



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ZÁVĚSU LUSTRU

MANUFACTURE OF CHANDELIER HINGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lenka Mergeščíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	Bc. Lenka Mergeščíková
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
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 diplomové práce:

Výroba závěsu lustru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem zadání bude zpracovat možnosti výroby zadané součásti, navrhnout technologii výroby a vypracovat konstrukční řešení nástroje pro zadanou součástku

Cíle diplomové práce:

- Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.
- Literární studie vhodných technologií.
- Vypracování technologického postupu výroby na základě potřebných výpočtů.
- Konstrukční řešení nástroje.
- Ekonomické vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárnenia, 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. U.S. (USA) : Industrial Press Inc., 2005. ISBN 9780831132590.

BIRZER, Franz. Forming and fineblanking : cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts. 1st edition. Landsberg/Lech : Verl. Moderne Industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4.

DILLINGER, Josef, et al. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Z něm. orig. Fachkunde Metall přeložil Jiří Handlíř. 55. vyd. Praha : Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-72-1-579-6.

Termín odevzdání diplomové 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

MERGEŠČÍKOVÁ LENKA: Výroba závěsu lustru.

Práce predkladá návrh technológie výroby závěsu lustru z materiálu ČSN 42 3005 (Cu99,5) s hrúbkou plechu 0,5 mm. Vzhľadom na sférický tvar súčasti a sériovosť 40 000 ks.rok⁻¹ bola zvolená technológia hlbokého ťahania na dve ťažné operácie, pričom druhý ťah je vykonaný spätným ťahaním. Doplnkovou technológiou je so zreteľom na charakter súčasti strihanie. Vyrobiteľnosť súčasti bola overená pomocou numerickej simulácie v softvéri PAM-STAMP. Tvárniaci proces je uskutočnený pomocou troch nástrojov s využitím troch lisov. Pre prvé, združené ťažidlo, je použitý výstredníkový lis LE 160C. V druhom ťažidle pre spätné ťahanie je aplikovaný hydraulický lis ZHO100 a pre strihadlo v tretej operácii výstredníkový lis typu LEK160. So zvolenou hodnotou zisku 25 % bola výsledná cena pre súčasť stanovená v hodnote 104,17 Kč. Bod zvratu nastane po dosiahnutí 16 248 ks.

Kľúčové slová: Cu99,5, tvárnenie, sférické ťahanie, spätné ťahanie, strihanie.

ABSTRACT

MERGEŠČÍKOVÁ LENKA: Manufacture of Chandelier Hinge.

The master's thesis presents a design for the technology of manufacture of a chandelier hinge from the material ČSN 42 3005 (Cu99.5) with a sheet thickness of 0.5 mm. Due to the spherical shape of the part and the series 40 000 parts per year, the technology of deep drawing was chosen for two drawing operations, while the redrawing is performed by reverse deep drawing. Due to the nature of the component, the additional technology is shearing. The manufacturability of the part was verified using numerical simulation in the PAM-STAMP software. The forming process is performed using three forming tools on three different presses. For the first, combined tool, an LE 160C eccentric press is used. A hydraulic press ZHO100 is applied in the second tool for the reverse drawing, and finally, an eccentric press LEK160 is applied for the shearing in the third operation. With the selected profit value of 25 %, the final price for the component was set at CZK 104.17. The turning point occurs after reaching 16 248 parts.

Keywords: Cu99.5, forming, spherical deep drawing, reverse deep drawing, shearing.

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

MERGEŠČÍKOVÁ, Lenka. *Výroba závěsu lustru* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132375>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Týmto prehlasujem, že diplomovú prácu som vypracovala samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov na základe konzultácií a pod vedením vedúceho diplomovej práce.

V Brne dňa 21. 5. 2021

.....

Podpis

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem pánovi Ing. Ladislavovi Žákovi, Ph.D. za odborné rady a pripomienky pri spracovaní diplomovej práce. Veľká vďaka patrí mojim rodičom, bratom a priateľovi Marošovi, ktorí pri mne stáli počas celého štúdia, umožnili ho a podporovali ma. Veľké ďakujem patrí Ing. Davidovi Bachurkovi za jeho trpezlivosť, cenné rady a každodennú pomoc.

OBSAH

Zadanie	
Abstrakt	
Bibliografická citácia	
Čestné prehlásenie	
Podakovanie	
Obsah	
	Str.
ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADANIA	10
1.1 Varianty výroby súčasti	11
2 TECHNOLÓGIA VÝROBY	14
2.1 Technológia ťahania	14
2.1.1 Proces ťahania, rozloženie napätia a deformácií.....	15
2.1.2 Veľkosť prístrihu.....	18
2.1.3 Súčiniteľ ťahania a počet operácií.....	20
2.1.4 Ťažná medzera	23
2.1.5 Ťažná sila a práca	24
2.1.6 Nástroje na ťahanie	25
2.2 Technológia strihania	31
2.2.1 Technologické výpočty strihania	32
2.2.2 Nástroje na strihanie.....	32
2.7 Stroje	34
2.9 Mazivá	35
2.10 Technologickosť výroby	36
3 NÁVRH VÝROBY	37
3.1 Technologické výpočty a návrh technologického postupu	37
3.2 Simulácia procesu ťahania	48
3.3 Návrh konštrukcie nástrojov	51
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE	59
5 ZÁVERY	62
Zoznam použitých zdrojov	
Zoznam použitých symbolov a skratiek	
Zoznam obrázkov	
Zoznam tabuliek	
Zoznam príloh	
Zoznam výkresov	

ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Výroba produktov z oceľových plechov metódou ťahania či strihania sú jednými zo základných technológií tvárnenia. V posledných rokoch sa dopyt po plechových dieloch s rôznymi tvarmi a vlastnosťami výrazne zvýšil v dôsledku rozvoja moderného priemyslu. Príklady takýchto výrobkov sú zachytené na obrázku 1. Ťahanie je obľúbené pre svoju vysokú produktivitu, veľmi dobrú rozmerovú presnosť a malý vznik odpadu. Nevýhodou je vysoká cena strojov a nástrojov a obmedzenie konečných rozmerov výťažkov. Technológie tvárnenia plechu majú široké využitie v mnohých priemyselných odvetviach na výrobu konečných tvarov súčastí z polotovaru. V procese je tenký kus plechu ťahaný do požadovaného tvaru nástrojom bez zvrásnenia alebo nadmerného zmenšenia hrúbky steny.

Mechanické vlastnosti plechu sú dôležitým faktorom. Ich nedostatočné zohľadnenie pri navrhovaní výrobných procesov môže viesť k vzniku vybočenia, nadmerného stenčenia hrúbky steny, trhlín či zvrásnenia výrobkov. Ďalšie faktory, ktoré ovplyvňujú konečný tvar výrobku, zahŕňajú geometriu nástroja. Takisto trecie podmienky – typ maziva, kontaktný tlak, rovnako i technologické parametre, akými sú teplota tvárnenia a rýchlosť tvárnenia. V neposlednom rade majú na proces ťahania vplyv vlastnosti materiálu a nástroja a počiatková akosť povrchu.

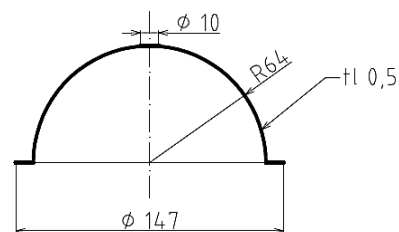
V posledných desaťročiach boli vyvinuté rôzne techniky ťahania vysokopevných, nízkoplastických a ťažko tvarovateľných materiálov. Nevýhodou spracovania takýchto materiálov je však nutnosť disponovať špeciálnymi zariadeniami, od čoho sa následne odvíja aj vysoká cena.



Obr. 1 Súčasti zhotovené technológiou ťahania [4]

1 ROZBOR ZADANIA [5], [6], [7], [8], [9]

Zadaná súčasť je záves lustra polgulovitého tvaru z medi. Tvar by sa mohol charakterizovať ako prvok s osovo súmerným plášťom. Výtlačok pozostáva z hlavnej časti, polgulovej plochy s polomerom 64 mm, ktorá smerom k vrcholu prechádza do otvoru s priemerom 10 mm. Otvor slúži na prechod zdrojového kábla. Na druhej strane prechádza hlavná polgulová plocha do príruby s priemerom 147 mm. Prírubu je možné považovať za medzikružie. Základné rozmery výtlačku sú vyobrazené na obrázku 2. Príruba po obvode gulového vrchlíka má estetický účinok. Hemisférický tvar dielca je pomerne jednoduchý, no na jeho dosiahnutie je potrebné docielenie veľkých deformácií.



Obr. 2 Zadaná súčasť

Existuje široké spektrum tvarov, v ktorých sa závesy lustra môžu vyrábať. Vyskytujú sa rôzne valcové, štvorcové či nepravidelné tvary. Zastúpenie materiálov je obdobne rozľahlé, najčastejšie sa vyskytujúcim materiálom je avšak plast, najmä pre svoju cenu. Dôležitými kritériami pri výbere materiálu na záves lustra sú najmä cena, vzhľad, chemické a mechanické vlastnosti. Z neželezných kovov sa meď a jeho zliatiny tvárnia ľahšie ako mäkké oceli, zároveň stúpa tvárniaca rýchlosť. Cieľom je vytvoriť záves lustra v industriálnom štýle, ktorý je typický priemyselným vzhľadom, kovovými prvkami a starým dychom v novom tele. Materiálom výtlačku je preto meď. Jej označenie je meď tvárená pre všeobecné účely ČSN 42 3005, s chemickou čistotou 99,5 %, označovaná takisto Cu99,5. Má veľmi dobrú tváriteľnosť za tepla i za studena. Jej chemické zloženie je v tabuľke 1 a mechanické vlastnosti v tabuľke 2. Ostatné vlastnosti sa nachádzajú v materiálovom liste v prílohe 1.

Meď je kov s červenkastou farbou. Je tvárna, odolná a má vysokú elektrickú i tepelnú vodivosť. Má nízku chemickú reaktivitu a na vlhkom vzduchu pomaly vytvára nazelenalý povrchový film, patinu. Chemickým ošetrovaním je možné predchádzať jej vzniku. Keďže je vytvorenie patiny súčasťou priemyselného výzoru, neuvažuje sa s povrchovou úpravou materiálu. Časom sa získa opotrebovaný, surový vzhľad. Ukážka pomocného závesu k lustru je zobrazená na obrázku 3.



Obr. 3 Záves lustra [9]

Tab. 1 Chemické zloženie mede [8].

Chemické zloženie [hm. %]											
Cu	Sn	As	O	Pb	Sn	Al	Fe	S	Se+Te	Bi	Ag+Ni
min	max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	zvyšok
99,5	0,15	0,10	0,10	0,10	0,08	0,05	0,05	0,05	0,03	0,01	

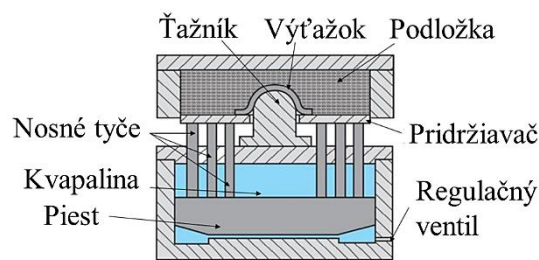
Tab. 2 Mechanické vlastnosti mede [8].

Mechanické vlastnosti			
Medza sklzu $R_{p0,2}$	Medza pevnosti R_m	Ťažnosť A_5	Modul pružnosti E
[MPa]	[MPa]	[%]	[GPa]
110	255	50	108

1.1 Varianty výroby súčasti [7], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]

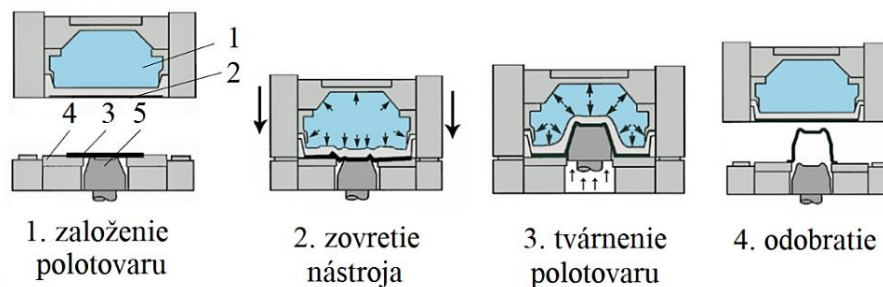
Existuje viacero možností vyhotovenia danej súčasti. Dôležitú rolu zohráva technológia jej spracovania s ohľadom na cenu, jednoduchosť konštrukcie a veľkosť série výroby. Medený plech bude tvárnený za studena. Pri hlbšom ťahu alebo komplikovanejšom tvare dielca je možné použiť elastické prostredie, akým je kvapalina či guma. Jedná sa o tvárnenie nepevným nástrojom, napríklad:

- Technológia tvárnenia gumou – metóda Marform. Pri ťahaní je ťažnica nahradená pružným materiálom, ako je gumová alebo polyuretánová membrána ilustrovaná na obrázku 4. Polyuretán je využívaný kvôli svojej odolnosti proti oteru a dlhej životnosti. Výhodami sú jednoduchosť zariadenia a fakt, že guma nezanecháva na povrchu výlisku žiadne stopy, predstavuje možnosť ťahania bez vytvorenia zvlnenia na prírubu. Takisto poskytuje možnosť ťahania na jednu operáciu. Je nutné pracovať s relatívne veľkými silami pri súčasnej nízkej produktivite, čím navýši celkové náklady na hotovú súčasť.



Obr. 4 Ťahanie metódou Marform [14]

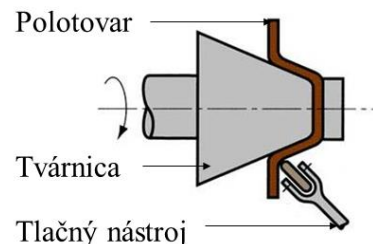
- Technológia tvárnenia kvapalinou, metóda Hydroform. Dutina matrice, tlaková komora, je vyplnená hydraulickou kvapalinou (1), udržiavanou pomocou gumovej membrány (2). Polotovaru (3) je najskôr položený na pridržiavač (4). Následne sa komora pohybuje smerom nadol a tlak v nej sa zvyšuje na vopred definovanú hodnotu. Ťažník (5) vniká do membrány, ktorá slúži ako ťažnica a polotovaru sa formuje na konečný tvar podľa obrázka 5. Výhodami sú nízke náklady na nástroje a skrátený čas na ich nastavenie. Viacoperačné konvenčné ťahanie je možno nahradiť jednou operáciou. Najväčšou nevýhodou je práca s kvapalinou.



Obr. 5 Ťahanie Hydroform [11]

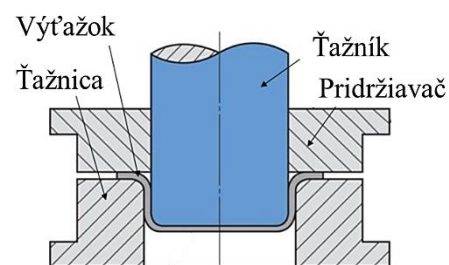
Tvárnenie pevným nástrojom sa môže vykonávať napríklad ako:

- Kovotlačenie: je postupový proces tvárnenia plechu, pri ktorom dochádza k tvarovaniu rotačne symetrického výťahku pomocou tlačného nástroja. Kvalitou sa hotové výrobky rovnajú ťahaným, niekedy môže dochádzať k vzniku priehlbínok pôsobením kladky alebo tlačného nástroja z obrázka 6. Tvárnica je v tvare výťahku, polotovaru je na ňu nabaľovaný pomocou tlačného nástroja alebo tlačnej kladky. Tvárnica je pripevnená na vreteno a rotuje s ním. Metódu je možné použiť na širokú škálu veľkostí a tvarov dutých výrobkov. Hlavnými výhodami sú jednoduchosť zariadenia a krátke pracovné časy. Počiatočné náklady sú relatívne nízke. Využíva sa najmä pri nízkosériovej výrobe, preto nebude vhodná na výrobu zadanej súčasti.



Obr. 6 Kovotlačenie [16]

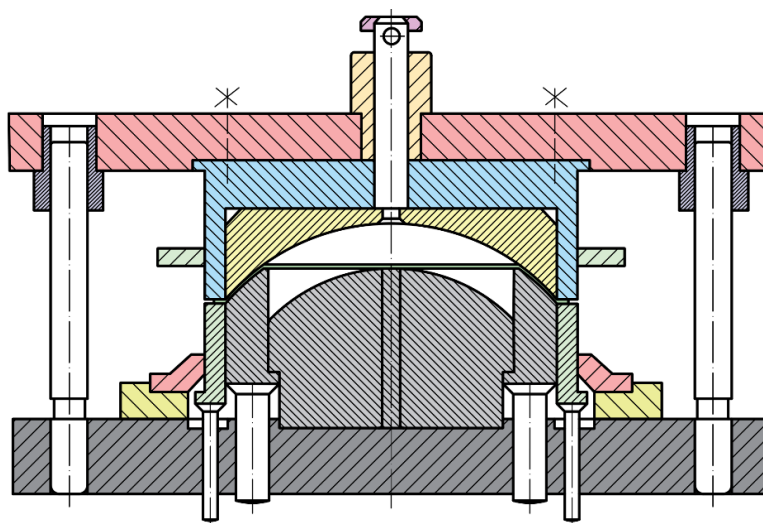
- Technológia hlbokého ťahania: pri procese hlbokého ťahania sú výťažky vytvorené pôsobením ťažníka na polotovar uložený na ťažnici za pomoci pridržiavača alebo bez neho. Na obrázku 7 je znázornený schematický postup procesu. Pri procese ťahania je možné vytvárať výrobky so zložitou osovou symetrickou geometriou. Metóda je charakteristická nízkym cyklom času, práca na vykonanie operácia je minimálna a proces je možné automatizovať pre hromadnú výrobu. Použitím nízkosériovej výroby nie je proces efektívny nakoľko sú nástroje na výrobu nákladné. Rozhodujúca je kvalita materiálu. Nadmerná veľkosť sily pridržiavača môže spôsobiť deformácie plechu vo forme trhlín, a naopak príliš malá sila spôsobuje zvrásnenie. Príliš malá ťažná vôľa spôsobuje stenčenie hrúbky plechu, čo môže byť niekedy žiadúce.



Obr. 7 Hlboké ťahanie [14]

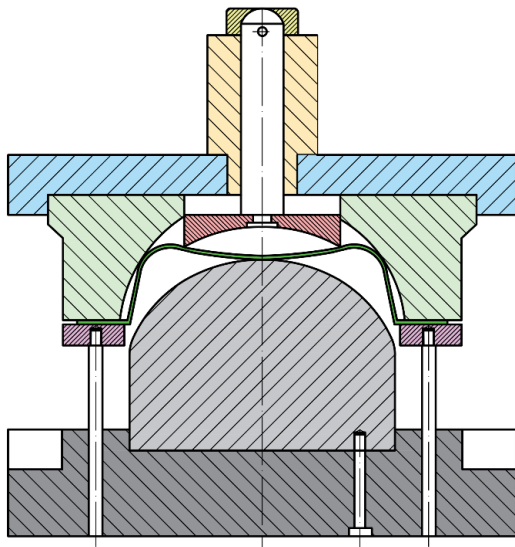
Záver lustra v podobe guľového vrchlíka pozostáva z polguľovej hlavnej časti s otvorom a príruby. Podstatnou časťou pri návrhu výrobu súčasti je zhotovenie prístrihu, ktorý je nutné vystrihnúť strižným nástrojom z plechu. Z navrhovaných možných variánt riešenia spomenutých vyššie je najideálnejším práve posledný variant, a síce technológia ťahania pevným ťažníkom hlbokým ťahaním. Produkcia výrobkov a jednotlivé technologické postupy pri navrhovaní produktov strojárkej spotreby závisia z ekonomického hľadiska najmä na počte vyrobených kusov za určité časové obdobie. V tomto prípade bude vyrobených 40 000 kusov ročne, z dlhodobého hľadiska sa teda oplatí investovať do nákladných nástrojov a súčastí vyhotoviť metódou hlbokého ťahania. Existuje viacero možností podôb vyhotovenia.

Prvou možnosťou je ťahanie v jednej operácii bez vzniku zvlnenia s použitím ťažníka z dvoch častí pre jednočinný lis. Dochádza k vystrihnutiu prístrihu, zároveň je pritom prístrih pevne pridržiavaný medzi ťažnicou a pridržiavacím prstencom. Pridržiavač je udržiavaný v hornej polohe. Ďalším zdvihom barana dochádza k ťahu podľa obrázka 8. Vonkajšia časť ťažníka ostáva až doteraz nehybná. Nasleduje ďalší zdvih barana, čím dochádza k vytvarovaniu strednej časti výťažku na finálny tvar. Vonkajšia časť výťažku je pevne pridržiavaná, preto sa nezvlní. Nástroj má zložitú konštrukciu, od čoho sa odvíja aj jeho cena. Ťahanie s ťažníkom z dvoch častí však nie je vždy zdarné. Ťahanie rozmernejších tenkostenných tvarov je vhodné aplikovať na viac operácií.

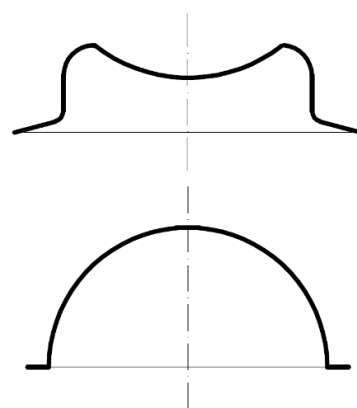


Obr. 8 Nástroj s deleným ťažníkom [13]

Druhá možnosť spočíva v princípe, kedy je výťažok predtiahnutý v bežnom združenom ťažidle na tvar podľa obrázka 10 a finálnu podobu dostáva v ťažidle podľa obrázka 9. Pridržiavač je pomocou kolíkov vysunutý iba do takej výšky, aby bolo možné výťažok vystrediť ťažníkom. Baran lisu zostupuje dolu, príruha je pevne zovretá medzi pridržiavačom a ťažnicou. Dosadnutím ťažnice na ťažník získa výťažok sférický tvar. Ďalším, spätným pohybom barana lisu smerom nahor je výťažok vyhodенý z ťažnice s horným vyhadzovačom. Tvar výťažku po prvom ťahu nie je presne určený. V tom spočíva jeho najväčšia nevýhoda, tvar po prvom ťahu je vhodné navrhnuť s rôznymi obmenami tak, aby bolo možné dostatočne zaistiť polohu výťažku so súčasným vytvorením jemného prehĺbenia na vrchole.



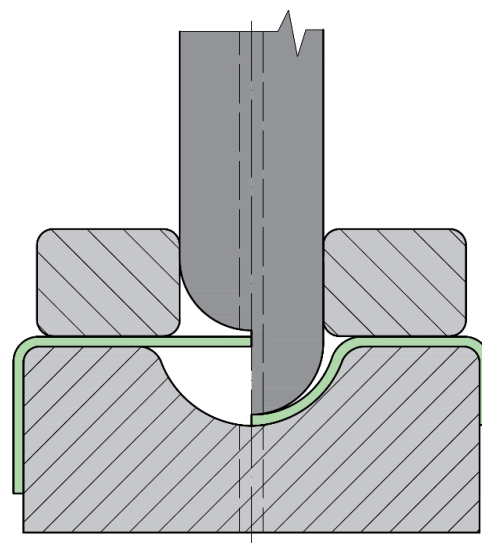
Obr. 9 Nástroj na druhý ťah pre sférické výťažky [13]



Obr. 10 Možný vzhľad súčasti v dvoch ťažných operáciách [13]

Tretou možnosťou je spätné ťahanie vyobrazené na obrázku 11. V prvom ťahu vytvorenie valcového výťažku s rovným alebo konvexným dnom. Spätná operácia a síce druhý ťah sa vykonáva proti smeru ťahania v prvom ťahu. Po spätnom ťahaní sa vnútorné steny prvotného výťažku stávajú vonkajšími stenami konečného výťažku. Zvlnenie je potlačené, pretože sa tlakové sily ťahania zmenia na sily ťahové. Dochádza k väčšiemu spevneniu materiálu. Metóda je najčastejšie používaná pre ťahanie tenkostenných sférických výťažkov.

Ako najvhodnejšia možnosť sa javí posledná alternatíva – spätné ťahanie. Je vhodná pre zadanú sériovosť $40\,000\text{ ks.rok}^{-1}$, používa sa pre tenkostenné plechy a konštrukcia nástroja nie je výrazne komplikovaná. Pomocou výpočtov i simulácie bude prevedená schopnosť vytiahnuť výťažok na jeden ťah priamo sférickým ťažníkom. Ak výsledné hodnoty neumožnia takúto alternatívu a potvrdí sa predpokladaná strata stability, bude uplatnená metóda spätného ťahania plechu. V tomto prípade bude konečná konštrukcia nástroja vzhľadom na zvyšné technologické potreby v technologickom postupe upravená podľa požiadaviek na výrobu, vrátane vystrihnutia polotovaru a otvoru.



Obr. 11 Spätné ťahanie [17]

2 TECHNOLOGIA VÝROBY

Súčasť bude vyrábaná technológiou ťahania a strihania. Komplexný pohľad na výrobu pozostáva z vystrihnutia prístrihu, ťahania sférického výťazku, dierovania otvoru a v neposlednom rade ostrihnutia prídavku na finálnom výťazku. Napriek tomu, že sa strihanie môže javiť ako majoritná problematika, hlavným riešením je práve technológia ťahania, nakoľko sa jedná o tenkostenný sférický výťazok. Z tohto dôvodu obsah technológie výroby pozostáva najmä z riešenia ťažných parametrov.

2.1 Technológia ťahania [4], [16], [18], [19], [20], [21], [22], [23]

Ťahanie plechu je proces tvárnenia rovinného prístrihu na duté teleso ako je znázornené na obrázku 12. Vzniknutý dielce má nerozvinuteľný tvar. Výsledkom sú jednoduché rotačne symetrické tvary, rovnako tak tvary nesymetrické či tvarovo zložité súčasti.

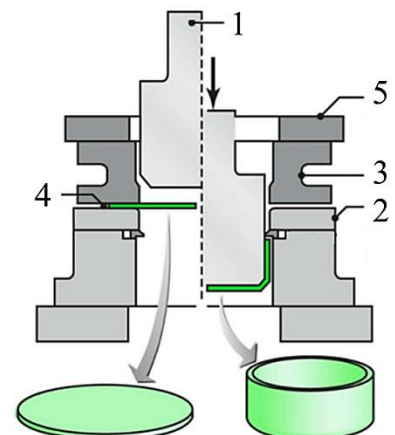
Tvárnenie plechov je dôležitým výrobným procesom a je takisto široko používaný v kovospracujúcom priemysle. Plechy používané vo výrobe tvoria 60 – 70 % celkovo vyrobenej ocele v Číne a väčšina z nich používa lisovanie. Tvárnenie plechu je proces, pri ktorom je polotovar pretvorený bez pridania alebo odoberania materiálu. Veľká časť tvárnených plechov sa využíva v oblasti automobilového či leteckého priemyslu. V automobilovom priemysle je použitie plechových dielcov takmer 75 % a v leteckom 50 %. V roku 2016 sa vo svete vyrobilo viac ako 90 miliónov automobilov a ich produkcia stále rastie. Avšak energetická účinnosť tvárnenia plechu je nízka, na úrovni 7 %. Vo výrobní linke, ktorá sa skladá z niekoľkých lisov, povedie nevhodné plánovanie k zvýšeniu výrobného času, ktorý následne spôsobí rozptýlenie energie.



Obr. 12 Proces ťahania rotačného výťazku [23]

Ťahanie sa môže rozdeliť na ťahanie bez stenčenia steny alebo so stenčením steny a takisto na ťahanie na jednu alebo viac operácií. Hlavnou požiadavkou na kov je, aby bol tvárny z dôvodu vytvorenia dielca bez nadmerného namáhania, ktoré by mohlo viesť k prasklinám alebo iným poruchám hotového komponentu. Ako polotovar sa najčastejšie využíva rovinný prístrih, ktorý je formovaný pomocou mechanického lisu dvojčinného, viacčinného alebo postupového a takisto aj hydraulického lisu a špeciálnych zariadení.

Bezšvový trojrozmerný tvar sa dosiahne ťahaním jednoduchým nástrojom, ako je zobrazené na obrázku 13. Hlavné časti nástroja tvoria ťažník (1), ťažnica (2) a pridržiavač (3). Ťažnica má rovnaké rozmery ako vonkajšie steny konečného produktu. Ťažník, ktorý má opačný tvar ako konečný produkt, slúži na vtlačenie materiálu do ťažnice. Pridržiavač sa používa na pridržanie polotovaru (4), ktorý musí ostať plochý a bez zvlnenia. Na pridržiavači môže byť položená tlaková doska (5). Východiskový materiál je uložený na ťažnicu. Pridržiavač sa pohybuje smerom nadol a zafixuje polotovar na povrchu preddefinovanou silou. Sila je dosť veľká na to, aby zabránila zvlneniu materiálu, ale stále umožňuje tok materiálu dovnútra ťažnice. Ťažník následne lisuje polotovar do ťažnice, čoho výsledkom je finálny produkt. Súčasťou hotového dielca môže byť príruha, ktorá ostáva pod pridržiavačom po celý čas procesu.



Obr. 13 Hlboké ťahanie [16]

2.1.1 Proces ťahania, rozloženie napätia a deformácií [19], [21], [22], [24]

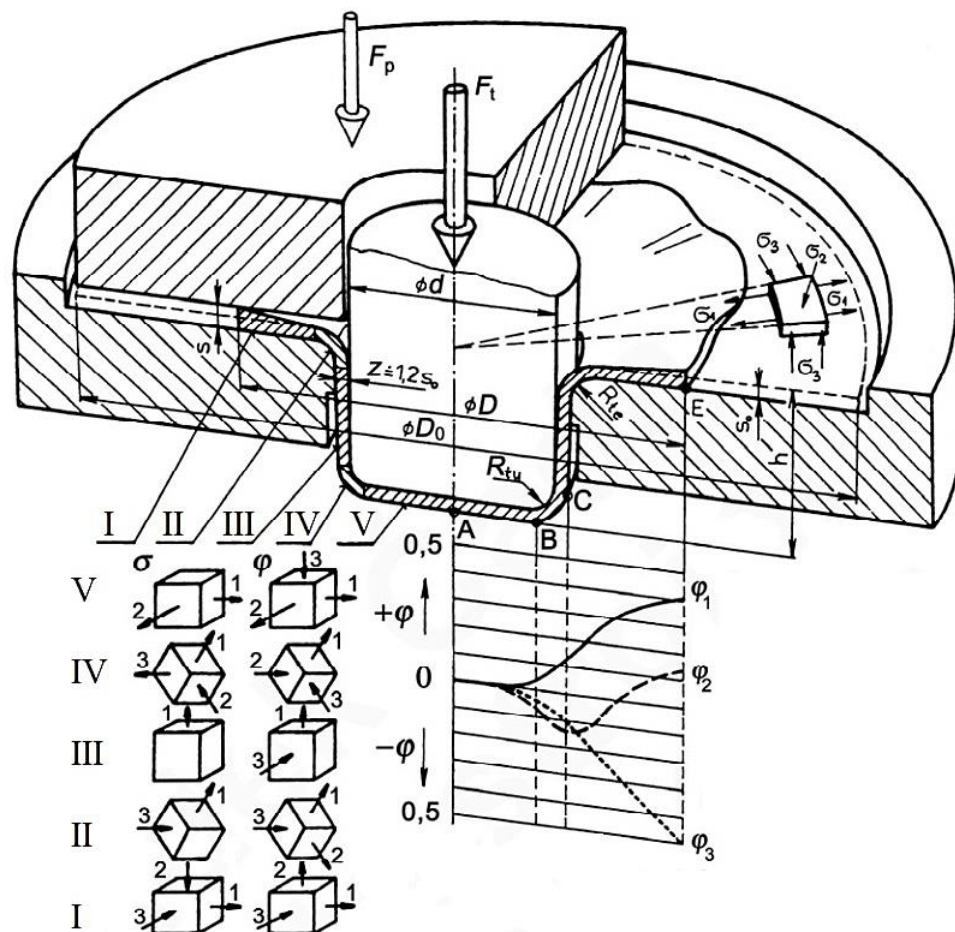
V oblasti príruby (I) na obrázku 14 dochádza k ubíjaniu polotovaru pôsobením tangenciálneho napätia σ_3' . Súčasne dochádza k predĺženiu v smere ťahu, ktoré spôsobuje radiálne napätie σ_1' , ktoré je menšie od tangenciálneho napätia. Tlačeníím pridržiavača na plech vzniká ďalšie napätie σ_2' . Priebeh deformácie je priestorový, hodnoty φ_1' a φ_2' pôsobia v kladnom smere, pretvorenie φ_3' v smere zápornom.

Na konci príruby (II) je hodnota σ_1' najväčšia, smery napätí ostávajú rovnaké. Dochádza k najväčšiemu toku materiálu. Priebeh deformácie je naďalej priestorový, smer φ_2' sa mení z kladného na záporný.

V stene výťazku (III) existuje jednoosý stav napätosti. Pôsobí tu iba ťahové napätie σ_1' v smere ťahania. Tok materiálu je podstatne menší, dochádza k minimálnemu stenčeniu stien. Deformačný stav má rovinný charakter. V kladnom smere pôsobí φ_1' a v zápornom φ_2' .

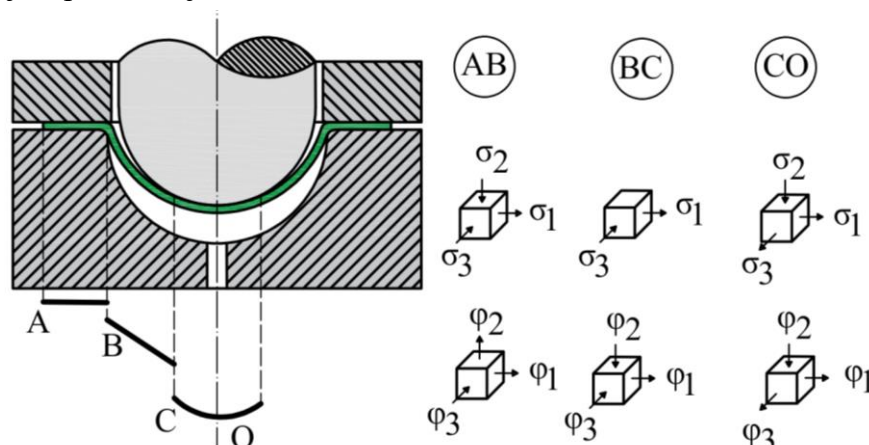
Oblasť medzi valcovou stenou a dnom (IV) má najväčšiu tendenciu na vznik trhlín. Dôvodom vzniku je existencia napätí v troch smeroch, a síce σ_1' a σ_3' v kladnom smere, v zápornom smere σ_2' . Výrazné predĺženie spôsobuje značné stenčenie steny. Deformačný stav je priestorový, pretvorenia φ_1' a φ_3' sú kladné, hodnota pretvorenia φ_2' je záporná.

Na dne výťazku (V) sa vyskytuje rovinná ťahová napätosť. Napätie σ_3' a σ_1' dosahujú kladných hodnôt. Dochádza k nevelkému predĺženiu a s tým súvisiacemu nepatrnému stenčeniu steny. Pri viacoperačnom ťahaní sa však toto stenčenie môže kumulovať. Pretvorenie ostáva priestorové, jednotlivé smery zotrývajú rovnaké.



Obr. 14 Napätie a deformácia vo valcovej súčasti [24]

Pri ťahaní polgul'ovej súčasti sú uvažované tri časti deformácie podľa obrázka 15: plochá časť prístrihu, ktorá ešte nevošla do dutiny ťažnice (príruba ,AB'), časť prístrihu, ktorá je ťahaná do dutiny ťažnice (stena ,BC'), oblasť kontaktu medzi ťažníkom a polotovarom (dno ,CO'). Radiálne napätie v ťahu je spôsobené vtiahnutím polotovaru do ťažnice, normálové napätie v prístrihu plechu je spôsobené tlakom pridržiavača. Ťažník prenáša silu na dno výt'ažku, takže časť polotovaru, ktorá je deformovaná do dna výt'ažku, je vystavená radiálnemu aj tangenciálnemu napätiu v ťahu. Ťažník prenáša silu z dna výt'ažku cez steny na prírubu. Pri takomto namáhaní majú steny tendenciu sa v pozdĺžnom smere predlžovať. Predĺženie môže spôsobovať stenčenie steny, čo v prípade nadmerného množstva môže viesť k roztrhnutiu výt'ažku. Počas ťahania sú časti výt'ažku namáhané rôzne, ako je znázornené na obrázku 18. Výsledkom sú rôzne deformácie. V oblasti dotyku medzi špičkou ťažníka a polotovarom existuje kladné napätie – ťahové v dvoch smeroch a záporné napätie – tlakové v jednom smere, čo má za následok stenčenie polotovaru v tejto oblasti. Na začiatku ťahania je styčná plocha medzi ťažníkom a polotovarom malá, následne sa kontaktná plocha zväčšuje a tak sa redukuje stenčenie. Počas procesu hlbokého ťahania sa časti ,AB' a ,BC' posúvajú, takže sa zvrásnenie vždy vyskytuje v prírubovej oblasti v častiach ,AB' a ,BC'.



Obr. 15 Napätie a deformácia v polgul'ovej súčasti [10], [18]

Použitie pridržiavača, uvažovanie trenia alebo zväčšenie priemeru polotovaru pomáhajú zvýšiť hodnotu radiálneho napätia σ_1 a znížiť tangenciálne napätie σ_3 . To však zvyšuje zaťaženie nebezpečnej oblasti, čo má za následok vznik defektov v podobe trhlín. Pomery veľkostí vplyvu pri procese hlbokého ťahania sú vyobrazené na obrázku 16.

Pri riešení napätia v procese ťahania sa pracuje so zákonom stálosti objemu. To znamená, že objem prístrihu a konečného výrobku ostáva počas celého procesu ťahania rovnaký. Z matematického hľadiska sa môže zákon stálosti objemu charakterizovať ako:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0, \quad (2.1)$$

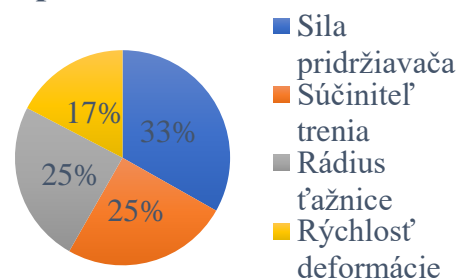
kde: φ_1 – logaritmicke pretvorenie v radiálnom smere [-],

φ_2 – logaritmicke pretvorenie v axiálnom smere [-],

φ_3 – logaritmicke pretvorenie v tangenciálnom smere [-].

Uvažuje sa deformácia bez stenčenia steny, hrúbka steny sa považuje za konštantnú počas celého priebehu a zákon stálosti objemu je možné zjednodušiť na zákon stálosti plôch.

Zastúpenie vplyvu parametrov ťahania



Obr. 16 Vplyv parametrov ťahania [21]

Zákon stálosti plôch je vyjadrený nasledovne:

$$\varphi_1 = \ln \frac{D_{pz}}{2 \cdot \rho} = \ln \frac{R}{\rho} [-] \quad \varphi_3 = -\ln \frac{D_{pz}}{2 \cdot \rho} = -\ln \frac{R}{\rho} [-] \quad \varphi_2 = \ln \frac{s_0}{s} [-], \quad (2.2)$$

kde: D_{pz} – zmeňujúci sa priemer prístrihu [mm],
 R – zmeňujúci sa polomer prístrihu [mm],
 ρ – aktuálny polomer príruby [mm],
 s_0 – hrúbka steny plechu pred deformáciou [mm],
 s – hrúbka steny plechu po deformácii [mm].

Hodnoty pomernej deformácie v oblasti najväčšieho toku materiálu – na konci príruby a v oblasti najväčšieho stenčenia hrúbky steny – v prechodovej oblasti medzi valcovou stenou a dnom, sa vyjadria nasledovne:

$$\varepsilon_D = \frac{D_0 - D_{pz}}{D_0} [-] \quad (2.3) \quad \varepsilon_{d_1} = \frac{D_0 - d_{\text{ťaž}}}{D_0} [-], \quad (2.4)$$

kde: ε_D – pomerná deformácia na konci príruby [-],
 ε_{d_1} – pomerná deformácia v prechodovej oblasti [-],
 D_0 – počiatočný priemer prístrihu [mm],
 $d_{\text{ťaž}}$ – priemer ťažnice [mm].

Dôležitou súčasťou pri riešení procesu technológie ťahania je výpočet potrebnej sily vytiahnutie výrobku. Jej veľkosť závisí na viacerých faktoroch. Svoju hodnotu mení v závislosti na radiálnom napätí, ktoré vychádza z aktuálneho polomeru prístrihu ρ . Jej veľkosť narastá so zväčšujúcim sa prirodzeným pretvárnym odporom, rovnako so zložkou napätia vzniknutou pôsobením trenia medzi pridržiavačom a polotovarom. Takisto tu vzniká odpor proti ohybu na ťažnej hranice ťažnice a trenie s opásaním tejto hrany. Započítaním všetkých vplyvov dostávame konečnú hodnotu deformačného odporu:

$$\sigma_d = (\sigma_1 + \sigma_f + 2 \cdot \sigma_o) \cdot e^{f \cdot \alpha} [\text{MPa}], \quad (2.5)$$

kde: σ_d – deformačný odpor [MPa],
 σ_1 – radiálna zložka napätia [MPa],
 σ_f – trecia zložka napätia v pridržiavači [MPa],
 σ_o – zložka napätia s vplyvom ohybu hrany ťažnice [MPa],
 f – súčiniteľ trenia [-],
 α – uhol opásania [rad].

V Šofmanovom riešení deformačného napätia sa na vplyv ohybu nepodieľa uhol opásania a s ním spojené trenie. Výsledný tvar znie:

$$\sigma_d = (\sigma_1 + \sigma_f) \cdot e^{f \cdot \alpha} + 2 \cdot \sigma_o [\text{MPa}]. \quad (2.6)$$

Pre riešenie radiálneho napätia podľa Sachsa sa uvažuje podmienka plasticity:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \xi \cdot \sigma_p = 0, \quad (2.7)$$

kde: σ_3 – tangenciálna zložka napätia [MPa],
 ξ – Lodeho súčiniteľ [-],
 σ_p – prirodzený pretvárný odpor [MPa].

Pre nekonečne malý element na rovinnej ploche platí podmienka rovnováhy síl:

$$\frac{d\sigma_1}{d\rho} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\rho} = 0, \quad (2.8)$$

kde: $d\sigma_1$ – elementárna časť radiálneho napätia [MPa],
 $d\rho$ – elementárna časť aktuálneho polomeru príruby [mm].

Zostavením diferenciálnych rovníc z radiálnych a tangenciálnych napätí pre element sa rozoberá proces ťahania. Vychádza sa z podmienky plasticity (2.7) v súčinnosti s podmienkou rovnováhy síl (2.8). Po integrovaní rovnice pre podmienku rovnováhy síl (2.8),

kde $\rho = \frac{D_{pz}}{2} = R$ a $\sigma_p=0$ sú okrajové podmienky, sa stanoví integračnú konštantu. Výsledný tvar rovníc pre ideálny radiálne napätie σ_1 a ideálne tangenciálne napätie σ_3 znie:

$$\sigma_1 = \xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln \frac{R}{\rho} [MPa] \quad (2.9) \quad \sigma_3 = -\xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right) [MPa], \quad (2.10)$$

kde: σ_{ps} – stredná hodnota prirodzeného pretvárneho odporu [MPa].

Po radiálnom napätí je napätie vzniknuté trením v oblasti pridržiavača, rovnako ako aj medzi prírubou a ťažnicou ďalším faktorom v rovnici pre deformačné napätie. Trecia sila je podľa Coulombovho zákona vyjadrená:

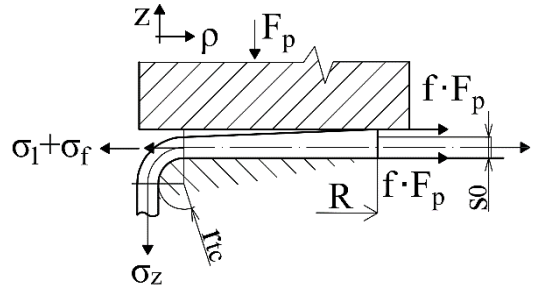
$$F_f = f \cdot F_p [N], \quad (2.11)$$

kde: F_f – trecia sila [N],

F_p – sila od pridržiavača [N].

Použitím podmienky rovnováhy síl na rovinnom elemente po celej hrúbke steny príruby podľa obrázka 17 ($2 \cdot \pi \cdot R \cdot s \cdot \sigma_f = 2 \cdot f \cdot F_p$) úpravou sa získa vzťah pre trecie napätie:

$$\sigma_f = \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot R \cdot s} [MPa]. \quad (2.12)$$



Obr. 17 Vplyv trenia na napätosť [19]

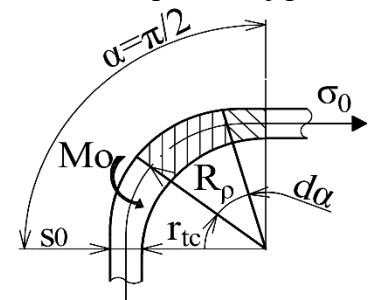
Posledným napätovým faktorom z rovnice výpočtu deformačného odporu je napätie spôsobené ohybom na ťažnej hrane ako je zobrazené na obrázku 18. V tomto mieste sa prístrih najprv náhle ohne o uhol pootočenia, $d\alpha$ a neskôr opäť vyrovná, tomu odpovedá aj príslušná deformačná práca. Pri stanovení rovnosti sa vychádza z rovnosti vonkajšej práce a práce ohybového momentu, M_o , na hrane ťažnice. Po úprave a zavedení zjednodušenia sa získa vzťah pre napätie od ohybu:

$$2 \cdot \sigma_o = \sigma_p \cdot \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc} + s_0} [MPa], \quad (2.13)$$

kde: r_{tc} – polomer zaoblenia ťažnice [mm].

Zavedením dielčích rovníc (2.9, 2.12, 2.13) do pôvodnej rovnice pre výpočet deformačného odporu (2.6) a po dosadení hodnoty $\pi/2$ na miesto veľkosti uhla opásania ťažnej hrany ťažnice, α' sa dostáva tvar deformačného odporu:

$$\sigma_d = \sigma_{ps} \cdot \left[\xi \cdot \ln \frac{R}{\rho} + \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot \sigma_{ps} \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc} + s_0} \right] \cdot (1 + 1,6 \cdot f) [MPa]. \quad (2.14)$$

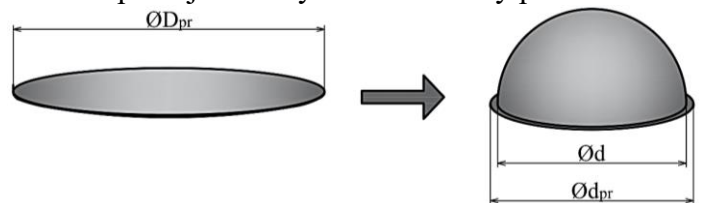


Obr. 18 Vplyv ohybu na deformačný odpor [19]

2.1.2 Veľkosť prístrihu [10], [13], [17], [25]

Na spracovanie súčasti hlbokým ťahaním je nutné najskôr poznať tri základné prvky: typ materiálu, hrúbku plechu a veľkosť polotovaru. Ukážka prístrihu a jeho následného pretvorenia je zachytená na obrázku 19. Ak je cieľom výpočtu súčasť s tenkou stenou, použije sa vonkajší rozmer výťažku. Pri súčasti z hrubého plechu sa použije stredný rozmer hrúbky plechu.

Výťažok má často deformované a zvlnené okraje. Stav je spôsobený nerovnomernou štruktúrou, prípadne nepravidelnou hrúbkou plechu. Preto sa k rozmeru polotovaru pričítava ešte prídavok na odstrihnutie.



Obr. 19 Pretvorenie prístrihu na hotovú súčasť

Pri ťahaní na jednu operáciu sa k vypočítanému priemeru prístrihu prirátavajú 3 % z hodnoty priemeru. Pokiaľ sa daný výt'azok ťahá na viac ťažných operácií, s každou takouto operáciou sa k vypočítanému priemeru prístrihu pripočítava ďalšie 1 % veľkosti. Veľkosť prístrihu, a síce priemer polotovaru sa môže vypočítať viacerými spôsobmi. Možnosti výpočtu sú nasledovné:

- Výpočtom – vychádza sa zo zákona zachovania objemu, t.j. objem sa počas celej operácie ťahania nemení. Pri ťahaní bez stenčenia steny zároveň platí, že hrúbka plechu je približne konštantná. Z toho je možné vyvodit', že plocha prístrihu a plocha výt'azku sú rovnaké, zákon stálosť objemu sa teda zjednoduší na zákon stálosti plôch. Charakteristické pre plechy je, že po vytiahnutí prejavujú anizotropiu, okraj výt'azku nie je rovný. Z tohto dôvodu sa k vypočítanému priemeru prístrihu pripočíta prídavok na ostrihnutie.
 - Zákon zachovania objemu – ak sú prechodové polomery menšie ako 5 mm, pri výpočte polotovaru sa s nimi nepočíta. Uvažuje sa ostrá hrana. Existuje viacero kombinácií tvaru rotačných výt'azkov, výpočet ich prístrihu však vychádza z rovnakej podstaty. Pre polgul'ový výt'azok s prírubou so zanedbaním prechodového polomeru existuje vzorec v tvare:

$$D_{p0} = \sqrt{d_{pr}^2 + d_{vrch}^2} [mm], \quad (2.15)$$

kde: D_{p0} – priemer polotovaru bez prídavku na ostrihovanie [mm],
 d_{pr} – priemer príruby [mm],
 d_{vrch} – priemer polgul'ového vrchlíka [mm].

Následne je k takto vypočítanému priemeru prístrihu pripočítaný prídavok na ostrihovanie rotačných výt'azkov s prírubou, w . Ten sa buď volí podľa tabuľky 3 alebo sa vypočíta ako:

$$w = (2 \div 5) \cdot s [mm]. \quad (2.16)$$

Tab. 3 Prídavky na ostrihovanie rotačných výt'azkov s prírubou, w [mm] [17].

Priemer príruby d_{pr} [mm]	Pomerný priemer príruby d_{pr}/d_{vrch}			
	<1,5	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,0
25	1,6	1,4	1,5	1,0
50	2,5	2,0	1,8	1,6
100	3,5	3,0	2,5	2,2
150	4,3	3,6	3,0	2,5
200	5,0	4,2	3,5	2,7

V tabuľke sa vychádza z pomerného priemeru príruby, P_p vypočítaného ako:

$$P_p = \frac{d_{pr}}{d} [-]. \quad (2.17)$$

Výsledný priemer polotovaru na ťahanie s prídavkom na ostrihovanie je potom:

$$D_p = D_{p0} + w [mm]. \quad (2.18)$$

- Zákon zachovania plôch – spôsob výpočtu priemeru prístrihu, ktorý utkvieva v rozdelení výt'azku na jednoduchšie časti podľa obrázka 20. Následne je určená veľkosť plochy každej časti a ich súčet. Celková plocha výt'azku sa potom dostane v tvare:

$$S_{výt} = \sum_{i=1}^n S_i = S_1 + \dots + S_n [mm^2], \quad (2.19)$$

kde: S_i – obsah plochy výt'azku v i -tej časti [mm²],
 $S_1 \dots S_n$ – obsah plochy výt'azku v prvej až n -tej časti [mm²].

Využitie metódy zachovania plôch je značné najmä pri zložitejších rotačných výťazkoch. Všeobecne pre rotačne symetrické výťazky platí:

$$S_{prístrih} = \frac{\pi \cdot D_{p0}^2}{4} [mm^2], \quad (2.20)$$

kde: $S_{prístrih}$ – obsah plochy prístrihu $[mm^2]$.

Zo vzorca (2.20) po uvážení rovnosti $S_{prístrih} = S_{výť}$ sa dostane vzorec pre výpočet priemeru prístrihu (polotovaru) bez prídavku na ostrihovanie:

$$D_{p0} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_{prístrih}} \quad (2.21)$$

Po upravení:

$$D_{p0} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{prístrih}} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{výť}} [mm]. \quad (2.22)$$

Pre výpočet priemeru polotovaru s prídavkom na ostrihovanie následne sa použije vzorce (2.15, 2.16, 2.18).

- Guldinova veta – rovnako spočíva v zákone zachovania plôch. V prípade, že je súčasť príliš zložitá a rozčlenenie na plochy by bolo veľmi prácne a náročné, je možné k stanoveniu veľkosti prístrihu použiť Guldinovu vetu. Platí:

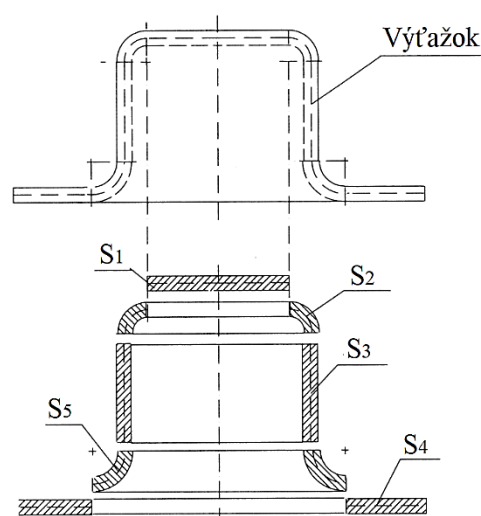
$$S_{výť} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot \pi \cdot L_i \cdot x_i [mm^2], \quad (2.23)$$

kde: L_i – dĺžka i-tej časti tvoriacej krivky $[mm]$,

x_i – vzdialenosť ťažiska tvoriacej krivky od osi výťazku $[mm]$,

n – počet častí tvoriacej krivky $[-]$.

- Počítačovým softwarom – pomocou modelu v počítačovom softwari je možné určiť hmotnosť, veľkosti plôch i objem. Je to jedna z najpresnejších a najuniverzálnejších metód, vhodná pre použitie jednoduchých i zložitých tvarov.



Obr. 20 Rozdelenie plôch [10]

2.1.3 Súčiniteľ ťahania a počet operácií [10], [17], [19], [24], [26], [27], [28], [29]

Na určenie počtu ťahov sa využíva takzvaný súčiniteľ ťahania, m' predstavujúci zmenšenie pôvodného priemeru prístrihu. Pri obyčajnom ťahaní sa súčiniteľ ťahania pohybuje v rozmedzí 0,5 až 0,9, pri špeciálnych metódach sa dostáva až k hodnotám 0,35. V niektorých krajinách sa využíva stupeň ťahania, čo je prevrátená hodnota súčiniteľa ťahania, m' .

Ak je veľkosť súčiniteľa ťahania, m_1' pre prvý ťah nižšia než doporučená, je nutné uskutočniť viacoperačné ťahanie. Ťahanie na viac operácií sa vykonáva s úmyslom určiť čo najmenší počet ťažných operácií. Deformácia musí byť v každej operácii tak veľká, aby sa naplno využili mechanické vlastnosti ťahaného materiálu. Jednotlivé súčinitele sa dokážu stanoviť pomocou grafu v závislosti na pomere hrúbky plechu a priemeru prístrihu.

Ťažníky a ťažnice s väčším polomerom zaoblenia sprostredkujú voľbu menších hodnôt súčiniteľa ťahania. Na hodnotu súčiniteľa ťahania majú vplyv najmä mechanické vlastnosti a kvalita materiálu, rovnako ako aj pomerná hrúbka plechu ($D_0 \cdot s^{-1}$), mazivo, geometria nástroja a druh zvolenej technológie.

Veľkosť hodnôt súčiniteľa ťahania je možné zistiť pomocou grafu na obrázku 21, z tabuľky číslo 4 alebo výpočtom určeným empiricky. Súčiniteľ pre prvú ťažnú operáciu sa vypočíta ako:

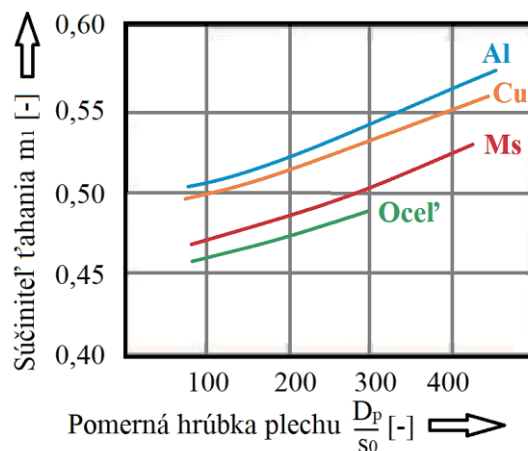
$$m_1 = \frac{d_1}{D_p} [-], \quad (2.24)$$

kde: d_1 – priemer výťazku v prvej operácii [mm],

Súčiniteľ ťahania pre každú ďalšiu ťažnú operáciu sa vyjadří nasledovným spôsobom:

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} [-], \quad (2.25)$$

kde: m_n – súčiniteľ ťahania v n-tej operácii [-],
 d_n – priemer výťazku v n-tej operácii [mm],
 d_{n-1} – priemer výťazku v n-1 operácii [mm].



Obr. 21 Zavislost' m_1 na D_p/s_0 [19]

Celkový súčiniteľ ťahania je daný ako:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \dots m_n = \frac{d}{D_p} [-], \quad (2.26)$$

kde: $m_1, m_2, m_3 \dots m_n$ – súčinitele ťahania v jednotlivých ťahoch [-].

Súčiniteľ ťahania je možné okrem výpočtov a grafu určiť aj pomocou tabuľky 4. Hodnoty jednotlivých súčiniteľov ťahania závisia na pomernej hrúbke prístrihu, podľa ktorej sa následne vyberie zo zoznamu príslušný riadok hodnôt. Veľkosť súčiniteľa závisí takisto na pomernom priemere príruby, podľa ktorého sa vyberie príslušný stĺpec. Dostane sa konečná hodnota súčiniteľa ťahania pre prvý ťah, z toho v rovnakom riadku takisto hodnoty pre ďalšie ťahy, m_1 až m_4 .

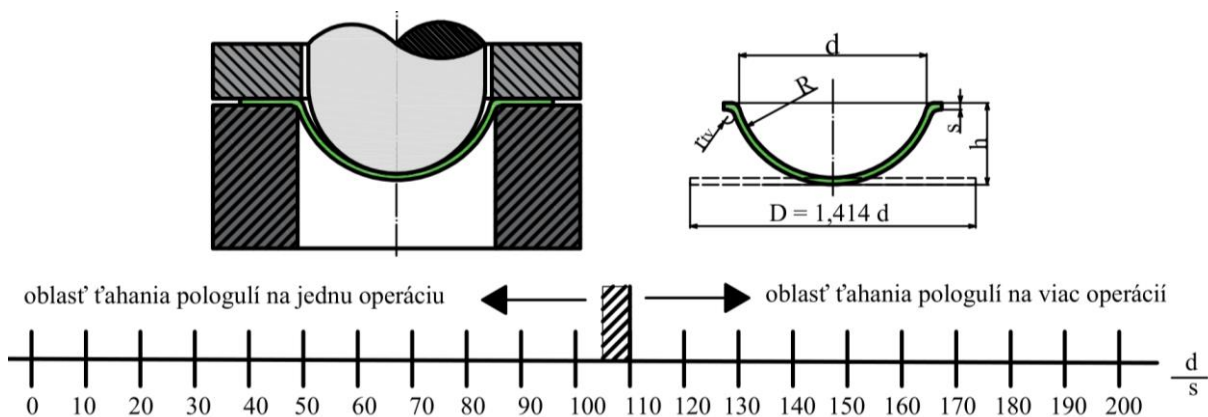
Tab. 4 Súčinitele ťahania pre súčasti s prírubou pre 1. až 4. ťah [27].

Hodnoty súčiniteľov ťahania pre súčasti s prírubou - 1. ťah (m_1)		Pomerný priemer príruby d_p/d_s				Súčiniteľ ťahania pre ďalšie ťahy		
		do 1,1	1,1-1,3	1,3-1,5	1,5-1,8	m_2	m_3	m_4
Pomerná hrúbka prístrihu $s_0/D_0 \cdot 100$	2 až 1,5	0,51	0,49	0,47	0,45	0,73	0,75	0,78
	1,5 až 1	0,53	0,51	0,49	0,46	0,75	0,75	0,80
	1 až 0,6	0,55	0,53	0,50	0,47	0,76	0,79	0,82
	0,6 až 0,3	0,57	0,54	0,51	0,48	0,78	0,80	0,83
	0,3 až 0,15	0,59	0,55	0,52	0,48	0,80	0,82	0,84

Ak sa ťahajú súčasti guľovitého, resp. polguľovitého tvaru, je súčiniteľ ťahania stály a pre ľubovoľný polomer sa rovná hodnote 0,71. Napriek tomu, že je tento súčiniteľ väčší než pre valcové súčasti, je ťahanie sférických výťazkov omnoho zložitejšie než valcových, pretože veľká časť plochy nie je pod pridržiavačom a preto sa ľahko vytvorí zvlnenie.

Čím vyššia je výška výťazku, h , tým väčšie je radiálne ťahové napätie. Pri polguľových výťazkoch existuje nebezpečné miesto pri ťahaní, a to v 1/3 až 1/4 výšky, h výťazku. Dochádza k nestabilite a môže dôjsť k poškodeniu materiálu. Preto existuje maximálny priemer výťazku, ktorý sa môže bezpečne vytiahnuť.

Určenie počtu ťahov pri polgulových výtázkoch možno stanoviť z grafu na obrázku 22. Ten platí za podmienok, že polomer zaoblenia ťažnice , r_{tv} ' je 5 až 7-násobok hrúbky plechu , s ', ktorá dosahuje hodnôt 0,4 až 4 mm. Priemer výtážku , d ' je v rozmedzí 25 až 200 mm. Ak pomer $d \cdot s^{-1}$ neprekročí hodnotu 110, polgulovitý výtážok sa dokáže vytiahnuť na jednu operáciu. Ak hodnotu 110 prekročí, súčasť sa musí ťahať na dve a viac operácií.



Obr. 22 Určenie počtu ťahov pri polgulových výtázkoch [28]

Postup pre určenie celkového počtu ťahov je nasledovný: na základe určenia súčiniteľa ťahania , m_1 ' v prvej operácii podľa vzorca (2.24) alebo pomocou grafu na obrázku 22 sa vypočíta maximálne dosiahnuteľný priemer ťažníka, ktorého veľkosť je zároveň vnútorným priemerom výtážku v prvej operácii. Vzorec pre výpočet priemeru výtážku pre prvý ťah znie:

$$d_1 = m_1 \cdot D_p \text{ [mm]}. \quad (2.27)$$

V prípade, že je rozmer , d_1 ' väčší ako potrebný vnútorný priemer finálneho výtážku, je nutné použiť viac operácií ťahania. Výpočet priemeru výtážku pre druhú operáciu sa vypočíta podobne ako pre operáciu prvú. V druhom a každom ďalšom ťahu sa na mieste súčiniteľa ťahania použije stredný súčiniteľ ťahania. Priemer výtážku sa potom vyjadří ako:

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 \text{ [mm]}, \quad d_2 = m' \cdot d_1 = m' \cdot (m_1 \cdot D_p) \text{ [mm]}, \quad (2.28)$$

kde: m' – stredný súčiniteľ ťahania (uvažuje sa 0,71) [-].

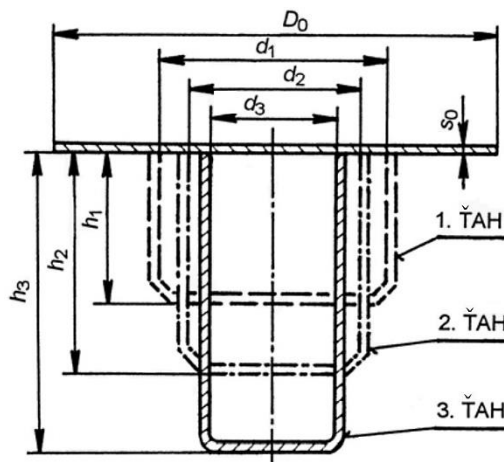
Jednotlivé priemery výtážku sú zobrazené na obrázku 23. Všeobecne sa pre n -tý ťah potom určí priemer výtážku z rovnice:

$$d_n = m_n \cdot d_{n-1} = (m')^{n-1} \cdot (m_1 \cdot D_p) \text{ [mm]}, \quad (2.29)$$

kde: n_c – počet operácií [-].

Logaritmovaním rovnice (2.29) sa dosiahne finálny vzťah pre celkový počet ťahov súčasti, ktorý sa po vypočítaní zaokrúhľuje na najbližšie vyššie celé číslo:

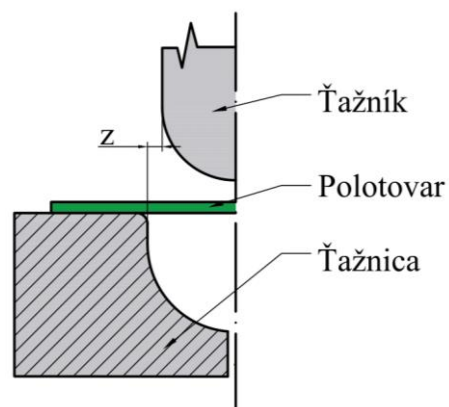
$$n_c = 1 + \frac{\ln d_n - \ln (m_1 \cdot D_p)}{\ln (m')} \text{ [-]}. \quad (2.30)$$



Obr. 23 Stupňovanie operácií [24]

2.1.4 Ťažná medzera [13], [17], [18], [30]

Ťažná medzera sa nachádza medzi ťažníkom a ťažnicou. Slúži na priechod plechu pri ťahaní. Pri využití technológie ťahania bez stenčenia steny je dôležité, aby bola veľkosť ťažnej medzery čo najpriaznivejšia. Jej veľkosť závisí na hrúbke steny plechu, odvíja sa takisto od tolerancií hrúbky steny plechu. Je nutné voliť ju väčšiu, než je hrúbka plechu. Ak je ťažná medzera príliš veľká, vytvárajú sa sekundárne vlny v stene výťazku. Naopak, veľmi malá ťažná medzera navyšuje ťažnú silu alebo môže zapríčiniť odtrhnutie dna výťazku. V prípade polguľovitého výťazku sa uvažuje s ťažnou medzerou čo najmenšou, aby došlo k čo najlepšiemu ťahaníu výrobku. Obvykle sa volí 1,2-násobok veľkosti hrúbky plechu, t.j. približne o 20 % zväčšená hrúbka plechu. Ťažná medzera sa označuje ako „z“ a jej poloha je zobrazená na obrázku 24. Pri kalibrácii je veľkosť ťažnej medzery totožná s hrúbkou plechu polotovaru.



Obr. 24 Ťažná medzera [18]

Jej veľkosť sa určí:

- o Podľa normy ČSN 22 7301 sa môže hodnota ťažnej medzery určiť empiricky získaným vzorcom v závislosti od hrúbky materiálu. Ide o 20 – 30 % z celkovej hrúbky plechu pri prvom ťahu. Pre prvý ťah jej veľkosť možno vyjadriť ako:

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.31)$$

kde: z_1 – ťažná medzera v prvom ťahu [mm].

Pre ďalšie ťahy sa ráta s veľkosťou ťažnej medzery, ktorá je zväčšená o 10 – 20 % z celkovej hrúbky plechu pri každom ďalšom ťahu. Použitím ťažnej medzery väčšej ako je hrúbka plechu sa takisto minimalizuje ťahová sila. Rovnako nedochádza k vzniku kontaktu medzi polotovarom a stenami ťažníka a ťažnice, čím sa znižuje trenie. Výsledná rovnica na výpočet ťažnej medzery pre ďalšie ťahy znie:

$$z_i = (1,1 \div 1,2) \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.32)$$

kde: z_i – ťažná medzera v i-tom ťahu [mm].

- o Podľa Oehlera – v praxi sa rozmer ťažnej medzery často určí empiricky získanou rovnicou navrhnutou Oehlerom. Rovnica platí iba pre hlboké ťahanie valcových súčastí bez stenčenia steny, takže hrúbka steny ostáva konštantná počas celého procesu. Ťažná medzera sa určí:

$$z = s_{max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot s} \text{ [mm]}, \quad (2.33)$$

kde: s_{max} – maximálna hrúbka ťahaného materiálu [mm],

k – materiálový koeficient (pre oceľ 0,07, pre hliník 0,02 a pre ostatné neželezné kovy 0,04) [-].

- o Podľa tabuľky – veľkosť ťažnej medzery a teda veľkosť medzery medzi ťažnicou a ťažníkom je možné určiť aj bez výpočtu, jednoducho pomocou tabuľky 5, ktorá závisí iba na veľkosti hrúbky plechu. Nezahŕňa vplyv druhu materiálu.

Tab. 5 Určenie ťažnej medzery z hrúbky plechu [18].

Hrúbka plechu [mm]	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	3
Ťažná medzera [mm]	0,45	0,65	0,9	1,2	1,4	1,75	2,4	3,6

2.1.5 Ťažná sila a práca [10], [17], [25], [30], [31], [32], [33]

Aby bolo možné rozhodnúť o použití konkrétneho typu stroja, je potrebné zistiť silu, ktorou bude súčasť vytiahnutá. Ťažná sila vyvoláva v plášti výtlačku ťahové napätie. Keďže sa napätový a deformačný stav počas celého procesu mení, ako bolo zobrazené na obrázkoch 14 a 15, mení sa aj priebeh ťažnej sily. Prvá operácia hlbokého ťahanie teda nie je proces v ustálenom režime. V prvej fáze ťahania sila vzrastá až do bodu, kedy stredy polomerov zaoblenia ťažníka a ťažnice ležia na jednej priamke. Stav je možné pozorovať na obrázku 25.

Celková ťažná sila sa skladá z viacerých častí. Pozostáva zo zložky sily potrebnej na prekonanie trenia pri ťahaní, zložky sily nutnej na deformáciu príruby, zahŕňa zložku sily nevyhnutnú na ohyb na ťažnej hrane, a v neposlednom rade zložku sily potrebnú na samotné ťahanie výtlačku. Ak je pri ťahaní použitý pridržiavač, silu potrebnú na pridržanie polotovaru je potrebné prirátat' k celkovej ťažnej sile. K určeniu celkovej ťažnej sily je možné pristupovať dvojako:

- Teoreticky – požadovanú ťažnú silu rovnako ako jej zmenu počas úderu lisu možno určiť pomocou teoretických rovníc. Postup je založený na metóde rovníc rovnováhy a podmienok plasticity na výpočet napätí. Metóda je veľmi zložitá a v praxi málokedy využívaná. Môže sa vypočítať napríklad pomocou deformačného napätia podľa Sachsa (2.14) ako:

$$F_t = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot \sigma_{ps} \cdot \left[\xi \cdot \ln \frac{R}{\rho} + \frac{f \cdot F_p}{\pi \cdot \sigma_{ps} \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{2 \cdot r_{tc} + s_0} \right] \cdot (1 + 1,6 \cdot f) [N], \quad (2.34)$$

kde: d_s – stredná hodnota priemeru výtlačku [mm].

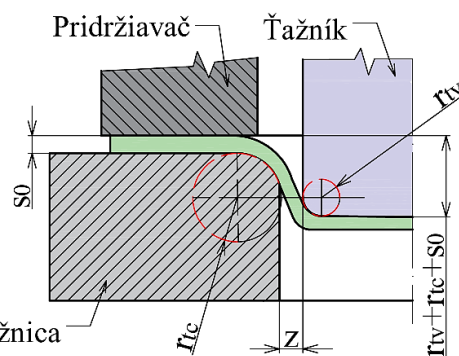
- Prakticky – na základe vzťahov zistených empiricky. Z praktického hľadiska vychádza postup z predpokladu, že ťažná sila musí byť menšia ako sila potrebná na odtrhnutie dna výtlačku. Maximálne dovolené napätie v nebezpečnom priereze musí byť menšie ako napätie na medzi pevnosti. Sila potrebná na odtrhnutie dna sa určí ako:

$$F_{t0} = c \cdot \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot R_m [N], \quad (2.35)$$

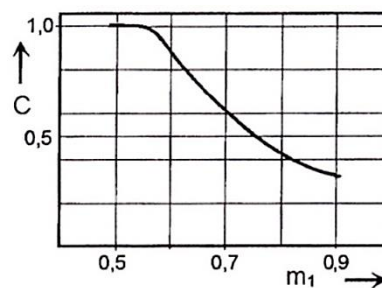
kde: c – súčiniteľ závislý na súčiniteli ťahania [-],

R_m – medza pevnosti materiálu [MPa].

Veľkosť súčiniteľa c sa stanoví pomocou grafu či tabuliek. Príklad hodnôt je uvedený v tabuľke 6 alebo na obrázku 26.



Obr. 25 Poloha maximálnej ťažnej sily [32]



Obr. 26 Určenie c [19]

Tab. 6 Hodnoty súčiniteľa c v závislosti na súčiniteli ťahania m' [17].

Súčiniteľ ťahania m'	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8
Súčiniteľ c	1	0,86	0,66	0,55	0,5	0,4

Keďže má celková ťažná sila viac premenných, ďalšou zložkou pri jej riešení je sila od pridržiavača. Pre ťahanie výtlačkov so zaobleným dnom by časť ťažnej sily potrebnej pre pridržanie polotovaru mal byť 30 až 40 % celkovej ťažnej sily. Veľkosť príruby polotovaru určuje veľkosť plochy pridržiavača. Veľkosť tejto sily závisí okrem hodnoty plochy príruby aj na tlaku pridržiavača. Jeho hodnoty pre jednotlivé materiály sa môžu zistiť pomocou tabuliek. Tlak pridržiavača nesmie byť príliš malý, inak dôjde k zvlňneniu, ani naopak príliš veľký, inak hrozí vznik trhlín.

Sila na pridržiavanie sa určí:

$$F_p = S_{pr} \cdot p_{pr} [N], \quad (2.36)$$

kde: S_{pr} – obsah plochy príruby [mm²],
 p_{pr} – tlak pridržiavača, pre meď dosahuje hodnôt 1,5 [MPa].

Ak sú súčasťou konštrukcie brzdiace rebrá, materiál sa pri preťahovaní cez tieto rebrá naťahuje. Dochádza k zväčšeniu povrchovej plochy bez zmeny vonkajších rozmerov dielu. Ťažnú silu na tvarovanie rebier je možné vypočítať pomocou nasledujúceho vzorca ako:

$$F_{br} = l_r \cdot s \cdot p_{pr} [N], \quad (2.37)$$

kde: l_r – celková dĺžka rebra [mm].

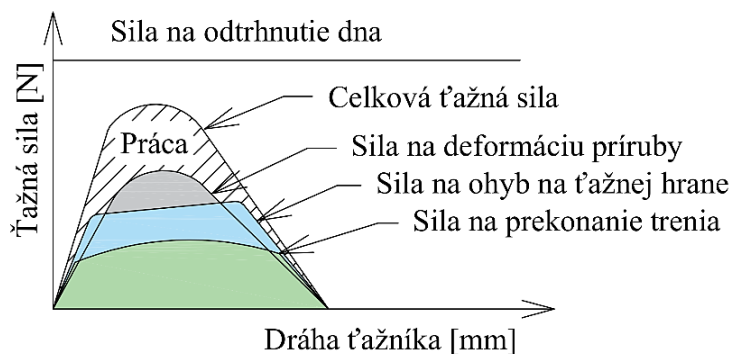
Ak je súčasťou konštrukcie pridržiavač a brzdné rebrá, celková ťažná sila sa vypočíta ako súčet ich zložiek:

$$F_{tc} = F_t + F_p + F_{br} [N]. \quad (2.38)$$

Aby bol vhodne zvolený stroj, je dôležité správne stanoviť takisto ťažnú prácu. Ťažná práca je zobrazená na obrázku 27 spolu s dielčimi zložkami síl. Veľkosť práce sa zistí pomocou nasledujúceho vzorca:

$$A_t = \frac{F_{tc} \cdot C_t \cdot h}{1000} [J], \quad (2.39)$$

kde: C_t - korekčný súčiniteľ [-].



Obr. 27 Priebeh síl a práce pri ťahaní [32]

2.1.6 Nástroje na ťahanie [10], [13], [17], [18], [19], [24], [27], [29], [31], [34], [35]

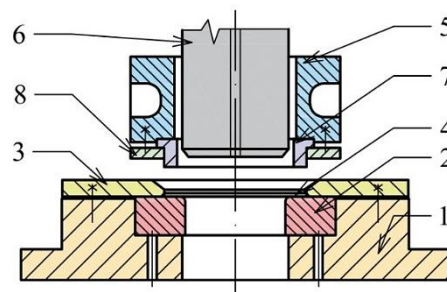
Pri technologickom návrhu výroby danej súčasti je potrebné správne stanoviť tvar a návrh konštrukcie ťažného nástroja. Medzi elementárne faktory, ktoré naň vplývajú, sa okrem znalosti technologických parametrov ťahania, materiálu, mechanických vlastností, hrúbky a celkovej kvality materiálu radí aj schopnosť rozlíšiť nástroje pre prvý ťah a pre ďalšie ťahy. Konštrukcia ťažidla závisí na rozmeroch a tvare výťažku. Líši sa pre ťahanie plytkých, hranatých či sférických tvarov. Súčasťou v niektorých prípadoch môže byť aj pridržiavač či brzdné rebrá.

Ťažidlo používané na ťahanie plechu je zvyčajne jedným typom z nasledujúcich základných druhov, prípadne ich modifikácia:

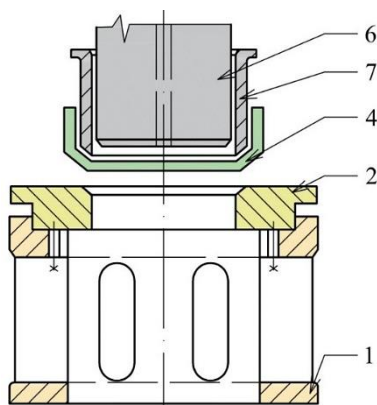
- Jednoduché – pre každú operáciu sa použije samostatný nástroj.
- Postupové – viac operácií (väčšinou všetky) sa vykonávajú v jednom nástroji. Na jednom pracovnom mieste sa vykoná len jedna operácia.
- Zlúčené – bez prekladania sa na jeden zdvih vykoná viac operácií jednej technológie.
- Združené – jedným zdvihom barana lisu sa vykoná súčasne viac operácií rôznych druhov technológií (napríklad strihanie a ťahanie).

Funkčné časti ťažidiel sú namáhané oterom aj razom, z tohto dôvodu sa vyžaduje vysoká pevnosť, tvrdosť i húževnatosť materiálu, z ktorého sú vyrobené. Typicky je to nástrojová oceľ uhlíková alebo zliatinová, takisto šedá liatina či oceľová liatina. Od kvality materiálov sa odvíja aj ich cena, preto sa častokrát ťažidlá vyrábajú delené. Na funkčné časti sa použije nástrojová oceľ, na ostatné pracovné časti, ktoré sa vložujú, potom oceľ konštrukčná. Takto sa znížia náklady na nástroje.

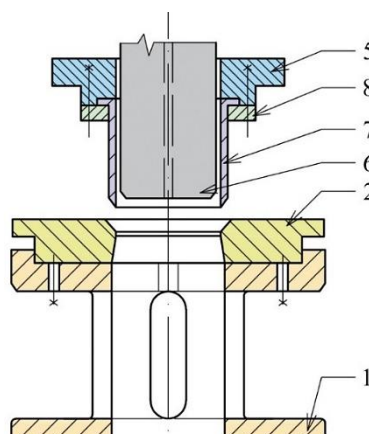
Jednoduché ťažidlo pre dvojčinný lis na prvú operáciu ťahania s pridržiavačom je zobrazené na obrázku 28. Nástroj sa nachádza v hornej polohe. V základnej liatinovej doske (1) s otvormi pre vysunutie, napríklad pomocou kolíkov je uložená ťažnica (2). Ťažnica je pritiahnutá zakladačím krúžkom (3), ten je so základnou doskou spojený skrutkami. Polotovár (4) leží na ťažnici. Ak je dolná vnútorná hrana ťažnice ostrá, stiera výťažok. V upínacej doske (5), ktorá sa nachádza hore, je vystredený ťažník (6) s pridržiavačom (7). Pridržiavač je upnutý upínacím krúžkom (8), ktorý je zaistený skrutkami. Pohyb vykonáva upínacia doska s ťažníkom, upínacím krúžkom a horným pridržiavačom.



Obr. 30 Ťažidlo pre prvý ťah [19]



Obr. 28 Ťažidlo pre medzit'ahy [34]

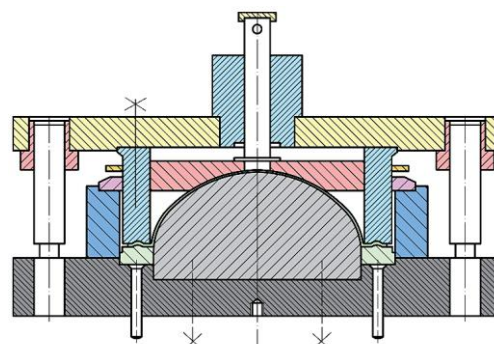


Obr. 29 Ťažidlo pre posledný ťah [19]

Ťažidlo pre druhý až predposledný ťah je znázornené na obrázku 29. Výťažok má z predchádzajúcej operácie vytiahnutý tvar (4). Tvar pridržiavača (7) v ktorom je uložený ťažník (6), odpovedá tvaru predchádzajúceho ťahu. Na základovej doske (1) leží ťažnica (2).

Pre posledný ťah má ťažidlo vyššiu základovú dosku podľa obrázka 30. Ťažnica (2) má kužeľový nábeh, je vložená do základovej dosky (1). Pridržiavač (7) má skosený tvar, upnutý je pomocou upínacieho krúžku (8), spolu s ťažníkom (6) je vystredený v hornej upínacej doske (5). Istené sú pomocou skrutiek.

Na obrázku 31 je zobrazené použitie brzdiacich lišt pri ťahaní polgulovitého výťažku v združenom ťažidle. Brzdiace lišty sú vložené v pridržiavači so súčasťou drážkou v ťažnici. Počas celej operácie ťahania je najvýhodnejšie, ak plech ostane v kontakte s brzdiacimi lištami, preto sa odporúča prirátať k prístrihu prídavok na ostríhnutie. V prvej fáze sa vystrihuje prístrih, na konci je odstrihnutý prídavok na ťahanie.

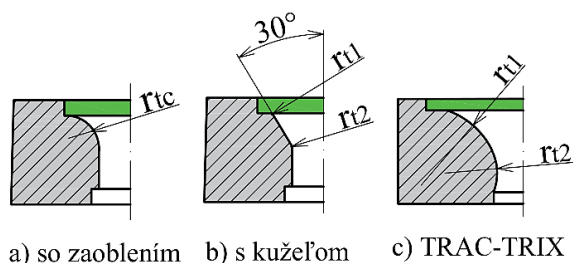


Obr. 31 Združené ťažidlo s brzdiacou lištou [13]

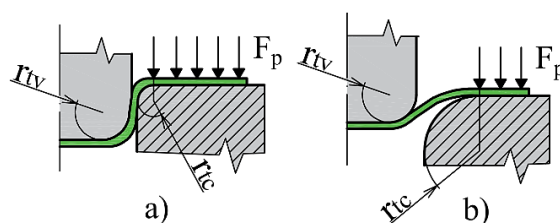
Jednotlivé funkčné časti nástroja na ťahanie pozostávajú z ťažnice, ťažníka, pridržiavača, prípadne z brzdiacich rebier. Každá zložka bude popísaná samostatne:

- Ťažnica – je jednou z hlavných aktívnych častí nástroja. Je nepohyblivá a jej tvar vychádza z tvaru ťahanej súčasti. Pre kruhové výtlačky bývajú celistvé, prstencového tvaru s funkčným otvorom. Práve cez ťažnú hranu sa prístrih vťahuje do ťažnice. Na úspešné vytiahnutie výtlačku má teda veľký vplyv jej geometria. Tvary ťažných hrán je možno pozorovať na obrázku 32. Ťažná hrana so zaoblením sa používa pri veľmi nízkych výtlačkoch, ťažná hrana s kužeľom sa využíva pri ťahaní výtlačkov s veľmi silnou hrúbkou steny a posledná, TRAC-TRIX ťažná hrana naopak, pri veľmi tenkých plechoch. Materiálom pre výrobu ťažných hrán býva zväčša nástrojová oceľ alebo šedá liatina.

Veľkosť zaoblenia ťažnej hrany ťažnice, r_{tv} , vplyva na veľkosť napätia v materiáli, rovnako na veľkosť ťažnej sily a v neposlednom rade ovplyvňuje vznik defektov vo výtlačku. Ak je polomer zaoblenia hrany ťažnice prímalý a ťažná hrana je príliš ostrá, môže dôjsť k trvalému porušeniu celistvosti materiálu vytvorením trhliniek. Naopak, čím väčší je polomer zaoblenia ťažnej hrany, tým jednoduchšie dochádza k samotnému ťahaniu.



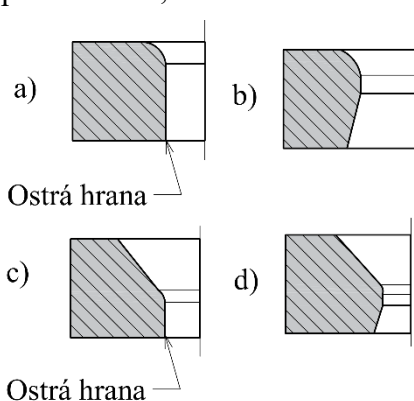
Obr. 32 Tvary ťažných hrán [19]



Obr. 33 Vplyv r_{tc} na F_p [24]

So zväčšujúcim sa polomerom zaoblenia rovnako dochádza k možnosti zväčšenia hĺbky ťahania i súčiniteľa ťahania v rámci jednej ťažnej operácie. S tým však súvisí zmenšenie plochy prístrihu pod pridržiavačom pri ťahaní súčasti bez príruby. Pridržiavacia sila má vplyvom zmenšenia plochy pod pridržiavačom menšiu veľkosť, stav je ilustrovaný na obrázku 33b. Ťažnica s menšou hranou zaoblenia a od toho odvodená väčšia plocha pôsobenia pridržiavacej sily pôsobení ťažníka s polomerom zaoblenia ťažnej hrany r_{tc} je zobrazená na obrázku 33a. Čím väčšia je nepridržiavaná plocha, tým väčšia je šanca vzniku defektov v podobe zvrásnenia a zvlnenia. Na druhej strane, ak je ťahaná súčasť s prírubou, plocha pod pridržiavačom sa nezmenšuje, nakoľko je príruha po celý čas pridržiavaná a k vyššie popísanému stavu nedochádza. Pri ťahaní súčastí s prírubou sa teda môžu voliť väčšie polomery.

Vlastné tvary ťažnice sú ilustrované na obrázku 34. V možnosti 34a výtlačok prepadáva pod ťažnicu, ostrá hrana umožňuje zotretie výtlačku. Môže byť takisto použitý stierač.



Obr. 34 Tvary ťažníc [24]

Možnosť 34b umožňuje vrátenie výtlačku nad ťažnicu s následným zotretím pomocou ťažníka. Na obrázku 34c a 34d sú tvary ťažníc určené pre druhý a ďalšie ťahy. Rovnako, s ostrou hranou podľa obrázka 34c výtlačok prepadá pod ťažnicu, a podľa obrázka 34d sa hotový výtlačok vracia späť nad ťažnicu.

Samotný polomer zaoblenia ťažnej hrany je podľa normy ČSN 22 7301 vhodné voliť ako 6 až 10-násobok hrúbky steny polotovaru pre jednu operáciu ťahania.

Polomery zaoblenia pri ťahaní valcových výťazkov sa vypočítajú:

- o pri jednooperačnom ťahaní:

$$r_{tc} = (6 \div 8) \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.40)$$

- o na prvý ťah pri viacoperačnom ťahaní:

$$r_{tc} = (8 \div 10) \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.41)$$

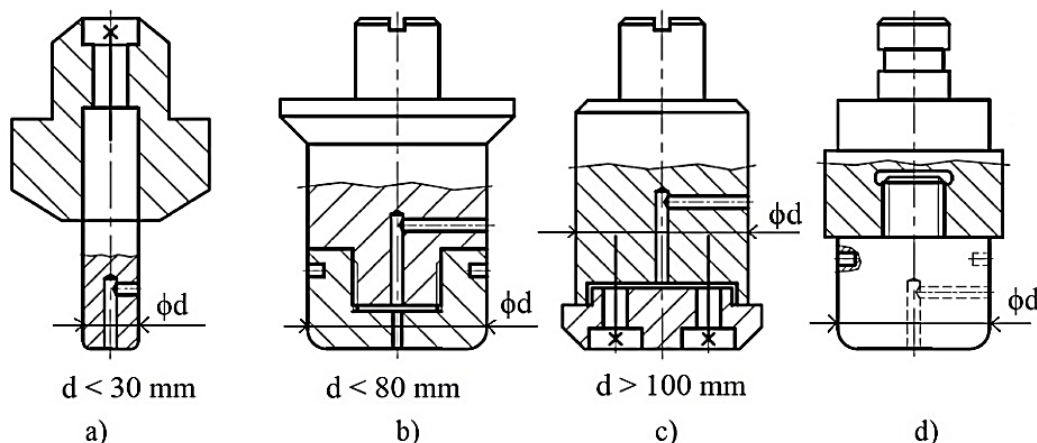
- o na druhý a ďalšie ťahy pri viacoperačnom ťahaní pre priemer výťazku do 60 mm:

$$r_{tc} = \frac{d_{n-1} - d_n}{2} \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.42)$$

- o na druhý a ďalšie ťahy pri viacoperačnom ťahaní pre priemer výťazku nad 60 mm:

$$r_{tc} = (6 \div 10) \cdot s \text{ [mm]}. \quad (2.43)$$

- Ťažník – je nástroj, ktorý aktívne formuje polotovár. Povrch ťažníka by mal byť dostatočne hladký kvôli jednoduchému stiahnutiu výťazku. Rovnako kvôli uľahčeniu stiahnutia výťazku by mal mať ťažník vzdušné prieduchy vytvorené prevrtaním. Nevzniká tak podtlak pod čelom ťažníka. Veľkosť prieduchov je obvykle 5 až 6 mm. Vzhľadom na akosť výťazku je dôležité, aby bol ťažník vyhotovený z kvalitného materiálu. S ohľadom na vysokú cenu týchto materiálov sa vytvárajú delené ťažníky, ktorých funkčná časť je vyrobená z kvalitnej nástrojovej ocele, prípadne zo šedej. Na obrázku 35 sú ilustrované konštrukcie ťažníkov pre rôzne veľkosti. V prípade 35a ide o ťažník do 30 mm, ktorý je vedený pomocou objímky a dosadá na jej čelo. Ťažník je k stopke priskrutkovaný. Priemery ťažníka do 80 mm podľa obrázka 35b majú delený ťažník spojený pomocou závitů. Ťažníky nad 100 mm majú časti spojené niekoľkými skrutkami. Časti rozmernejších ťažníkov môžu byť spojené napríklad lepením či použitím skrutiek priamo do držiaka, vid' obrázok 35d.



Obr. 35 Konštrukcie ťažníkov [19]

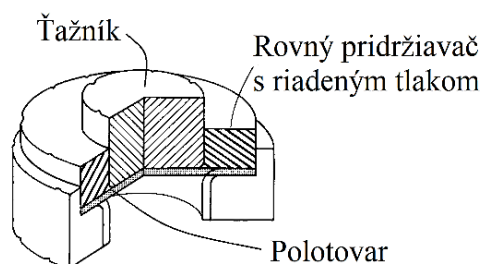
Polomer zaoblenia hrany ťažníka „ r_{tv} “ je pri prvej operácii ťahania rovnaký ako zaoblenie ťažnej hrany ťažnice „ r_{tc} “. V ďalšom ťahu by zaoblenie hrany ťažníka malo byť väčšie než zaoblenie ťažnej hrany ťažnice, inak hrozí sekundárne zvlnenie. V tabuľke 7 sú uvedené minimálne hodnoty polomeru zaoblenia ťažníka. V prípade, že ťažník tieto hodnoty nespĺňa a zaoblenie je menšie než spomenuté hodnoty, je potrebné výťazok navyše kalibrovat'. Kalibrovaním je redukovaný polomer na dne výťazku. Priemer a výška ostávajú rovnaké.

Tab. 7 Polomer zaoblenia hrany ťažníka [18].

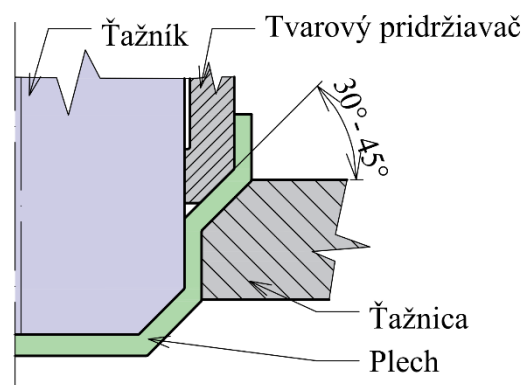
Priemer ťažníka [mm]	10 – 100	100 – 200	200 a viac
Polomer zaoblenia ťažníka [mm]	$(3 \div 4) \cdot s$	$(4 \div 5) \cdot s$	$(5 \div 7) \cdot s$

- Pridržiavač – objem materiálu, ktorý sa počas ťahania vytláča, zväčšuje výšku výťazku. Z dôvodu prechodu materiálu z príruby do valcovej časti má plech v mieste príruby tendenciu vlniť sa, dochádza k strate primárnej stability. Ťahanie nízkych nádob z hrubých plechov vo väčšine prípadov nevyžaduje použitie pridržiavača, čo je podmienené nízkym stupňom deformácie. Vlny sa v tomto prípade netvoria, pretože nie sú vysoké a vyhladzujú sa otvorom ťažnice. Pri vysokých výťazkoch a pri výťazkoch s tenkou stenou, ktoré majú nízku tuhosť, je možné hladké steny doceliť využitím pridržiavača, súčasne však dochádza k ubíjaniu materiálu pod pridržiavačom a rastu hrúbky steny.

Pridržiavače môžu byť rovné alebo tvarové. V rovných pridržiavačoch sú pridržiavacie sily vytvorené trením medzi plochami pridržiavača a plechu. Jednoduchý rovný pridržiavač podľa obrázka 36 sa najprv nedotýka plochy polotovaru, brzdiaci účinok začína a zvyšuje sa s postupným tokom materiálu do príruby a jej hrubnutím. Ak je medzera príliš malá alebo príliš veľká, navyšuje veľkosť potrebnej sily a znižuje ťažnosť. Pre optimálne výsledky by mala byť medzera mierne menšia než je hrúbka príruby. Rovné pridržiavače sa používajú pri prvých ťahoch. Pre ďalšie ťahy sa vytvára uhol skosenia 30 až 45 ° na kuželovom pridržiavači, ktorým je možné doceliť zmenšenie odporu plechu proti vŕahovaniu do ťažnice. Príklad tvarového pridržiavača je na obrázku 37.



Obr. 36 Rovný pridržiavač [30]



Obr. 37 Tvarový pridržiavač [13]

Ravný pridržiavač s regulovaným tlakom je vo výrobných operáciách všeobecne preferovaný, pretože sa dá upraviť na vopred stanovenú a prísne kontrolovanú hodnotu tlaku hydraulickým alebo pneumatickým zariadením. Pružiny, pokiaľ nie sú extrémne dlhé, nie sú vhodné ako zdroj tlaku pre pridržiavače počas hlbokého ťahania, pretože sila vyvíjaná pružinou sa pri jej stlačení rýchlo zvyšuje. Sila na hydraulických alebo pneumatických vankúšových zdvihákoch sa po úplnom stlačení zvýši približne o 20 %. Niektoré hydraulické systémy majú ventily na reguláciu tlaku, ktoré dodávajú takmer konštantný tlak počas celého zdvihu. Potrebu pridržiavača pri obyčajnom ťahaní je možné zistiť súčiniteľom u , pomocou nasledujúcej podmienky z normy ČSN 22 7310:

$$u = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{S_0}}{\sqrt[3]{D_p}} \right) [-], \quad (2.44)$$

kde: Z – materiálová konštanta, príklady hodnôt sú v tabuľke 8 [-].

Tab. 8 Určenie materiálovej konštanty Z pre pridržiavač [18].

Materiál	Oceľový plech	Mosadzný plech	Hliníkový plech
Materiálová konštanta [-]	1,90	1,95	2,00

V závislosti na veľkosti hodnoty , u ' je možné určiť potrebu použitia pridržiavača:

$$\circ u \geq \frac{d_1}{D_p} \cdot 100, \text{ je potrebné použiť pri ťahaní pridržiavač,} \quad (2.45)$$

$$\circ u < \frac{d_1}{D_p} \cdot 100, \text{ môže sa výtlačok ťahať v prvom ťahu bez pridržiavača.} \quad (2.46)$$

Pre druhý a ďalšie ťahy sa nutnosť aplikácie pridržiavača určí spôsobom:

$$\circ \frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9, \text{ musí sa použiť pridržiavač v n-tom ťahu,} \quad (2.47)$$

$$\circ \frac{d_n}{d_{n-1}} \geq 0,9, \text{ nemusí sa použiť pridržiavač v n-tom ťahu. Na plechy do hrúbky 4 mm sa vždy musí použiť pridržiavač.} \quad (2.48)$$

Sférické výtlačky sa ťahajú o niečo zložitejšie. Môžu sa ťahať štyrmi rôznymi druhmi, ako je zobrazené na obrázku 38. Špecifikácia, ktorý variant je najvhodnejší pre použitie konkrétneho výtlačku vychádza z pomernej hrúbky prístrihu , Δs '. Z tohto dôvodu majú aj inak stanovené podmienky pre použitie pridržiavača, a to nasledovne:

$$\Delta s = \frac{s}{D_p} \cdot 100 [\%]. \quad (2.49)$$

Na základe vypočítaných hodnôt môžu byť určené štyri druhy ťahania sférických výtlačkov, ktoré sú zobrazené na obrázku 38. V prípade 38a ide o ťahanie v uzatvorenej ťažnici, 38b je ťahanie s pridržiavačom a brzdiacim rebrom. Predposledná možnosť 38c je proces spätného ťahania, posledná možnosť spočíva v kombinácii priameho a spätného ťahania. Ak:

$$\circ \Delta s > 3, \text{ ide o ťahanie bez pridržiavača na jednu operáciu v uzatvorenej} \quad (2.50)$$

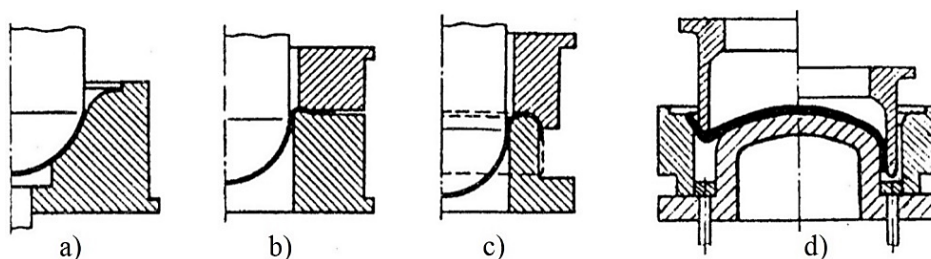
ťažnici s kalibráciou v závere operácie (obrázok 38a).

$$\circ \Delta s < 3, \text{ ide o ťahanie s pridržiavačom a brzdiacim rebrom (obrázok 38b)} \quad (2.51)$$

alebo je aplikované spätné ťahanie (obrátené ťahanie) podľa obrázka 38c. Pre výrobu výtlačkov, ktoré majú kotlové dno, je možné použitie kombinácie priameho a spätného ťahania ako je ilustrované na obrázku 40d.

$$\circ \Delta s < 0,5, \text{ nevyhnutne sa musia použiť brzdiace lišty alebo technológia} \quad (2.52)$$

spätného ťahania.



Obr. 38 Ťahanie sférických výtlačkov [18]

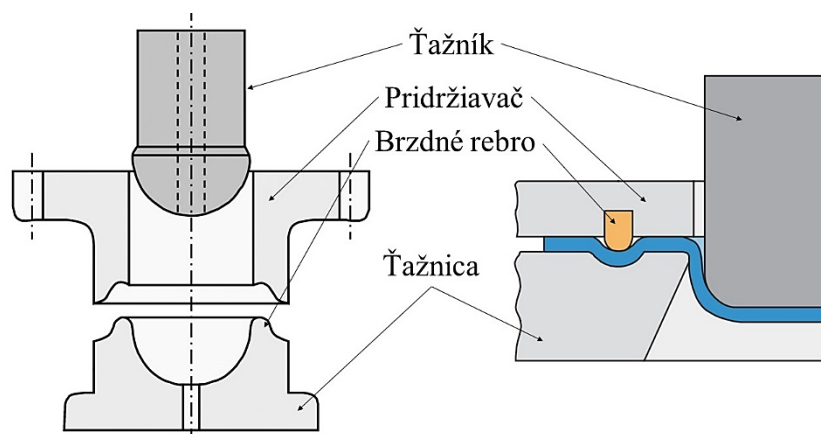
Je potrebné poznať pridržiavací merný tlak. Ten je možné získať z grafov alebo tabuliek. Pridržiavacia sila, ktorou pridržiavač pritlačuje na prírubu výtlačku, musí byť dostatočne veľká, aby zabránila zvlnieniu, no zároveň nie príliš veľká, aby vôbec došlo k vťahovaniu plechu do ťažnice. Tlak nesmie byť priveľký, aby nezvyšoval radiálne napätia a nebezpečenstvo porušenia materiálu. Konečná sila pridržiavača sa vypočíta zo vzorca:

$$F_p = S_{pr} \cdot p_p [N], \quad (2.53)$$

kde: S_{pr} – obsah plochy príruby, resp. činná plocha pridržiavača [mm^2],
 p_p – merný tlak pridržiavača (med' 1,2-2, nerezové ocele 2-5) [MPa].

- Brzdíacie rebrá – v prípade, keď majú výtlačky vypuklé dno alebo majú nerotačný tvar, polotovary sa musia pridržať veľmi pevne, aby bolo umožnené ťahanie. Brzdíacie rebrá slúžia k lepšiemu vŕahovaniu polotovaru do dutiny ťažnice. Pri kruhových výtlačkoch sú brzdíacie rebrá zapracované do ťažnice podľa obrázka 39 vľavo. Veľké a nepravidelné výtlačky sa môžu ťahať s pridržiavačom s brzdíacimi rebrami podľa obrázka 39 vpravo. V ťažnici sa pre rebrá vytvorí odpovedajúca drážka. Plech sa ťahaním cez rebrá spevňuje.

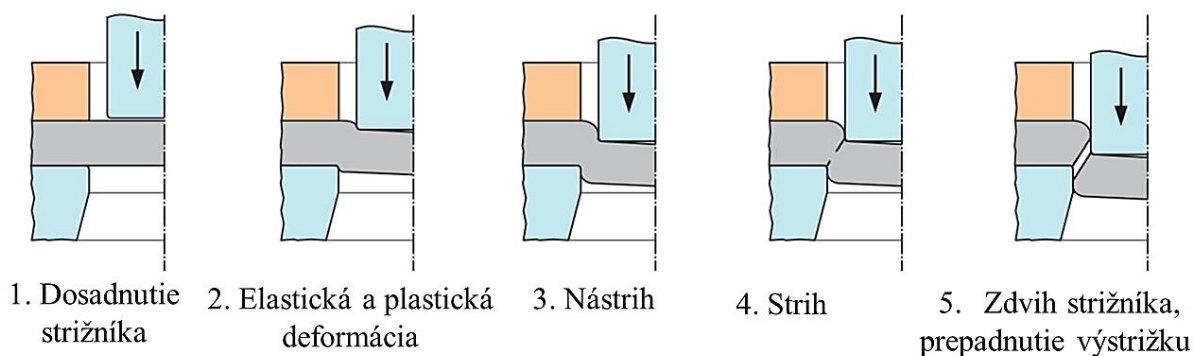
Rebrá pomáhajú predchádzať vzniku zvlnenia. Ich použitie zvyšuje náklady na nástroje, vývoj produktu a údržbu nástrojov. Neraz sú však jediným prostriedkom na ovplyvnenie toku materiálu pri ťahaní komplikovaných tvarov. Mnohokrát sa používajú iba pri prvej operácii. Rebrá podliehajú veľkému oteru, z tohto dôvodu sa zhotovujú z nástrojovej oceli a kalia sa. Najčastejšie na potreby vytiahnutia postačuje jedna brzdíaca lišta. Dve či tri brzdíacie lišty za sebou sa používajú iba pri neobvykle zložitých výtlačkoch. Výška brzdíaceho rebra by nemala byť príliš vysoká z toho dôvodu, aby sa plech deformáciou za studena nadmerne nespevňoval. Pri veľmi vysokej lište môže dôjsť k zvlnieniu samotného ťahaného plechu. Zvlnenie je neodstrániteľné. Odporúča sa preto použiť viacero nízkych brzdíacich lišt za sebou namiesto jednej vysokej.



Obr. 39 Brzdíacie rebrá [58]

2.2 Technológia strihania [17], [31]

Strihacie operácie sa často vykonávajú v rovnakom lisovacom nástroji používanom na formovanie a tvarovanie geometrie konečnej súčasti. Hlavným cieľom každého strihania je výroba výstrižku, ktorý má správny geometrický tvar bez deformácií a má dostatočnú kvalitu okrajov, ktorá umožňuje následné tvarovanie a manipulačné operácie. Proces strihania je zobrazený na obrázku 40.



Obr. 40 Priebeh strihania [36]

2.2.1 Technologické výpočty strihania [17], [19]

Ako polotovár môže byť pri strihaní použitý zvitok plechu alebo tabuľa plechu. Využitie materiálu sa pre výstrižky usporiadané na tabuli plechu vypočíta pomocou nasledujúcej rovnice:

$$\eta_t = \frac{S_p \cdot p_v}{S_{tab}} \cdot 100 [\%], \quad (2.54)$$

kde: S_p – plocha jedného výstrižku [mm^2],
 p_v – celkový počet výstrižkov [ks],
 S_{tab} – plocha jednej tabule [mm^2].

Využitie zvitku plechu sa stanoví obdobným spôsobom:

$$\eta_{zv} = \frac{S_p \cdot p_k}{S_{zv}} \cdot 100 [\%], \quad (2.55)$$

kde: p_k – počet kusov na zvitok plechu [ks],
 S_{zv} – plocha zvitku plechu [mm^2].

Využitie materiálu pri strihaní by nemalo byť menšie ako 60 %.

Ďalším nutným výpočtom pre správny návrh je výpočet strižnej vôľe. Tá je závislá od druhu a hrúbky strihaného materiálu, tvaru výstrižku a materiálu strižných hrán. Je možné ju určiť ako percentuálnu závislosť hrúbky strihaného materiálu, bežne v rozmedzí 2 - 5 % z hrúbky plechu. Malá strižná vôľa zvyšuje strižnú silu a prácu, veľká strižná vôľa spôsobuje zvýšené namáhanie strižných hrán bočnými silami a nekvalitnú strižnú plochu.

Polotovár s hrúbkou do 3 mm má strižnú vôľu vyjadrenú vzťahom:

$$v_s = 2 \cdot 0,32 \cdot c_o \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} [mm], \quad (2.56)$$

kde: c_o – opravný koeficient (0,005 – 0,025) [-],
 τ_s – napätie v strihu [MPa].

Nasledujúcim výpočtom v strižnej operácii je riešenie strižnej sily. Teoreticky by mala byť strižná sila definovaná na základe tangenciálnych a normálových namáhaní existujúcich v rovine šmyku. Touto analýzou sa však získa veľmi komplikovaný vzorec, ktorý nie je vhodný na použitie v strojárskych praxi, pretože odhad sily strihania je možné vypočítať z hodnôt pre samostatné tangenciálne napätie. Na základe geometrických podmienok strihu a podmienky prekonania medze pevnosti je možné strižnú silu vyjadriť ako:

$$F_s = n_s \cdot S_s \cdot \tau_s [N], \quad F_s = n_s \cdot L \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m [N], \quad (2.57)$$

kde: n_s – súčiniteľ, ktorý zahŕňa vplyv vonkajších podmienok zvyšujúci strižnú silu, napr. otupenie rezných hrán, nastavenie nástroja ($n=1,0$ až $1,3$) [-]
 S_s – strižná plocha [mm^2],
 L – dĺžka strižnej krivky [mm],
 R_m – medza pevnosti materiálu [MPa].

Strižná práca sa vypočíta ako závislosť strižnej sily na dráhe strižníka pomocou vzťahu:

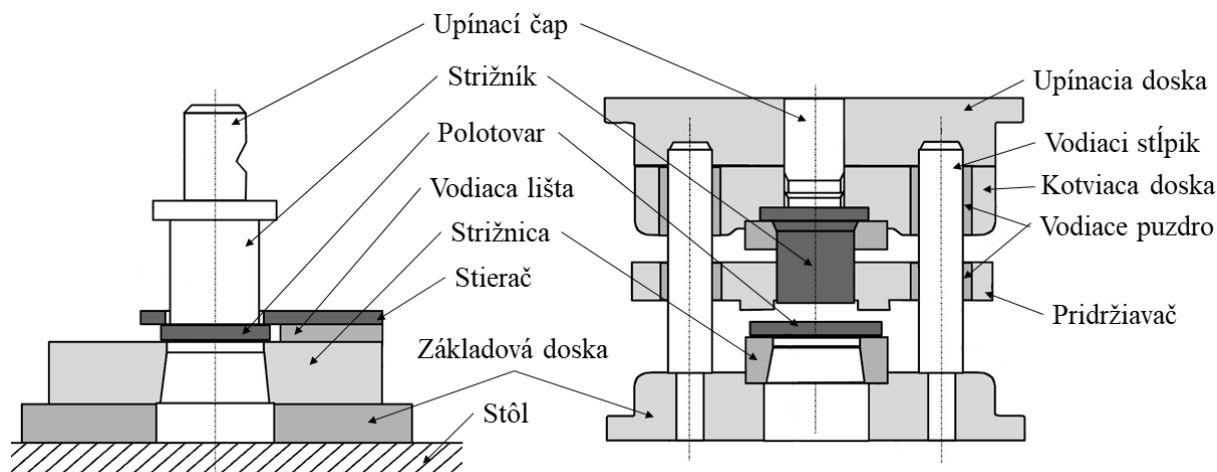
$$A_s = \frac{F_{s \max} \cdot s \cdot \lambda}{1000} [J], \quad (2.58)$$

kde: λ – súčiniteľ plnosti pracovného diagramu z prílohy 2 [-].

2.2.2 Nástroje na strihanie [24], [35], [36], [37]

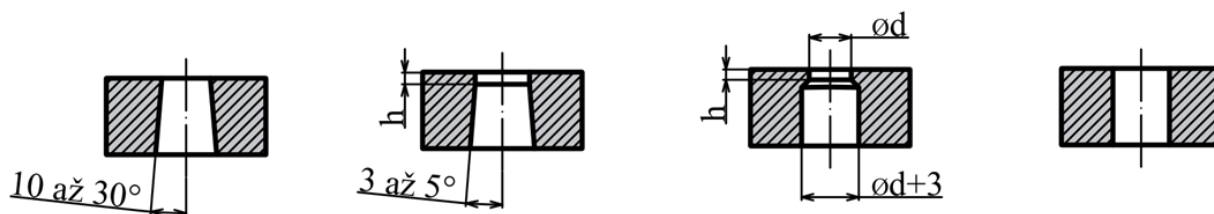
Nástroje na strihanie môžu byť vedené voľne prostredníctvom barana lisu, bez použitia vodiacich dosiek, čo rezným prvkom nezabezpečuje polohu kolmo v nástroji. Životnosť nástroja býva krátka a využíva sa pri obrobkoch, ktoré nemajú vysokú presnosť, zväčša pri kusovej alebo nízkosériovej výrobe. Vďaka svojej jednoduchej konštrukcii sú ekonomicky nenákladné. Na druhej strane, nástroje na strihanie, ktoré sú vedené napríklad prostredníctvom vodiacich stĺpkov, zabezpečujú väčšiu presnosť strihania a zvýšenú efektívnosť.

S využitím zložitejšej konštrukcie rovnako stúpajú jeho celkové počiatkové náklady. Na vedenie vodiacich stĺpikov je možné použitie vodiacich puzdier. Schéma nevedeného i vodeného nástroja na strihanie je zobrazená na obrázku 41.



Obr. 41 Strihadlo nevedené a vedené [36]

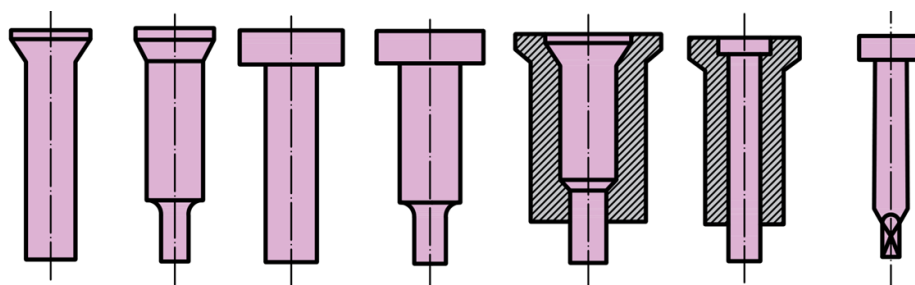
S ohľadom na konštrukciu strihadla sa strižnice delia na celistvé – vyrobené z jedného kusu, skladané – vyrobené z viacerých častí a v neposlednom rade na vložkované – do dosky sú vsadené kalené vložky. Podľa geometrie funkčných častí je strižnica možné rozdeliť do štyroch kategórií podľa obrázka 42. Kužeľová strižnica je vhodná pre vystrihovanie malých častí, sériovú výrobu so strednou presnosťou. Kužeľová strižnica s fazetkou sa využíva pre hromadnú výrobu. Odvrtané odľahčenie sa využíva na operáciu dierovania. V neposlednom rade, valcová strižnica je najčastejšie využívaná na strihanie rozmerných tvarov či pri použití vyhadzovača.



a) kužeľová b) kužeľová s valcovou fazetkou c) s odvrtaným odľahčením d) valcová

Obr. 42 Druhy funkčných častí strižníc [37]

Strižníky je možné rozdeliť podľa tvaru prierezu (kruhové, obdĺžnikové a i.) a podľa spôsobu upínania (upínací držiak, osadenie a i.). Podľa prierezu sú strižníky s čelom britu obvykle kolmé k ose strižníka. Malé strižníky sú vytvorené z jedného kusu, tvarovo zložitejšie či rozmernejšie z kusov viacerých. V takomto prípade je iba funkčná časť zhotovená z nástrojovej ocele, zvyšok z konštrukčnej ocele. Niektoré druhy strižníkov sú na obrázku 43.



a) s kužeľovou hlavou b) s valcovou hlavou c) tenké s puzdrom d) štvorcový

Obr. 43 Druhy strižníkov [37]

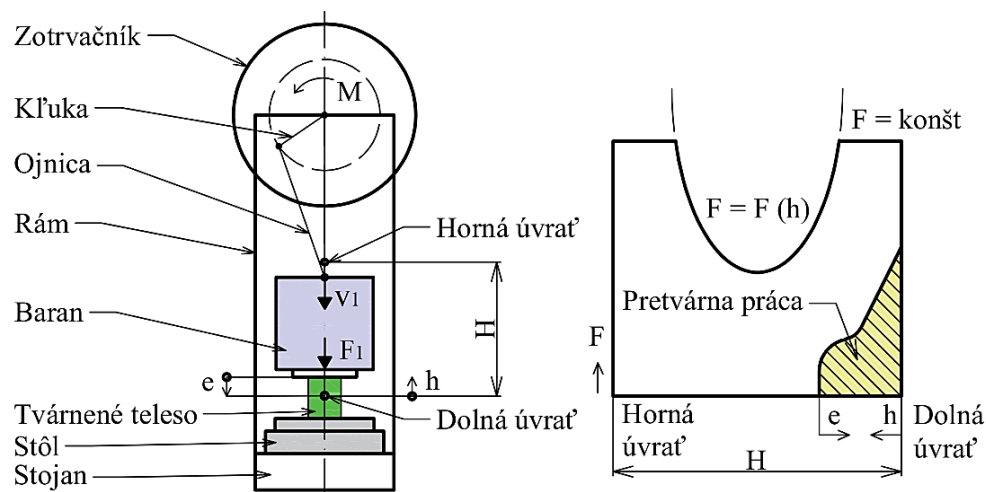
2.7 Stroje [17], [38], [39]

K tomu, aby bolo možné správne určiť potrebný stroj na ťahanie, je nutné v prvom rade poznať ťažnú silu a prácu. Na základe týchto faktorov sa zvolí ťažný lis. Podľa konštrukcie je lisy možné rozdeliť takto:

- Jednočinné – kvôli jedinému baranu je pridržiavač súčasťou konštrukcie nástroja.
- Dvojčinné – pozostávajú z dvoch baranov. Pridržiavač je možné samostatne ovládať.
- Trojčinné – podobne ako dvojčinné. Tretí baran pôsobí proti smeru prvých dvoch.
- Postupové – používajú sa pri ťahaní na viac ťažných operácií v postupových nástrojoch.

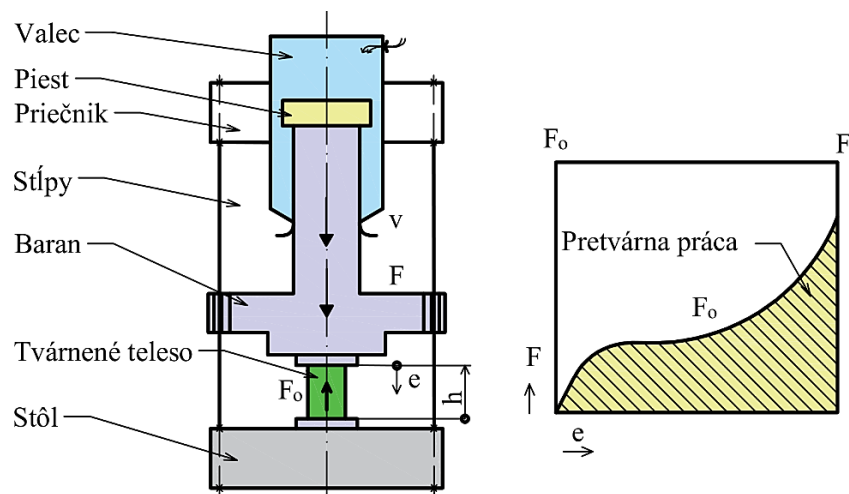
Podľa druhu mechanizmu aplikovaného na prenos energie sú rozoznávané lisy:

- Mechanické – k prekonaniu deformačného odporu polotovaru využívajú potenciálnu aj kinetickú energiu. Ich konštrukcia je relatívne nenáročná, s vysokou produktivitou, no naproti tomu majú značnú nevýhodu. Maximálnu silu dosahujú neďaleko dolnej úvrate, čím vzniká riziko preťaženia stroja. Od toho sa odvíja zložitý proces tvárnenia s použitím veľkých hodnôt sily na dlhšie dráhy a nepriaznivý priebeh rýchlosti. Aby nedošlo k preťaženiu, je nevyhnutné zaťažiť lis menšou silou, než je jeho menovitá sila. Proti poškodeniu strojov slúžia poistky. Mechanické lisy sa ďalej delia na kľukové, kolenové, vačkové a klinové. Najpoužívanejším typom je kľukový mechanizmus zobrazený na obrázku 44 spolu s priebehom tvárniacej sily.



Obr. 44 Kľukový lis s priebehom tvárniacej sily [39]

- Hydraulické – fungujú na báze Pascalovho zákona, a síce na rovnomernom šírení tlaku všetkými smermi. Ako pracovná kvapalina tu slúži hydraulický olej. Na prekonanie deformačného odporu polotovaru využívajú potenciálnu energiu. Oproti mechanickým lisom je možné ľubovoľne nastaviť veľkosť pracovného zdvihu, rovnako je možné ovládať rýchlosť a tlak, a to i do konštantných hodnôt. Maximálnu silu je možné odobrať v ktoromkoľvek bode zdvihu. Hlavnými nevýhodami oproti mechanickým lisom je veľkosť ich konštrukcie, nižšia účinnosť, menšia produktivita a vyššie počiatkové náklady. Lis je znázornený na obrázku 45.



Obr. 45 Hydraulický lis s priebehom tvárniacej sily [39]

2.9 Mazivá [10], [30], [40], [41]

Výber maziva je primárne založený na schopnosti zabrániť zadrhnutiu, pokrčeniu alebo roztrhnutiu plechu pri hlbokom ťahaní. Je takisto ovplyvnené ľahkosťou aplikácie a odstránenia, korozivitou, viskozitou a i. Mazivo je niekedy na použitie príliš korozívne pre určité kovy. Akékoľvek mazivo musí zostať stabilné počas niekoľkomesačného skladovania pri rôznych teplotách. Náklady nanášania a odstraňovania maziva, rovnako ako jeho počiatočné náklady, môžu podstatne zvýšiť cenu na ťahanie dielcov.

Mazanie je dôležité pri znižovaní pracovných síl, zvyšovaní ťažnosti, znižovaní opotrebenia nástroja a znižovaní vzniku defektov na výťažku, čo súvisí so zlepšovaním kvality výťažku. Výber maziva závisí od náročnosti operácie, od typu ťažnej operácie a takisto od materiálu. Pri ťahaní môže veľkosť tlaku dosiahnuť až 3500 MPa a mazivo musí vytvoriť celistvý homogénny film, ktorý toto zaťaženie zvládne bez poškodenia jeho vrstvy. Mazivá môžu byť:

- Oleje – minerálne, organické alebo syntetické. Uprednostňujú sa syntetické, nakoľko minerálne oleje nie sú vhodné pre ťahanie kovov a organické oleje, hoci majú dobré mazacie vlastnosti, sú prídrahé. Ich schopnosti je možné zlepšiť pomocou aditív, akými sú kovové mydlá, aditíva na báze S a P, prípadne Cl. Napriek veľmi dobrým mazacím dispozíciám Cl je z ekologického hľadiska zložitá a nákladná jeho likvidácia. Je možné použiť aj grafit, ktorý sa nevytlačí ani pri použití vysokých tlakov a udržiava svoje mazacie vlastnosti aj pri vysokých teplotách. Nevýhodou je potreba odmastenia,
- Mazivá na báze mydiel – tvorba spočíva v reakcii s kovovými oxidmi na povrchu kovov. Mydlové emulzie sú roztoky sodných i draselných mydiel, pre menšie ťahy sa používa 5 až 10 % roztok, pre veľké ťahy 10 až 20 % roztok. Majú schopnosť odolávať vysokým tlakom pôsobenia. Môžu byť tuhé, polotuhé či tekuté v závislosti od pracovnej teploty,
- Pevné mazivá – najčastejšie grafit, ktorý sa používa v kombinácii s vodou či olejom. Samotný grafit sa z povrchu neodstraňuje veľmi ľahko, preto nie je obľúbený. Znáša teploty až do 800 °C, potom stráca svoje schopnosti. Pri hlbokom ťahaní môžu slúžiť polyméry, napríklad polyetylén alebo teflón,
- Vodné emulzie – majú dobrú schopnosť odvádzať teplo, z toho dôvodu sa používajú pri vysokých nárokoch na chladenie. Používajú sa pri ľahšom tvárnení, nakoľko vydržia tlak do 600 MPa. Využitie pri nižších nárokoch na mazanie s rýchlymi tvárniacimi procesmi a malými deformáciami.

2.10 Technologickosť výroby [13], [17], [41]

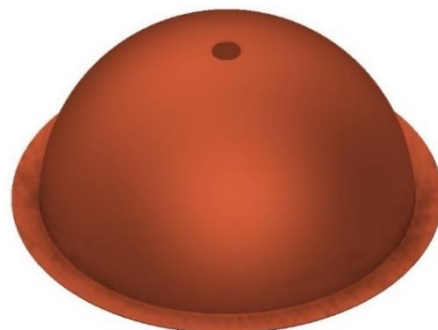
Technologickosť výroby možno chápať ako snahu o čo najefektívnejšiu výrobu s najnižšími možnými nákladmi so súčasným najrýchlejším výrobným časom. Je preto nevyhnutné voliť najlacnejší materiál, ktorý spĺňa funkčné požiadavky na výrobu súčasti. Takisto navrhovať súčasť tak, aby ju bolo možné tvárniť z čo najtenšieho plechu. Technologickosť závisí takisto na veľkosti série, schopnosti obsluhy a organizácie výroby. Ťahanie a strihanie si vyžadujú určité technologické pravidlá. Je nutné uvedomiť si nasledujúce:

- Hrúbka steny plechu sa v procese ťahania mení, aj keď sa uvažuje s procesom bez stenčenia steny. Rozdiel medzi počiatočným polotovarom a finálnou súčasťou môže byť pri vysokom stupni ťahania 20 až 30 % v oboch smeroch.
- Pri ťahaní existuje odpruženie, ktoré spolu s ťažnou medzerou vytvára miernu kužeľovitosť plášťa výtlačku v rozmedzí 1 až 3°.
- Kvôli nerovnomernej hrúbke plechu, nerovnakom pridržiavaní okrajov pridržiavačom a anizotropií mechanických vlastností tvárneného materiálu dochádza z vzniku zvlnenia na okraji výtlačku. Z tohto dôvodu je treba brať do úvahy prídavok na odstrihnutie.
- Zbytočne nerozširovať prírubu. Zvyšuje sa tým počet operácií a narastá cena nástroja,
- Ak to nie je nutné, nezväčšovať výšku výtlačku z rovnakého dôvodu.
- Pri stupňovitých výtlačkoch sú prechody plášťa kužeľové pod uhlom sklonu menším alebo rovným 45°.
- Žiadne prechodové polomery nemôžu byť neobmedzene malé. Ide o polomery medzi dnom a plášťom a medzi plášťom a prírubou. V opačnom prípade je nevyhnutná kalibrácia polomerov po ťahaní.
- Ak to nie je nevyhnutné, nepredpisovať toleranciu hrúbky steny.
- Ak sa na výrobku nachádzajú veľké ploché časti, je vhodné ich vyplniť vhodným tvarovaním, aby boli tuhšie. Vyplnenie môže byť realizované napríklad lemovaním alebo žliabkovaním.
- Presnosť výtlačkov sa predpisuje tak, aby bolo reálne ju doceliť bez ďalšieho zjemňovania odstupňovania či kalibrácie. Keďže každé takéto zväčšené nároky si žiadajú zvyšovať aj počet ťažných operácií, pri výtlačkoch z hlbokoťažných plechov sa dosahuje presnosť $IT\ 12 \div IT\ 16$.
- Nezahŕňať geometrické tolerancie kolmosti a rovinnosti na strihaných plochách.
- Nepredpisovať drsnosť povrchu strihanej plochy nižšiu než „Ra“ 3,2.
- Pri strihaní otvoru sú jeho minimálne rozmery závislé na pevnosti a hrúbke strihaného materiálu.

Návrh výroby zadanej súčasti závesu lustra bude vytvorený so zreteľom na všetky vyššie spomenuté odporúčania, čím budú dodržané technologické zásady.

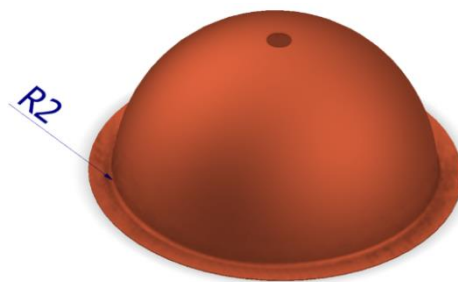
3 NÁVRH VÝROBY

Na výrobu súčasti z medi s hrúbkou plechu 0,5 mm v tvare guľového vrchlíka s prírubou podľa obrázka 46 je potrebné v prvom rade vykonať všetky nutné výpočty na stanovenie základných parametrov polotovaru i jednotlivých faktorov nástroja. Počiatočným materiálom môžu byť nastrihané pásy plechu z tabule plechu, prípadne zvitok plechu. Využitelnosť každej alternatívy bude spočítaná a na jej základe bude zvolený východiskový polotovar. Uvažuje sa s disponovaním automatickej podávacej a rovnacej linky, nakoľko je bežnou súčasťou výrobných podnikov. Vzhľadom na zvolenú sériovosť 40 000 ks.rok⁻¹ a so zreteľom na ekonomiku výroby by jej prípadné zaobstaranie s voľbou výroby zo zvitku plechu tvorilo minoritnú časť nákladov vzhľadom k celkovým nákladom. Princíp bude overený kvôli konkurencieschopnej cene výrobku.



Obr. 46 Model súčasti z medi

Po odstrihnutí prístrihu z polotovaru a samotnom vytiahnutí súčasti nasleduje odstrihnutie časti obvodu príruby. Keďže sa jedná o meď, plynutím času dochádza k vzniku patiny, zelenej oxidickej vrstvy na povrchu materiálu. S ohľadom na industriálnosť výrobku môže byť tento efekt žiaduci a dotvárať tak provokatívny vzhľad a narušenie dizajnu tradičných úžitkových prvkov. Z tohto dôvodu sa v práci neuvažuje o proti-koróznom opatrení, a síce chemickom ošetrení povrchu medi, ktoré sa typicky realizuje vrstvou niklu či zinku.



Obr. 47 Súčasť so zaoblením

Vzhľadom na technologickosť výroby bol na prechode medzi prírubou a guľovým vrchlíkom pridaný rádius, ako je možno vidieť na obrázku 47. Rovnako je vhodné vykonať simuláciu procesu, ktorá slúži na uistenie, že vytiahnutie je možné bez vzniku defektov, a teda že je súčasť vyrobiteľná.

3.1 Technologické výpočty a návrh technologického postupu [8], [42], [43], [44]

Prvým krokom k získaniu parametrov procesu ťahania je výpočet priemeru polotovaru, ktorý predstavuje kruhový prístrih. Neuvažuje sa s otvorom. Prístrih možno vypočítať:

- Zo zákona zachovania plôch sa vypočíta celková plocha súčtom jednotlivých plôch z obrázka 48 podľa vzorca (2.19). Výťažok bude najprv vytiahnutý do polguľovitého tvaru, následne po prevedení vytiahnutia bude odstrihnutý otvor. Z tohto dôvodu sa uvažuje o plnej poglobuli. Obsah guľovej plochy vrchlíka (R64) bez zaoblenia (R2) sa vypočíta nasledovne:

$$S_1 = 2 \cdot \pi \cdot 64 \cdot (64 - 2 - 0,5) = 24\,730,6 \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (3.1)$$

Prechod medzi prírubou a vrchlíkom:

$$S_2 = \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 132 \cdot 2 - 4 \cdot 2^2) = 1\,277,66 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (3.2)$$

Obsah príruby, ktorá sa považuje za medzikružie, je vypočítaná:

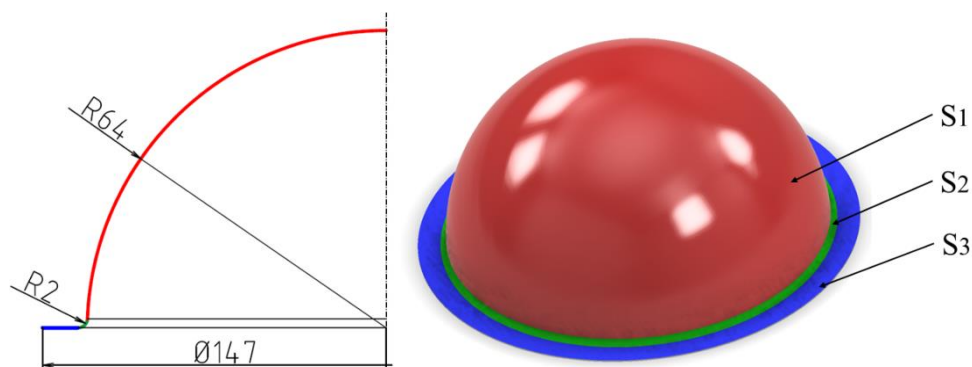
$$S_3 = \pi \cdot 73,5^2 - \pi \cdot 64^2 = 4\,103,71 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (3.3)$$

Celková plocha výťažku je daná ako súčet dielčích častí:

$$S_{\text{výť}} = S_1 + S_2 + S_3 = 24\,730,6 + 1\,277,66 + 4\,103,71 = 30\,112 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (3.4)$$

Na získanie priemeru prístrihu bez prídavku na odstrihnutie sa vychádza zo vzorca (2.22):

$$D_{p0} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{\text{výť}}} = 1,13 \cdot \sqrt{30\,112} = 196 \text{ [mm]}.$$



Obr. 48 Rozmery a plochy výťazku

Výpočet zo vzorca –pre polgul'ový výťazok s prírubou so zanedbaním prechodového rádiu podľa vzorca (2.15):

$$D_{p0} = \sqrt{147^2 + 128^2} = 194,92 \text{ [mm]}.$$

S uvážením tolerancie na výrobu je vhodné zaokrúhliť priemer na hodnotu 195 mm.

- Softwarom – vychádza sa z objemu vypočítaného pomocou programu Autodesk Inventor. Výslednú plochu je možné získať podielom nadobudnutého objemu a hrúbky plechu:

$$S_{výt} = \frac{V_{výt}}{s} = \frac{14\,928,328}{0,5} = 29\,856,66 \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (3.5)$$

kde: $V_{výt}$ – objem výťazku získaný z programu Autodesk Inventor [mm³].

Následne, rovnako podľa vzorca (2.22) sa zistí priemer prístrihu bez prídavku na ostrihovanie:

$$D_{p0} = 1,13 \cdot \sqrt{S_{výt}} = 1,13 \cdot \sqrt{29\,856,66} = 195,25 \text{ [mm]}.$$

Opäť sa ráta s toleranciou na výrobu prístrihu, preto sa hodnota zaokrúhli na 195,3 mm.

Štyri možnosti veľkostí, ktoré boli vypočítané, sa od seba líšia v malej miere. Maximálny rozdiel medzi hodnotami 196 mm a 194,92 mm predstavuje 0,55 %. Jednotlivé výpočty sú zaokrúhľované, týmto vzniká určitá nepresnosť. Najspoľahlivejšou možnosťou spomedzi zmienovaných je posledná, a síce možnosť výpočtu s použitím softwaru, preto sa s ňou bude ďalej kalkulovať. Tento priemer však nie je konečný. Na zistenie finálneho priemeru s prídavkom na ostrihovanie je potrebné určiť počet ťažných operácií, nakoľko jedna z možností určenia prídavku vychádza práve z tohto činiteľa. Prístrih je ťahaný z priemeru 195,3 mm na gul'ový vrchlík s priemerom 128 mm. Zistí sa, či je možné súčasť vytiahnuť na jednu operáciu pomocou vzorca (2.27) nasledovne:

$$d_1 = m_1 \cdot D_{p0} = 0,71 \cdot 195,3 = 138,67 \text{ [mm]},$$

kde: m_1 – súčiniteľ ťahania v hodnote 0,71 typický pre polgul'ový výťazok [-].

Keďže je dosiahnuteľné na jednu ťažnú operáciu vytiahnuť maximálny priemer 138,67 mm, je nutné rátať s viacerými ťahmi, nakoľko cieľená hodnota 128 mm v tomto kroku nie je realizovateľná. Celkový počet operácií sa vyjadří pomocou vzťahu (2.30) ako:

$$n_c = 1 + \frac{\ln d_n - \ln(m_1 \cdot D_p)}{\ln(m')} = 1 + \frac{\ln 128 - \ln(0,71 \cdot 195,3)}{\ln(0,71)} = 1,23 \text{ [-]}.$$

Hodnota sa zaokrúhľuje na najbližšie celé číslo, získavame produkt ťahaný na dve operácie.

Polgul'ovité výťazky sú svojím tvarom špecifické, preto existuje aj špecifická možnosť pomocou nomogramu, ktorá určí, či je výťazok možné ťahať na jednu alebo viac operácií. Vychádza sa z obrázka 22. Prv je nutné určiť pomer vrchlíka:

$$P_v = \frac{128}{0,5} = 256 \text{ [-]}. \quad (3.6)$$

Nomogram naznačuje, že hodnota pomeru je neobyčajne veľká, súčasť bude ťahaná na viacero operácií, no neurčuje ich konkrétny počet. Hodnoty na nomograme sú stanovené experimentálne pre podmienky ťahania hlbokotážneho oceľového plechu ČSN 11 320, ktorého materiálový ekvivalent je podľa STN EN 10027-1 ako DD11. Vzhľadom na rozdielne mechanické vlastnosti je vhodné pre ďalší postup ich porovnanie. Parametre sú v tabuľke 9.

Tab. 9 Porovnanie mechanických vlastností materiálov [8], [42].

Materiál	Medza sklzu [MPa]	Medza pevnosti v ťahu [MPa]	Ťažnosť [%]
DD11	360	440	30
Cu 99,5	110	255	50

So zreteľom na okázalé rozdiely vo vlastnostiach a so zarátaním odchýlky s možnosťou posudzovať stupeň pretvorenia s hodnotou o 10 % nižšou, sa uvažuje napriek vysokej hodnote s ťahaním na dve ťažné operácie. Rozhodnutie bude overené simuláciou.

V prvom ťahu bude ťahaná valcová dutá súčasť s priemerom 162 mm na výšku 25,5 mm. Po druhom ťahu budú dosiahnuté finálne rozmeroy. Charakteristickým súčiniteľom ťahania pre všetky operácie pri ťahaní sférických výtlačkov je 0,71. Skutočné súčinitele ťahania sú vyjadrené nasledovným spôsobom na základe vzorca (2.24) a (2.25):

$$m_1 = \frac{d_1}{D_p} = \frac{162}{203} = 0,798 [-], \quad m_2 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{128}{162} = 0,79 [-].$$

Celkový súčiniteľ ťahania je násobkom jednotlivých súčiniteľov. Vzorcom (2.26):

$$m_c = m_1 \cdot m_2 = 0,798 \cdot 0,79 = 0,63 [-],$$

Po stanovení počtu ťahov a jednoduchých súčiniteľov ťahania je nevyhnutné k priemeru prístrihu prirátat prídavok na ostrihovanie. Ten je možné určiť rôznymi spôsobmi:

- Výpočet podľa vzorca (2.16), do úvahy sa berie 5-násobok hrúbky plechu:
 $w = (2 \div 5) \cdot s = 5 \cdot 0,5 = 2,5 [mm].$
- Stanovenie podľa tabuľky 3 na základe pomerného priemeru príruby. V prvom rade je potrebné určiť pomerný priemer príruby podľa vzorca (2.17) ako:

$$P_p = \frac{d_{pr}}{d_2} = \frac{147}{128} = 1,15 [-].$$

Keďže má priemer príruby rozmer 147 mm, ráta sa s riadkom, ktorý sa tejto hodnote najviac priblíži. Bude sa teda uvažovať riadok s hodnotou 150 mm. Z príslušného stĺpca s hodnotami, kde je pomerný priemer príruby menší ako 1,5, vyjde výsledný prídavok na ostrihovanie rotačných výtlačkov s prírubou ,w‘ s veľkosťou 4,3 mm.

- Percentuálne na základe počtu ťahov – po prvej operácii sa odporúča prirátat 3 % z pôvodnej veľkosti, s každou ďalšou operáciou hodnota narastá o ďalšie 1 %. Keďže sa bude ťahať na dve operácie, celkovo 3 + 1 a teda 4 % z priemeru prístrihu, vzorcom:

$$w = 0,04 \cdot D_{p0} = 0,04 \cdot 195,3 = 7,8 [mm]. \quad (3.7)$$

Posledná možnosť, a síce určenie prídavku na základe percentuálneho vyjadrenia z počtu operácií sa javí ako najadekvátnejšia možnosť. V nasledujúcich výpočtoch sa bude uvažovať s najväčším prídavkom, ktorého veľkosť je 7,8 mm.

Finálny rozmer prístrihu s prídavkom na ostrihovanie je podľa rovnice (2.18) v tvare:

$$D_p = D_{p0} + w = 195,3 + 7,8 = 203,1 [mm].$$

Keďže je prídavok nemalý, hodnota sa nebude zaokrúhľovať smerom nahor, čo by navýšilo potrebu materiálu o necelý 1 milimeter. Stav by pri sériovej výrobe mohol mať pozoruhodný navyšujúci účinok na hospodárstvo. Naopak, zaokrúhli sa smerom nadol na hodnotu 203 mm.

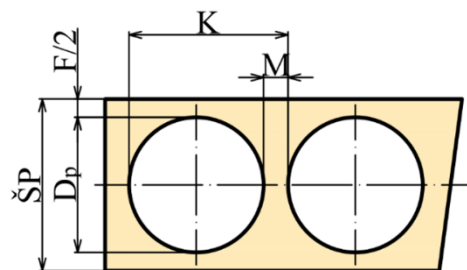
Možnosti výroby prístrihu

Pred samotným ťahaním je nutné polotovár najprv vystrihnúť. Náklady na vstupný materiál tvoria významnú časť celkových nákladov na výrobu. Z tohto dôvodu je nutné rozmýšľať ekonomicky a snažiť sa o čo najväčšiu úsporu materiálu. Pri vzniku nadbytočného odpadu dochádza k navýšeniu konečnej ceny súčasti, čo sa negatívne odrazí na konkurencieschopnosti.

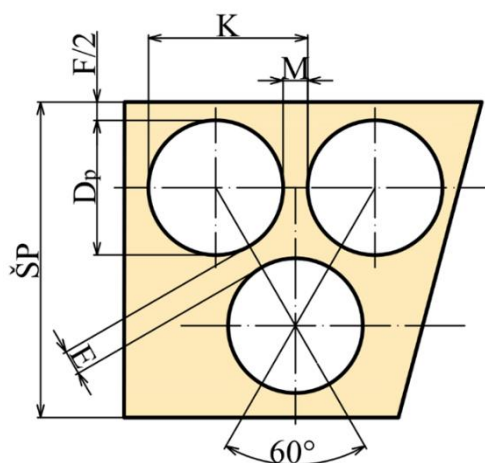
Rozloženie výstrižkov závisí na veľkosti prístrihu rovnako ako na najmenšej vzdialenosti medzi jednotlivými výstrižkami, a v neposlednom rade na vzdialenosti od okraja. Dôležitým faktorom je samotný tvar výstrižku. Ideálne rozloženie pozostáva z uloženia jednotlivých výstrižkov priamo za sebou, dotýkajúc sa jednou hranou bez žiadneho mostíka. V tomto prípade vznikajú nežiaduce otrepy. Keďže sa však jedná o kruhový prístrih, táto alternatíva nie je umožnená. Existuje však jednoduché usporiadanie v rade s možnosťou výberu počtu radov. Najjednoduchšou alternatívou je priame, jednoradové usporiadanie vyobrazené na obrázku 49. S každým ďalším pribúdajúcim radom stúpa percentuálne využitie materiálu. S využitím však stúpa komplikovanosť nástroja, od čoho sa odvíja aj jeho cena. Dvojradowé usporiadanie je možné vidieť obrázku 50. Na základe priemeru prístrihu a hrúbky plechu je podľa nomogramu v prílohe 3 stanovená veľkosť mostíka ,M' a veľkosť prepážky ,F' ako:

$$M = 3,5 \text{ mm},$$

$$F = 9 \text{ mm}.$$



Obr. 50 Priame usporiadanie [31]



Obr. 49 Dvojradowé usporiadanie [31]

Následne je vypočítaná dĺžka kroku ,K':

$$K = D_p + M = 203 + 3,5 = 206,5 \text{ [mm]}. \quad (3.8)$$

Šírku pásu ,ŠP' pre priame rozloženie sa vypočíta ako:

$$\check{S}P = D_p + F = 203 + 9 = 212 \text{ [mm]}. \quad (3.9)$$

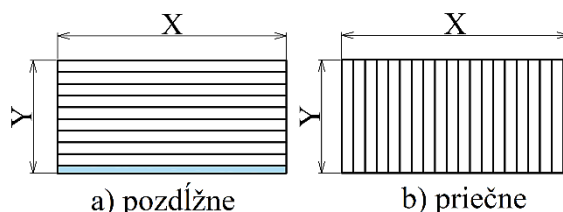
Šírka pásu ,ŠP' pre rozloženie v dvoch radoch sa vypočíta nasledovne:

$$\begin{aligned} \check{S}P &= 2 \cdot \frac{D_p}{2} + F + \sqrt{\left(2 \cdot \frac{D_p}{2} + M\right)^2 - \left(\frac{D_p}{2} + \frac{M}{2}\right)^2} = \\ &= D_p + F + \sqrt{(D_p + M)^2 - \left(\frac{D_p}{2} + \frac{M}{2}\right)^2} = \\ &= 203 + 9 + \sqrt{(203 + 3,5)^2 - \left(\frac{203}{2} + \frac{3,5}{2}\right)^2} = 390,83 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Plech je dodávaný vo zvitkoch alebo v tabuliach. Pri zvitkoch si zákazník navolí konkrétnu šírku zvitku, nakoľko je zhodná priamo so šírkou plechu. Dĺžku zvitku si zákazník takisto volí sám. Všeobecne je táto metóda výhodnejšia z hľadiska úspory materiálu, no je potrebné disponovať pomocným zariadením vo forme odvíjačky a rovnačky. Zariadenie je ekonomicky pomerne dostupné. Z dlhodobého hľadiska sa doň zaručene oplatí investovať, nakoľko sa výrazne znížia náklady na materiál, ktoré tvoria výraznú časť celkových nákladov výroby.

Tabule sú dodávané v troch rozmeroch, a to v 2 000 x 1 000 mm, 2 500 x 1 250 mm a 3 000 x 1 500 mm, všetky s hrúbkou 0,5 mm.

Je možné ich deliť v pozdĺžnom smere podľa obrázka 51a a v priečnom smere, obrázok 51b. V ďalšom kroku je porovnávaná využiteľnosť plechov vo variante troch rozmerov tabúl. Následne sú hodnoty porovnané so zvitkom plechu. Rozlišujú sa alternatívy:



Obr. 51 Delenie plechu

- Tabuľa plechu – výpočet bude realizovaný pre tabuľu s rozmermi 0,5 x 1 000 x 2 000 mm v pozdĺžnom smere. Ostatné varianty rozmerov a priečného smeru tabúl budú vypočítané obdobným spôsobom a výsledné hodnoty budú zaznamenané v tabuľke. Existujú možnosti:

- Pozdĺžne rozdelenie priameho usporiadania podľa obrázka 52, kde modrá časť predstavuje nedokončený, nevyužitý pás. Plocha jedného dielu je:

$$S_p = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} = \frac{\pi \cdot 203^2}{4} = 32\,365,5 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (3.11)$$

Plocha jednej tabule je súčin šírky ,X' a dĺžky ,Y' tabule plechu, vzorcom:

$$S_{tab} = X \cdot Y = 2\,000 \cdot 1\,000 = 2\,000\,000 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (3.12)$$

Počet pásov na tabuľu plechu:

$$p_p = \frac{Y}{\xi P} = \frac{1\,000}{212} = 4,7 \text{ [ks]}. \quad (3.13)$$

Počet pásov je nutné zaokrúhliť smerom nadol na najbližšie celé číslo, teda 9 pásov. Inak by posledný pás nebol kompletný a mal by nedostačujúce rozmery.

Počet kusov na pás plechu:

$$p_k = \frac{X}{K} = \frac{2\,000}{206,5} = 9,7 \text{ [ks]}. \quad (3.14)$$

Počet kusov na pás plechu je takisto nutné zaokrúhliť smerom nadol z rovnakého dôvodu. Výsledná hodnota je 9 kusov.

Celkový počet výstrižkov na jednu tabuľu plechu:

$$p_v = p_p \cdot p_k = 4 \cdot 9 = 36 \text{ [ks]}. \quad (3.15)$$

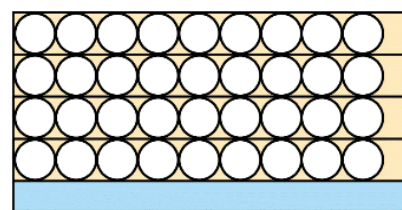
Počet tabúl plechu:

$$p_t = \frac{40\,000}{p_v} = \frac{40\,000}{36} = 1111,1 \text{ [ks]}. \quad (3.16)$$

Keďže nie je možné objednať si desatinu tabule plechu, je nutné počet tabúl plechu zaokrúhliť smerom nahor na najbližšie celé číslo. Výsledný počet je 1111 kusov tabúl.

Využitie jednej tabule plechu sa vypočíta podľa vzorca (2.54):

$$\eta_t = \frac{S_p \cdot p_v \cdot 100}{S_{tab}} = \frac{32\,365,5 \cdot 36 \cdot 100}{2\,000\,000} = 58,26 \text{ [%]}.$$



Obr. 52 Pozdĺžne rozdelenie priameho usporiadania

- Pozdĺžne rozdelenie dvojradového usporiadania podľa obrázka 53. Modrá časť opäť predstavuje zvyškový, primálny pás plechu. Počet pásov na tabuľu plechu sa vypočíta:

$$p_p = \frac{Y}{\check{S}P} = \frac{1\,000}{390,83} = 2,56 \text{ [ks]}.$$

Počet kusov na pás plechu:

$$p_k = \frac{X}{K} = \frac{2\,000}{206,5} = 9,7 \text{ [ks]}.$$

Počet kusov na pás je potrebné vynásobiť dvomi, nakoľko sa jedná o dvojradové usporiadanie. V každom rade je počet kusov rovnaký, a síce 9.

Celkový počet výstrižkov na jednu tabuľu plechu:

$$p_v = p_p \cdot p_k = 2 \cdot (2 \cdot 9) = 36 \text{ [ks]}.$$

Počet tabúl plechu:

$$p_t = \frac{40\,000}{p_v} = \frac{40\,000}{36} = 1111,1 \text{ [ks]}.$$

Tabuľ plechu je 1 111 kusov. Využitie jednej tabule plechu je podľa vzorca (2.54):

$$\eta_t = \frac{S_p \cdot p_v \cdot 100}{S_{tab}} = \frac{32\,365,5 \cdot 36 \cdot 100}{2\,000\,000} = 58,26 \text{ [\%]}.$$

- Priame usporiadanie v zvitku plechu so šírkou plechu 212 mm, vnútorným priemerom 500 mm a vonkajším priemerom 1000 mm podľa obrázka 54. Dĺžka zvitku sa určí:

$$L_{zv} = \frac{\pi \cdot (D_{zv}^2 - d_{zv}^2)}{4 \cdot s} = \frac{\pi \cdot (1000^2 - 500^2)}{4 \cdot 0,5} \quad (3.17)$$

Plocha zvitku:

$$S_{zv} = \check{S}P \cdot L_{zv} = 212 \cdot 1\,178\,097,2 = 249\,756\,606,4 \text{ [mm}^2\text{]}. \quad (3.18)$$

Počet kusov na zvitok plechu:

$$p_k = \frac{L_{zv}}{K} = \frac{1\,178\,097,2}{206,5} = 5\,705,1 \text{ [ks]}. \quad (3.19)$$

Opäť je potrebné zaokrúhliť hodnotu na 5 705 ks.

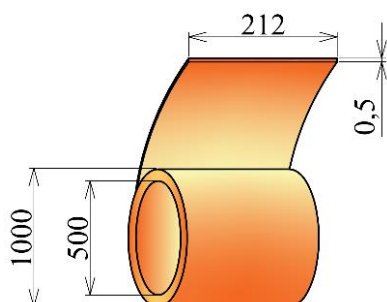
Počet zvitkov plechu sa vypočíta podľa vzorca:

$$p_{zv} = \frac{40\,000}{p_k} = \frac{40\,000}{5\,705} = 7,1 \text{ [ks]}. \quad (3.20)$$

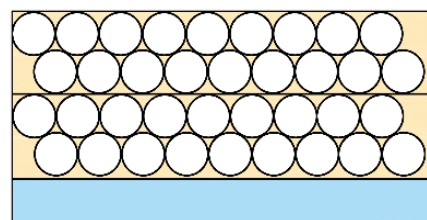
Konečný počet zvitkov plechu sa zaokrúhľuje smerom nahor na hodnotu 8.

Využitie jedného zvitku plechu sa vypočíta podľa vzorca (2.55) ako:

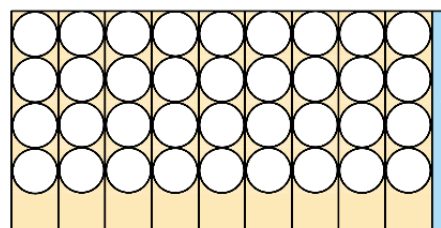
$$\eta_{zv} = \frac{S_p \cdot p_k \cdot 100}{S_{zv}} = \frac{32\,365,5 \cdot 5\,705 \cdot 100}{249\,756\,606,4} = 73,93 \text{ [\%]}.$$



Obr. 54 Zvitok plechu



Obr. 53 Pozdĺžne rozdelenie dvojradového usporiadania



Obr. 55 Priečne rozdelenie priameho usporiadania

Na rovnakom princípe boli vypočítané zostávajúce alternatívy. Na obrázku 55 je možnosť vidieť priame usporiadanie pri priečnom rozdelení. Hodnoty percentuálneho využitia rozdielnych polotovarov pri dvoch druhoch delenia i uloženia sú opísané v tabuľke 10.

Tab. 10 Porovnanie využitia plechu.

Polotovár	Rozmery [mm]	Delenie	Uloženie	Využitie [%]
Tabuľa plechu	2 000 x 1 000	Pozdĺžne	Priame	58,26
			Dvojradowé	58,26
		Priečne	Priame	58,26
			Dvojradowé	58,26
Tabuľa plechu	2 500 x 1 250	Pozdĺžne	Priame	62,14
			Dvojradowé	74,57
		Priečne	Priame	62,14
			Dvojradowé	74,57
Tabuľa plechu	3 000 x 1 500	Pozdĺžne	Priame	70,48
			Dvojradowé	60,42
		Priečne	Priame	70,48
			Dvojradowé	60,42
Zvitok plechu	212 x 1 178 097,2		Priame	73,93

Očakávané vysoké hodnoty využitia pri dvojradowom usporiadaní neboli naplnené. Pri najmenšom rozmere tabule plechu sa od priameho uloženia nelíšia vôbec. Pri strednom a veľkom formáte je rozdiel viditeľnejší, okolo 10 %. Všeobecne vyššie hodnoty využitia v rozmedzí niečo málo cez 58 % a takmer 74 %.

Z tabuľky je zrejmé, že najvyššie využitie plechu nastáva pri použití tabule plechu s rozmermi 2 500 x 1 250 mm pri dvojradowom uložení. Jeho hodnota je 74,57 %. Nakoľko je však strižný nástroj pre dva rady nákladný a pri zvolenej sériovosti by príliš navýšil cenu konečného výrobku, nebude sa uvažovať s alternatívou dvojradowého uloženia. Druhým v poradí je zvitok plechu s využitím 73,93 %. Keďže sa uvažuje s disponovaním odvíjacej, rovnacej a podávacej linky, je zvolená posledná možnosť – použitie zvitku plechu.

Použitie pridržiavača

V prvej operácii sa môže použitie pridržiavača určiť spôsobom podľa vzorca (2.44) a síce:

$$u = 50 \cdot \left(z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_p}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{0,5}}{\sqrt[3]{203}} \right) = 88,98 [-].$$

Súčiniteľ ,u‘ je potrebné porovnať s pomerným priemerom príruby ,p‘:

$$p = \frac{d_1}{D_p} \cdot 100 = \frac{162}{203} \cdot 100 = 79,8 [\%]. \quad (3.21)$$

Keďže je súčiniteľ ,u‘ väčší ako pomerný priemer príruby ,p‘, je nutné použiť pridržiavač v prvej operácii. V druhej operácii sa vychádza z potreby pre polguľovité výťazky. Nutosť použitia pridržiavača sa stanoví podľa vzorca (2.50) nasledovným spôsobom:

$$\Delta s = \frac{s}{d_1} \cdot 100 = \frac{0,5}{114} \cdot 100 = 0,44 [\%].$$

Keďže má pomerný prístrih hodnotu menšiu ako 0,5 %, existujú dve možnosti výroby. Prvou je hlboké ťahanie s použitím brzdiaceho rebra, s ktorým súvisí použitie pridržiavača. Druhou je spätné ťahanie, ktoré sa javí ako vhodnejšia alternatíva a preto sa s ním bude uvažovať.

Ťažná medzera

Pre prvý ťah podľa vzorca (2.31):

$$z_1 = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot s = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ [mm]}.$$

Koeficient bol zvolený v hodnote 1,2.

Pre druhý ťah podľa vzorca (2.32):

$$z_2 = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot s = 1,1 \cdot 0,5 = 0,55 \text{ [mm]}.$$

Koeficient bol zvolený v hodnote 1,1.

Podľa Oehlera zo vzťahu (2.33):

$$z = s_{max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot s} = 0,5 + 0,04 \cdot \sqrt{10 \cdot 0,5} = 0,59 \text{ [mm]}.$$

Súčiniteľ ,k' je pre neželezné kovy rovný hodnote 0,04.

Podľa tabuľky 5:

$$z = 0,55 \text{ [mm]}.$$

Vypočítané hodnoty sa od seba príliš nelíšia. Bude sa uvažovať s čo najmenšími hodnotami v jednotlivých ťahoch, nakoľko to so zreteľom na výsledný tvar výťažku dodá na stabilizácii, ktorá je pri sférických výťažkoch ohrozená. V prvom ťahu teda s hodnotou 0,6 mm a v druhom ťahu 0,55 mm.

Ťažnica

Uvažuje sa ťažnica so zaoblenou hranou. Pre prvý ťah budú použité rovnaké polomery zaoblenia ťažnice i ťažníka podľa vzorca (2.42) spôsobom:

$$r_{tc1} = (8 \div 10) \cdot s = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ [mm]}.$$

Zvolená hodnota 10-násobku je najvhodnejšia, nakoľko je v prvej operácii prospešné dosiahnuť čo najväčších polomerov s cieľom priaznivého ťahania v nasledujúcej operácii.

V druhom ťahu sa vychádza zo vzorca (2.44), nakoľko je rozmer väčší ako 60 mm:

$$r_{tc2} = (6 \div 10) \cdot s = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ [mm]}.$$

Opäť sa uvažuje s 10-násobkom hrúbky steny, nakoľko pri ťahaní sférického výťažku hrozí, že dôjde k pretrhnutiu steny na začiatku sférického tvaru, ak bude zaoblenie primálne. Polomer zaoblenia ťažnice sa častokrát zvykne prepočítavať s ohľadom na výstupné simulačné dáta. Je možné ho meniť priamo v simulačnom softvéri a prispôbovať charakteru procesu podľa potreby.

Ťažník

Polomer zaoblenia ťažníka je v prvom ťahu rovnaký ako polomer zaoblenia ťažnice:

$$r_{tv1} = r_{tc1} = 5 \text{ [mm]}. \quad (3.22)$$

V ďalšom ťahu sa neuvažuje s výpočtom polomeru zaoblenia ťažníka vzhľadom na výsledný tvar výťažku.

Sila a práca

Celkový technologický proces pozostáva z troch operácií tvárnenia. V prvej operácii prebehne vystrihnutie prístrihu so súčasným vytiahnutím dutej valcovej súčasti bez príruby so zaoblenými hranami na dne výťažku. Následne, v druhej operácii, v procese spätného ťahania dôjde k vytiahnutiu konečného tvaru sférického výťažku s prírubou. V treťom a súčasne poslednom úkone dôjde k vystrihnutiu otvoru na vrchole guľového vrchlíka, zároveň bude vykonané odstrihnutie prídavku na príрубе. Sila, práca a priebeh každej operácie bude popísaný samostatne.

Prvá operácia – vystrihnutie prístrihu a 1. ťah

Pred začiatkom samotného procesu sa vloží zvitok plechu do nástroja pomocou podávacieho zariadenia materiálu. Podávač materiálu zabezpečí vypočítanú veľkosť kroku zo vzorca (3.8) v hodnote 206,5 mm. Obsluha stroja použitím bezpečnostného obojručného ovládania spustí chod operácie. Dochádza k vystrihnutiu polotovaru. Strižný proces je podmienený vytvorením vhodne veľkej strižnej vôle. Jej veľkosť sa určí zo vzťahu (2.56):

$$v_s = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,013 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 255} = 0,06 \text{ [mm]},$$

kde: c – opravný koeficient (0,005 – 0,025), uvažuje sa sa hodnotou 0,013 [-],
 τ_s – napätie v strihu [MPa].

V operácii bude okrem vystrihnutia prístrihu rozstrihnutý takisto odpad pre jeho jednoduchšiu manipuláciu. Miesto strihu je zobrazené na obrázku 56. Strižná sila sa určí podľa vzorca (2.57) ako:

$$F_{s1} = n_s \cdot S_{s1} \cdot 0,8 \cdot R_m = n_s \cdot \pi \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m = \\ = 1,55 \cdot (\pi \cdot 203 + 2 \cdot 8,6) \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 255 = 103\,547 \text{ [N]},$$

kde: n_s – súčiniteľ, ktorý zahŕňa vplyv vonkajších podmienok zvyšujúci strižnú silu, napríklad otupenie rezných hrán, nastavenie nástroja. Uvažuje sa 1,55 [-],
 S_{s1} – obsah plochy prvej strižnej hrany [mm²].

Strižná práca vychádza zo vzorca (2.58):

$$A_{s1} = \frac{\lambda \cdot F_{s1} \cdot s}{1000} = \frac{0,75 \cdot 103\,547 \cdot 0,5}{1000} = 39 \text{ [J]},$$

kde: λ – súčiniteľ plnosti závislý na druhu a hrúbke materiálu, ktorý sa nachádza v prílohe 2. Pre meď do hrúbky 1 mm sa uvažuje 0,75.

Keďže je strižná sila pre rozstrihnutie len 3 % z celkovej strižnej sily, zanedbáva sa výpočet ťažiska síl nástroja.

Po strihaní dochádza k vytiahnutiu valcového výtlačku bez príruby s priemerom 162 mm s výškou 25,5 mm. Overovacie skúšky materiálu neboli vykonané, z tohto dôvodu sa uvažuje s najväčšou možnou hodnotou medze pevnosti materiálu „ R_m “ v hodnote 255 MPa. Sila na odtrhnutie dna v prvom ťahu sa stanoví podľa vzorca (2.35) ako:

$$F_{to1} = c \cdot \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot R_m = 1 \cdot \pi \cdot 114 \cdot 0,5 \cdot 255 = 45\,663 \text{ [N]}.$$

Súčiniteľ ťahania „ m_1 “ má hodnotu 0,56. Na jeho základe je z tabuľky 6 určená hodnota súčiniteľa „ c “ ako 1.

Sila potrebná na pridržiavanie v prvom ťahu vychádza z rovnice (2.36) nasledovne:

$$F_{p1} = S_{pr1} \cdot p_{p1} = \left(\frac{\pi}{4} \cdot (D_p^2 - (d_1 + 2 \cdot r_{tc1})^2) \right) \cdot p_1 \\ = \left(\frac{\pi}{4} \cdot (203^2 - (162 + 2 \cdot 5)^2) \right) \cdot 2 = 18\,261 \text{ [N]},$$

kde: p_{p1} – tlak od pridržiavača v dolnej úvrati (pre meď v rozmedzí 1,2 – 2 MPa).

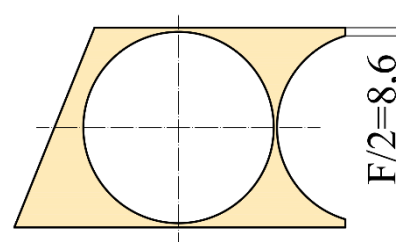
Celková ťažná sila v prvom ťahu:

$$F_{tc1} = F_{to1} + F_{p1} = 45\,663 + 18\,261 = 63\,924 \text{ [N]}. \quad (3.23)$$

Tvárnica práca v prvom ťahu podľa vzorca (2.40):

$$A_{t1} = \frac{c_t \cdot F_{tc1} \cdot h_{t1}}{1000} = \frac{0,66 \cdot 63\,924 \cdot 40}{1000} = 1\,688 \text{ [J]},$$

kde: c_t – súčiniteľ ťahania (bez kalibrácie 0,66, s kalibráciou 0,8) [-],
 h_{t1} – ťažná výška pri prvom ťahu [mm].



Obr. 56 Miesto rozstrihnutia

Druhá operácia – 2. (spätný) ťah

Druhý ťah pozostáva z uloženia výťazku na ťažnicu. Z pôvodnej výšky 25,5 mm bude mať finálny váťažok výšku 64 mm, no opačne orientovanú, nakoľko ťažník pôsobí spätne opačným smerom. Steny pôvodného kalíška prechádzajú cez vonkajšie zaoblenie hrany ťažnice a sú vťahované ťažníkom najprv pod pridržiavač, neskôr cez vnútorné zaoblenie hrany ťažnice do finálneho sférického tvaru. Celková tvárniaca sila pozostáva zo sily potrebnej na odtrhnutie dna a sily od pridržiavača. Výpočty dielčích síl:

Sila na odtrhnutie dna v druhom ťahu:

$$F_{to2} = c \cdot \pi \cdot d_2 \cdot s \cdot R_m = 0,46 \cdot \pi \cdot 128 \cdot 0,5 \cdot 255 = 23\,585 \text{ [N]}.$$

Súčiniteľ 'c' sa volí 0,46 na základe súčiniteľa ťahania 'm₂' vo veľkosti 0,78 z tabuľky 6.

Pridržiavacia sila v druhom ťahu:

$$\begin{aligned} F_{p2} &= S_{pr2} \cdot p_{p2} = \left(\frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 - (d_2 + 2 \cdot r_{tc2} + 2 \cdot r_{v1})^2) \right) \cdot p_2 \\ &= \left(\frac{\pi}{4} \cdot (162^2 - (128 + 2 \cdot 5 + 2 \cdot 5)^2) \right) \cdot 2 = 6\,817 \text{ [N]}, \end{aligned}$$

kde: r_{v1} – zaoblenie hrany dna v prvom výťazku [mm],
 S_{pr2} – plocha pod pridržiavačom v druhom ťahu [mm²],
 p_{p2} – tlak pridržiavača v druhom ťahu, volí sa rovnako 1,8 [MPa].

Celková tvárniaca sila v druhom ťahu:

$$F_{tc2} = F_{to2} + F_{p2} = 23\,585 + 6\,817 = 32\,402 \text{ [N]}.$$

Tvárniaca práca v druhom ťahu:

$$A_{t2} = \frac{c_t \cdot F_{tc2} \cdot r_2}{1000} = \frac{0,66 \cdot 32\,402 \cdot 64}{1000} = 1\,369 \text{ [J]}.$$

Tretia operácia – vystrihnutie diery a odstrihnutie prídavku

Tretia operácia je zároveň poslednou operáciou. Výťazok je založený na priemer 128 mm. Nasleduje vystrihnutie otvoru vo veľkosti 10 mm na vrchole polguľovitej časti výťazku so súčasným odstrihnutím prídavku na prírubu. Na základe predchádzajúceho výpočtu bola strižná vôľa vypočítaná v hodnote 0,06 mm. Celková strižná sila sa určí ako:

$$F_{s3} = n_s \cdot l \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,55 \cdot (\pi \cdot 10 + \pi \cdot 147) \cdot 0,8 \cdot 255 = 155\,960 \text{ [N]},$$

kde: l – dĺžka strihanej plochy [mm].

Z vypočítanej hodnoty sa stanoví celková strižná práca v tretej operácii:

$$A_{s3} = \frac{\lambda \cdot F_{s3} \cdot s}{1000} = \frac{0,75 \cdot 155\,960 \cdot 0,5}{1000} = 58,5 \text{ [J]}.$$

Súčiniteľ plnosti λ je rovnako ako v prvej operácii stanovený v hodnote 0,75.

K tomu, aby bol vhodne zvolený stroj, je nutné sčítať všetky dielčie časti síl i prác. Tieto hodnoty sú východiskovými veličinami pri správnom výbere, nakoľko sa nemôže dopustiť, aby došlo k jeho preťaženiu. Z toho vyplýva, že celková tvárniaca sila potrebná na výrobu výťazku nesmie prekročiť menovitú silu lisu. Celková sila sa vypočíta súčtom dielčích síl nasledovným spôsobom:

$$\begin{aligned} F_c &= F_{s1} + F_{tc1} + F_{tc2} + F_{s3} = \\ &= 100\,827 + 81\,477 + 42\,151 + 155\,960 = 80\,415 \text{ [N]}. \end{aligned}$$

Celková práca sa vypočíta obdobne:

$$A_c = A_{s1} + A_{t1} + A_{t2} + A_{s3} = 138 + 2\,151 + 1\,781 + 58,5 = 4\,128,5 \text{ [J]}.$$

Voľba stroja

V prvej operácii s použitím združeného nástroja je výhodné použiť kľukový mechanizmus kvôli jeho vysokej produktivite. S ohľadom na bezpečnosť je vhodné prirátat' 30 % z celkovej sily potrebnej na odstrihnutie prístrihu a prvý ťah.

$$F_{bezp1} = 1,3 \cdot (F_{s1} + F_{tc1}) = 1,3 \cdot (100\,827 + 63\,924) = 214\,176 \text{ [N]}, \quad (3.24)$$

kde: F_{bezp1} – celková tvárniaca sila v prvej operácii s bezpečnosťou [N].

Na základe výpočtu je zvolený výstredníkový lis LE 160C. Nástroj sa do baru upína prostredníctvom stopky a upíniek. Technické parametre lisu a samotný lis sú zaznamenané v prílohe 4.

Druhá operácia, ktorá predstavuje finálny ťah výťažku, bude vykonaná prostredníctvom hydraulického lisu. Na tomto type lisu existuje možnosť ovplyvnenia síl a v prípade potreby i konštantnej pracovnej sily v celom zdvihu. So zreteľom na výslednú tvárniacu silu s veľkosťou 104,5 kN a s ohľadom na charakter deformácie rámu pri zaťažení je zvolený hydraulický lis ZHO 100 s menovitou silou 1000 kN. Lis je vhodný na hlboké ťahanie a jeho vlastnosti a jednotlivé rozmery sú uvedené v prílohe 5.

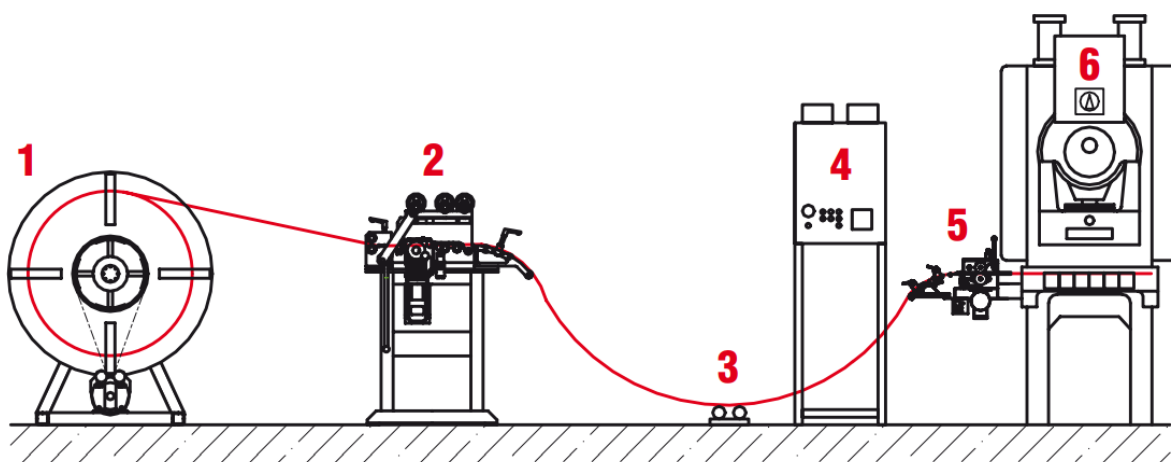
Posledná operácia ostrihnutia a dierovania bude vykonávaná prostredníctvom kľukového mechanizmu ako v prvom prípade. Opäť sa vypočíta celková tvárniaca sila, v tomto prípade celková strižná sila, s ohľadom na bezpečnosť podľa vzorca (3.24) ako:

$$F_{bezp3} = 1,3 \cdot F_{s3} = 1,3 \cdot 155\,960 = 202\,748 \text{ [N]}.$$

Na základe vypočítanej sily a potrebnej veľkosti zdvihu bude posledná operácia realizovaná na výstredníkovom lise LEK 160. Jeho vlastnosti a rozmery sú definované v prílohe 6.

Podávacie a rovnacie zariadenie

Rovnicia a podávacia automatizovaná linka slúži k podávaniu zvitku plechu do nástroja s označením DP_191357_1 umiestnenom vo výstredníkovom lise LE 160C. Skladá sa z odvíjačky (1), rovnačky (2), sledovania smyčky (3), ovládacieho panelu (4), podávača (5) a lisu (6). Je označené ako ARPL typ RAL 500 a je možné ho pozorovať na obrázku 57. Bližšie charakteristiky sú uvedené v prílohe 7. Celý technologický postup výroby je upresnený v tabuľke 11.



Obr. 57 Rovnicia a podávacia linka ARPL [43]

Tab. 11 Technologický postup výroby závesu lustra.

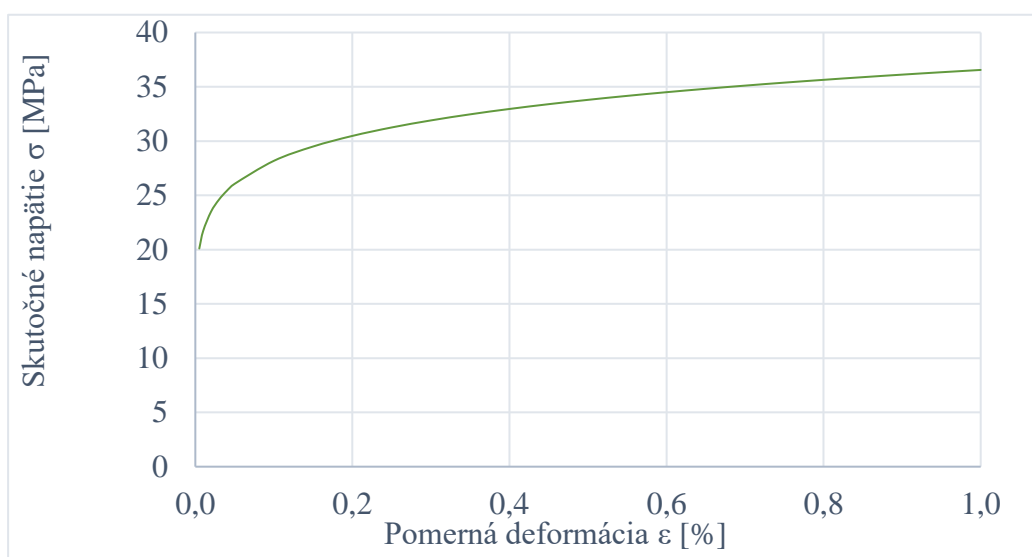
Operácia	Názov operácie	Popis
10	Strih a ťah	Zvitok plechu so šírkou 212 mm je rovnacou a podávacou linkou ARPL RAL 500 zabezpečujúcou krok 206,5 mm zavedený do nástroja označeného DP_191357_1. Spustenie je obojručné. Vystrihnutie prístrihu s priemerom 203 mm zo zvitku plechu. Ťahanie dutého valcového tvaru $\Phi 162$ mm do hĺbky 25,5 mm na lise LE 160C. Rozstrihnutie odpadu na mieste postranného odpadu $F/2=8,6$ mm. Ručné odobratie výlisku.
20	Kontrola	Vizuálna kontrola výlisku obsluhou.
30	Druhý ťah	Ručné založenie výlisku do nástroja s označením DP_191357_2. Spustenie je obojručné. Vytiahnutie sférického tvaru $\phi 128$ mm do hĺbky 64 mm na lise ZHO100. Ručné odobratie výlisku.
40	Kontrola	Kontrola výšky výlisku pomocou výškomeru a tvaru výlisku pomocou konturografu.
50	Dierovanie a ostrihnutie	Ručné založenie výlisku do nástroja s označením DP_191357_3. Obojručné spustenie. Vystrihnutie otvoru $\phi 10$ mm a ostrihnutie príruby na $\phi 147$ mm na lise LEK160. Rozstrihnutie prírubového odpadu rozstrihovačmi. Ručné odobratie finálneho výrobku. Ručné odobratie prírubového odpadu.
60	Kontrola	Vizuálna kontrola hotového dielca podľa čísla výkresu DP_191357_1_0. Po upnutí nástrojov s označením DP_191357_1, DP_191357_2 a DP_191357_3, po výmene zmeny a po výmene zvitku vykonať overenie rozmeru otvoru pomocou valcového kalibra. Overenie ostatných rozmerov pomocou posuvného meradla a konturografu.
70	Odmastenie	Odmastenie finálneho výrobku.
80	Balenie a expedícia	Balenie a expedícia finálneho výrobku.

3.2 Simulácia procesu ťahania

Vyrobiteľnosť súčasti je vhodné overiť pomocou simulačného softvéru. Pred samotnou simuláciou je nutné vytvoriť materiálový model súčasti, nakoľko softvér PAM-STAMP vo svojej knižnici nedisponuje zvoleným materiálom. Tuho-plastický model získaný na základe vstupných hodnôt medze pevnosti „R_m“, zmluvnej medze pevnosti „R_{p0,2}“, ťažnosti pri maximálnom zaťažení „A_g“, z tabuľky 2 bol vytvorený pomocou nastavby softvéru PAM-STAMP s názvom ESI MCE Tool 1.0. Z vložených hodnôt je výsledkom pevnostný koeficient, exponent deformačného spevnenia a posun krivky spevnenia charakterizovaných v tabuľke 12. Z nich je vytvorená aproximácia krivky spevnenia zobrazená na obrázku 58.

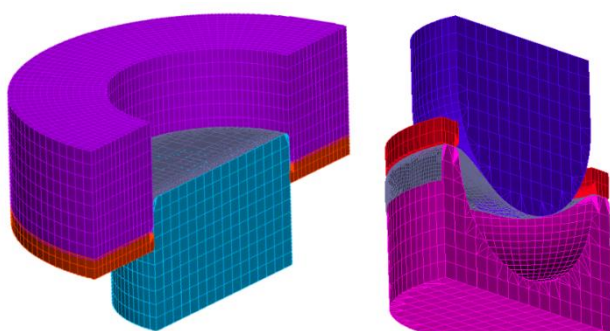
Tab. 12 Výstupné parametre z ESI MCE Tool 1.0.

Pevnostný koeficient	K _p [MPa]	0,3655
Exponent deformačného spevnenia	n [-]	0,113
Posun krivky spevnenia	ϵ_0 [-]	0,00003

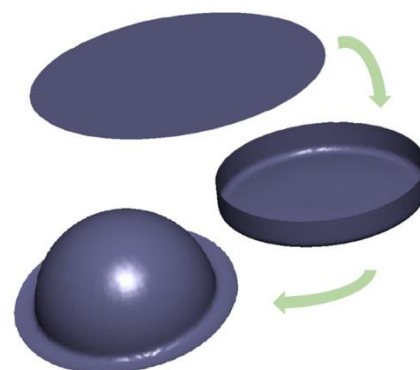


Obr. 58 Závislosť σ na ε pre Cu99,5

Po vytvorení materiálového modelu nasleduje konštrukcia ťažidiel pre jednotlivé ťahy. Prvé ťažidlo tvorí valcový ťažník s rovným čelom podľa obrázka 58. Všetky časti majú zviditeľnené hranice siete konečných prvkov. Zaoblené oblasti majú sieť zjemnenú. Ťažidlo pre druhý ťah je určené na technológiu spätného ťahania. Ťažník i ťažnica majú polgulovitý tvar. Vzhľad výliskov po jednotlivých ťahoch je vyobrazený na obrázku 60.

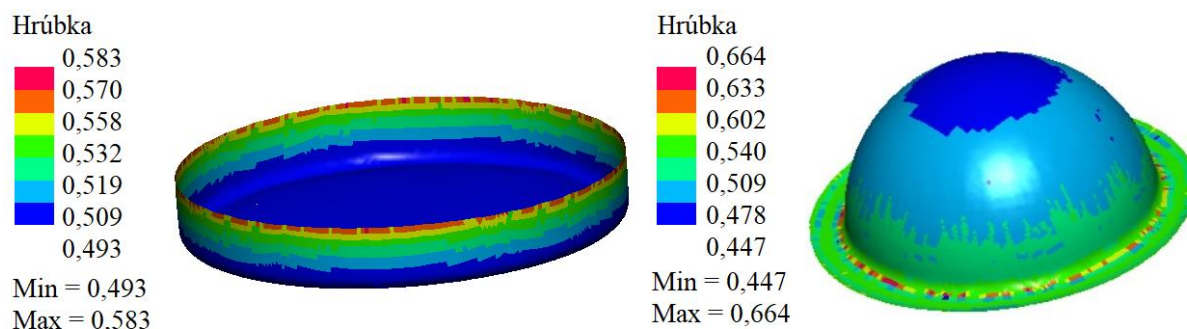


Obr. 59 Simulačný model nástrojov



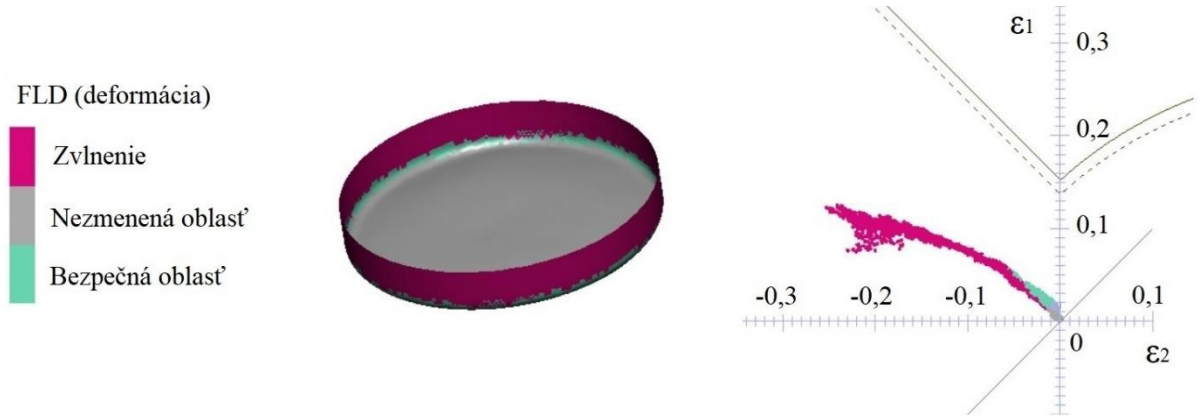
Obr. 60 Priebeh tvárnenia v softvéri

Zmeny hrúbky výtlačku sú charakterizované na obrázku 61. Je viditeľné, že hrúbka v každom mieste je v bezpečnej oblasti, nehrozí riziko prílišného stencenia s prípadným porušením súdržnosti steny.

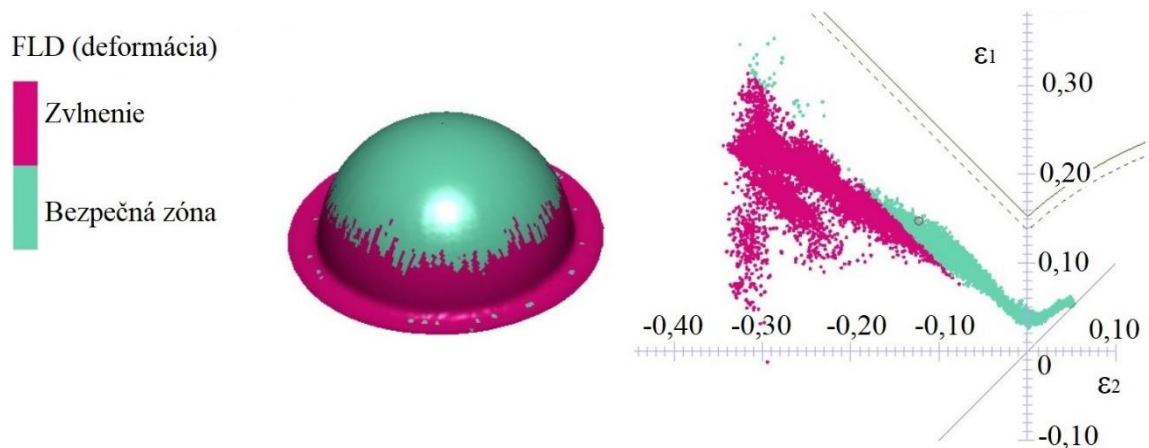


Obr. 61 Zmeny hrúbky výtlačku po prvom a druhom ťahu

FLD Keeler-Goodwinov diagram z obrázka 62 a 63 upozorňuje na možný výskyt zvlnenia, avšak samotná simulácia a konečný výtlačok ostávajú bez okom viditeľných vln. Keďže neboli vykonané ťahové skúšky a materiálový model je založený iba na výpočte, ktorý neberie do úvahy napríklad rýchlosť barana lisu, hodnoty sa považujú za orientačné. Softvér je veľmi citlivý na výpočet pretvorenia, preto na toto zvlnenie poukazuje. Keďže je finálny tvar hladký, simulácia sa považuje za úspešnú.



Obr. 62 FLD Keeler-Goodwinov diagram deformácie pre prvý ťah



Obr. 63 FLD Keeler-Goodwinov diagram deformácie pre druhý ťah

Naskytá sa možnosť vytvorenia nástroja, ktorý v prvej operácii okrem vystrihnutia prístrihu vystrihne aj otvor s priemerom 10 mm. Ten by bol umiestnený v strede prístrihu a následne tvarovaný rovnakým spôsobom na dva ťahy spätnou metódou. Konečný tvar a vzhľad výtlačku po simulácii s vopred vystrihnutým otvorom je na obrázku 64.



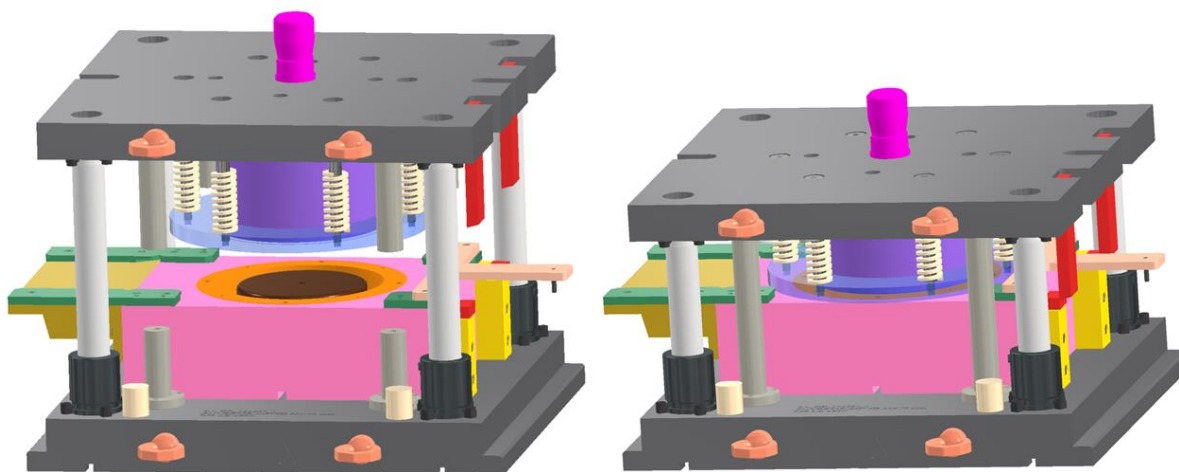
Obr. 64 FLD Keeler-Goodwinov s vopred vystrihnutým otvorom

Výsledná analýza deformácie zreteľne ukazuje, že ťahanie sférického výťazku z prístrihu s otvorom nie je v tomto prípade umožnené. Odhliadnuc od nepresnosti konečného otvoru dôjde k nadmernému prekročeniu krivky medznej tváriteľnosti, čo znázorňuje červená oblasť na výťazku, kde hrozí veľké nebezpečenstvo porušenia súdržnosti steny súčasti vo forme trhlín. Od toho sa odvíja aj strata primárnej stability výťazku na prírubu, kde nedôjde k jej úplnému vyrovnaniu, čo sa prejaví oblasťou v ružovej farbe predstavujúcou spomínanú stratu primárnej stability – zvlnenie. Súčasť nie je za daných podmienok vyrobiteľná, diera sa bude vystrihovať v poslednej operácii spolu s ostrihnutím prídavku na prírubu.

3.3 Návrh konštrukcie nástrojov [45], [46]

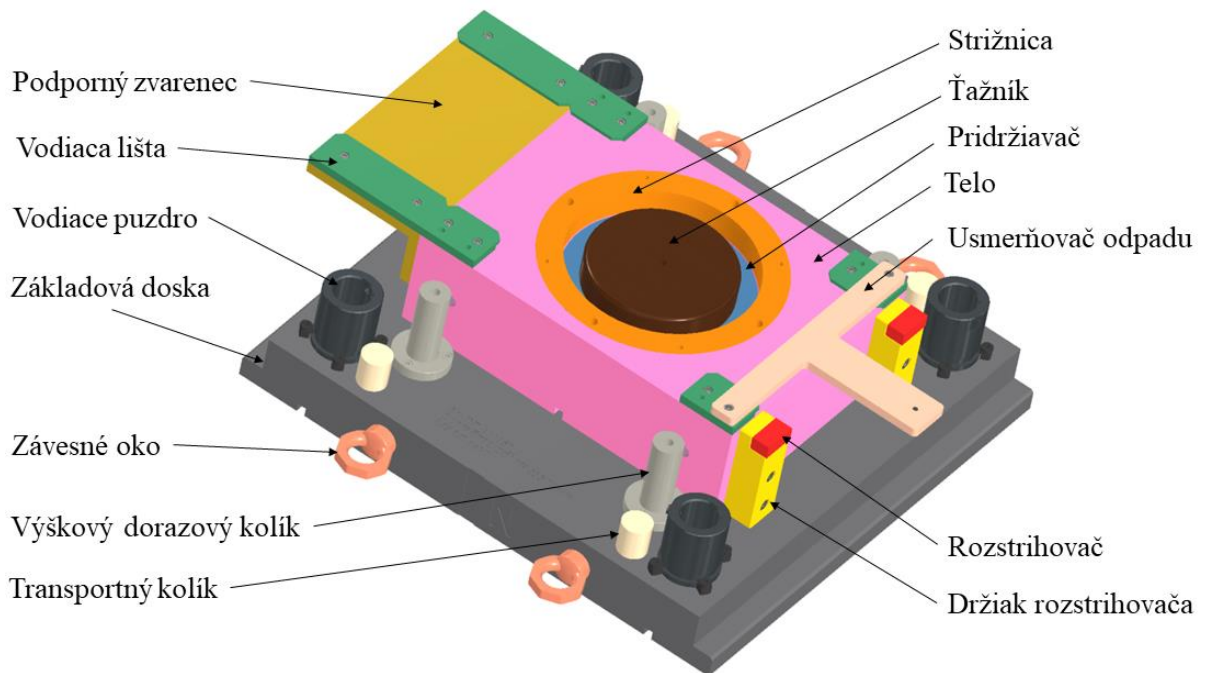
Celkový návrh výroby pozostáva z konštrukcie troch nástrojov. Nástroj na prvú operáciu má charakter združeného ťažidla. Jeho funkciou je vystrihnutie polotovaru z pásu plechu a prvý ťah. Základová doska, upínacia doska i telo sú vyrobené v kooperácii u dodávateľa nástrojových komponentov Meusburger z materiálu 19 083, ktorý sa bežne používa na výrobu častí nástrojov. Upínacia doska je do barana lisu upevnená pomocou kužeľovej stopky a vzhľadom na charakter lisu a veľkosť samotného nástroja i pomocou upíniek.

V základovej doske sú vytvorené odvzdušňovacie otvory. Na manipuláciu s rozmernými doskami slúžia závesné oká, ktoré umožňujú zjednodušené uchytenie. Plech je vedený smerom zľava doprava. Krok plechu zabezpečuje podávač. Pás plechu je najprv vložený medzi zvarenc a vodiace lišty, ktoré slúžia na usmernenie pohybu. Keď plech dosiahne požadovanú polohu, baran lisu začne pôsobiť smerom dolu a ako prvý dosadne na plech priehľadný modrý stierač. Spočiatku vykonáva funkciu pridržiavača. Pretrvávajúcim pôsobením barana smerom nadol dochádza k účinku strižníka, ktorý postupuje do strižnice proti spodnému pridržiavaču, čím sa vystrihne kruhový prístrih. Strižnica je vedená v tele ružovej farby. Otvory v nej slúžia na jednoduchšiu demontáž, napríklad pomocou reverzného kladiva. V tele sú vytvorené odvzdušňovacie otvory. Prvý nástroj je možné vidieť na obrázku 65.



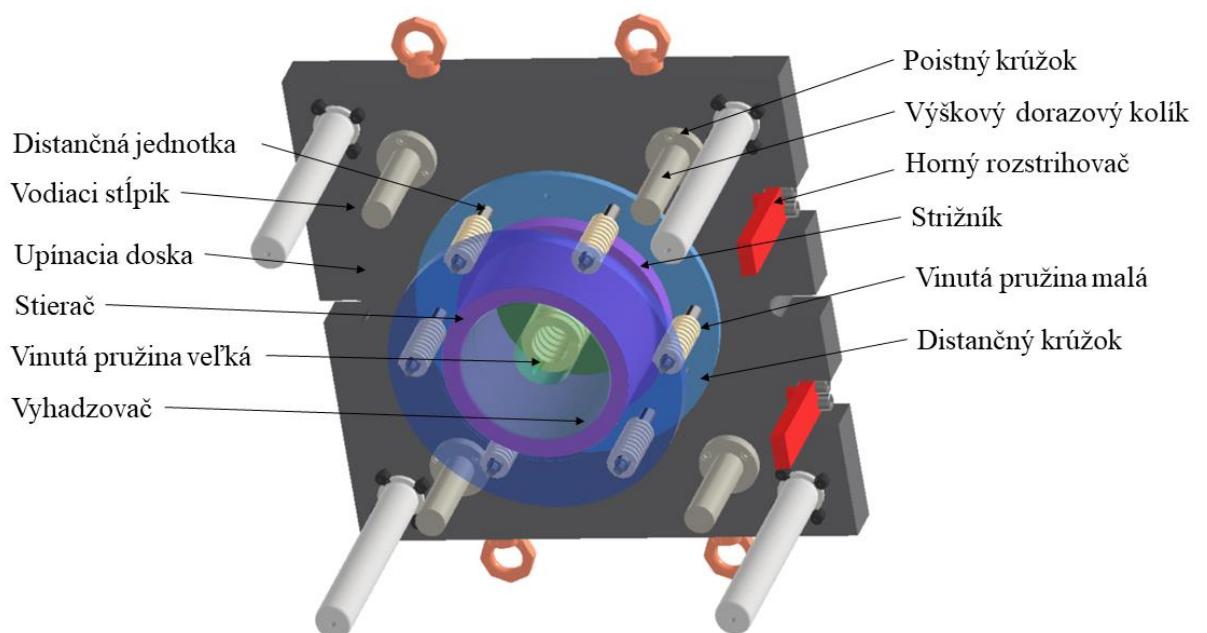
Obr. 65 Nástroj pre prvú operáciu

Bezprostredne po vystrihnutí dochádza k ťahu. Plech sa nabaľuje na ťažník vedený v základovej doske. Ťažník má valcový tvar, je vyrobený z materiálu 19 573, odolnom proti oteru a typickom pre výrobu funkčných častí nástrojov. Ťažník je odvzdušnený pomocou otvorov s priemerom 8 mm. Dolná časť nástroja je zobrazená na obrázku 66.



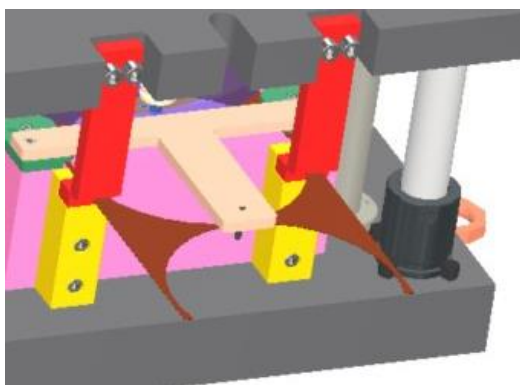
Obr. 66 Dolná časť prvého nástroja

Strižník vo svojej vnútornej hrane disponuje ťažným zaoblením, čím v tomto procese zohráva funkciu ťažnice. Je rovnako ako ťažník vyrobený z materiálu 19 573. Pôsobením strižníka proti spodnému pridržiavaču nastáva stláčanie plynových pružín. Pohybom barana smerom hore dochádza k uvoľňovaniu stlačenej plynovej pružiny, čím sa pridržiavač vracia a sníme výťažok z ťažníka. Vyhadzovač umiestnený vnútri strižníka, vedený pomocou širšej vinutej pružiny typu B63-127-D z prílohy 8, následne sníme výťažok zo strižníka. Po úplnom vytiahnutí sa súčasť vráti do roviny strihu. Stierač zotrie zvitok plechu zo strižníka pôsobením vinutých pružín typu B32-115-D z prílohy 8 vedených cez distančné jednotky v distančnom krúžku. Obsluha odoberie dielec, ktorý uloží do manipulačnej jednotky. Horná časť nástroja je zobrazená na obrázku 67.

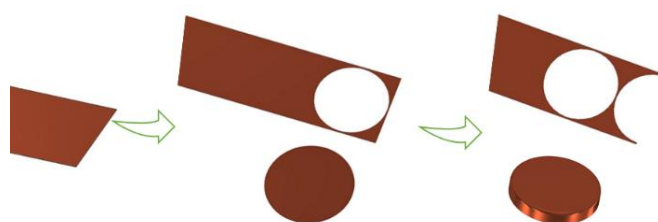


Obr. 67 Horná časť prvého nástroja

Posledný krok spočíva v prestrihnutí odpadu plechu na menšie časti s účelom jednoduchšej manipulácie a zlepšenia odpadového hospodárstva. Na pravej strane nástroja sa opäť nachádzajú vodiace lišty pre usmernenie zvyškového plechu. V momente, kedy dochádza k vystrihnutiu prístrihu, je realizovaný takisto strih odpadu prostredníctvom rozstrihovačov na obrázku 68. Priebeh jednotlivých operácií je znázornený na obrázku 69. Spodné rozstrihovače sú vedené v držiaku pripevnenom k telu ťažníka. Horné rozstrihovače sú prichytené priamo na upínacej doske. Výpalok v tvare písmena T, v ktorom je zalisovaný kolík smerom dolu, je upevnený na vodiacich lištách. Používa sa ako pomôcka, ktorá zabráni odlietavaniu plechu od strižných kociek z dôvodu zachovania bezpečnosti obsluhy pred ostrými kúskami odpadu.

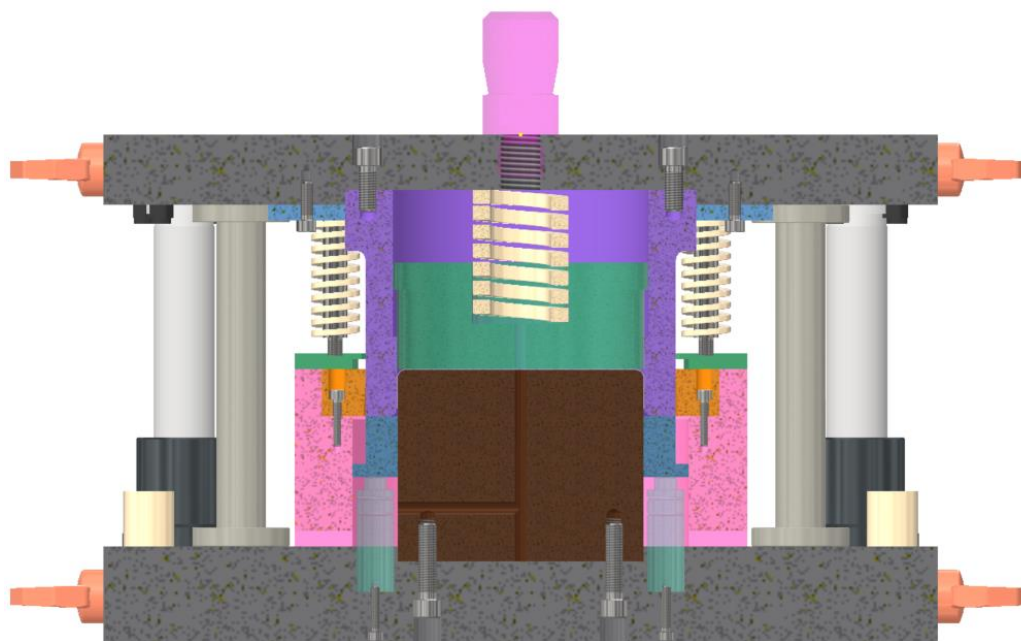


Obr. 68 Rozstrihovanie odpadu



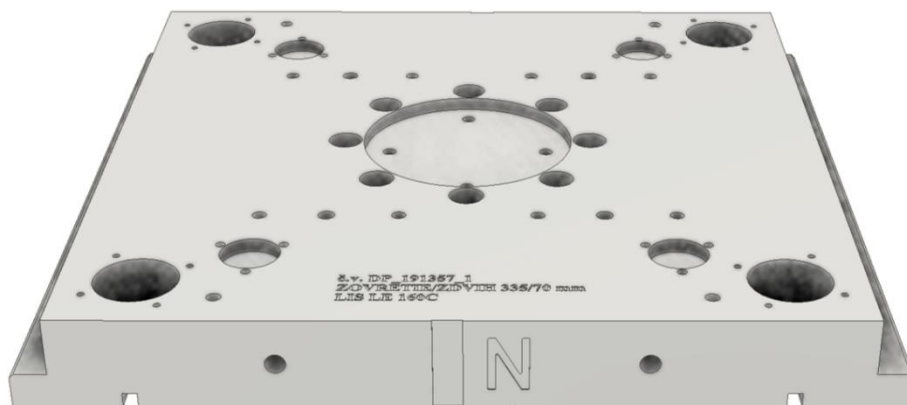
Obr. 69 Priebeh operácií v prvom nástroji

Veľkosť dorazu zabezpečujú výškové dorazové kolíky v štyroch kusoch. Ich polohu zaisťujú poistné krúžky. Na transport slúžia transportné kolíky, ktoré sú v čase potreby vložené do otvoru na čele spodných dorazových kolíkov. Vodiace stĺpiky, vložené do vodiacich puzdier, umožňujú samotné vedenie nástroja. V tomto prípade je vhodné, aby pri procese stĺpiky nevyšli z puzdier, čo je zabezpečené dostatočnou výškou stĺpikov pre zvolený zdvih. Rez prvým nástrojom v zovretom stave je zobrazený na obrázku 70. Je možné pozorovať tvar strižnice, odvodušneného ťažníka i pridržiavača, ktorý je v kontakte s plynovými pružinami typu RV320-127-D charakterizovaných v prílohe 9.



Obr. 68 Rez prvým nástrojom

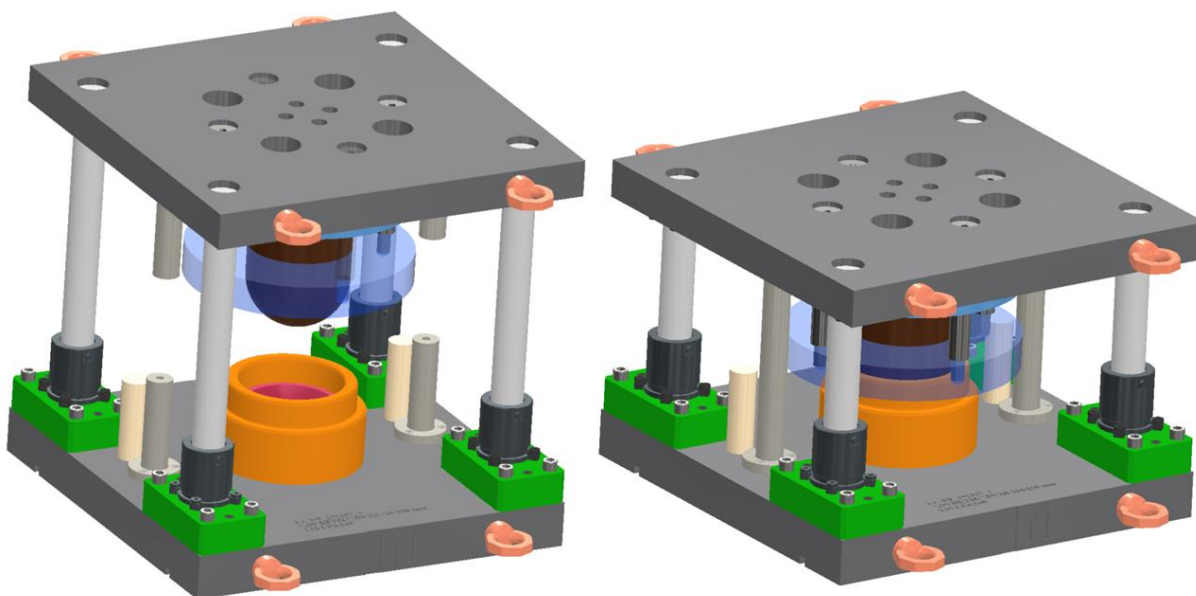
Na základe normy ČSN 22 6002 s dôrazom na bezpečnostné požiadavky tvárniacich nástrojov je nástroj označený na prednej i zadnej strane základovej dosky výrazným písmenom N a pruhom, ktorý je nutné natrieť žltou bezpečnostnou farbou. Na obrázku 71 je znázornená základová doska prvého nástroja prezentujúca trvalé bezpečnostné označenie i označenie nástroja na vrchnej strane dosky.



Obr. 69 Základová doska s bezpečnostným označením

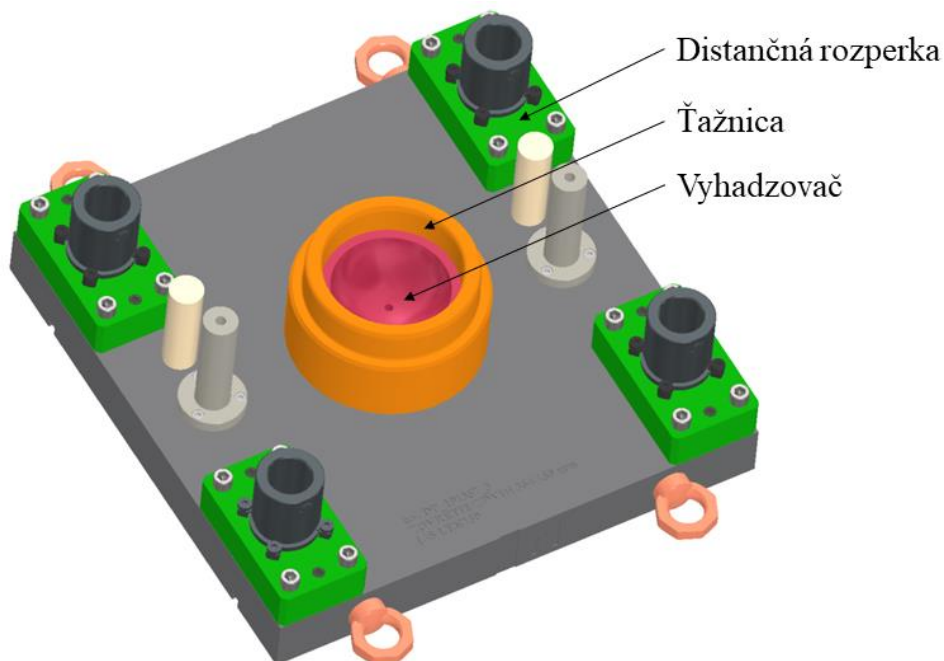
Nástroj pre druhú operáciu je znázornený na obrázku 72. Do stroja sa upína magneticky. Hlavnou výhodou magnetického upínania je jeho rýchlosť a jednoduchosť. Na doske stola v stroji je navyše vedená doska, v ktorej sa nachádzajú elektromagnety. Čím väčšia je plocha nástroja, tým viac elektromagnetov drží nástroj. Z tohto dôvodu sú dosky rozmernejšie.

Ťažidlo pre druhý ťah je rovnako tvorené dvomi doskami vytvorenými v kooperácii. Na základovej doske sú rozpery pre vyvýšenie vodiacich puzdier. Nakoľko je potrebné zabezpečiť dostatočný priestor na ruky pre odber hotového výtlačku obsluhou, musia byť vodiace stĺpiky primerane dlhé. Súčasne je však vhodné, aby stĺpiky nevychádzali z puzdier, a práve toto zabezpečujú rozperky. Aj tu je doraz zabezpečený pomocou výškových dorazových kolíkov uložených v poistných krúžkoch v počte dvoch kusov na stranách, kde nedochádza k odberu výtlačku obsluhou. Pri transporte sa použijú transportné kolíky.



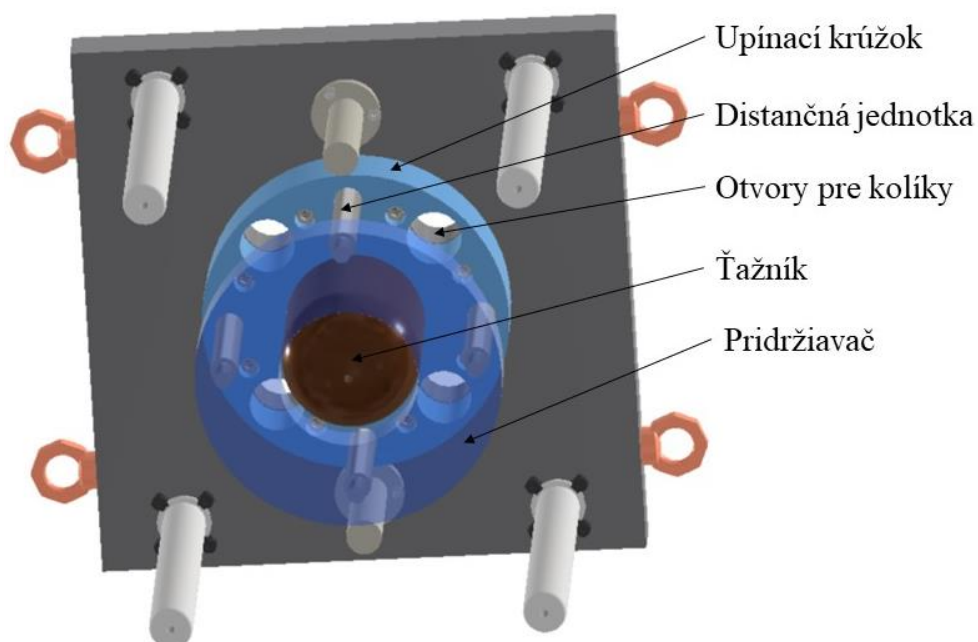
Obr. 70 Druhý nástroj v otvorenom i zovretom stave

V základovej doske je vedená ťažnica podľa obrázka 73. Jej tvar je prispôsobený charakteru procesu. Zo spodnej strany je spevnená pre potreby uchytenia k doske. Vo vrchnej časti je tvorená dvomi hranami. Vonkajšie zaoblenie hrany odpovedá zaobleniu vnútornej hrany prvého výťahku. Vnútorňý polomer zaoblenia predstavuje ťažnú hranu pre druhý ťah. Súčasť je obsluhou položená na ťažnicu, ktorá svojimi rozmermi zabezpečuje správnu polohu dielca.



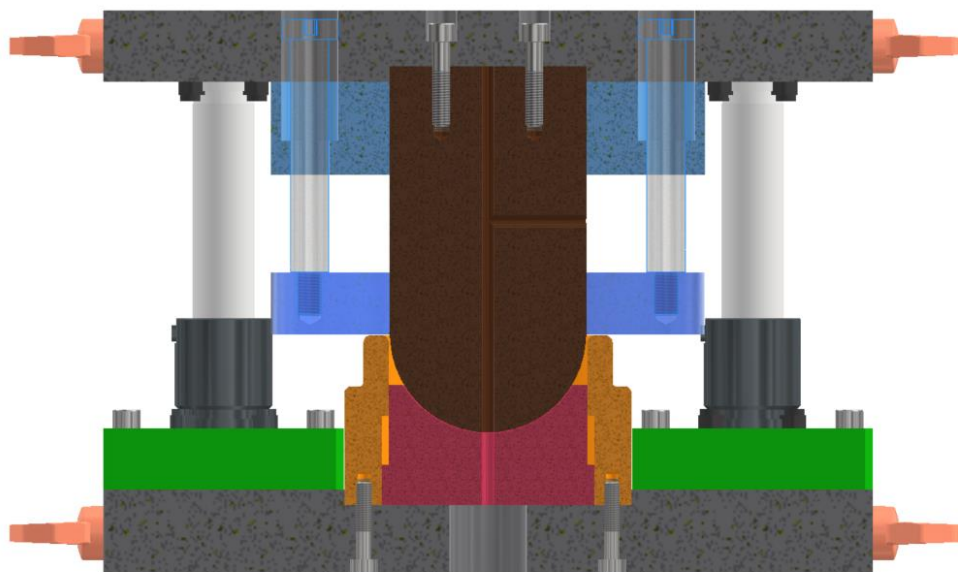
Obr. 71 Dolná časť druhého nástroja

Horná časť nástroja z obrázka 74 je tvorená upínacou doskou, v ktorej je vedený ťažník. Ťažník sa vystredí prostredníctvom krúžku, ktorý okrem otvorov pre distančné jednotky disponuje otvormi pre kolíky barana lisu. Kolíky z barana lisu pôsobia tlakom proti pridržiavaču. Na zabezpečenie polohy pridržiavača slúžia distančné jednotky so skrutkou.



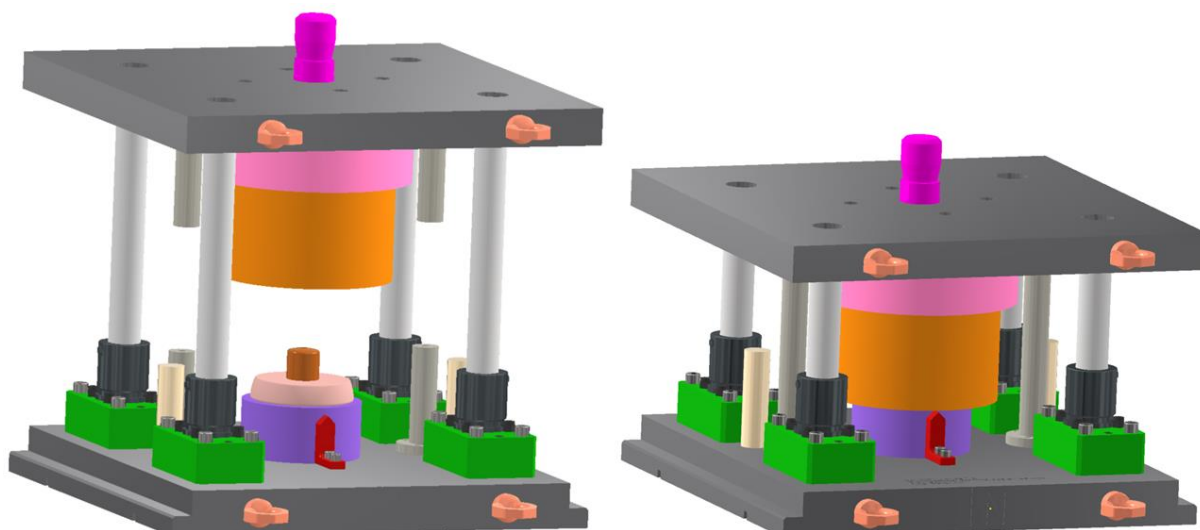
Obr. 72 Horná časť druhého nástroja

Ťažník i ťažnica sú vyrobené z materiálu 19 573. Ťažník je osadený v upínacej doske cez upínací krúžok do hĺbky 10 mm. Otvor na odvodu vzduchu má priemer 8 mm a je vedený po celej výške ťažníka. Ťažnica je osadená v základovej doske do hĺbky 10 mm. Z vonkajšej strany je spevnená s cieľom jednoduchšieho uchytenia, no rovnako kvôli životnosti – aby nebola príliš tenká po celej výške a nedošlo k jej rýchlemu poškodeniu. Z vnútornej strany je v ťažnici vytvorené osadenie pre vyhadzovač. Po úplnom vytiahnutí výťazku je pomocou spodného vyhadzovača súčasť vysunutá nahor, kde je obsluhou odobraná. V základovej doske je vytvorený otvor pre kolík vyhadzovača. Rez nástrojom je možné pozorovať na obrázku 75.



Obr. 73 Rez druhým nástrojom

Posledným nástrojom je nástroj na dierovanie a ostrihnutie príruby. Základová i upínacia doska sú vyrobené v kooperácii u dodávateľa nástrojových komponentov Meusburger z materiálu 19 083 v rozmeroch 546 x 596 mm. Základová doska má hrúbku 56 mm a upínacia 46 mm. Nakoľko sú rozmerné a každá z nich váži okolo 100 kg, sú zaopatené štyrmi závesnými skrutkami, ktoré sa používajú pre manipuláciu. Veľkosť dosiek slúži na lepšie a pevnejšie upnutie nástroja. Upínací čap zabezpečuje upnutie do barana stroja. Nástroj v otvorenom i zovretom stave je vyobrazený na obrázku 76.

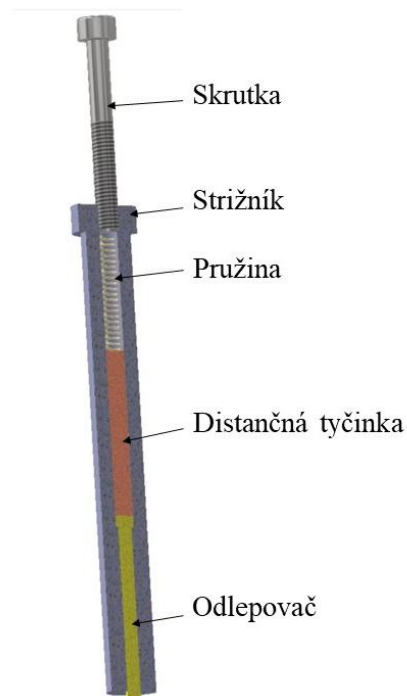


Obr. 74 Tretí nástroj v otvorenom i zovretom stave

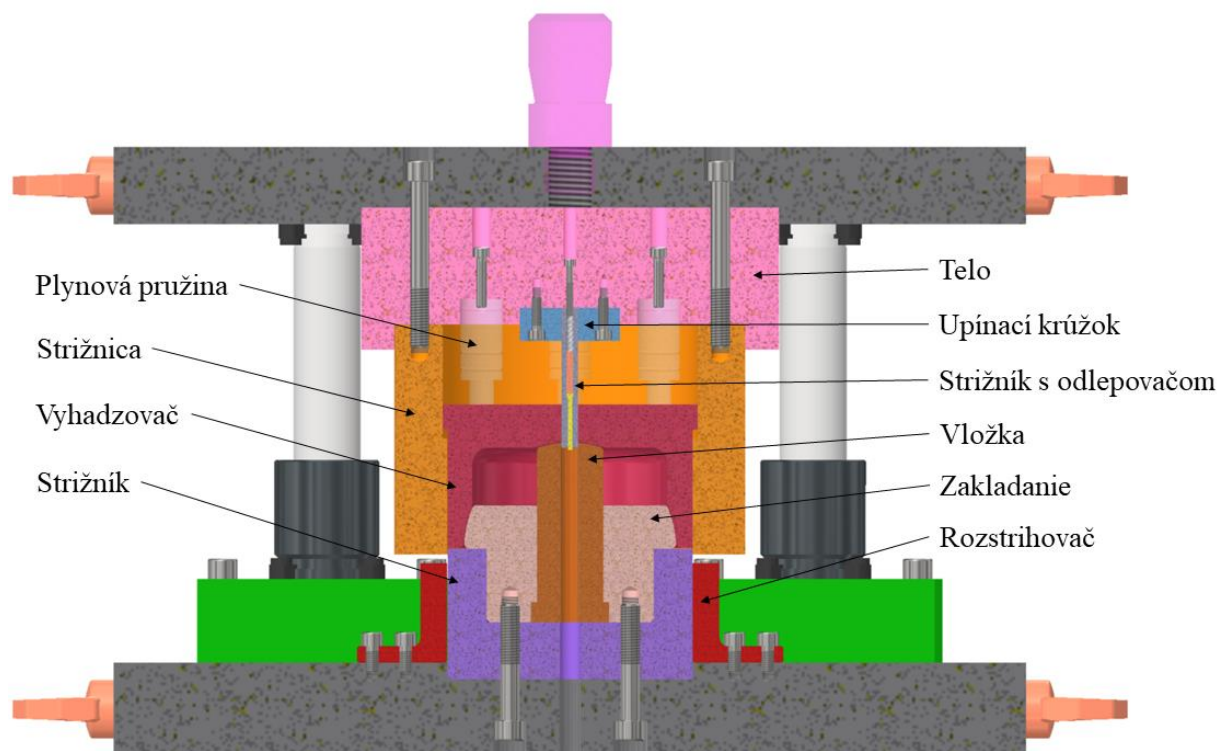
Pri posuve barana lisu smerom nadol získa prvý kontakt s dielcom vyhadzovač, ktorého sila odpovedá plynovým pružinám v počte štyroch kusov typu RV320-19-B podľa prílohy 9. Vyhadzovač je odľahčený z dôvodu zníženia tendencie prilepenia sa. Dotýka sa súčasti na miestach, kde je súčasť zospodu podporená, a síce strižníkom, zakladaním a vložkou.

Počas dosadania vyhadzovača dochádza k strihu. Po jeho úplnom dosadnutí sa pomocou strižníka s odlepovačom stredného v upínacom krúžku vystrihne diera na vrchole súčasti. Odlepovač pomáha oddeliť odpad od strižníka, ak by došlo k jeho prichyteniu. Je vytvorený z polyuretánu, pod strižníkom vyčnieva 5 mm a vo vnútornom konci je opatrený osadením. Distančná tyčinka ho delí od pružiny, ktorá zabezpečuje jeho vysunutie pôsobením skrutky. Rez strižníkom s odlepovačom je možné pozorovať na obrázku 77.

Odpad po vystrihnutí diery padá gravitáciou dolu, najprv otvorom vo vložke, ďalej zväčšeným otvorom v strižníku a zväčšeným otvorom v základovej doske. Jednotlivé prechody zabezpečujú, že sa odpad v otvore nebude zasekávať a bude priebežne padať do boxu uloženého pod nástrojom. Rozstrihnutie odpadu z príruby je vykonané dvomi rozstrihovacími nožmi z prílohy 10. Odpadový materiál tlačí na jeho brity a postupne dochádza k rozstrihnutiu. Obsluha následne ručne odoberie odpad i hotovú súčasť. Aby nedošlo k poraneniu obsluhy, sú tieto rozstrihovače umiestnené v prednej a zadnej časti nástroja. Ak by došlo k odleteniu ostrého oddeleného odpadu, učinilo by sa tak do strán na základe charakteru britu rozstrihovača, ktorý smeruje kolmo k obsluhu. Rez tretím nástrojom je na obrázku 78.

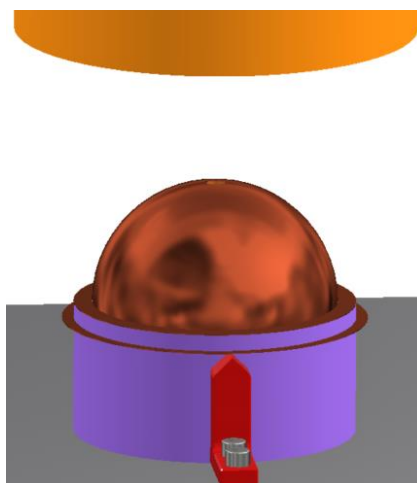


Obr. 75 Strižník s odlepovačom



Obr. 76 Tretí nástroj v reze

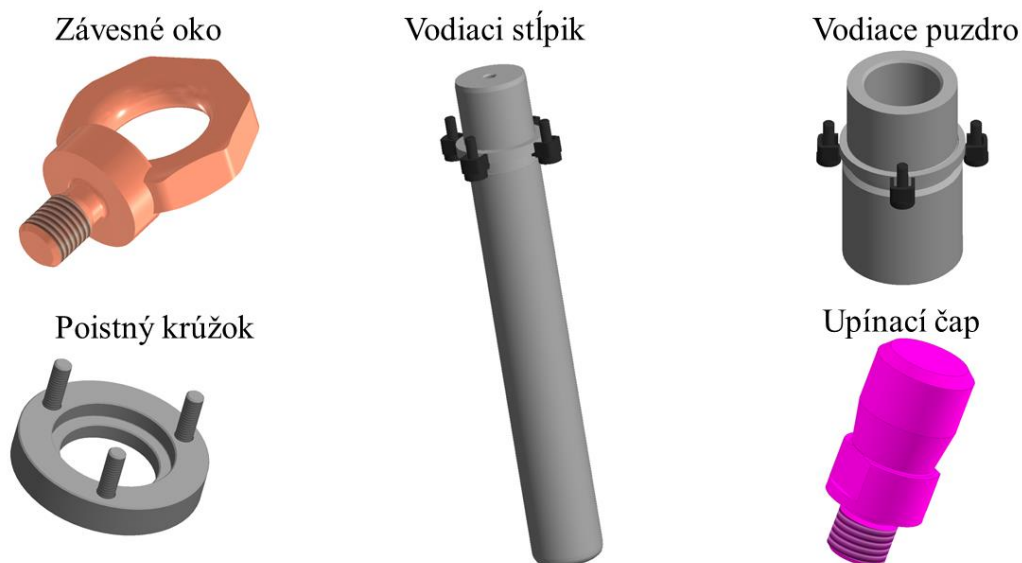
Strižnica a strižník na ostrihnutie príruby sú vyrábané z materiálu 19 436. Jedná sa o oceľ, ktorá je následne kalená a popúšťaná na hodnotu 60 až 62 HRC. Strižník je do základovej dosky osadený v hĺbke 10 mm. Vnútri strižníka je vytvorený otvor na umiestnenie zakladania, ktorého úlohou je podpora súčasti z vnútornej strany za účelom zachovania tvaru výťažku. Zakladanie však nemá celý polgulovitý tvar, pretože by mohlo ľahko dôjsť k prilepeniu súčasti. Aby bola súčasť podporená aj v oblasti vystrihnutia diery na vrchole a nedošlo tak k jej zdeformovaniu, je do zakladania vložená vložka kopírujúca tvar vrcholu. Vrchná časť nástroja je tvorená valcovým telom, v ktorom je pomocou skrutiek pripevnená strižnica z materiálu 19 436 a upínací krúžok pre strižník priemeru 10 mm.



Obr. 77 Hotová súčasť s prírubovým odpadom pripravená na odobratie

Hotová súčasť pripravená na ručné odobranie obsluhou spolu s jedným kusom prírubového odpadu je zobrazená na obrázku 79. Tento odpad sa neodoberá pri vytvorení každej hotovej súčasti. Keďže je rozstrihovač umiestnený niekoľko milimetrov pod hranou strižníka, k rozstrihnutiu odpadu príruby dôjde až po nazhromaždení niekoľkých kusov.

Vo všetkých nástrojoch boli použité normalizované dielce. Výber niektorých druhov z katalógu od spoločnosti FIBRO je zobrazený na obrázku 80. Vodiace stĺpiky zdieľajú totožný priemer, a síce 40 mm. Líšia sa dĺžkami. Vodiace puzdrá, poistné krúžky, upínacie čapy i závesné oká sú vo všetkých nástrojoch použité v identických rozmeroch.



Obr. 78 Výber normalizovaných dielcov [46]

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE [47], [48], [49]

Technologická výroba a konštrukčný návrh riešenia nástrojov pre zhotovenie závesu lustra zahŕňa celý proces výroby. Výpočty neobsahujú zaobstaranie troch typov lisov na každú z operácií a odvíjacieho a podávacieho zariadenia, nakoľko sa uvažuje s ich vlastníctvom. Náklady potrebné na servis a údržbu a nie sú známe, preto nebudú zahrnuté. Zhodnotenie rovnako nezahŕňa proces balenia a expedície. Priame náklady sú variabilné a fixné.

- Variabilné – ich hodnota závisí od množstva vyrobených kusov. Keďže potrebný počet zvitkov plechu bol výpočtom (3.20) zistený ako 7,1, avšak konečný počet zvitkov plechu bol zaokrúhlený na hodnotu 8, množstvo zakúpeného materiálu bude postačovať aj na prípadné nepodarky a skúšobnú sériu výrobkov.

- Náklady za materiál

- Hmotnosť jedného zvitku plechu:

$$m_{zv} = V_{zv} \cdot \rho_{med} = 0,0005 \cdot 0,212 \cdot 1\,178,0972 \cdot 8960 = 1\,118,91 \text{ [kg]}, \quad (4.1)$$

kde: V_{zv} – objem jedného zvitku [m^3],

ρ_{med} – 8 960 $kg \cdot m^{-3}$ – hustota mede.

- Hmotnosť všetkých zvitkov:

$$m_{zvc} = m_{zv} \cdot p_{zv} = 1\,118,91 \cdot 8 = 8\,951,3 \text{ [kg]} \quad (4.2)$$

- Cena za materiál:

$$C_{pol} = C_{med} \cdot m_{zvc} = 190 \cdot 8\,951,3 = 1\,700\,747 \text{ [Kč]}, \quad (4.3)$$

kde: C_{med} – cena mede za kilogram (190 $Kč \cdot kg^{-1}$)

- Celková hmotnosť vyrobených súčastí pri sérii 40 000 ks.rok⁻¹:

$$m_{súčasťc} = 40\,000 \cdot m_{súčasť} = 40\,000 \cdot 0,132 = 5\,280 \text{ [kg]}, \quad (4.4)$$

kde: $m_{súčasť}$ – hmotnosť jednej súčasti zistená zo softwaru Inventor (0,132 kg).

- Celková hmotnosť vzniknutého odpadu:

$$m_{odpad} = m_{zvc} - m_{súčasťc} = 8\,951,3 - 5\,280 = 3\,671,3 \text{ [Kč]}. \quad (4.5)$$

- Cena za odpad:

$$C_{odpad} = C_{odpad} \cdot m_{odpad} = 78 \cdot 3\,671,3 = 286\,361,4 \text{ [Kč]}, \quad (4.6)$$

kde: C_{odpad} – cena odpadu za kilogram (78 $Kč \cdot kg^{-1}$).

- Celková cena za materiál:

$$C_{material} = C_{pol} - C_{odpad} = 1\,700\,747 - 286\,361,4 = 1\,414\,385,6 \text{ [Kč]}. \quad (4.7)$$

- Náklady na mzdy – vychádzajú predovšetkým z výrobného času jednej súčasti. Na každý stroj je nutné ich vypočítať samostatne vzhľadom na odlišnosť strojov i výrobných technológií. Pracovná zmena je $t_{zmena} = 8$ hodín. Po odpočítaní obedovej pauzy v dĺžke 0,5 hod a času pre zahájenie a ukončenie smeny rovnako v dĺžke 0,5 hod je čistý čas na výrobu výrobku určený ako $t_v = 7$ hodín.

- Vystrihnutie polotovaru a prvý ťah

- Počet zdvihov stroja za minútu v 1. nástroji bol stanovený na hodnotu:

$$n_{zdvih1} = 6 \text{ [ks. min}^{-1}\text{]}. \quad (4.8)$$

- Počet súčastí vyrobených za jednu zmenu v 1. nástroji:

$$n_{zmena1} = t_{zmena} \cdot 60 \cdot n_{zdvih1} = 7 \cdot 60 \cdot 6 = 2\,520 \text{ [ks. zmena}^{-1}\text{]}. \quad (4.9)$$

- Celkový počet zmien na výrobu série v 1. nástroji:

$$n_{zmenac1} = \frac{40\,000}{n_{zmena}} = \frac{40\,000}{2\,520} = 15,87 \text{ [zmena]}. \quad (4.10)$$

Konečný počet zmien na výrobu série 40 000 ks.rok⁻¹ bude 16 zmien v 1. nástroji.

- Celkový počet hodín na výrobu série v 1. nástroji:

$$n_{hodc1} = t_{zmena} \cdot n_{zmenac} = 8 \cdot 16 = 128 \text{ [hod]}. \quad (4.11)$$

- o Cena za mzdy vrátane sociálneho a zdravotného poistenia v 1. nástroji:

$$C_{m1} = C_{obsluha1} \cdot n_{hodc1} = 400 \cdot 128 = 51\,200 \text{ [Kč]}. \quad (4.12)$$

kde: $C_{obsluha1}$ – cena na super hrubú mzdu obsluhy lisu a nastavovača, ktorý mení zvitky, prináša a odnáša palety v 1. nástroji (ich súčet je 400 Kč).

Pre druhý nástroj je počet zdvihov $n_{zdvih2} = 5 \text{ ks.min}^{-1}$, pre tretí $n_{zdvih3} = 7 \text{ ks.min}^{-1}$. Výpočty majú obdobný charakter a výsledné hodnoty sú zobrazené v tabuľke 12. Je nutné podotknúť, že cena za super hrubú mzdu pracovníkov pri druhom a treťom nástroji tvorí iba cena za obsluhu lisu. Upínanie, nastavovanie lisov a odnášanie a prinášanie paliet vykonáva jeden nastavovač pri všetkých troch stanoviškách.

Tab. 13 Cena za mzdy pri jednotlivých stanoviškách.

Stanovisko	n_{zdvih} [ks.min ⁻¹]	n_{zmena} [ks.zmena ⁻¹]	n_{zmenac} [ks.zmena ⁻¹]	n_{hodc} [hod]	C_m [Kč]
1. nástroj	6	2 520	16	128	51 200
2. nástroj	5	2 100	20	160	25 600
3. nástroj	7	2 940	14	112	22 400
Celková cena za mzdy pri všetkých stanovištiach C_{mc}					99 200

- Náklady na elektrickú energiu – cena za 1kWh predstavuje sumu $C_e = 4,3 \text{ Kč.kWh}^{-1}$.

- o Cena za elektrickú energiu pri prvom stanovisku:

$$C_{e1} = C_e \cdot n_{zmenac1} \cdot P_{s1} \cdot \eta_1 = 4,3 \cdot 128 \cdot 11 \cdot 0,8 = 4\,843,5 \text{ [Kč]}, \quad (4.13)$$

kde: P_{s1} – výkon stroja LE 160C [kW],

η_1 – zvolená účinnosť stroja LE 160C v hodnote 0,8 [-].

- o Cena za elektrickú energiu pri druhom stanovisku:

$$C_{e2} = C_e \cdot n_{zmenac2} \cdot P_{s2} \cdot \eta_2 = 4,3 \cdot 160 \cdot 2,27 \cdot 0,7 = 1\,169,5 \text{ [Kč]}, \quad (4.14)$$

kde: P_{s2} – výkon stroja ZHO100 [kW] vypočítaný ako:

$$P_{s2} = F_{tc2} \cdot v_{s2} = \frac{32\,402}{1000} \cdot 70 \cdot 0,001 = 2,27 \text{ [kW]}, \quad (4.15)$$

kde: F_{tc2} – celková tvárniaca sila v 2. ťahu [N],

v_{s2} – pracovná rýchlosť lisu (rozmedzie 14 – 85 mm.s⁻¹),

η_2 – zvolená účinnosť stroja ZHO100 v hodnote 0,7 [-].

- o Cena za elektrickú energiu pri treťom stanovisku:

$$C_{e3} = C_e \cdot n_{zmenac3} \cdot P_{s3} \cdot \eta_3 = 4,3 \cdot 14 \cdot 11 \cdot 0,8 = 463,5 \text{ [Kč]}, \quad (4.16)$$

kde: P_{s3} – výkon stroja LEK160 [kW],

η_3 – zvolená účinnosť stroja LEK160 v hodnote 0,8 [-].

- o Celková cena za elektrickú energiu pri všetkých stanoviškách:

$$C_{ec} = C_{e1} + C_{e2} + C_{e3} = 4\,843,5 + 1\,169,5 + 463,5 = 6\,476,5 \text{ [Kč]}. \quad (4.17)$$

Celkovú variabilnú cenu tvorí súčet jednotlivých zložiek:

$$C_v = C_{material} + C_{mc} + C_{ec} = 1\,414\,385,6 + 99\,200 + 6\,476,5 = 1\,520\,062 \text{ [Kč]}. \quad (4.18)$$

Suma sa zaokrúhli na hodnotu 1 520 100 Kč.

- Fixné – cena jednotlivých nástrojov z tabuľky 13. Cena je odborne odhadovaná.

Tab. 14 Odhadovaná cena nástrojov.

Cena 1. nástroja C_{n1} [Kč]	Cena 2. nástroja C_{n2} [Kč]	Cena 3. nástroja C_{n3} [Kč]	Celková cena C_{nc} [Kč]
250 000	150 000	170 000	570 000

Celková výrobná cena je daná súčtom variabilnej a fixnej zložky:

$$C_{vc} = C_v + C_n = 1\,520\,100 + 570\,000 = 2\,090\,100 \text{ [Kč]}. \quad (4.19)$$

Nepriame náklady sú náklady režijné. Réžie spočívajú vo výrobe a v správe.

- Výrobné réžie – zahŕňajú ďalšie zložky nákladov, ktoré doteraz neboli nikde zahrnuté a je nutné ich započítať. Je to napríklad cena za mazivo, údržbu, kúrenie či nepodarky. Jej veľkosť si určuje každý podnik sám. V tomto prípade bola zvolená hodnota 50 % z celkových výrobných nákladov:

$$R_v = 0,5 \cdot C_{vc} = 0,5 \cdot 2\,090\,100 = 1\,045\,050 \text{ [Kč]}. \quad (4.20)$$

- Správne réžie – môžu byť tvorené poistením administratívnych budov, nákladmi na audity, právne poplatky či mzdy administratívnych pracovníkov a managementu. Bola zvolená hodnota 100 % z ceny na mzdy pracovníkov:

$$R_s = 1 \cdot C_{mc} = 1 \cdot 99\,200 = 99\,200 \text{ [Kč]}. \quad (4.21)$$

- Zásobovacie réžie – súvisia so skladovaním a prepravou materiálu. Tvoria ich náklady na skladovacie prostriedky napríklad vo forme ohradových paliet, mzdy skladníkov, náklady na balenie. Uvažuje sa s hodnotou 100 % z ceny na mzdy pracovníkov:

$$R_z = 1 \cdot C_{mc} = 1 \cdot 99\,200 = 99\,200 \text{ [Kč]}. \quad (4.22)$$

- Celkové réžie tvoria sumu dielčích zložiek:

$$R_c = R_v + R_s + R_z = 1\,045\,050 + 99\,200 + 99\,200 = 1\,243\,450 \text{ [Kč]}. \quad (4.23)$$

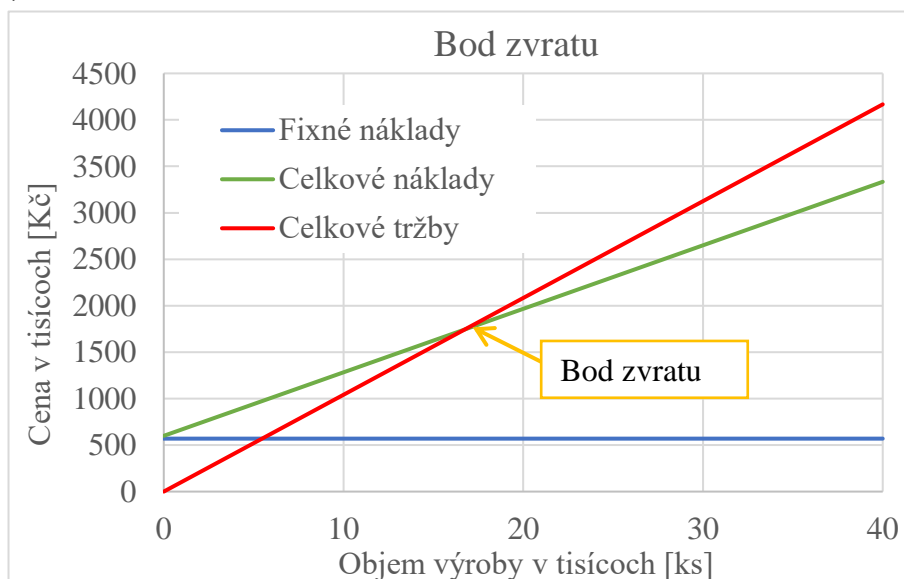
Na základe predchádzajúcich výpočtov je možné určiť výslednú cenu výrobku so započítaním zisku. Tržná cena výrobku bude navýšená o zisk v hodnote 25 %. Výsledná cena súčasti je daná podielom všetkých nákladov a veľkosti série, navýšená o hodnotu zisku:

$$C_{súčasť} = \frac{C_{vc} + R_c}{40\,000} \cdot 1,25 = \frac{2\,090\,100 + 1\,243\,450}{40\,000} \cdot 1,25 = 104,17 \text{ [Kč} \cdot ks^{-1}] \quad (4.24)$$

Ďalším ekonomickým zhodnotením je určenie bodu zvratu, a teda okamihu, kedy obrat pokryje náklady podniku. Bod zvratu sa určí ako:

$$B_{zv} = \frac{C_{nc}}{C_{súčasť} - \frac{C_v + R_c}{40\,000}} = \frac{570\,000}{104,17 - \frac{1\,520\,062 + 1\,243\,450}{40\,000}} = 16\,247,5 \text{ [ks]} \quad (4.25)$$

Minimálny počet kusov výrobkov, ktorý musí podnik vyprodukovať, aby nevykázal stratu, bol stanovený v hodnote 16 248 ks a je graficky znázornený na obrázku 81. Bod zvratu sa nachádza pred polovicou sériovosti výroby. Niektoré náklady boli zanedbané, reálna cena by tak mohla dosiahnuť vyššiu hodnotu. Riešením môže byť napríklad navýšenie predajnej ceny na 104,99 Kč.



Obr. 79 Grafické určenie bodu zvratu

5 ZÁVERY

Riešená súčasť slúži ako pomocný záves k lustru. Okrem praktického účelu je dôležitý aj jej vzhľad, preto je súčasť vyrobená z mede, konkrétne z ČSN 42 3005 označovanej aj Cu99,5. Lesklý kovový vzhľad mede implikuje industriálny štýl, ktorý je estetickým trendom v interiérovom dizajne. So zreteľom na zachovanie jedinečnej textúry nebude súčasť chemicky ošetrovaná, čím sa na nej časom vytvorí patina, ktorá dodá každému kusu špecifickú podobu.

Podoba súčasti spočíva v guľovom vrchlíku s prírubou, na ktorého vrchole je vytvorený otvor pre prechod napájacieho kábla. Hrúbka plechu je 0,5 mm a sériovosť výroby pozostáva zo 40 000 kusov za rok. Na základe literárnej štúdie jednotlivých technológií bola zvolená technológia hlbokého ťahania bez stenčenia steny v kombinácii so strihaním.

Technologické výpočty začínajú stanovením veľkosti polotovaru bez prídavku na ostrihovanie, ktorého hodnota bola viacerými metódami zistená ako 195 mm. Na základe nomogramu i výpočtov bolo ďalej usúdené, že súčasť je potrebné formovať v dvoch ťažných operáciách, podľa ktorých boli k pôvodnej veľkosti prístrihu pripočítané 4 % z priemeru polotovaru. Výsledná veľkosť prístrihu s prídavkom na ostrihovanie má rozmer 203 mm. Po uvážení využiteľnosti plechu pri porovnaní tabúl a zvitku plechu bol zvolený polovar vo forme zvitku plechu so šírkou pásu 212 mm a využiteľnosťou 79,93 %.

Technologický proces zahŕňa 3 tvárniace operácie. Prvou je vystrihnutie prístrihu so súčasným vytiahnutím valcového dutého kalíška. Druhou je spätné ťahanie na dosiahnutie polguľovitého tvaru súčasti, kedy sa z vnútornej strany pôvodného kalíška stáva vonkajšia strana hotového sférického výťažku. Poslednou operáciou je vystrihnutie otvoru na vrchole súčasti a zároveň ostrihnutie okrajov príruby. Pre všetky operácie bola vypočítaná tvárniaca sila a práca, podľa ktorých boli zvolené nasledujúce stroje: výstredníkový lis LE 160 C pre prvé združené ťažidlo, pre strižnú silu 103,5 kN a tvárniacu silu s veľkosťou 63,9 kN, hydraulický lis ZHO100 pre druhé ťažidlo na spätný ťah s tvárniacou silou 32,4 kN, a nakoniec výstredníkový lis LEK160 pre strihadlo na potrebnú strižnú silu 80,4 kN.

Vyrobiteľnosť súčasti v dvoch ťažných operáciách bola overená prostredníctvom simulačného softvéru PAM-STAMP doplnenom o nadstavbu tohto softvéru s názvom ESI MCE Tool 1.0. Numerickou simuláciou bola vytvorená analýza medzných pretvorení typu FLD Keeler-Goodwin, ktorá potvrdila, že nedôjde k porušeniu súdržnosti v procese výroby. Usvedčila však potrebu vystrihnutia otvoru až po ťahacom procese, nakoľko by v opačnom poradí došlo k značnému porušeniu celistvosti výrobku spolu s deformáciou otvoru.

Ďalším krokom bolo vytvorenie samotného konštrukčného návrhu jednotlivých nástrojov, ktoré sú charakterizované vo výkresovej dokumentácii. Výkresová dokumentácia je obohatená o samotnú súčasť a funkčné časti prvého nástroja – ťažník, strižník a strižnicu.

V technicko-ekonomickom zhodnotení bola suma hotového výrobku po zarátaní 25 % zisku stanovená na 104,17 Kč. Bod zvratu nastane po produkcii 16 248 kusov. Hodnota sa nachádza pred polovicou celkovej ročnej výroby.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV [50]

1. TRZEPIECIŃSKI, Tomasz. Recent development trends in sheet metal forming. *Metals* [online]. Basel: MDPI AG, 2020, **10**(6), 779 [cit. 2021-02-19]. ISSN 2075-4701. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/met10060779>
2. SOUSA, Ricardo. Incremental Sheet Forming Technologies. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering* [online]. Elsevier, 2016 [cit. 2021-02-19]. ISSN 0921-5093. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.04055-8>
3. KOVÁČ, Peter a Viktor TITTEL. Blank holder force optimalization of hemispherical product using numerical simulation. *Materials science and technology* [online]. Trnava: Materiálovotechnologická fakulta STU, 2010, **10**(5), 5-10 [cit. 2021-02-19]. ISSN 1335-9053. Dostupné z: https://www.mtf.stuba.sk/buxus/docs/internetovy_casopis/2010/5/kovac_tittel.pdf
4. What is deep drawing? Mubion [online]. [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.mubion.com/en/news/11-what-is-deep-drawing>
5. Copper - Cu. *Lenntech: Water treatment solutions* [online]. 2021 [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <https://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm>
6. SILBERSCHMIDT, Vadim. *Mechanics of Materials in Modern Manufacturing Methods and Processing Techniques*. Elsevier, 2020, 456 s. ISBN 978-0-12-818232-1.
7. HUDÁK, Juraj. Experimentálne overenie technológie výroby výtlačku z hrubého plechu. In: *Transfer inovácií* [online]. 20. 2011, s. 125-128 [cit. 2021-02-25]. ISSN 1337-7094. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/20-2011/pdf/125-128.pdf>
8. ČSN 423004. *Měď tvářená Cu99,5 pro všeobecné účely*. Praha: Český normalizační institut, 1991.
9. Pomocný závěs k lustru FIX, měděný. In: *Riteli* [online]. 2021 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.riteli.cz/pomocny-zaves-k-lustru-fix-medeny>
10. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. U.S. (USA): Industrial Press Inc., 2005. ISBN 9780831132590.
11. Hydroforming process. *Jones Metal Products* [online]. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <https://www.jmpforming.com/hydroforming/hydroforming-process.htm>
12. Deep Drawing. *Manufacturing Guide* [online]. Stockholm [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/deep-drawing>
13. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL Knihnice technických aktualit, 1990, 196 s. ISBN 80-030-0221-4.
14. WALKER, John a Kenneth STIER. *Modern metalworking* [online]. 10th edition. The Goodheart-Willcox Company, Inc., 2018 [cit. 2021-03-04]. ISBN 978-1-63126-341-5. Dostupné z: <https://www.g-wonlinetextbooks.com/modern-metalworking-2018/1>

15. HARANT, Martin. *Výroba dílce hydroformováním a její optimalizace*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117145>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.
16. Sheet Metal Forming Process and Equipment. *MachineMfg* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/sheet-metal-forming-processes-equipment/>
17. BAČA, Jozef, Jozef BILÍK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. 1. vyd. Bratislava: Edícia vysokoškolských učebníc, 2010, 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
18. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
19. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
20. GAO, Mendgi, Qingyang WANG, Lei LI a Conghu LIU. Comprehensive energy-saving method for sheet metal forming. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. London: Springer Verlag [cit. 2021-02-19]. ISSN 1433-3015. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-019-04022-4>
21. GAO, Enzhi, Hongwei LI, Hongchao KOU, Chang HUI, Jinshan LI a Lian ZHOU. Finite element simulation on the deep drawing of titanium thin-walled surface part. *Rare Metals* [online]. Springer Nature, 2010, **29**, 108-113 [cit. 2021-02-25]. ISSN 1867-7185. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s12598-010-0019-1>
22. Metal Stamping And Die Design: Deep Drawing. *MachineMfg* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/metal-stamping-and-die-design-deep-drawing/>
23. Proceso de embuticion profunda. In: *Conecband* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.conecband.com/producto/1208/proceso-de-embuticion-profunda>
24. ČADA, Radek. *Technologie I: Studijní opora* [online]. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archived/FS/TECH1/Technologie-I.pdf>
25. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
26. FOREJT, Milan. *Teorie tváření: Návod do cvičení*. Brno, 2004. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hta_teorie_tvareni_navody_do_cviceni_for_ejt.pdf. Syllabus. Vysoké učení technické v Brně.
27. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959, 537 s.
28. TOMÁŠEK, Jiří. *Směrnice pro stanovení mezních stupňů přetvoření pravidelných tvarů součástí z plechu*. 1. vyd. Brno: Výzkumný ústav tvářecích strojů a technologie tváření, 1975, 53 s.
29. ČSN 22 7301. *Lisovací nástroje. Tažení dutých válcových výtazků. Směrnice pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1969.

30. ASM Handbook: *Metalworking: Sheet*. Vol. 14B. Materials Park, Ohio: ASM International, 2006, 924 s. ISBN 978-0-87170-710-9.
31. SCHULER GMBH. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer, 1998, 563 s. ISBN 3-540-61185-1.
32. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. 2. Brno: CERM, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
33. GROTE, Karl-Heinrich a Erik ANTONSSON. *Springer handbook of mechanical engineering*. Springer, 2009, 1576 s. ISBN 978-3-540-49131-6.
34. ODEHNAL, Josef. *Hluboké tažení: popis výroby nádob lisováním - pro informaci a studium*. První. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 100 s.
35. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
36. DOEGE, Eckart a Bernd-Arno BEHRENS. *Handbuch Umformtechnik: Grundlagen, Technologien, Maschinen 1*. 2., bearbeitete Auflage. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010, 916 s. ISBN 978-3-642-04248-5.
37. ŠPINLEROVÁ, Marie. *Technologie: Obor nástrojář* [online]. Opava, 2007 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>. Střední škola technická Opava.
38. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979, 407 s.
39. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Část tvářecí stroje* [online]. 2002 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobnni_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf
40. FOREJT, Milan, Anton HUMÁR, Miroslav PÍŠKA a Libor JANÍČEK. *Experimentální metody* [online]. Brno, 2019 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/he1_experimentalni_metody_cviceni_2019_forejt_piska_humar_janicek.pdf. Syllabus. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
41. BAREŠ, Karel. *Lisování*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971, 542 s.
42. Ťažné akosti ocele. *U. S. Steel Košice* [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.usske.sk/sk/produkty/ocel-valcovana-za-tepla/tazne-akosti-ocel>
43. *Linky na rovnání pásů ze svitků*. Attl a spol. s.r.o. Továrna na stroje [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: https://www.attl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani_pasu.pdf
44. STN EN 10027-1. *Systém označovania ocelí. Časť 1: Značky ocelí*. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, 2018.
45. ČSN 22 6002. *Tvářecí stroje. Nástroje pro plošné tváření. Všeobecné bezpečnostní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 1987.

46. Product groups. FIBRO GmbH Werk II [online]. 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.fibro.de/en/standard-parts/product-groups/>
47. Hutný materiál: Meď. In: KJG a.s. - odkvapové systémy a strešné krytiny [online]. Čachtice, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: https://vsetkoprestrechu.sk/wp-content/uploads/2017/03/29_5h9miz80gx1dr37ce8tm.pdf
48. Výkupná cena medi – výkup medeného šrotu. In: Euroekonom [online]. [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.euroekonom.sk/vykupna-cena-medi-vykup-medeneho-srotu/>
49. KOVÁŘOVÁ, Ludmila. Podniková ekonomika: Základní veličiny efektivnosti podnikání. In: SlidePlayer [online]. 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2849890/>
50. Citace PRO: Generátor citací [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
51. VYSKOČIL, Oldřich a Pavel BARTOŠ. Směrnice pro konstrukci nástrojů pro stříhání (učební texty). Brno: Zbrojovka Brno a.s., 1977, 88 s.
52. Lis / Excentrický nad 100 T / LE 160 C. Fermat Machinery [online]. [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.fermatmachinery.com/pouzite-stroje/lis/excentricky-nad-100-t/le-160-c-cs-211223/>
53. Uzavřené hydraulické lisy ZHO: Standardní řada lisů typ ZHO 100. Presshydraulika s.r.o.: Hydraulické lisy, hydraulické zařízení, elektrická vybavení [online]. Opava [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: https://presshydraulika.cz/_files/200000110-cf045cffdd/press-hydraulika-katalog2010.pdf
54. Tvářecí stroje / Lisy / Lis výstředníkový / LEK 160. KSTROJE - Stroje a zařízení [online]. [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <http://www.kstroje.cz/cz/2496/stroj/lis-vystrednikovy/>
55. Vinuté pružiny: Pružina B. Eichler Company a.s. [online]. Ždár nad Sázavou: Eichler Company, 2016 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.eichlercompany.cz/pruziny/vinute-pruziny/pruzina-b-1/>
56. Plynové pružiny: RV320. Eichler Company a.s. [online]. Ždár nad Sázavou: Eichler Company [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.eichlercompany.cz/pruziny/plynove-pruziny/rv/rv320-1/>
57. General Purpose Scrap Cutters. MISUMI Corporation [online]. [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110100134660/?HissuCode=SCT&PNSearch=SCT&KWSearch=sct&searchFlow=results2type>
58. KLOCKE, Fritz. Fertigungsverfahren 4: Umformen. 6. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2017, 576 s. ISBN 978-3-662-54713-7. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1007/978-3-662-54714-4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-54714-4)

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Označenie	Legenda	Jednotka
A ₅	Ťažnosť	[%]
AB	Oblasť prírubby výťazku	[-]
A _c	Celková práca	[J]
A _g	Ťažnosť pri maximálnom zaťažení	[%]
A _s	Strižná práca	[J]
A _{s1}	Strižná práca v prvej operácií	[J]
A _{s3}	strižná práca v tretej operácií	[J]
A _t	Ťažná práca	[J]
A _{t1}	Tvárnica práca v prvom ťahu	[J]
A _{t2}	Tvárnica práca v druhom ťahu	[J]
BC	Oblasť steny výťazku	[-]
B _{zv}	Bod zvratu	[ks]
C _e	Náklady na elektrickú energiu – cena za 1kWh	[Kč]
C _{e1}	Cena za elektrickú energiu pri prvom stanovisku	[Kč]
C _{e2}	Cena za elektrickú energiu pri druhom stanovisku	[Kč]
C _{e3}	Cena za elektrickú energiu pri treťom stanovisku	[Kč]
C _{ec}	Cena za elektrickú energiu pri všetkých stanoviskách	[Kč]
C _{m1}	Cena za mzdy vrátane sociálneho a zdravotného poistenia	[Kč]
C _{material}	Celková cena za materiál	[Kč]
C _{mc}	Celková cena za mzdy pri všetkých stanovištiach	[Kč]
C _{n1}	Cena 1. nástroja	[Kč]
C _{n2}	Cena 2. nástroja	[Kč]
C _{n3}	Cena 3. nástroja	[Kč]
CO	Oblasť dna výťazku	[-]
C _{nc}	Celková cena nástrojov	[Kč]
C _{obsluha1}	cena na super hrubú mzdu obsluhy lisu a nastavovača	[Kč]
C _{odpad}	Cena odpadu za kilogram	[Kč]
C _{odpadc}	Cena za odpad	[Kč]
C _{pol}	Cena za materiál	[Kč]
C _{súčasť}	Výsledná cena súčasti	[Kč]
C _t	Korekčný súčiniteľ	[-]
C _v	Celková variabilná cena	[Kč]
C _{vc}	Celková výrobná cena	[Kč]
c	Súčiniteľ závislý na súčiniteli ťahania	[-]
c _o	Opravný koeficient	[-]
c _t	súčiniteľ ťahania	[-]
D ₀	Počiatočný priemer prístrih	[mm]
D _p	Priemer polotovaru na ťahanie s prídavkom na ostrihovanie	[mm]

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Označenie	Legenda	Jednotka
D_{p0}	Priemer polotovaru bez prídavku na ostrihovanie	[mm]
D_{pz}	Zmenšujúci sa priemer prístrihu	[mm]
DÚ	Dolná úvrat'	[mm]
d	Priemer výt'ažku	[mm]
d_n	Priemer výt'ažku v n-tej operácii	[mm]
d_{n-1}	Priemer výt'ažku v n-1 operácii	[mm]
d_{pr}	Priemer príruby	[mm]
$d_{\text{ťaž}}$	Priemer ťažnice	[mm]
d_{vrch}	Priemer polguľového vrchlíka	[mm]
d_p	Elementárna časť aktuálneho polomeru príruby	[mm]
$d\sigma_1$	Elementárna časť radiálneho napätia	[MPa]
E	Youngov modul pružnosti	[GPa]
F	Veľkosť prepážky	[mm]
F_{bezp1}	celková tvárniaca sila v prvej operácii s bezpečnosťou	[N]
F_{bezp3}	celková strižná sila s ohľadom na bezpečnosť v tretej	[N]
F_{br}	Ťažná sila na tvarovanie rebier	[N]
F_c	Celková sila	[N]
F_f	Tretia sila	[N]
F_p	Sila od pridržiavača	[N]
F_p	Sila na pridržiavanie	[N]
F_{p1}	Sila potrebná na pridržiavanie v prvom ťahu	[N]
F_{p2}	Pridržiavacia sila v druhom ťahu:	[N]
F_s	Strižná sila	[MPa]
F_{s1}	Strižná sila v prvej operácii	[N]
F_{s3}	Strižná sila v tretej operácii	[N]
F_{smax}	Maximálna strižná sila	[N]
F_t	Ťažná sila vypočítaná teoreticky	[N]
F_{tc}	Celková ťažná sila	[N]
F_{tc1}	Celková ťažná sila v prvom ťahu:	[N]
F_{tc2}	Celková tvárniaca sila v druhom ťahu:	[N]
F_{to}	Sila potrebná na odtrhnutie dna	[N]
F_{to1}	Sila na odtrhnutie dna v prvom ťahu	[N]
F_{to2}	Sila na odtrhnutie dna v druhom ťahu	[N]
f	Súčiniteľ trenia	[-]
HÚ	Horná úvrat'	[mm]
h	Výška výt'ažku	[mm]
h_{t1}	ťažná výška pri prvom ťahu	[mm]
K	Dĺžka kroku	[mm]

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Označenie	Legenda	Jednotka
K_p	Pevnostný koeficient	[MPa]
k	Materiálový koeficient	[-]
L	Dĺžka strižnej krivky	[mm]
L_{zv}	Dĺžka zvitku	[mm]
l	dĺžka strihanej plochy	[mm]
l_r	Celková dĺžka rebra	[mm]
M	Veľkosť mostíka	[mm]
M_o	Ohybový moment	[Nm]
m	Súčiniteľ ťahania	[-]
m'	Stredný súčiniteľ ťahania	[-]
m_1	Súčiniteľ ťahania pre prvý ťah	[-]
m_2	Súčiniteľ ťahania pre druhý ťah	[-]
m_3	Súčiniteľ ťahania pre tretí ťah	[-]
m_4	Súčiniteľ ťahania pre štvrtý ťah	[-]
m_n	súčiniteľ ťahania v n-tej operácií	[mm]
m_{odpad}	Celková hmotnosť vzniknutého odpadu	[Kč]
$m_{súčasť}$	Hmotnosť jednej súčasti	[Kč]
$m_{súčasťc}$	Celková hmotnosť vyrobených súčastí	[Kč]
m_{zv}	Hmotnosť jedného zvitku plechu	[kg]
m_{zvc}	Hmotnosť všetkých zvitkov	[kg]
n	Exponent deformačného spevnenia	[-]
n_c	Počet operácií	[-]
n_{hodc1}	Celkový počet hodín na výrobu série v 1. nástroji	[hod]
n_s	Súčiniteľ zahŕňajúci vplyv vonkajších podmienok	[-]
n_{zdvih1}	Počet zdvihov stroja za minútu v 1. nástroji	[ks.min ⁻¹]
n_{zmena1}	Počet súčastí vyrobených za jednu zmenu v 1. nástroji	[ks.zmena ⁻¹]
$n_{zmenac1}$	Celkový počet zmien na výrobu série v 1. nástroji	[zmena]
P_{s1}	výkon stroja LE 160C	[kW]
P_{s2}	výkon stroja ZHO100	[kW]
P_{s3}	výkon stroja LEK160	[kW]
P_v	Pomer vrchlíka	[-]
p_k	Počet kusov na zvitok plechu	[ks]
p_p	Počet pásov na tabuľu plechu	[ks]
P_p	Pomerný priemer príruby	[-]
p_{p1}	Tlak od pridržiavača v dolnej úvrati	[MPa]
p_{p2}	Tlak pridržiavača v druhom ťahu	[MPa]
p_{pr}	Tlak pridržiavača,	[MP]
p_{r2}	Plocha pod pridržiavačom v druhom ťahu	[mm ²]

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Označenie	Legenda	Jednotka
p_t	Počet tabúl' plechu	[ks]
p_v	Celkový počet výstrižkov	[ks]
p_{zv}	Počet zvitkov plechu	[ks]
R	Zmenšujúci sa polomer prístrihu	[mm]
R_c	Celkové réžie	[Kč]
R_e	Medza sklzu	[MPa]
R_m	Medza pevnosti	[MPa]
$R_{p0,2}$	Zmluvná medza pevnosti	[MPa]
R_s	Správne réžie	[Kč]
R_v	Výrobné réžie	[Kč]
R_z	Zásobovacie réžie	[Kč]
r_{tc}	Polomer zaoblenia ťažnice	[mm]
r_{tc}	Polomer zaoblenia pri ťahaní	[mm]
r_{tc1}	Zaoblenie ťažnice v prvom ťahu	[mm]
r_{tc2}	Zaoblenie ťažnice v druhom ťahu	[mm]
r_{tv}	Polomer zaoblenia ťažnice	[mm]
r_{tv1}	Zaoblenie ťažníka v prvom ťahu	[mm]
r_{v1}	zaoblenie hrany dna v prvom výťažku	[mm]
S_1	Obsah guľovej plochy vrchlíka bez zaoblenia	[mm ²]
S_2	Obsah plochy prechodu medzi prírubou a vrchlíkom	[mm ²]
S_3	Obsah plochy príruby	[mm ²]
S_i	Obsah plochy výťažku v i-tej časti	[mm ²]
S_n	Obsah plochy výťažku v n-tej časti	[mm ²]
S_p	Plocha jedného výstrižku	[mm ²]
S_{pr}	Obsah plochy príruby	[mm ²]
$S_{prístrih}$	Obsah plochy prístrihu	[mm ²]
S_s	Strižná plocha	[mm ²]
S_{s1}	Obsah plochy prvej strižnej hrany	[mm ²]
S_{tab}	Plocha jednej tabule	[mm ²]
$S_{výť}$	Celková plocha výťažku	[mm]
S_{zv}	Plocha zvitku	[mm ²]
$ŠP$	Šírka pásu	[mm]
s	Hrúbka steny plechu po deformácií	[mm]
s_0	Hrúbka steny plechu pred deformáciou	[mm]
s_{max}	Maximálna hrúbka ťahaného materiálu	[mm]
t_v	čistý čas na výrobu výrobku	[hod]
t_{zmena}	Pracovná zmena	[hod]
u	Súčiniteľ na zistenie potreby pridržiavača	[-]
$V_{výť}$	Objem výťažku	[mm ³]

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Označenie	Legenda	Jednotka
V_{zv}	Objem jedného zvitku	[m ³]
v_s	Strižná vôľa	[mm]
v_{s2}	pracovná rýchlosť lisu	[mm.s ⁻¹]
w	Prídavok na ostrihovanie rotačných výtlačkov s prírubou	[mm]
X	Dĺžka tabule plechu	[mm]
Y	Šírka tabule plechu	[mm]
Z	Materiálová konštanta	[-]
z	Ťažná medzera	[mm]
z_1	Ťažná medzera v prvom ťahu	[mm]
z_2	Ťažná medzera pre druhý ťah	[mm]
z_i	Ťažná medzera v i-tom ťahu	[mm]
α	Uhol opásania	[rad]
Δs	Pomerná hrúbka prístrihu	[%]
ε_0	Posun krivky spevnenia	[-]
ε_D	Pomerná deformácia na konci príruby	[-]
ε_{d1}	Pomerná deformácia v prechodovej oblasti	[-]
η_1	zvolená účinnosť stroja LE 160C	[-]
η_2	zvolená účinnosť stroja ZHO100	[-]
η_3	zvolená účinnosť stroja LEK160	[-]
η_t	Využitie materiálu na tabuli plechu	[%]
η_{zv}	Využitie zvitku plechu	[%]
λ	Súčiniteľ plnosti	[-]
ξ	Lodeho súčiniteľ	[-]
ρ	Aktuálny polomer príruby	[mm]
ρ_{med}	Hustota mede	[kg.m ⁻³]
σ_1	Radiálne ťahové napätie	[MPa]
σ_2	Radiálne napätie	[MPa]
σ_3	Radiálne napätie	[MPa]
σ_d	Deformačný odpor	[MPa]
σ_f	Trecia zložka napätia v pridržiavači	[MPa]
σ_o	zložka napätia s vplyvom ohybu hrany ťažnice	[MPa]
σ_p	Prirodzený pretvárný odpor	[MPa]
σ_{ps}	Stredná hodnota prirodzeného pretvárneho odporu	[MPa]
τ_s	Napätie v strihu	[MPa]
φ_1	Logaritmické pretvorenie v radiálnom smere	[-]
φ_2	Logaritmické pretvorenie v axiálnom smere	[-]
φ_3	Logaritmické pretvorenie v tangenciálnom smere	[-]

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Súčasti zhotovené technológiou ťahania [4].....	9
Obr. 2 Zadaná súčasť	10
Obr. 3 Záves lustra [9]	10
Obr. 4 Ťahanie metódou Marform [14]	11
Obr. 5 Ťahanie Hydroform [11]	11
Obr. 6 Kovotlačenie [16].....	11
Obr. 7 Hlboké ťahanie [14].....	12
Obr. 8 Nástroj s deleným ťažníkom [13]	12
Obr. 9 Nástroj na druhý ťah pre sférické výtlačky [13]	13
Obr. 10 Možný vzhľad súčasti v dvoch ťažných operáciách [13]	13
Obr. 11 Spätne ťahanie [17].....	13
Obr. 12 Proces ťahania rotačného výtlačku [23]	14
Obr. 13 Hlboké ťahanie [16].....	14
Obr. 14 Napätie a deformácia vo valcovej súčasti [24]	15
Obr. 15 Napätie a deformácia v polguľovej súčasti [10], [18]	16
Obr. 16 Vplyv parametrov ťahania [21]	16
Obr. 17 Vplyv trenia na napätosť [19].....	18
Obr. 18 Vplyv ohybu na deformačný odpor [19].....	18
Obr. 19 Pretvorenie prístrihu na hotovú súčasť	18
Obr. 20 Rozdelenie plôch [10].....	20
Obr. 21 Závislosť m_1 na D_p/s_0 [19]	21
Obr. 22 Určenie počtu ťahov pri polguľových výtlačkoch [28].....	22
Obr. 23 Stupňovanie operácií [24]	22
Obr. 24 Ťažná medzera [18].....	23
Obr. 25 Poloha maximálnej ťažnej sily [32].....	24
Obr. 26 Určenie „c“ [19]	24
Obr. 27 Priebeh síl a práce pri ťahaní [32].....	25
Obr. 28 Ťažidlo pre prvý ťah [19].....	26
Obr. 29 Ťažidlo pre medziťahy [34]	26
Obr. 30 Ťažidlo pre posledný ťah [19].....	26
Obr. 31 Združené ťažidlo s brzdiacou lištou [13]	26
Obr. 32 Tvary ťažných hrán [19]	27
Obr. 33 Vplyv „ r_{tc} “ na „ F_p “ [24].....	27
Obr. 34 Tvary ťažníc [24]	27
Obr. 35 Konštrukcie ťažníkov [19].....	28
Obr. 36 Rovný pridržiavač [30]	29
Obr. 37 Tvarový pridržiavač [13]	29
Obr. 38 Ťahanie sférických výtlačkov [18]	30
Obr. 39 Brzdiace rebrá [55]	31
Obr. 40 Priebeh strihania [36].....	31
Obr. 41 Strihadlo nevedené a vedené [36].....	33
Obr. 42 Druhy funkčných častí strižníc [37].....	33
Obr. 43 Druhy strižníkov [37].....	33
Obr. 44 Kľukový lis s priebehom tvárniacej sily [39]	34
Obr. 45 Hydraulický lis s priebehom tvárniacej sily [39].....	35
Obr. 46 Model súčasti z medi	37
Obr. 47 Súčasť so zaoblením	37
Obr. 48 Rozmery a plochy výtlačku	38

Obr. 49 Priame usporiadanie [31]	40
Obr. 50 Dvojradowé usporiadanie [31]	40
Obr. 51 Delenie plechu	41
Obr. 52 Pozdĺžne rozdelenie priameho usporiadania.....	41
Obr. 53 Pozdĺžne rozdelenie dvojradowého usporiadania.....	42
Obr. 54 Zvitok plechu	42
Obr. 55 Priečne rozdelenie priameho usporiadania	42
Obr. 56 Miesto rozstrihnutia	45
Obr. 57 Rovnacia a podávacia linka ARPL [43].....	47
Obr. 58 Závislosť σ na ϵ pre Cu99,5	49
Obr. 59 Simulačný model nástrojov.....	49
Obr. 60 Priebeh tvárnenia v softvéri	49
Obr. 61 Zmeny hrúbky výtlačku po prvom a druhom ťahu	49
Obr. 62 FLD Keeler-Goodwinov diagram deformácie pre prvý ťah	50
Obr. 63 FLD Keeler-Goodwinov diagram deformácie pre druhý ťah	50
Obr. 64 FLD Keeler-Goodwinov s vopred vystrihnutým otvorom.....	50
Obr. 65 Nástroj pre prvú operáciu.....	51
Obr. 66 Dolná časť prvého nástroja	52
Obr. 67 Horná časť prvého nástroja	52
Obr. 68 Rozstrihovanie odpadu.....	53
Obr. 69 Priebeh operácií v prvom nástroji	53
Obr. 70 Rez prvým nástrojom.....	53
Obr. 71 Základová doska s bezpečnostným označením	54
Obr. 72 Druhý nástroj v otvorenom i zovretom stave.....	54
Obr. 73 Dolná časť druhého nástroja	55
Obr. 74 Horná časť druhého nástroja	55
Obr. 75 Rez druhým nástrojom	56
Obr. 76 Tretí nástroj v otvorenom i zovretom stave	56
Obr. 77 Strižník s odlepovačom.....	57
Obr. 78 Tretí nástroj v reze	57
Obr. 79 Hotová súčasť s prírubovým odpadom pripravená na odobratie	58
Obr. 80 Výber normalizovaných dielcov [46]	58
Obr. 81 Grafické určenie bodu zvratu.....	61

ZOZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické zloženie mede [8].....	10
Tab. 2 Mechanické vlastnosti mede [8].	10
Tab. 3 Prídavky na ostrihovanie rotačných výtlačkov s prírubou ,w‘ [mm] [17].	19
Tab. 4 Súčinitele ťahania pre súčasti s prírubou pre 1. až 4. ťah [27].	21
Tab. 5 Určenie ťažnej medzery z hrúbky plechu [18].	23
Tab. 6 Hodnoty súčiniteľa ,c‘ v závislosti na súčiniteli ťahania ,m‘ [17].	24
Tab. 7 Polomer zaoblenia hrany ťažníka [18].....	28
Tab. 8 Určenie materiálovej konštanty ,Z‘ pre pridržiač [18].	29
Tab. 9 Porovnanie mechanických vlastností materiálov [8], [42].	39
Tab. 10 Porovnanie využitia plechu.....	43
Tab. 11 Technologický postup výroby závesu lustra.....	48
Tab. 12 Výstupné parametre z ESI MCE Tool 1.0.	48
Tab. 13 Cena za mzdy pri jednotlivých stanoviskách.....	60
Tab. 14 Odhadovaná cena nástrojov.	60

ZOZNAM PRÍLOH

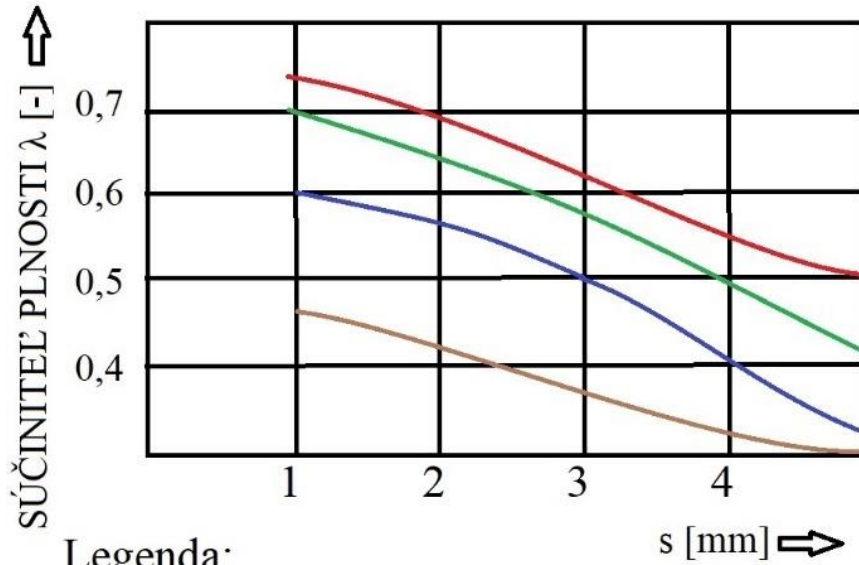
Príloha č. 1	Materiálový list mede
Príloha č.2	Súčiniteľ plnosti λ
Príloha č.3	Nomogram na stanovenie mostíka a prepážky
Príloha č.4	Lis LE 160C
Príloha č.5	Lis ZHO100
Príloha č.6	Lis LEK160
Príloha č.7	Rovnacia a podávacia linka ARPL
Príloha č.8	Vinuté pružiny
Príloha č.9	Plynové pružiny
Príloha č. 10	Rozstrihovače
Príloha č. 11	Zostavy nástrojov

ZOZNAM VÝKRESOV

Záves lustra	DP_191357_0
Nástroj na strih a prvý ťah	DP_191357_1
Ťažník	DP_191357_1_6
Strižník	DP_191357_1_7
Strižnica	DP_191357_1_8
Nástroj na druhý ťah	DP_191357_2
Nástroj na dierovanie a ostrihnutie	DP_191357_3

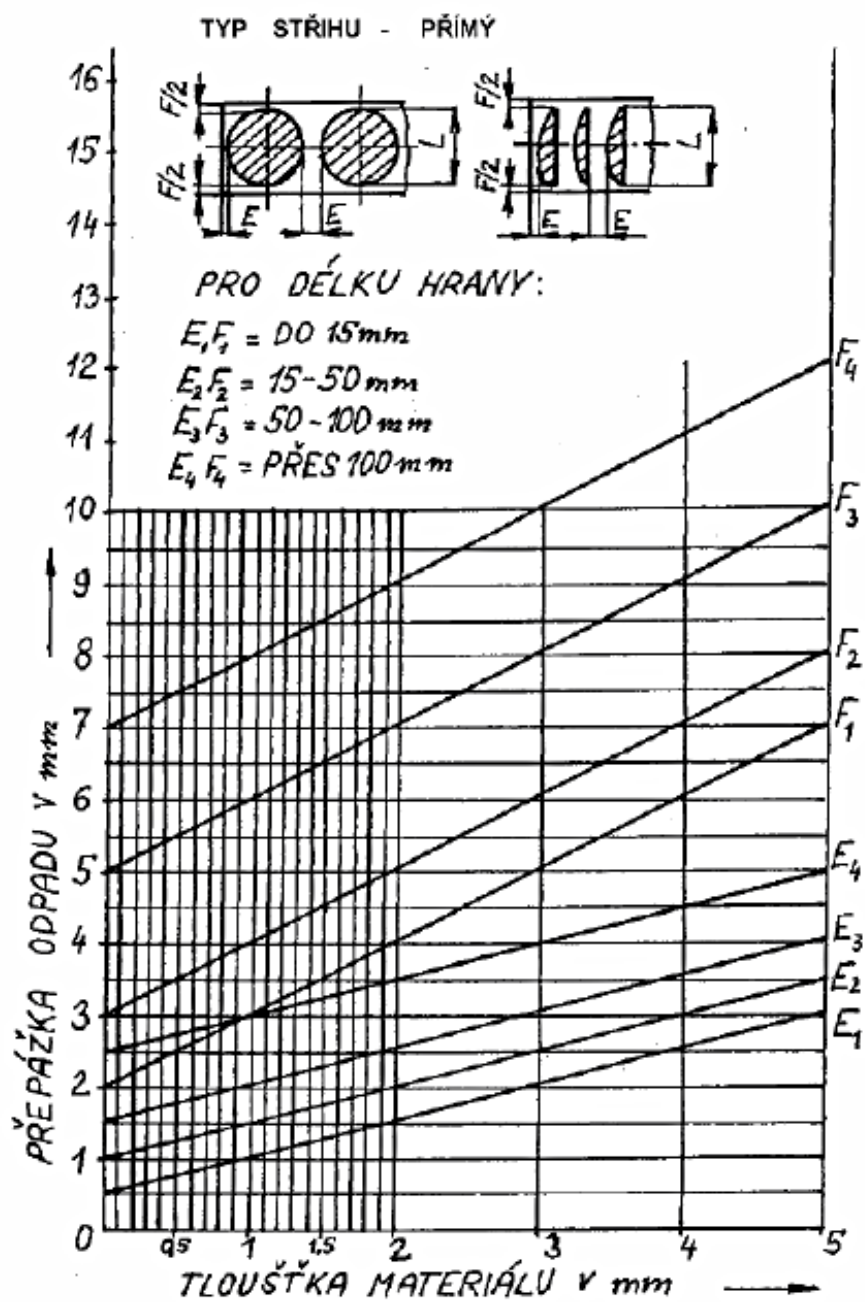
ČSN 42 3005		Měď tvářená		MĚĎ							
STN 42 3005		pro všeobecné účely		Cu99,5							
Chemické složení [hm. %]											
Cu	Sn	As	O	Pb	Sb	Al	Fe	S	Se+Te	Bi	Ag+Ni
min 99,5	max 0,15	max 0,10	max 0,10	max 0,10	max 0,08	max 0,05	max 0,05	max 0,05	max 0,03	max 0,01	připočítat k Cu
Polotovary											
[1] anody, desky, plechy válcované za tepla											
[2] plechy, pásy, pruhy válcované za studena											
[3] dráty kruhové tažené za studena											
[4] dráty kruhové na nýty a hřebíky tažené za studena											
[5] tyče kruhové, čtvercové, ploché a šestihranné lisované za studena											
[6] tyče kruhové, čtvercové, ploché a šestihranné tažené za studena											
[7] trubky kruhové lisované za tepla											
[8] trubky kruhové tažené za studena											
Mechanické vlastnosti											
Polotovary	[1] ¹⁾	[2] ²⁾	[2] ¹⁾	[2] ²⁾	[3] ¹⁾						
Rozměr t, d [mm]	ČSN 42 8302	t < 10	ČSN 42 8306	t < 5	d < 8						
Stav	tvářený	měkký	1/2 tvrdý	tvrdý	měkký						
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa]	–	60–110	inf. 145	min 215	–						
Mez pevnosti R _m [MPa]	205–265	205–255	255–295	min 295	205–255						
Tažnost A ₅ [%] (A ₂₀₀)	min 36	min 36	min 12	min 4	(min 22) ³⁾						
Tvrdość HV	30–70	30–65	60–90	85–110	–						
Modul pružnosti E [GPa]	inf. 110	inf. 108	inf. 118	inf. 128	inf. 108						
Polotovary	[3] ¹⁾	[4]	[4]	[5] ¹⁾	[6] ²⁾	[6] ²⁾	[7] ¹⁾	[8] ²⁾	[8] ²⁾		
Rozměr t, d [mm]	ČSN 42 8410	2,9–9,8	0,9–9,8	d > 23, t > 10	ČSN 42 8611	d < 14, t < 4	ČSN 42 8712	ČSN 42 8707	t < 10		
Stav	tvrdý	měkký	1/2 tvrdý	tvářený	měkký	tvrdý	tvářený	měkký	tvrdý		
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa]	–	min 127 ⁴⁾	min 177 ⁴⁾	–	max 108	min 195	–	max 108	min 195		
Mez pevnosti R _m [MPa]	min 370 ⁵⁾	205–255	295–370	195–255	205–245	min 295	195–255	205–249	min 295		
Tažnost A ₁₀ [%] (A ₂₀₀)	(min 1,5)	(min 25)	(min 20)	min 30	min 35	min 6	min 30	min 40	min 6		
Tvrdość HB	–	–	–	40–70	40–65	75–100	40–65	40–65	75–100		
Modul pružnosti E [GPa]	inf. 128	inf. 108	inf. 118	inf. 110	inf. 108	inf. 128	inf. 110	inf. 108	inf. 128		
Fyzikální vlastnosti											
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost		Konduktivita					
ρ [kg·m ⁻³]	c _p [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	α [K ⁻¹]		λ _t [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]		λ _e [MS·m ⁻¹]					
8 890	390	17,5·10 ⁻⁶ (25–300 °C)		180		–					

Odolnosť proti degradačným procesům					
ODOLNOST PROTI KORÓZI					
v běžných atmosférách je velmi dobrá; v agresívních atmosférách činí korozní úbytek 0,1 až 0,5 $\mu\text{m}/\text{rok}$; v užitkových vodách má měď dobrou odolnosť; v mořské vodě je úbytek až 50 $\mu\text{m}/\text{rok}$; vodní páře odolává do 500 °C; je korodována v kyselých prostředích oxidačního charakteru, chlórem, amoniakem a sírnými sloučeninami; je náchylná k vodíkové nemoci					
ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ					
σ_{e10^7} [MPa]	110–160 (podle R_m)				
Technologické údaje					
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ					
žihání na měkko	450–700 °C				
žihání ke snížení zbytkových napětí	150–250 °C				
TVAŘITELNOST					
velmi dobrá tvařitelnost za tepla i za studena	teploty tváření		kování a válcování 800–900 °C		
			průtlačné lisování 750–950 °C		
SVAŘITELNOST					
vhodná pro svařování plamenem, elektrickým obloukem v ochranné atmosféře a pod tavidlem; podrobněji viz ČSN 42 3004 – Cu 99,75					
PÁJITELNOST					
vhodná pro pájení cínovými i mosaznými pájkami s použitím tavidla					
OBROBITELNOST					
tvrdost HB max	65	85	100	ČSN 42 3213	
třída obrobitelnosti	7c	8c	9c	11c	
koef. obrobitelnosti k_v	0,40	0,50	0,63	1,00	
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY					
polotovar	[1] [2]	[4]	[5] [6]	[7] [8]	
zkouška	Erichsenova ČSN 42 0406	roznyřtov.	lomem ČSN 42 1319	smáčknutím, lemováním hydraul. tlakem	
Použití					
Konstrukční materiál používaný na součásti strojů a zařízení ve strojírenském, chemickém a potravinářském průmyslu.					
Ostatní vlastnosti					
Barevné značení podle ČSN 42 1307			Třída odpadu podle ČSN 42 1331		
Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Německo	
–	–	–	–	C-Cu	DIN 1787
Francie		Velká Británie		Rusko	
–	–	C107	BS 2871	M3	GOST 859-78
USA		Japonsko		Kanada	
C14200	ASTM B152	–	–	Cu-DPA(142)	CSA
Itálie		Rakousko		Švédsko	
–	–	–	–	–	–
Polsko		Maďarsko		Norsko	
Cu99,5G	PN H82120	Cu-C	MSZ	–	–
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
–	–	–	–	–	–
Poznámky					
1) zaručená jakost; 2) se zaručenou R_p 0,2; 3) pro $d > 0,5$ mm; 4) R_{ms} ; 5) pro $d < 4$ mm					



Legenda:

- mäkké Cu, Al · ocel' stredne tvrdá
- ocel' mäkká · ocel' tvrdá





Parameter	Hodnota	Jednotka
Menovitá sila lisu	1 600	kN
Zdvih barana	20 – 120	mm
Výška zovretia	330	mm
Počet zdvihov max	45	zdvih.min ⁻¹
Výkon elektromotora	11	kW
Stôl	1000 x 720	mm
Baran	700 x 380	mm
Rozmery stroja	1 270 x 2 310 x 2 595	mm
Hmotnosť stroja	8 700	kg



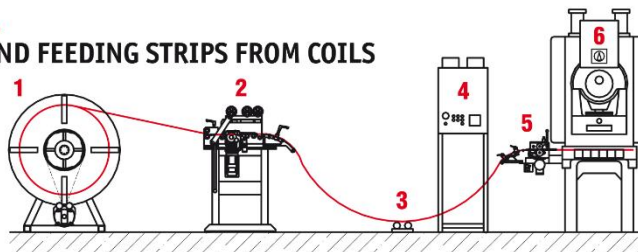
Parameter	Hodnota	Jednotka
Lisovacia sila	1000	kN
Zdvih barana	500	mm
Približovacia rýchlosť	340	mm.s ⁻¹
Pracovná rýchlosť	14 – 85	mm.s ⁻¹
Spätná rýchlosť	280	mm.s ⁻¹
Baran	700 x 700	mm
Rozvrhnutie	650	mm



Parameter	Hodnota	Jednotka
Menovitá sila lisu	1 600	kN
Zdvih barana	25 - 160	mm
Počet zdvihov max	65	zdvih.min ⁻¹
Počet zdvihov využiteľný	32	zdvih.min ⁻¹
Výkon elektromotora	11	kW
Stôl	1 700 x 740	mm
Baran	710 x 425	mm
Vyloženie	355	mm
Hmotnosť stroja	12 180	kg

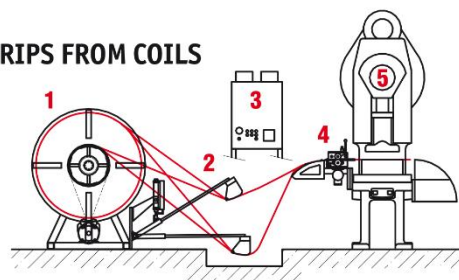
ROVNACÍ A PODÁVACÍ LINKA ARPL LINE ARPL FOR STRAIGHTENING AND FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíjak / Uncoiler AOZ
- 2 - Rovnačka / Straightener ROA
- 3 - Sledování smyčky / Strip position sensor
- 4 - Ovládací panel / Control panel
- 5 - Podavač / Feeder PAL
- 6 - Lis / Press



PODÁVACÍ LINKA APL / LINE APL FOR FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíjak / Uncoiler AOZ
- 2 - Kompenzátor / Compensator
- 3 - Ovládací panel / Control panel
- 4 - Podavač / Feeder PAL
- 5 - Lis / Press



TECHNICKÉ PARAMETRY / TECHNICAL PARAMETERS

Řada odvíjaků AOZ / Uncoilers AOZ

Typ/Type	Nosnost Capacity (kN)	Vnitřní ø svítku Coil inner ø (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost odvíjení Uncoiling speed max. (m/min)	Pohon elektromot. Electric drive	Příkon Power input (kW)
AOZ 03	3 ÷ 8	480 ÷ 620	120	0,15 ÷ 1,2	80	ne / no	—
AOZ 08	8 ÷ 15	480 ÷ 620	250	0,3 ÷ 2,0	180	ano-ne / yes-no	1,5 ÷ 3,0
AOZ 15	15 ÷ 25	480 ÷ 620	350	0,3 ÷ 3,0	160	ano-ne / yes-no	2,2 ÷ 7,5
AOZ 25	15 ÷ 40	480 ÷ 620	350	0,3 ÷ 4,0	160	ano-ne / yes-no	7,5 ÷ 15,0
AOZ 40	40 ÷ 100	480 ÷ 620	580	0,5 ÷ 4,5	160	ano-ne / yes-no	11,0 ÷ 22,0

Řada rovnaček ROA / Strip flatteners ROA

Typ/Type	Počet válců Number of rollers	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost Uncoiling speed max. (m/min)	Pohon elektromot. Electric drive	Příkon Power input (kW)
ROA 160	5	40	160	0,3 - 1,8	280	ne / no	7,5
ROA 250	5	60	250	0,3 - 2,5	320	ano-ne / yes-no	7,5
ROA 350	5	80	350	0,3 - 4,0	260	ano-ne / yes-no	11,0
ROA 580	5	100	580	1,0 - 4,5	260	ano-ne / yes-no	18,5

Řada podavačů PAL / Feeders PAL

Typ/Type	Přesnost podání Accuracy of feed (mm na/per 1000 mm)	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost linky Mill speed max. (m/min.)	Celkový příkon Power input (kW)	Max délka podání Length of feed max. (mm)
PAL 150	± 0,05 ÷ 0,1	40	150	0,5 ÷ 3	100	3,0	3 000
PAL 250	± 0,05 ÷ 0,1	60	250	0,5 ÷ 3,5	80	3,0	3 000
PAL 500	± 0,05 ÷ 0,1	80	500	0,8 ÷ 3	80	3,0	6 000

Řada podávacích a rovnacích linek ARPL / Coil straightening and feeding lines ARPL

Typ/Type	Přesnost podání Accuracy of feed (mm na/per 1000 mm)	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost linky Mill speed max. (m/min.)	Celkový příkon Power input (kW)	Max délka podání Length of feed max. (mm)
RAL 150	± 0,05 ÷ 0,1	40	100	0,5 ÷ 3,0	40	7,5	3 000
RAL 250	± 0,05 ÷ 0,1	60	200	0,5 ÷ 3,5	35	10,2	3 000
RAL 500	± 0,05 ÷ 0,1	80	500	0,8 ÷ 3,0	35	10,2	6 000

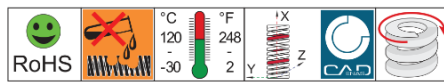
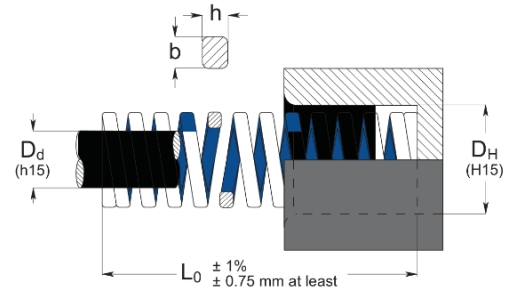
Attl a spol. s.r.o.
Továrna na stroje

Ke Slatinám 117, 109 00 Praha 10, Czech Republic
tel +420 272 705 511, fax +420 271 960 414
e-mail: attl@attl.cz, http://www.attl.cz
IČO: 48110566, DIČ: CZ 48110566

B SERIES

ISO 10243 : 2010

- IT** Molle carico medio
- EN** Medium load springs
- DE** Federn für mittlere Spannung
- FR** Ressorts charge moyenne
- ES** Muelles carga mediana
- PT** Molas carga média



Code	D _H		L ₀	R	A		B		C		D		E	Pcs
	Hble Diameter	Rbd Diameter			25% L ₀	30% L ₀	33.75% L ₀	37.5% L ₀	do not use					
	b	x h	mm	± 10%	+ 3.000.000	~ 1.500.000	300 - 500.000	100 - 200.000			mm			
	mm	mm	mm	N/mm	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N	mm	
B 10 - 025	10	5	25	16.0	6.3	101	7.5	120	8.4	135	9.4	150	10.2	50
B 10 - 032			32	13.0	8.0	104	9.6	125	10.8	140	12.0	156	14.2	50
B 10 - 038			38	11.9	9.5	113	11.4	136	12.8	153	14.3	170	16.8	50
B 10 - 044			44	10.3	11.0	113	13.2	136	14.9	153	16.5	170	19.4	50
B 10 - 051			51	8.9	12.8	114	15.3	136	17.2	153	19.1	170	23.4	25
B 10 - 064			64	7.5	16.0	120	19.2	144	21.6	162	24.0	180	28.2	25
B 10 - 076			76	5.3	19.0	101	22.8	121	25.7	136	28.5	151	34.2	25
B 10 - 305			1.9 x 1.3		305	1.6	76.3	122	91.5	146	103	165	114	183
B 13 - 025	12.5	6.3	25	30.0	6.3	189	7.5	225	8.4	253	9.4	282	11.9	50
B 13 - 032			32	24.8	8.0	198	9.6	238	10.8	268	12.0	298	16.2	50
B 13 - 038			38	21.4	9.5	203	11.4	244	12.8	274	14.3	306	18.7	50
B 13 - 044			44	18.5	11.0	204	13.2	244	14.9	275	16.5	305	21.3	25
B 13 - 051			51	15.5	12.8	198	15.3	237	17.2	267	19.1	296	25.6	25
B 13 - 064			64	12.1	16.0	194	19.2	232	21.6	261	24.0	290	32.4	25
B 13 - 076			76	10.2	19.0	194	22.8	233	25.7	262	28.5	291	39.0	25
B 13 - 089			89	8.4	22.3	187	26.7	224	30.0	252	33.4	281	45.9	20
B 13 - 102	102	6.3	25.5	161	30.6	193	34.4	217	38.3	241	52.3	10		
B 13 - 305	2.5 x 1.5		305	2.1	76.3	160	91.5	192	103	216	114	240	153	10
B 16 - 025	16	8	25	49.4	6.3	311	7.5	371	8.4	417	9.4	464	10.5	50
B 16 - 032			32	37.1	8.0	297	9.6	356	10.8	401	12.0	445	13.2	50
B 16 - 038			38	33.9	9.5	322	11.4	386	12.8	435	14.3	485	17.2	25
B 16 - 044			44	30.0	11.0	320	13.2	396	14.9	446	16.5	495	19.4	25
B 16 - 051			51	26.4	12.8	338	15.3	404	17.2	454	19.1	504	24.2	25
B 16 - 064			64	20.5	16.0	328	19.2	394	21.6	443	24.0	492	29.2	25
B 16 - 076			76	17.8	19.0	338	22.8	406	25.7	457	28.5	507	36.3	20
B 16 - 089			89	15.2	22.3	339	26.7	406	30.0	457	33.4	508	41.7	20
B 16 - 102	102	13.5	25.5	344	30.6	413	34.4	465	38.3	517	48.9	20		
B 16 - 115	115	11.8	28.8	340	34.5	407	38.8	458	43.1	509	53.1	10		
B 16 - 305	3.2 x 2.0		305	4.8	76.3	366	91.5	439	103	494	114	549	142	10
B 20 - 025	20	10	25	98.0	6.3	617	7.5	735	8.4	827	9.4	921	10.5	50
B 20 - 032			32	72.6	8.0	581	9.6	697	10.8	784	12.0	871	13.9	50
B 20 - 038			38	56.0	9.5	532	11.4	638	12.8	718	14.3	801	16.6	25
B 20 - 044			44	47.5	11.0	523	13.2	627	14.9	705	16.5	784	18.8	25
B 20 - 051			51	41.7	12.8	534	15.3	638	17.2	718	19.1	796	23.1	25
B 20 - 064			64	32.3	16.0	517	19.2	620	21.6	698	24.0	775	27.5	25
B 20 - 076			76	25.1	19.0	477	22.8	572	25.7	644	28.5	715	33.8	25
B 20 - 089			89	22.0	22.3	491	26.7	587	30.0	661	33.4	735	39.7	20
B 20 - 102	102	19.8	25.5	505	30.6	606	34.4	682	38.3	758	47.3	20		
B 20 - 115	115	18.1	28.8	521	34.5	624	38.8	703	43.1	780	52.5	10		
B 20 - 127	127	16.6	31.8	528	38.1	632	42.9	712	47.6	790	56.9	10		
B 20 - 139	139	15.1	35.0	529	42.0	634	46.9	708	52.5	793	62.1	10		
B 20 - 152	152	13.2	38.0	500	45.6	600	51.3	677	57.0	750	67.6	10		
B 20 - 305	4.1 x 2.4		305	6.1	76.3	465	91.5	558	103	628	114	698	143	10

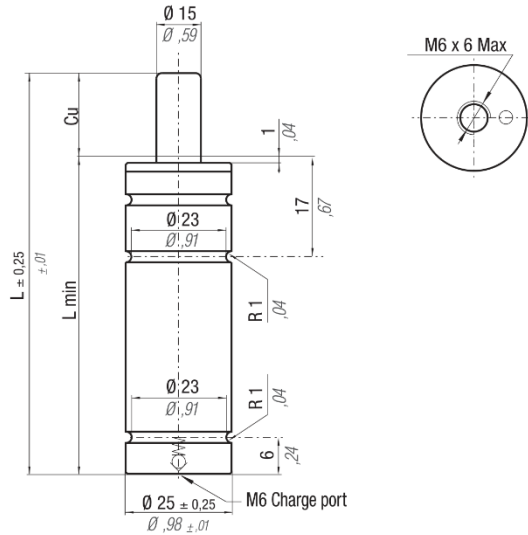
ISO 10243 : 2010

SERIES B

Code	D _H	D _d	L ₀	R	A	B	C	D	E	Pcs						
	Hble Diameter	Rod Diameter	Free Length	Spring Constant	25% L ₀	30% L ₀	33.75% L ₀	37.5% L ₀	do not use approx							
	b x h			± 10%	+ 3.000.000	~ 1.500.000	300 - 500.000	100 - 200.000								
	mm	mm	mm	N/mm	mm	N	mm	N	mm	N						
B 25 - 025	25	12.5	25	147	6.3	926	7.5	1103	8.4	1240	9.4	1382	10.2	50		
B 25 - 032			32	118	8.0	944	9.6	1133	10.8	1274	12.0	1416	13.7	25		
B 25 - 038			38	93.0	9.5	884	11.4	1060	12.8	1193	14.3	1330	15.7	25		
B 25 - 044			44	80.8	11.0	889	13.2	1067	14.9	1200	16.5	1333	18.2	25		
B 25 - 051			51	68.6	12.8	878	15.3	1050	17.2	1181	19.1	1310	21.7	25		
B 25 - 064			64	53.0	16.0	848	19.2	1018	21.6	1145	24.0	1272	26.0	25		
B 25 - 076			76	43.2	19.0	821	22.8	985	25.7	1108	28.5	1231	32.3	20		
B 25 - 089			89	38.2	22.3	852	26.7	1020	30.0	1147	33.4	1276	38.0	20		
B 25 - 102			102	33.0	25.5	842	30.6	1010	34.4	1136	38.3	1264	43.0	20		
B 25 - 115			115	28.0	28.8	806	34.5	966	38.8	1087	43.1	1207	48.6	10		
B 25 - 127			127	25.9	31.8	824	38.1	987	42.9	1110	47.6	1233	53.7	10		
B 25 - 139			139	23.2	35.0	812	42.0	974	46.9	1088	52.5	1218	59.4	10		
B 25 - 152			152	20.8	38.0	790	45.6	948	51.3	1067	57.0	1186	63.8	10		
B 25 - 178			178	17.8	44.5	792	53.4	951	60.1	1069	66.8	1189	76.6	10		
B 25 - 203			203	15.8	50.8	803	60.9	962	68.5	1082	76.1	1202	88.4	10		
B 25 - 305			5.4 x 3.3	305	10.2	76.3	778	91.5	933	103	1050	114	1167	135	5	
B 32 - 038	32	16	38	185	9.5	1758	11.4	2109	12.8	2373	14.3	2646	16.3	20		
B 32 - 044			44	158	11.0	1738	13.2	2086	14.9	2346	16.5	2607	18.9	20		
B 32 - 051			51	134	12.8	1715	15.3	2050	17.2	2306	19.1	2559	23.1	20		
B 32 - 064			64	99.0	16.0	1584	19.2	1901	21.6	2138	24.0	2376	28.5	20		
B 32 - 076			76	80.5	19.0	1530	22.8	1835	25.7	2065	28.5	2294	34.2	20		
B 32 - 089			89	69.1	22.3	1541	26.7	1845	30.0	2076	33.4	2308	40.4	10		
B 32 - 102			102	58.8	25.5	1499	30.6	1799	34.4	2024	38.3	2252	48.0	10		
B 32 - 115			115	51.5	28.8	1483	34.5	1777	38.8	1999	43.1	2220	54.3	10		
B 32 - 127			127	44.8	31.8	1425	38.1	1707	42.9	1920	47.6	2132	59.2	10		
B 32 - 139			139	42.3	35.0	1481	42.0	1777	46.9	1984	52.5	2221	65.3	10		
B 32 - 152			152	37.8	38.0	1436	45.6	1724	51.3	1939	57.0	2155	73.0	10		
B 32 - 178			178	32.5	44.5	1446	53.4	1736	60.1	1952	66.8	2171	84.5	5		
B 32 - 203			203	28.9	50.8	1468	60.9	1760	68.5	1980	76.1	2199	96.9	5		
B 32 - 254			254	21.4	63.5	1359	76.2	1631	85.7	1835	95.3	2039	121	5		
B 32 - 305			6.8 x 4.0	305	18.3	76.3	1396	91.5	1674	103	1884	114	2094	147	5	
B 40 - 051			40	20	51	182	12.8	2330	15.3	2785	17.2	3130	19.1	3476	21.4	20
B 40 - 064	64	140			16.0	2240	19.2	2688	21.6	3024	24.0	3360	26.8	10		
B 40 - 076	76	108			19.0	2052	22.8	2462	25.7	2770	28.5	3078	32.7	10		
B 40 - 089	89	90.7			22.3	2023	26.7	2422	30.0	2724	33.4	3029	39.0	10		
B 40 - 102	102	81.0			25.5	2066	30.6	2479	34.4	2788	38.3	3102	44.1	10		
B 40 - 115	115	71.8			28.8	2068	34.5	2477	38.8	2787	43.1	3095	50.6	10		
B 40 - 127	127	62.7			31.8	1994	38.1	2389	42.9	2687	47.6	2985	55.9	5		
B 40 - 139	139	57.5			35.0	2013	42.0	2415	46.9	2697	52.5	3019	61.8	5		
B 40 - 152	152	51.6			38.0	1961	45.6	2353	51.3	2647	57.0	2941	67.5	5		
B 40 - 178	178	44.1			44.5	1962	53.4	2355	60.1	2649	66.8	2946	77.2	5		
B 40 - 203	203	36.7			50.8	1864	60.9	2235	68.5	2514	76.1	2793	91.8	5		
B 40 - 254	254	30.1			63.5	1911	76.2	2294	85.7	2580	95.3	2869	113	2		
B 40 - 305	8.2 x 4.7	305			24.6	76.3	1877	91.5	2251	103	2532	114	2814	138	2	
B 50 - 064	50	25			64	209	16.0	3344	19.2	4013	21.6	4514	24.0	5016	28.2	5
B 50 - 076					76	168	19.0	3192	22.8	3830	25.7	4309	28.5	4788	34.9	5
B 50 - 089					89	140	22.3	3122	26.7	3738	30.0	4205	33.4	4676	39.2	5
B 50 - 102			102	119	25.5	3035	30.6	3641	34.4	4097	38.3	4558	47.3	5		
B 50 - 115			115	106	28.8	3053	34.5	3657	38.8	4114	43.1	4569	52.6	5		
B 50 - 127			127	97.0	31.8	3085	38.1	3696	42.9	4158	47.6	4617	59.8	5		
B 50 - 139			139	87.0	35.0	3045	42.0	3654	46.9	4081	52.5	4568	65.1	5		
B 50 - 152			152	80.0	38.0	3040	45.6	3648	51.3	4104	57.0	4560	70.8	2		
B 50 - 178			178	69.5	44.5	3093	53.4	3711	60.1	4175	66.8	4643	84.2	2		
B 50 - 203			203	59.8	50.8	3038	60.9	3642	68.5	4097	76.1	4551	96.5	2		
B 50 - 229			229	50.9	57.3	2917	68.7	3497	77.3	3934	85.9	4372	108	2		
B 50 - 254			254	43.9	63.5	2788	76.2	3345	85.7	3763	95.3	4184	122	2		
B 50 - 305			11.1 x 5.8	305	38.6	76.3	2945	91.5	3532	103	3973	114	4416	147	2	
B 63 - 076			63	38	76	312	19.0	5928	22.8	7114	25.7	8003	28.5	8892	30.7	5
B 63 - 089					89	260	22.3	5798	26.7	6942	30.0	7810	33.4	8684	36.5	5
B 63 - 102					102	221	25.5	5636	30.6	6763	34.4	7608	38.3	8464	43.6	5
B 63 - 115	115	187			28.8	5386	34.5	6452	38.8	7258	43.1	8060	48.9	5		
B 63 - 127	127	168			31.8	5342	38.1	6401	42.9	7201	47.6	7997	54.2	2		
B 63 - 152	152	136			38.0	5168	45.6	6202	51.3	6977	57.0	7752	65.7	2		
B 63 - 178	178	114			44.5	5073	53.4	6088	60.1	6849	66.8	7615	76.5	2		
B 63 - 203	203	100			50.8	5080	60.9	6090	68.5	6851	76.1	7610	88.0	2		
B 63 - 229	229	89.2			57.3	5111	68.7	6128	77.3	6894	85.9	7662	104	2		
B 63 - 254	254	78.4			63.5	4978	76.2	5974	85.7	6721	95.3	7472	112	2		
B 63 - 305	11.5 x 9.1	305			64.7	76.3	4937	91.5	5920	103	6660	114	7402	134	2	

How to order: B 50 - 152 (Series) (D_H - L₀) 1 N= 0.1 daN= 0.102 kgf Load (N) = R(N/mm) x Deflection (mm) Special Springs 15 -012

RV 320



Info

* F_{1i} = Isothermal end force at 100% Cu - see page 31

** F_{1p} = Polytrophic end force at 100% Cu - see page 31

Il nuovo codice sarà fornito solo ad esaurimento del vecchio
The new code will be supplied only when the old will be out of stock

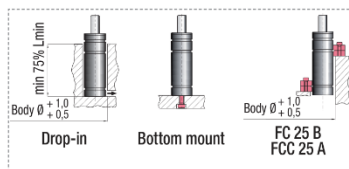


Der neue Kode wird geliefert nur wenn der alte nicht mehr im Lager ist
Le nouveau code sera fourni uniquement lorsque le vieux stock sera écoulé
El nuevo código será suministrado sólo cuando el viejo está fuera de stock
O novo código irá ser fornecido apenas quando o antigo esgotar stock

Collegabile con tubi, MICRO 32°
Linkable with hoses, MICRO 32°
Anschlussfähig mit Leitungen, MICRO 32°
Connectable avec tubes, MICRO 32°
Connectable con tubos, MICRO 32°
Acompláveis com tubos, MICRO 32°



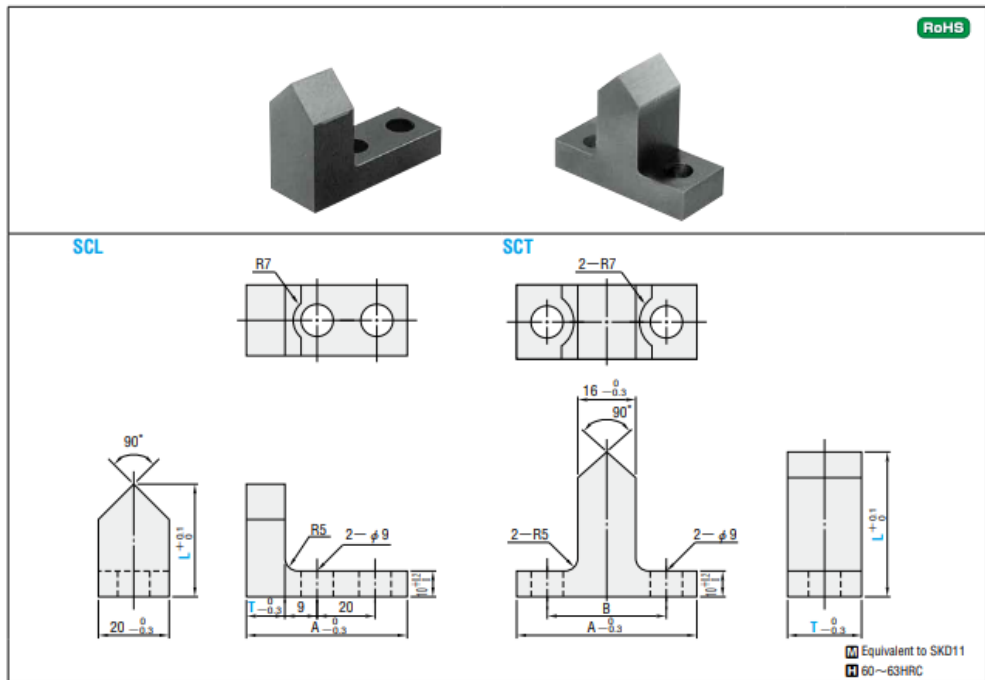
N ₂		F 32 176	C 0 80	ΔP ± 0,33 %/°C	P max 180 bar 2610 psi	P min 20 bar 290 psi	S 1,77 cm ² 0,27 in ²	SPM ~ 40 - 100 (at 20°C)	Max Speed 1,8 m/s	Maintenance kit Disposable
CODE	NEW	Cu	L	L min	F ₀	F _{1i} *	F _{1p} **	V ₀		CE
PHASING OUT from 09/2013		mm inch	mm inch	mm inch	Initial force daN lb	End force * daN lb	End force ** daN lb	cm ³ in ³	-Kg -lb	Cat.
RV 320 - 007 - A	RV 320 - 007 - B	7 0,28	44 1,73	37 1,46	320 719 180 bar 2610 psi ± 5% + 20 °C +68 °F	435 978	531 1194	5,0 0,31	0,099 0,22	-
RV 320 - 010 - A	RV 320 - 010 - B	10 0,39	50 1,97	40 1,57		447 1005	566 1272	6,0 0,37	0,104 0,23	-
RV 320 - 013 - A	RV 320 - 013 - B	13 0,51	56 2,20	43 1,69		459 1032	589 1324	8,0 0,49	0,108 0,24	-
RV 320 - 015 - A	RV 320 - 015 - B	15 0,59	60 2,36	45 1,77		465 1045	602 1353	8,0 0,49	0,112 0,25	-
RV 320 - 019 - A	RV 320 - 019 - B	19 0,75	68 2,68	49 1,93		474 1066	620 1394	10,0 0,61	0,120 0,26	-
RV 320 - 025 - A	RV 320 - 025 - B	25 0,98	80 3,15	55 2,17		483 1086	640 1439	13,0 0,79	0,130 0,29	-
RV 320 - 032 - A	RV 320 - 032 - B	32 1,26	94 3,70	62 2,44		490 1102	654 1470	16,0 0,98	0,140 0,31	-
RV 320 - 038 - A	RV 320 - 038 - B	38 1,50	106 4,17	68 2,68		494 1111	663 1490	19,0 1,16	0,151 0,33	-
RV 320 - 050 - A	RV 320 - 050 - B	50 1,97	130 5,12	80 3,15		500 1124	676 1520	24,0 1,46	0,171 0,38	-
RV 320 - 063 - A	RV 320 - 063 - B	63 2,48	156 6,14	93 3,66		504 1133	684 1538	30,0 1,83	0,193 0,43	-
RV 320 - 075 - A	RV 320 - 075 - B	75 2,95	185 7,28	110 4,33		492 1106	658 1479	38,0 2,32	0,217 0,48	-
RV 320 - 080 - A	RV 320 - 080 - B	80 3,15	195 7,68	115 4,53		494 1111	662 1488	40,0 2,44	0,226 0,50	-
RV 320 - 100 - A	RV 320 - 100 - B	100 3,94	235 9,25	135 5,31		499 1122	672 1511	49,0 2,99	0,260 0,57	-
RV 320 - 125 - A	RV 320 - 125 - B	125 4,92	285 11,22	160 6,30		475 1068	623 1401	67,0 4,08	0,301 0,66	-



HOW TO ORDER

(10 pcs) RV 320-050-A

GENERAL PURPOSE SCRAP CUTTERS



A	B	Catalog No.		L 10mm increments	Base unit price 1~9 pieces	
		Type	T		Shortest L~L60	L70~L100
48	—	SCL	10	20~60		
54			16			
63			25			
50	32	SCT	20	30~100	Quotation	
			25			
			30			

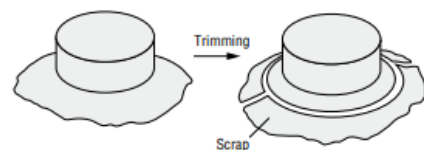
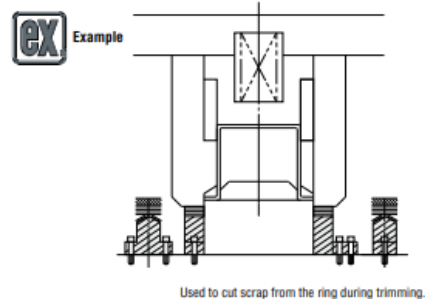
Order Catalog No. — L
 SCL 16 — 20
 SCT 20 — 50

Days to Ship **Quotation**

Price **Quotation**

Alterations Catalog No. — L(LC)
 SCT 25 — LC55

Alteration	Code	Spec.	1 Code
	LC	L dimension change 1mm increments Lmin.<LC<Lmax.	Quotation



PUNCHES & DIES FOR FORMING

