem a přírubou | [MPa] |
| p_t | Pracovní zdvih tažníku | [mm] |
| P_t | Počet svitků na roční sérii | [ks] |
| Q_{BZ} | Bod zvratu | [ks] |

| Značka | Popis | Jednotka |
|-----------------|---|----------------------|
| R | Poloměr zaoblení na výtažku | [mm] |
| R _m | Mez pevnosti | [MPa] |
| r _{tc} | Geometrie tažné hrany tažnice | [mm] |
| r _{tv} | Geometrie tažné hrany tažníku | [mm] |
| s | Tloušťka plechu | [mm] |
| S | Plocha příruby pod přídržovačem | [mm ²] |
| S ₁ | Plocha rovné části dna výtažku | [mm ²] |
| S ₂ | Plocha zaoblené části výtažku | [mm ²] |
| S ₃ | Rovinná plocha výtažku | [mm ²] |
| S ₄ | Plocha zaoblené části výtažku | [mm ²] |
| S ₅ | Plocha rovné části vršku výtažku | [mm ²] |
| S _v | Součet ploch jednotlivých částí povrchu výtažku | [mm ²] |
| u | Součinitel použití přídržovače | [-] |
| v | Rychlost tažení | [mm/s] |
| V _p | Objem přístříhu | [mm ³] |
| V _s | Objem svitku | [m ³] |
| V _v | Objem hotového výtažku | [mm ³] |
| Z ₁ | Tažná mezera | [mm] |
| Z _d | Celkový zdvih beranu lisu | [mm] |
| τ _s | Pevnost ve stříhu | [MPa] |
| μ _s | Využití svitku nebo tabule | [-] |
| ρ _{Fe} | Hustota oceli | [kg/m ³] |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1 Příklady výtažků | 9 |
| Obr. 2 Model a výkres součásti..... | 10 |
| Obr. 3 Sestava umyvadlové výpusti | 10 |
| Obr. 4 Schéma řezání laserem..... | 11 |
| Obr. 5 Tryska vodního paprsku..... | 11 |
| Obr. 6 Schéma řezání plasmou..... | 12 |
| Obr. 7 Ukázka razníků | 12 |
| Obr. 8 Princip stříhání | 12 |
| Obr. 9 Rotační tlačení dutých těles | 13 |
| Obr. 10 Schéma metody Marform..... | 13 |
| Obr. 11 Schéma metody Hydroform | 14 |
| Obr. 12 Tažný nástroj | 14 |
| Obr. 13 Tažení bez a se ztenčením stěny..... | 14 |
| Obr. 14 Deformační schéma | 15 |
| Obr. 15 Tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo)..... | 15 |
| Obr. 16 Rozdělení výtažku na úseky pro počítání | 16 |
| Obr. 17 Určení přístřihu grafickým řešením..... | 17 |
| Obr. 18 Nákres tažení na více operací..... | 18 |
| Obr. 19 Tažná mezera..... | 19 |
| Obr. 20 Vznik vln na výtažku | 19 |
| Obr. 21 Průběh tažné síly..... | 20 |
| Obr. 22 Popis částí při tažení | 21 |
| Obr. 23 Geometrie tažné hrany r_{tc} | 21 |
| Obr. 24 Vložkované tažnice..... | 22 |
| Obr. 25 Schéma některých konstrukčních provedení vložek tažnic | 22 |
| Obr. 26 Zaoblení hran tažníku r_{tv} | 22 |
| Obr. 27 Schéma některých konstrukčních provedení tažníků | 23 |
| Obr. 28 Složitější tvar | 23 |
| Obr. 29 Schéma přidržovače a vložky tažnice | 23 |
| Obr. 30 Mechanický lis..... | 24 |
| Obr. 31 Hydraulický lis | 24 |
| Obr. 32 Ukázka kapalných maziv používaných v praxi..... | 25 |
| Obr. 33 Součástka s komponenty sestavy..... | 26 |
| Obr. 34 Rozdělení výtažku | 26 |
| Obr. 35 Nástřihový plán | 27 |
| Obr. 36 Schéma podélného dělení..... | 28 |
| Obr. 37 Schéma příčného dělení | 28 |
| Obr. 38 Svitek plechu | 29 |
| Obr. 39 Tažný nástroj pro třetí operaci..... | 34 |
| Obr. 40 Spodní část tažného nástroje | 32 |
| Obr. 41 Horní část tažného nástroje | 33 |
| Obr. 42 Mechanický lis LKDA 315 | 36 |
| Obr. 43 Grafické řešení bodu zvratu | 38 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Chemické složení oceli 1.4301 | 10 |
| Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 1.4301 | 11 |
| Tab. 3 Hodnoty součinitele tažení pro jednotlivé tahy | 18 |
| Tab. 4 Doporučený tlak přidržovače | 20 |
| Tab. 5 Materiály tažných nástrojů | 21 |
| Tab. 6 Doporučené tažné rychlosti kovů | 25 |
| Tab. 7 Vstupní hodnoty pro výpočet využití materiálu | 27 |
| Tab. 8 Návrh postupu výroby | 35 |
| Tab. 9 Technické parametry stroje LKDA 315 | 36 |
| Tab. 10 Vstupní hodnoty ekonomického zhodnocení | 37 |

SEZNAM PŘÍLOH

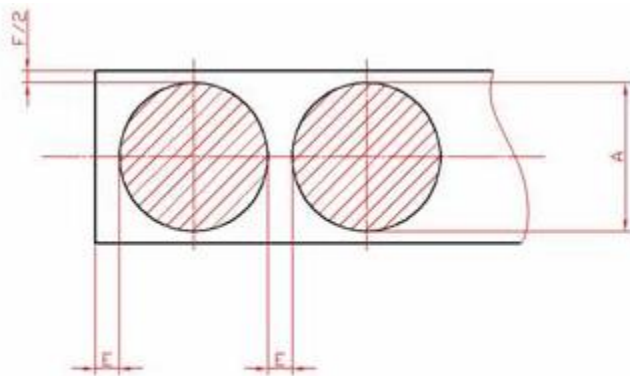
Příloha 1 Volba velikostí střížných můstků

Příloha 2 Schéma lisu LKDA 315

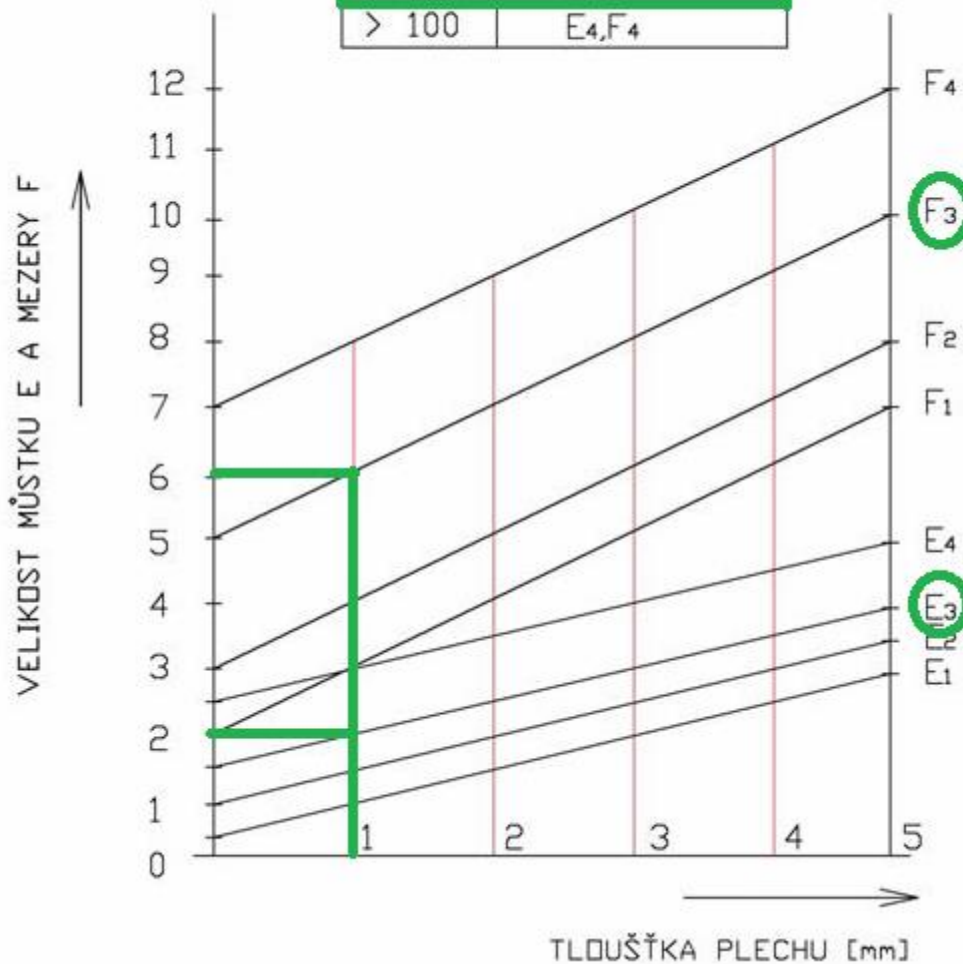
Výkresová dokumentace:

| | |
|---------------------------|-----------------|
| MŘÍŽKA UMYVADLOVÉ VÝPUSTI | BP-01-145298 |
| SESTAVA NÁSTROJE | BP-01-145298-00 |
| TĚLESO TAŽNÍKU | BP-01-145298-01 |
| TAŽNÍK | BP-01-145298-02 |
| VLOŽKA TAŽNICE | BP-01-145298-03 |

Příloha 1 Volba velikostí střížných můstků



| A[mm] | Příslušné E,F |
|--------|--------------------------------|
| do 15 | E ₁ ,F ₁ |
| 15-50 | E ₂ ,F ₂ |
| 50-100 | E ₃ ,F ₃ |
| > 100 | E ₄ ,F ₄ |



Příloha 2 Schéma lisu LKDA 315

