



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KRYTU ELEKTROMOTORU

MANUFACTURING OF THE ELECTRIC MOTOR COVER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeněk Kolář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Zdeněk Kolář**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

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

Výroba krytu elektromotoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na návrh výroby ochranného krytu ventilátoru elektromotoru. V závěrečné práci bude uvedena problematika technologie plošného tváření a proveden návrh výroby zadané součásti.

Cíle bakalářské práce:

Zhodnocení současné technologie výroby součástí podobných tvarů. Vypracování literární studie na zvolenou technologii výroby a zpracování postupu výroby doplněné technologickými a kontrolními výpočty. Součástí práce bude návrh nástroje, stroje a výkresová dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.

DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

FREMUNT, Přemysl; KREJČÍK, Jiří a PODRÁBSKÝ, Tomáš. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a MÁDLE, Luděk. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1990. ISBN 80-03-00221-4.

TSCHÄETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. ISBN 3-540-33216-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na návrh výroby krytu elektromotoru z nízkouhlíkové oceli 11 305 o tloušťce 1,5 mm. Pro výrobní sérii 100 000 kusů za rok je vybrána technologie hlubokého tažení bez ztenčení stěny. V praktické části je zjištěno, že tělo krytu lze zhotovit jedinou tažnou operací. Průměr přístřihu po zvětšení o přídavek na ostřížení nabývá 212 mm, který bude vyráběn stříháním ze svitků o šířce 222 mm a vnějšího průměru 1200 mm. Celková síla, o velikosti 249,18 kN, zahrnuje kromě tažné složky ještě přídržovač a vyhazovač. Výroba je realizována na hydraulickém lise CUPJ 63 DEU od firmy HŠV Polička, jenž je doplněn o spodní hydraulické zařízení. Pro stroj je navrženo tažidlo, umožňující výrobu těla krytu v jedné tažné operaci. Návrh je doplněn o podrobný montážní postup. Pro optimální podmínky procesu je využito maziva MORLAUB KFP 61 V.

Klíčová slova

hluboké tažení, kryt elektromotoru, tváření, hydraulický lis, tažidlo

ABSTRACT

The bachelor's thesis focuses on the design of the production of an electric motor cover made from low-carbon steel 11 305 with a thickness of 1,5 mm. For an annual production series of 100 000 pieces per year, the technology of deep drawing without wall thinning has been selected. In the practical part, it was found that the cover body can be produced in a single drawing operation. The blank diameter, increased by the trimming allowance, is 212 mm, which will be produced by cutting from coils with a width of 222 mm and an outer diameter of 1200 mm. Total force of 249,18 kN includes the drawing component, holder and ejector. Production is carried out on the CUPJ 63 DEU hydraulic press from HŠV Polička, equipped with a lower hydraulic device. Deep drawing die is designed for the machine, which enables the production of the cover body in one drawing operation. Design is supplemented with a detailed assembly procedure. Lubricant MORLAUB KFP 61 V is used for optimal process condition.

Keywords

deep drawing, electric motor cover, forming, hydraulic press, deep drawing die

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLÁŘ, Zdeněk. *Výroba krytu elektromotoru*. Brno, 2024. Dostupné také z <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157636>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba krytu elektromotoru vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 24.05.2024

místo, datum

Zdeněk Kolář

jméno, příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto paní Ing. Michaelle Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování bakalářské. Rád bych poděkoval i své rodině za poskytnutou podporu při mém studiu na vysoké škole.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Možné způsoby výroby zadané součásti	11
2 TECHNOLOGIE HLUBOKÉHO TAŽENÍ.....	14
2.1 Velikost přístřihu	15
2.2 Počet tažných operací	17
2.3 Ověření nutnosti použití přídržovače	18
2.4 Velikost tažné mezery	19
2.5 Síla a práce při tažení	20
2.6 Konstrukce tažného nástroje.....	22
2.6.1 Tažníky	23
2.6.2 Tažnice.....	24
2.6.3 Přídržovače	25
2.7 Stroje	26
2.8 Maziva	28
2.9 Technologičnost	29
3 NÁVRH VÝROBY	30
3.1 Rozměry přístřihu.....	30
3.2 Počet tažných operací	34
3.3 Návrh technologie výroby přístřihu	35
3.4 Posouzení nutnosti přídržovače	39
3.5 Velikosti tažné mezery a kontrola zaoblení nástrojů.....	40
3.6 Síla a práce	42
3.7 Volba strojního zařízení	44
3.8 Návrh tažného nástroje	45
3.8.1 Popis montáže a technologická příprava	46
ZÁVĚR.....	50

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

V oblasti průmyslové výroby je vytváření různých kovových součástí základním a nezbytným procesem, který umožňuje výchozí polotovary přetvořit do složitých a precizních konstrukcí, jež nalézají využití v různých odvětvích, od automobilového průmyslu až po elektrotechniku. Řešení daného problému je komplikovaná záležitost, neboť existuje celá řada výrobních postupů, které lze k výrobě součástí využít. Každá metoda disponuje svými výhodami, nevýhodami a omezeními. Mezi hlavní úkoly technologa patří zanalyzovat danou součást a podle toho k ní zvolit nejvhodnější způsob výroby.

Jedna z nejvýznamnějších technologií se jmenuje tváření. Jedná se o komplexní metodu, při které je materiál účinkem vnějších sil přiveden do plastického stav, kde dochází ke změně jeho tvaru a vlastností. Následně je transformován do požadovaného tvaru a rozměrů, bez porušení polotovaru. Při procesu je nutné překonat tzv. mez kluzu, což je hodnota napětí, kdy dochází k nevratné deformaci tělesa. Zároveň nesmí být překročena mez pevnosti, neboť by po překročení této hodnoty došlo k narušení soudržnosti. [1; 2]

Metodu lze rozdělit do dvou základních kategorií. První je tváření za tepla, kde se výroba uskutečňuje nad teplotou rekrystalizace, což zapříčiňuje zmenšení deformačního odporu a s ním spojené zmenšení tvářecí síly, nutné na přemístění materiálu do požadovaných pozic. Druhá technologie oproti tomu probíhá pod teplotou 30 % tání daného materiálu, proto je nazývána za studena. Mezi hlavní charakteristiky patří změna struktury, za vzniku tzv. vláken, orientovaných ve směru tvářecí síly. Materiál kvůli této strukturní změně ztrácí svoje plastické vlastnosti a projevuje se u něj anizotropní chování. Zvyšuje se mez pevnosti, ale snižuje se tažnost. [1; 2]

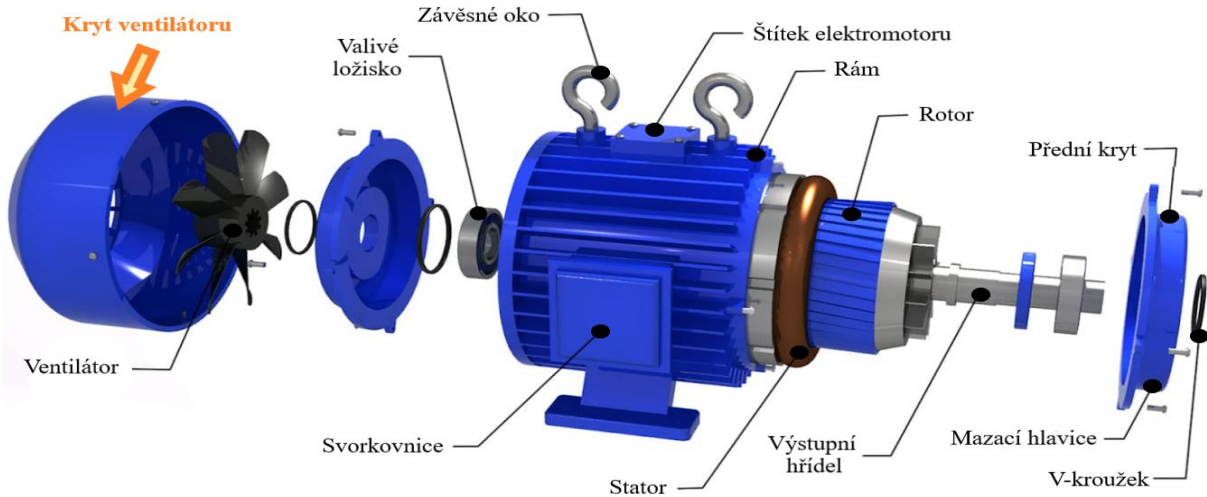
Jednou z konkrétních metod je hluboké tažení, které se řadí mezi tvářecí metody prováděné za studena. Výhodou této technologie je zejména možnost zavádění velkosériové výroby, při které je velké procento využití odpadu, a to až 95 %. Další výhody jsou: kvalita povrchu, přesnost délkových a geometrických tolerancí, zlepšení mechanických vlastností vlivem vzniku vláken. Příklady výrobků vyrobených hlubokým tažením jsou zobrazeny na obr. 1. [3]



Obr. 1 Příklady součástí vyrobených hlubokým tažením. [4; 5]

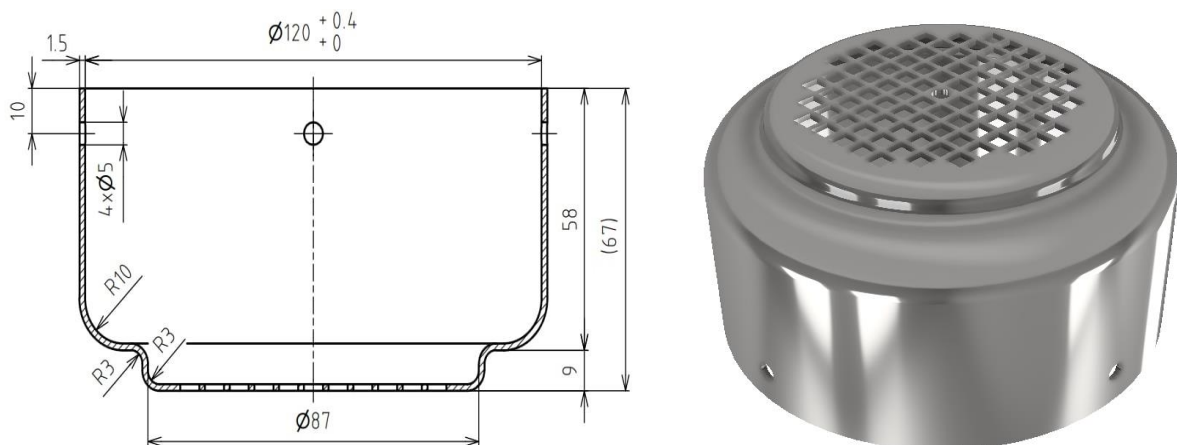
1 ROZBOR ZADÁNÍ

Vyráběnou součástí je kryt elektromotoru, nacházející se na zadní straně zařízení, který lze vidět na obr. 2 v kompletní rozložené sestavě elektromotoru. Primárně poskytuje fyzickou ochranu před vniknutím cizích těles do rotující vrtule ventilátoru, která zajišťuje cirkulaci vzduchu k ochlazování. Samotný kryt má ve svém dně umístěny ventilační otvory, jimiž se může odvádět teplo a zajišťují dostatečný přísuv vzduchu. K tělu elektromotoru je nejčastěji připojen pomocí šroubového spoje, což zajišťuje jednoduchou montáž a demontáž při případné opravě.



Obr. 2 Jednotlivé části asynchronního motoru. [18]

Pro kryt ventilátoru byl zvolen rotační válcový tvar s rovným, prolisovaným dnem, viz obr. 3. Připojovací průměr k elektromotoru má průměr 120 mm, dno má potom průměr 87 mm. Celková výška součásti je 67 mm. Stěna nabývá konstantní tloušťku 1,5 mm a je důležité zachování její konzistentnosti. Po obvodu válcové části jsou po 90 stupních vyrobeny 4 průchozí otvory o průměru 5 mm, sloužící k průchodu šroubu a následným spojením s rámem elektromotoru. Dno má v sobě čtvercové díry, sloužící pro přísuv vzduchu a dostatečné chlazení. Délková tolerance u vnitřního průměru je $+0,4$ mm, z důvodu zajištění dostatečné vůle při nasazování na rám. Velikost výrobní série byla stanovena na 100 000 ks/rok, jedná se tedy o velkosériovou výrobu. Nebyly definovány žádné délkové ani geometrické tolerance, a proto se na ně vztahuje norma ISO 2768, kde byla předepsána třída přesnosti c a K. Na poskytnutém výkrese součásti nebyla uvedena konkrétní hodnota drsnosti povrchu, proto se na tento parametr vztahují obecné tolerance.



Obr. 3 Základní rozměry krytu a 3D model.

Součást nebude nijak mechanicky namáhána, přesto je nutné zajistit dostatečnou pevnost, aby chránila před vnějšími nárazy a otřesy. Zároveň musí být zajištěn odvod tepla, aby se zbytečně nepřehřívala a nevzniklo riziko popálení obsluhy či snížení životnosti stroje. Proto připadají v úvahu oceli třídy 11., které se běžně používají pro výrobu konstrukčních součástí. Z této skupiny byla zvolena ocel 11 305, která je dle EN značena DC04, číselně 1.0338. Uhlík je v ní zastoupen v max. 0,08 %, což z ní dělá nízkouhlíkovou ocel a vhodnou volbou pro hluboké tažení za studena. Jedná se o hliníkem uklidněný materiál, tudíž má výbornou odolnost vůči stárnutí. Dále je vhodná k budoucím úpravám jako je lakování, které zajišťuje korozivzdornost a estetičnost součásti. Nejčastějšími polotovary vyráběné z tohoto materiálu jsou plechy a svitky válcované za studena. Mechanické a chemické vlastnosti jsou uvedeny v tab.1 a tab.2. [6; 7]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli DC04 [7]

Mez pevnosti – R_m [MPa]	Mez kluzu – R_e [MPa]	Minimální tažnost [%]	Tvrдость podle Vickerse [HV]
270–350	210-220	37-38	95

Tab. 2 Chemické složení oceli DC04 [7]

C [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
max 0,08	max 0,4	max 0,03	max. 0,03

1.1 Možné způsoby výroby zadané součásti

Zadaná součást má díky jednoduchému rotačnímu tvaru možnost být vyráběna různými technologiemi, a proto je zapotřebí zhodnotit a vybrat z těchto možností tu nejvhodnější. Jelikož se výrobek bude vyrábět velkosériově, tak je nutné zajistit nízké výrobní časy a přijatelné ekonomické náklady. Proto v úvahu připadají následující možnosti:

- Odlévání – v úvahu připadá odlévání do dřevěné formy s formovací směsí, skořepinové či kovové formy. Zhotovení keramických a kovových forem je však ekonomicky náročné a dřevěná forma s formovací směsí je pouze jednorázová, a proto by se musela zavádět speciální linka na výrobu těchto forem. Ukázka provozu slévárny lze vidět na obr. 4. [11]

Další technologií výroby odlitím je tlakové lití do kovové formy, kdy se tlačným pístem plní dvoudílná forma, jejíž dutina má tvar výsledné součásti. Výhodou je vysoká produktivita, vysoká kvalita povrchu a přesnost odlitků. Nevýhodou však je opět pořizovací cena forem a následný odpad, který by se musel z odlitku odstraňovat. [11]

Vzhledem k tloušťce stěny 1 mm a toleranci vnitřního průměru +0,4 mm je z důvodu obtížné vyrobiteľnosti nevhodné používat odlévání jako výrobní technologii. U odlévání by se navíc muselo počítat s ohřevem materiálu, který je finančně náročný. [11]

- Kovotlačení – technologie je vhodná pro výrobu tenkostěnných dutých rotačních těles. Polotovar je upevněn na stroj s rotačním modelem vyráběné nádoby, poté je roztočen a následně nástroji či kladkami tlačěn na vřeteno, což lze vidět na obr. 5. Materiál DC04 je svými vlastnostmi vhodný pro tuto metodu. Může být prováděno ručně nebo strojně.

Při manuálním postupu vyniká rychlost a ekonomičnost, ale pouze při výrobě menších sérií (v řádu stovek kusů). Ruční manipulace s nástroji klade vysoké nároky na zručnost operátora, aby bylo zaručeno konzistentních požadovaných tolerancí na součásti. S ohledem na plánovanou sérii o 100 tisíci kusů za rok není tato metoda vhodná.

Strojní způsob se využívá především pro tvarování složitějších rotačních tvarů, jako jsou kuželové nebo parabolické plochy. Tato metoda by mohla přijít v úvahu, ale pro zadané výrobní množství by nebyla tak efektivní jako hluboké tažení. [13; 6; 7]



Obr. 4 Odlévání. [12]



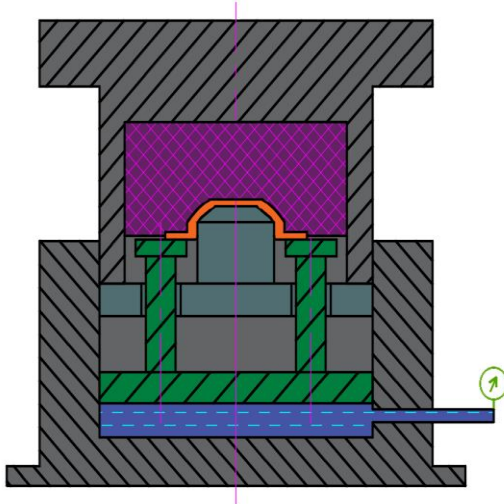
Obr. 5 Kovotlačení. [29]

- **MARFORM** – proces začíná položením plochého přístřihu na desku přidržovače a poté horní nástroj s kontejnerem, obsahujícím pryžové desky, postupně sestupuje dolů. Při kontaktu vrchní části s přístřihem se vyvíjí tlak a stlačuje přidržovač, podpíraný pístem. Během tohoto postupu je polotovar tažen do požadovaného tvaru. Princip je znázorněn na obr. 6. [8; 9]

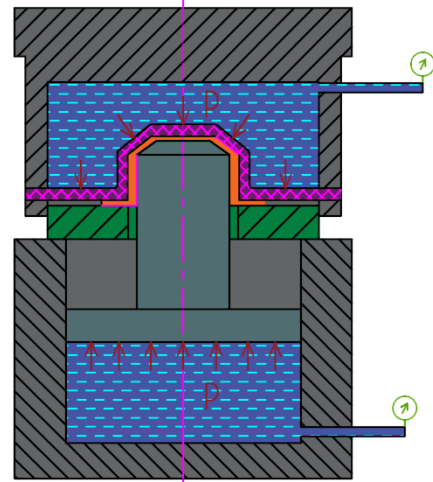
Mezi výhody této metody patří minimalizace zvrásnění dílce a možnost tažení hlubších výtažků díky větší vrstvě pryže, což by bylo ideální pro výrobu zadané komponenty. Nicméně, je třeba poznamenat, že během tažení dochází k rychlému opotřebení tvářecího média. To vyžaduje častou výměnu pryžových desek, což může při výrobní sérii 100 000 ks znamenat časové prostoje. [8; 9]

- **HYDROFORM** – hlavním rozdílem oproti předešlé metodě je ten, že pryžový polštář je nahrazen tlakovou komorou, která je naplněna kapalinou a uzavřena membránou z pryže. Samotné tažení, které je zobrazeno na obr. 7, probíhá tak, že horní část nástroje sjede dolů na přidržovací desku, kde je umístěn přístřih. Po dosednutí obou částí začne vyjíždět pohyblivý tažník, jenž je poháněn hydraulicky, směrem nahoru a tím dochází k tvarování materiálu. Tlak, působící na membránu se při působení síly tažníku postupně zvětšuje. [8; 9]

Mezi plusy této metody spadá zejména dosáhnoutí vysokých redukcí, tzn. zmenšení průměru za prodloužení výšky. Z toho vyplývá, že se zmenšuje počet potřebných tahů a snižuje se výrobní čas. Tato výhoda je však vykompenzována tím, že metoda má poměrně dlouhou dobu přípravy, z důvodu tlakování komory, což ve finále prodlužuje celkový čas, tudíž není příliš vhodnou volbou pro zadanou výrobní sérii. Další nevýhodou je vysoký nárok na těsnost a velká pořizovací cena speciálního lisů, které jsou stavěny na výtažky velkých rozměrů a pro rozměry krytu by byl ekonomicky nevýhodný. [8; 9]



Obr. 6 Tažení metodou MARFORM. [10]



Obr. 7 Tažení metodou HYDROFORM. [10]

- Hluboké tažení – touto technologií se z přístříhu plechu, tzv. rondele, vytvářejí pomocí lisovacích nástrojů dutá tělesa (obr. 8). Výrobu lze realizovat v jedné či více operacích. Požadovaná přeměna tvaru se uskutečňuje táhnutím materiálu přes tažnou hranu tažnice, za působení vnější síly tažníku. Dochází k plastické deformaci, zmenšuje se průměr, výška se naopak zvětšuje. Tloušťka plechu se mění v závislosti na podmínkách procesu, u běžného tažení (bez zeslabení stěny) však nebývá významná. [2; 8]

Ocel DC04 se podle materiálového listu jeví jako vhodná volba pro aplikaci této metody, neboť disponuje dostatečnou pevností, tvárností a nízkým obsahem uhlíku. Navíc je díky přidanému hliníku odolná vůči deformačnímu stárnutí, které by jinak mohlo u této metody nastat. Další výhodou je, že technologie disponuje vysokou produktivitou. Umožňuje automatizaci výroby, což je zvláště důležité pro velké série výroby. [2; 6; 7; 8]

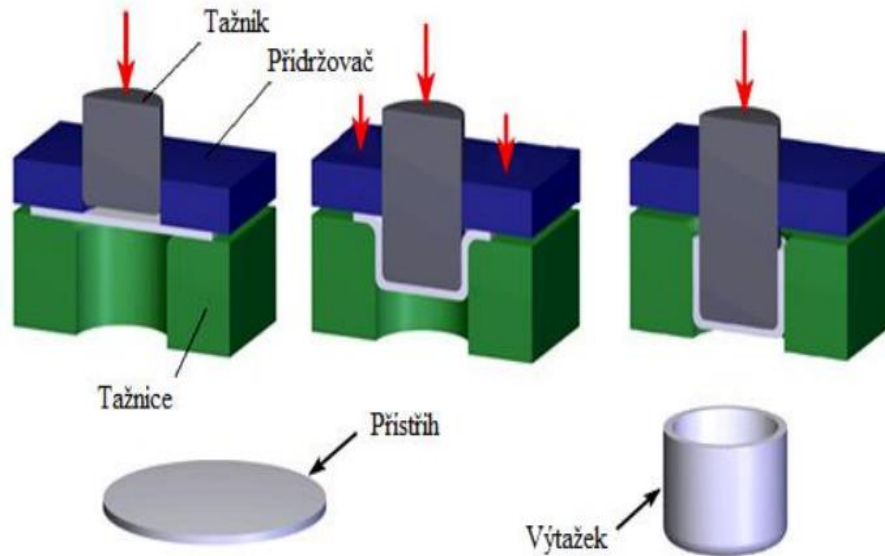


Obr. 8 Hluboké tažení. [19]

Po zhodnocení všech technologií byla vybrána možnost zhotovení výrobku pomocí hlubokého tažení na klasickém konvenčním nástroji, a to bez ztenčení stěny, neboť součást má zadanou konstantní tloušťku. K hlavním důvodům pro tuto volbu patří především úspora materiálu, která je z ekonomického hlediska v sériové výrobě velice důležitá, neboť ovlivňuje cenu a konkurenci schopnost následného prodeje součásti. Této metodě bude věnována literární rešerše a praktická část práce. [2; 6; 7; 8]

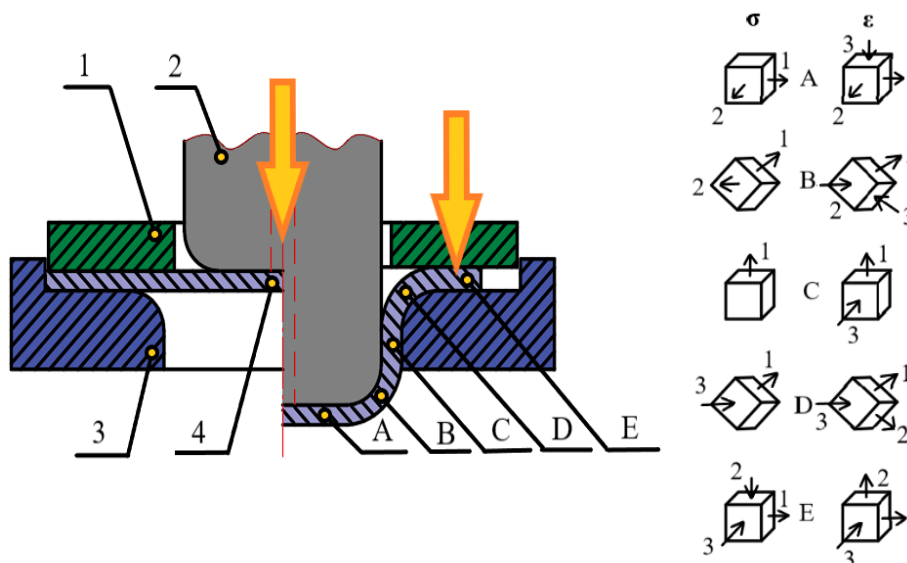
2 TECHNOLOGIE HLUBOKÉHO TAŽENÍ

Jedná se o jednu z nejpoužívanějších metod plošného tváření. Požadovaného tvaru se dosahuje působením vnější tvářecí síly nástroje (tažníku) na plochý přístřih, který je následně vtahován přes tažnou hranu do otvoru tažnice. Při procesu dochází k redukci průměru. Dále vlivem silového působení dochází ke stlačování okrajů polotovaru. Tento jev může vést ke zvlnění okrajů, zvláště u plechů s malou tloušťkou stěny. Nežádoucí problém lze eliminovat použitím přidržovače, který natlačuje materiál na tažnici a zamezuje tvorbě nežádoucího vlnění. Princip je zobrazen na obr. 9. [2; 8; 15; 16; 17]



Obr. 9 Hluboké tažení s přidržovačem. [14]

Při procesu vzniká v různých místech výtažku rozličná napjatost, znázorněná na obr. 10. Zatímco dno se vytahuje nepatrně a stejnoměrně (místo A) a válcová část je natahována v jednom směru (místo C), u dna je dvojosá nebo trojosá napjatost. Materiál přecházející přes tažnou hranu (místo D) je namáhán radiálním ohybem a tangenciálním tlakem. Materiál pod přidržovačem je zatížen tlakovým napětím v radiálním směru, tlakem v tangenciálním směru a tlakem kolmo na povrch příruby. Pokud při tažení není přítomen přidržovač, odpadá v této oblasti tlak od přidržovače. [10]



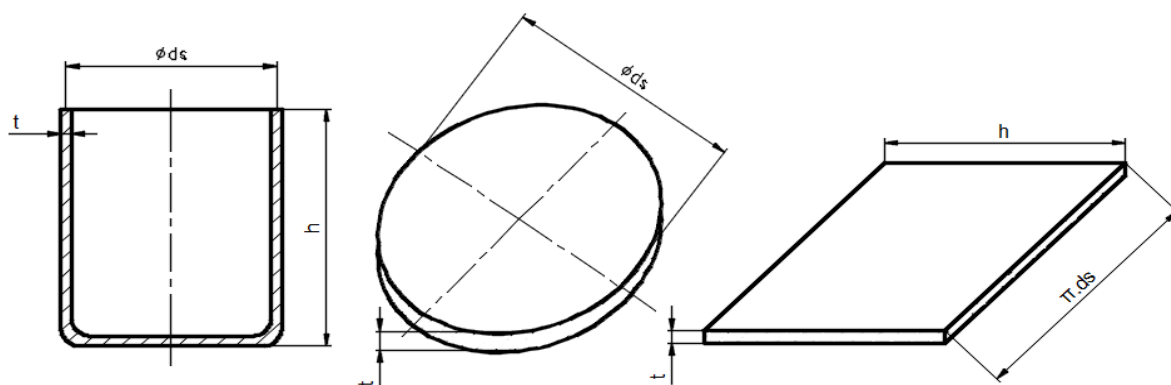
Obr. 10 Schéma napětí při tažení s přidržovačem. [15]

2.1 Velikost přístřihu

Stanovení rozměrů rondele má značný vliv na zdárnost průběhu tažení a na kvalitu samotného výtažku. Pro stanovení rozměrů u rotačních tvarů se často využívají zdroje z odborné literatury ve formě pomocných tabulek nebo grafické metody stanovení průměru přístřihu. [1]

Rozměry pro součásti válcovitého tvaru se nejčastěji stanovují výpočtem, při kterém se vychází ze zákona zachování objemu, tzn. že objem před a po tažení je stejný. Pro zjednodušení se nebere v potaz změna tloušťky materiálu při procesu. [8; 16]

Nejjednodušší aplikací tohoto zákona je výpočet pro jednoduchý válcový výtažek, kde se těleso rozdělí dno a plášť, tj. zobrazeno na obr. 11. Tato metoda s sebou však nese jistou nepřesnost, neboť nezahrnuje tvarové části, jako je například prolisované dno u zadané součásti, ani zaoblení dna, to se však pro malé hodnoty poloměrů může zanedbat (přibližně do osminásobku tloušťky stěny). [8]



Obr. 11 Rozložení těla výtažku na jednotlivé segmenty.

$$V_V = \left(\frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 \cdot s\right) + (\pi \cdot d_s \cdot h \cdot s) \quad (2.1)$$

kde: V_V – objem výtažku [mm³]
 d_s – střední průměr výtažku [mm]
 s – tloušťka materiálu [mm]
 h – výška výtažku [mm]

Výsledný vzorec je tvořen jednotlivými objemy tvarových částí, tj. pláště a dna. Tato hodnota je dle pravidla přibližně stejná, jako je objem kruhového přístřihu. [8]

$$V = V_0 = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot s \quad (2.2)$$

kde: V_0 – objem polotovaru [mm³]
 D_0 – průměr výchozího přístřihu [mm]

Spojením a úpravou obou rovnic lze získat vztah pro určení průměru přístřihu pro válcovitý výtažek. [8]

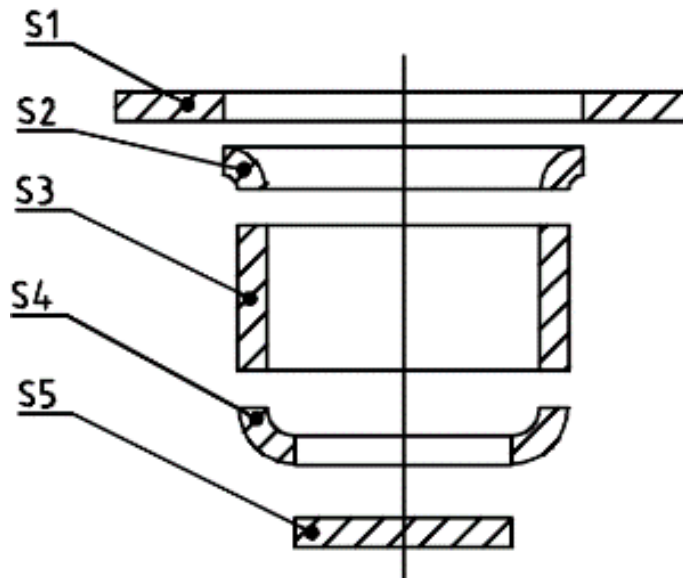
$$D_0 = \sqrt{d_s^2 + 4 \cdot d_s \cdot h} \quad (2.3)$$

Pro přesnější výsledky lze zakomponovat do vztahu poloměr zaoblení dna. Výsledný vzorec pak vypadá následovně:

$$D_0 = \sqrt{d_s^2 + 4 \cdot d_s \cdot h - 1,72 \cdot d_s \cdot R} \quad (2.4)$$

kde: R – poloměr zaoblení dna [mm]

Druhý způsob pro určení výchozích rozměrů přístříhu opět vychází ze zákona zachování konstantního objemu. Používá se pro složitější rotační tvary, které jsou rozděleny do několika segmentů, jako je např. na obr. 12. [8]



Obr. 12 Rozdělení výtažku na jednotlivé segmenty. [8]

U jednotlivých segmentů se vypočítají jednotlivé plochy a celková suma těchto členů se pak rovná ploše přístříhu. Pomocné vzorce pro výpočet jednotlivých geometrických těles jsou uvedeny v příloze 2.

$$S_0 = S_V = \sum_{i=1}^n S_i \quad (2.5)$$

kde: S_0 – plocha výchozího polotovaru [mm²]
 S_V – plocha výtažku [mm²]
 S_i – plocha jednotlivého segmentu [mm²]

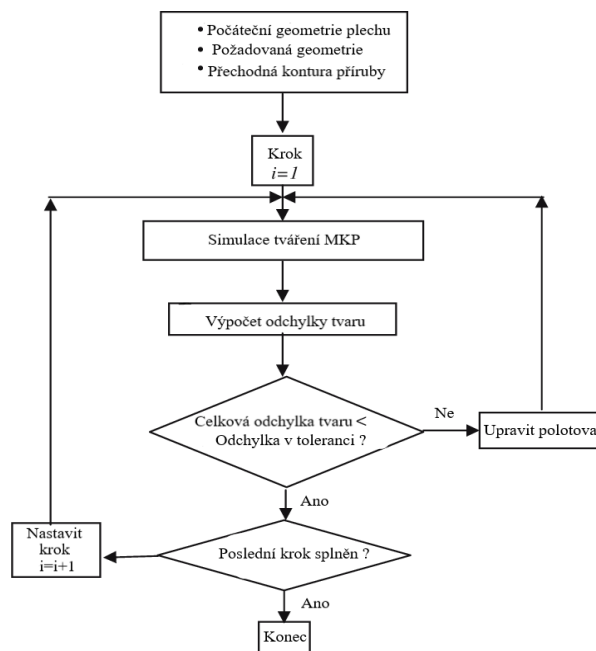
Ze získané plochy součásti lze určit průměr přístříhu pomocí úpravy základního vztahu pro výpočet obsahu kruhu.

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_V}{\pi}} \quad (2.6)$$

Po dokončení tahu bývají okraje zdeformované a nerovné, to je zapříčiněno anizotropií v materiálu, která je dána předešlým způsobem výroby plechu válcováním. Z toho důvodu se výtažek táhne hlubší, což zajišťuje jistý přídavek na ostřížení těchto nerovných konců. Pro první tah je dle zkušeností a literatury uveden přídavek 3 %, s každým dalším tahem se navyšuje tato hodnota o 1 %. [8; 16].

V neposlední řadě lze stanovit rozměry rondule pomocí softwarových nástrojů, jako jsou CAx systémy, zejména CAD systémy. Ty jsou schopny na základě vymodelovaného tělesa, které je definováno řídicími rozměry dle specifikací, vypočítat fyzikální charakteristiky, včetně objemu, plochy, hmotnosti, těžiště, momentu setrvačnosti atd. Tato data mohou být využita k určení celkového objemu finální součásti a aplikací zákona o zachování objemu vyčíslit objem či plochu přístříhu. [20]

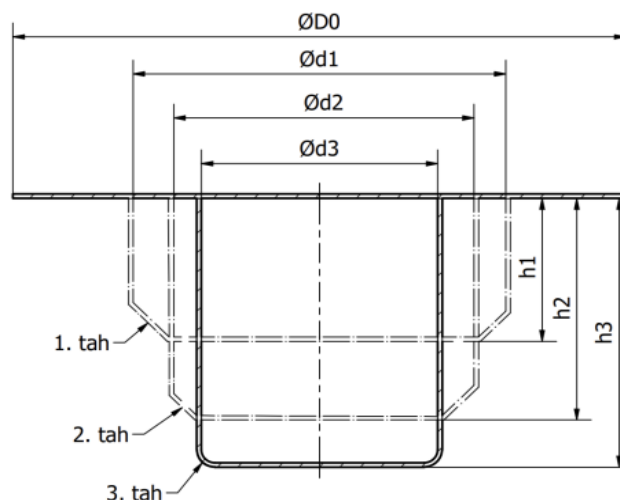
Pro zjišťování parametrů rozměrů polotovaru se v moderním způsobu výroby mohou použít simulační FEA systémy, které na základě simulace technologického procesu, při kterém je definovaný původní polotovaz, podmínky tažení a finální rozměry, dokáží optimalizovat tvar samotného přístříhu. To se děje v několika fázích, kdy každá fáze má vlastní cílový tvar, který je postupně od původní geometrie čím dál tím přesnější finálnímu výsledku. Na konci každé fáze je dosažený tvar, jenž dosahuje požadovaných rozměrů, jako počáteční pro další. Pokud je dosaženo zadaných počtů fází a finální z nich splňuje požadované specifikace, proces optimalizace je ukončen. Princip procesu je zobrazen pomocí vývojového diagramu na obr. 13. [21]



Obr. 13 Vývojový diagram optimalizace přístříhu pomocí FEA. [25]

2.2 Počet tažných operací

Požadovaný tvar výtažku lze zhotovit z plochého rondule jednou nebo více tažnými operacemi, to je zobrazeno na obr. 14. Celkový počet závisí především na tvaru, velikosti výrobku, tloušťce plechu, materiálových vlastnostech, parametrech procesu a geometrii tažných nástrojů. O kolik se může průměr jedním tažením redukovat, rozhoduje součinitel tažení m , jenž je volen dle výše uvedených parametrů. Udává, jak moc se může změnit průměr v dané operaci. [8; 10; 16; 22]



Obr. 14 Schéma zachycující změny rozměrů při tažných operacích. [22]

$$m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}} \quad (2.7)$$

kde: m_i – součinitel tažení pro i -tou operaci [-]
 d_i – průměr výtažku po i -té operaci [mm]
 d_{i-1} – průměr výtažku na začátku i -té operace [mm]

Splňuje-li výpočet podmínku, že požadovaný průměr je větší nebo rovný, než průměr dle vzorce (2.7), jedná se o vyhovující výsledek. V opačném případě je nutno výpočet opakovat do splnění této podmínky. Součinem jednotlivých součinitelů tažení se získá celkový součinitel tažení:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n \quad (2.8)$$

kde: m_c – celkový součinitel tažení [-]
 m_1 – součinitel tažení pro první operaci [-]
 m_2 – součinitel tažení pro druhou operaci [-]
 m_n – součinitel tažení pro n -tou operaci [-]

Jednotlivé součinitele lze určit z tabulkových hodnot, převzatých z literatury, které určují hodnoty součinitelů na základě podílu tloušťky polotovaru ku průměru přístřihu, viz tab. 3.

Tab. 3 Hodnoty součinitelů tažení [23]

$\frac{s}{D_0} \cdot 100$		2,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 0,6	0,6 ÷ 0,3	0,3 ÷ 0,15	0,15 ÷ 0,08
Součinitel tažení	m_1	0,49	0,52	0,54	0,57	0,59	0,62
	m_2	0,74	0,76	0,77	0,78	0,80	0,81
	m_3	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84
	m_4	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86
	m_5	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88

S rostoucím počtem tahů dochází k postupnému zpevňování vyčerpání plasticity materiálu, což způsobuje zvýšení součinitele m , a to má za následek dosažení menšího přemístění materiálu. Z ekonomického hlediska je nejvhodnější mít požadavek na co nejmenší počet tažných operací, neboť se pro každou z nich musí zhotovovat finančně náročná sada tažných nástrojů. [16]

2.3 Ověření nutnosti použití přídržovače

Tato funkční část tažného nástroje slouží k zamezení vzniku vln na hotovém výtažku a na regulaci přísuvu materiálu. Nevýhoda použití přídržovače spočívá v tom, že dochází k pěchování materiálu pod přídržovačem a růstu tloušťky. [10]

Při tažení nízkých výtažků z relativně tlustého plechu obvykle není nutno použít přídržovač a zařízení je jednoduché, cenově dostupné a spolehlivé, avšak je třeba udržovat redukci tažení na poměrně malé hodnotě, neboť by mohlo docházet k nežádoucímu vlnění okrajů materiálu. Toto lze aplikovat na procesy, kde je redukce menší než 10 %. O tom, zda má být využit přídržovač, lze rozhodnout pomocí těchto empirických vzorců [8]:

A. Podle Friedlinga [24]:

$$\Delta s = \left(\frac{s}{D_0}\right) \cdot 100 \quad (2.9)$$

kde: Δs – poměrná tloušťka [%]

Vzorec vychází z výpočtu poměrné tloušťky, což je v podstatě poměr tloušťky výchozího přístřihu, ku průměru přístřihu. Na základě výpočtu mohou nastat tři případy.

Pokud poměrná tloušťka Δs nabývá menších hodnot než 1,5, je nezbytné použít přidržovač. V případě, že je vyšší než 2, nemusí být použit a pokud se výsledek pohybuje v rozsahu od 1,5 – 2, je třeba prověřit, zda je nutné použít přidržovač. [24]

B. Dle Šofmana [24]:

$$D_0 - d_1 \leq 18 \cdot s \quad (2.10)$$

kde: d_1 – průměr výtažku v první operaci [mm]

Pokud je tato nerovnice platná, může se táhnout bez přidržovače. [24]

C. Dle normy ČSN 22 7301 [24]:

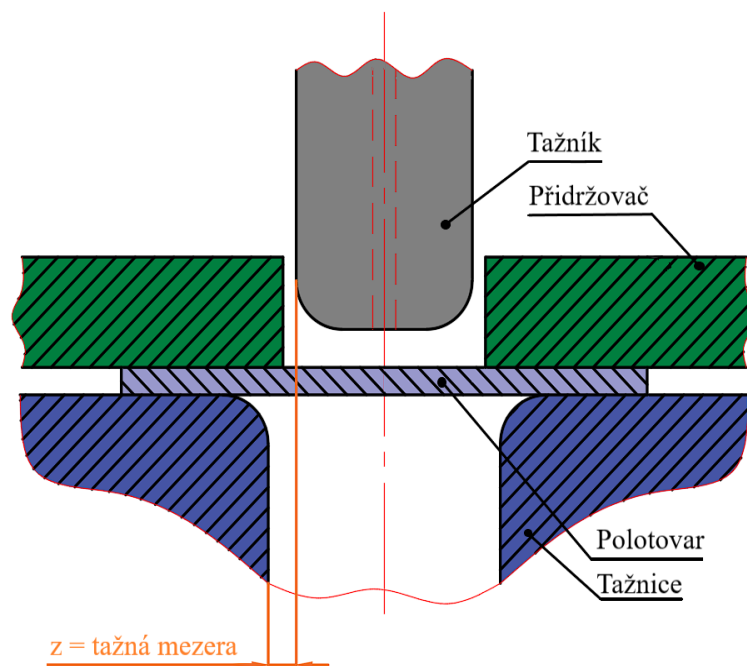
$$\alpha = 50 \cdot \left(z_m - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad (2.11)$$

kde: z_m – materiálová konstanta; pro hlubokotažný plech $z = 1,9$ [-]

Hodnota α se následně srovnává s hodnotou $100 \cdot d_i/d_{i-1}$, tudíž se musí počítat pro každou operaci zvlášť. Oba vzorce se poté spojí do nerovnice $\alpha < 100 \cdot d_i/d_{i-1}$, která při své platnosti znamená, že není přidržovač potřeba. [24]

2.4 Velikost tažné mezery

Na obr. 15 je znázorněno tažení bez ztenčení stěny, kde se tažná mezera mezi tažníkem a tažnicí volí o něco větší, než je tloušťka plechu. Zvýšení by mělo kompenzovat zesílení plechu při tažení a jeho rozměrové tolerance, což umožňuje průchod materiálu mezerou s přijatelným třením. V případě, že by tažná mezera byla rovna tloušťce plechu, jednalo by se o tzv. kalibrační operaci. [24; 16]



Obr. 15 Tažná mezera při tažení bez ztenčení stěny. [10]

Její velikost má přímý vliv na tažnou sílu, při menší tažné mezeře se zvyšuje síla potřebná pro vytažení, kde může dojít až k utržení dna. Naopak při velké mezeře může docházet ke zvlnění na materiálu. [24]

Velikost se může vypočítat několika způsoby. Prvním je výpočet dle Oehlera, kde je hodnota stanovena pro všechny tažné operace. [24]

$$z = s + k \cdot \sqrt{10 \cdot s} \quad (2.12)$$

kde: z – tažná mezera [mm]

k – materiálový koeficient [-]; pro ocelový plech = 0,07

Druhý způsob vychází z normy ČSN 22 7301, kde se velikost mezery počítá pro každý tah zvlášť [24]:

- Pro první operaci (2.13)

$$z = (1,2 \div 1,3) \cdot s$$

- Pro následující operace (2.14)

$$z = (1,1 \div 1,2) \cdot s$$

Dalším způsobem je určení dle tabulek z odborné literatury, která obsahuje empirické hodnoty pro tažnou mezeru, viz tab. 4.

Tab. 4 Velikost tažné mezery dle literatury [8]

tloušťka plechu s [mm]	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	3
Tažná mezera z [mm]	0,45	0,65	0,9	1,2	1,4	1,75	2,4	3,5

2.5 Síla a práce při tažení

K tomu, aby byla tvářecí operace úspěšná, je zapotřebí vyvinout síly, které zajišťují požadovanou změnu tvaru podle výrobních specifikací, dostatečnou prevenci proti zvlnění okrajů, případně vyhození dílu, uvízlého v nástroji. Při tažení s přidržovačem se v průběhu procesu vyskytují jednotlivé složky [1; 2; 8; 10; 24]:

- Tažná síla:

Jedním ze základních parametrů hlubokého tažení, podle kterého se volí strojní zařízení pro výrobu. Její velikost musí být dostatečně velká, aby bylo dosaženo trvalé deformace a překonání pasivních odporů. Stanovuje se výpočtem na základě rozboru napjatosti a deformací. [1; 2; 8; 10; 22; 24]:

$$F_t = \pi \cdot d_i \cdot s \cdot \sigma_v \quad (2.15)$$

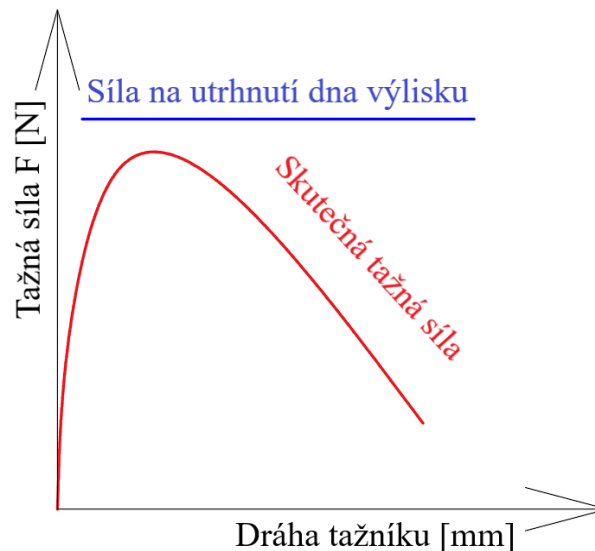
kde: F_t – tažná síla [N]

σ_v – deformační odpor při tažení [MPa]

Z důvodu proměnlivosti deformačního odporu σ_v v průběhu tvářecí operace se velikost tažné síly mění. V praxi se pro urychlení proto využívá vztah, vzniklý úpravou vzorce pro výpočet kritické síly F_{krit} . Při ní dochází k porušení v kritickém místě součásti (dnu), neboť se napětí, vzniklé při zatížení, dostává na mez pevnosti materiálu R_m . Z toho důvodu je upravena součinitelem C_t , vyjadřující vliv součinitele tažení, který nabývá hodnot ≤ 1 . Tím je zajištěno, že největší tažná síla je o něco menší než síla na porušení dna. [1; 2; 8; 10; 22; 24]:

$$F_{krit} > F_t = C_t \cdot \pi \cdot d_i \cdot s \cdot R_m \quad (2.16)$$

Na obr. 16 je graf vzájemného průběhu tažné a kritické síly při tváření. Lze vidět, že se tažná síla postupně mění. To je z důvodu její závislosti na přetvoření. Nejvyšších hodnot nabývá na začátku, kde se plochý přístřih transformuje do dutého tělesa a postupně vykazuje klesající tendenci. V praxi se však stává, že se vyskytne tzv. druhé maximum. Tj. zapříčiněno nedostatečnou tažnou mezerou, kdy tloušťka příruby přesáhne svou tloušťku přístřihu a dochází k protahování, při čemž hrozí riziko protržení. [1; 2; 8; 10; 22; 24]



Obr. 16 Grafické znázornění skutečné a kritické tažné síly. [24]

- Přidržovací síla:

Další složkou síly při hlubokém tažení je síla přidržovače, která je aplikována na výchozí polotovar prostřednictvím přidržovače. Tato hodnota je nedílnou součástí celkové tažné síly, na základě které se volí stroj pro tváření dané součásti. Výpočet vychází z upraveného základního vztahu pro vyčíslení tlaku. [1; 2; 8; 10; 22; 24]

$$F_p = S_{\text{čin}} \cdot p_p \quad (2.17)$$

kde: F_p – přidržovací síla [N]

$S_{\text{čin}}$ – činná plocha přidržovače [mm²]

p_p – přidavný tlak působící na přidržovač [MPa]

Přidavný tlak je na přidržovač přiveden dle konstrukční koncepce nástroje. Jeho velikost je určena tak, aby nedocházelo k nežádoucímu vlnění. Doporučené tlaky pro různé druhy materiálů jsou uvedeny v příloze. [8; 24]

- Tažná práce:

Vychází ze základní fyzikální definice práce. U hlubokého tažení je určena jako plocha nacházející se pod křivkou tažné síly. Skutečná tažná práce se zjišťuje pomocí konkrétních diagramů vzniklé měřeními. V praxi se pro předběžné stanovení používá upravený vzorec, obsahující součinitel zaplnění C , který určuje procentuální vyplnění výpočtové oblasti grafu. [26; 27]

$$A_{ti} = \frac{C \cdot F_{ti} \cdot h_i}{1000} \quad (2.18)$$

kde: C – součinitel zaplnění diagramu, pro tažení bez kalibrování = 0,66 [-]

A_{ti} – tažná práce v i -té operaci [J]

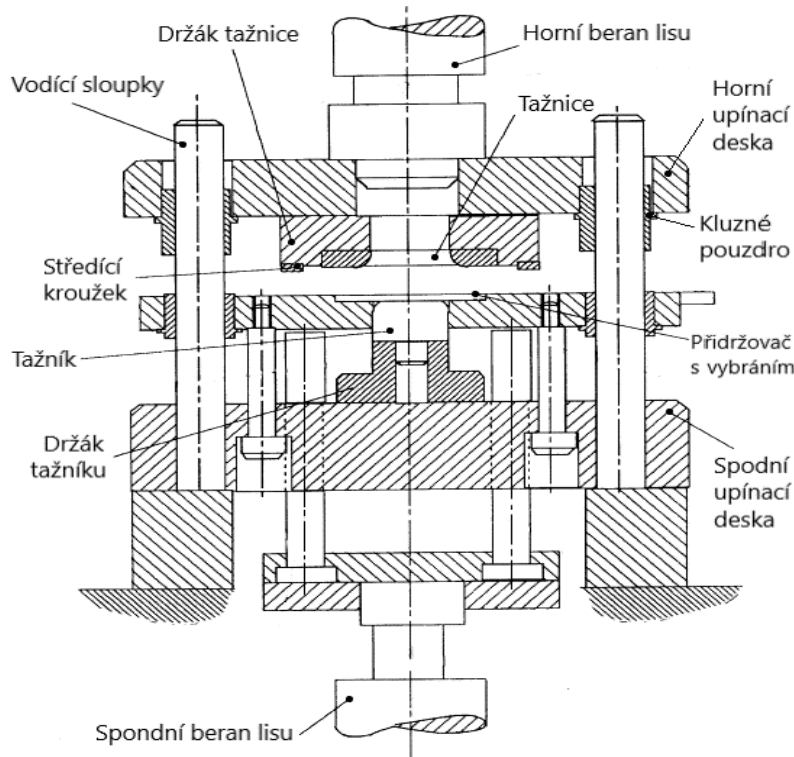
F_{ti} – tažná síla v i -té operaci [N]

h_i – výška zdvihu v i -té operaci [mm]

2.6 Konstrukce tažného nástroje

Tažné nástroje neboli tažidla, se využívají pro výrobu součástí z plechového polotovaru. Zhotovují se na nich zejména výrobky, které mají charakteristický tvar polouzavřené nádoby. Jsou konstrukčně zhotovovány pro konkrétní rozměry a tvar finálního výlisku, z čehož vyplývá, že nejsou univerzální a hodí se spíše pro sériovou výrobu. [1; 8; 10; 24; 27]

Na obr. 17 je zobrazena sestava v řezu, kde lze vidět jednotlivé funkční a konstrukční díly. Mezi hlavní funkční části patří tažník a tažnice. Ty vykonávají samotný proces hlubokého tažení, kdy je polotovar vtahován do otvoru tažnice pomocí tlaku, vyvozeným tažníkem. Tyto součásti jsou přichyceny k upínacím deskám, nejčastěji pomocí šroubů. Vzájemná sousost mezi nimi je vyvozena pomocí vodících sloupků, které vzájemně spojují desky, na nichž se oba nástroje nachází. Pracovní pohyb je vyvozen součástí, která je uchycena k pohyblivé části, jež je poháněna beranem výrobního stroje. [1; 8; 10; 24; 27]



Obr. 17 Schéma tažného nástroje. [28]

Další funkční částí je přidržovač, který zamezuje zvlnění příruby a plynule reguluje přísuv materiálu do ohniska tažení. Podle toho, jestli je pro operaci zvolen jednočinné nebo vícečinné výrobní zařízení je pak buďto pevně spojen s upínací deskou jednoho nástroje nebo ho lze umístit na přídatné zařízení, které má vlastní ovládaný pohyb. [1; 8; 10; 24; 27]

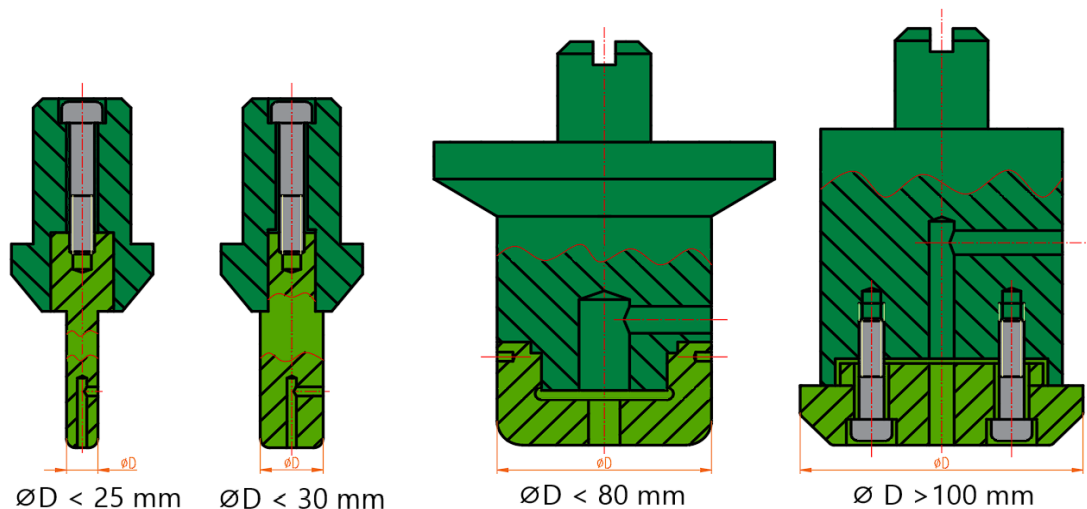
Způsob rozdělení tažných nástrojů dle složitosti konstrukce:

- jednoduchá – pouze pro tažení dílce jako jedna operace,
- postupová – používá se pro tažení ve více operacích, kde v jednom nástroji za sebou postupně probíhají jednotlivé tahy,
- sloučená – v jednom zdvihu provádí několik tažných operací,
- sdružená – kromě tažení mají v sobě zakomponované i nástroje pro jiné technologie tváření, jakou jsou např. stříhání, ohýbání atd.

2.6.1 Tažníky

Patří mezi aktivní části tažných nástrojů, přes které se přenáší tvářecí síla ze strojního zařízení na výrobek. Jejich funkční prvky jsou čelo, válcové tělo a mezi nimi zaoblená hrana. Vnější tvar je v kontaktu s vnitřní stranou polotovaru a ovlivňuje vnitřní geometrii finálního výlisku. Vzhledem k tomu, že vyvíjejí tlakové zatížení, jsou zatěžovány na tlak a na vzpěr. Jeho válcové tělo, které je v kontaktu se stěnami výtažku, je po obvodu namáháno radiálními silami. [8; 10; 24; 27]

Konstrukce tažníků se odvíjí zejména od velikosti rozměrů a tvarů výlisku. Různé varianty jsou na obr. 18. Tažníky pro malé rozměry (do 30 mm) se zhotovují z jednoho kusu, větší se vyrábí dělené. V druhém případě se nástroj skládá ze dvou částí, a to z funkční části a držáku. Ty jsou k sobě spojeny pomocí šroubového spoje, což zajišťuje rychlou výměnu, nebo také mohou být spájeny nebo slepeny. Jsou mezi sebou vzájemně vystředěny pomocí dosednutí vnějšího výběžku držáku do vybrání ve funkční části. Obě části musí mít zhotovený odvodušňovací otvor, jenž eliminuje nežádoucí vliv podtlaku, který by jinak zamezil možnost odebrat hotový produkt z nástroje. [8; 10; 24; 27]



Obr. 18 Tažníky pro různé průměry. [27]

Držák je vyroben z levnějšího materiálu s nižšími mechanickými vlastnostmi, jako je například konstrukční ocel. Druhá část je naopak vyrobena z kvalitní nástrojové oceli třídy 19. nebo šedé litiny a ta je následně tepelně zpracována zušlechťováním. [8; 10; 24; 27]

Hodnota zaoblení čela tažníku má zásadní vliv na průběhu tažné síly, vlnění okrajů přístřihu a řadí se tak mezi významné parametry od kterého se odvíjí kvalita procesu tažení. Pro menší redukce a tam, kde se vyžaduje nezvlněný a rovný okraj, se volí menších hodnot. Naopak u vyšších redukci se zhotovuje nástroj s vyšším poloměrem zaoblení, což přispívá k menšímu namáhání, ale zároveň větší cípatosti. Rozměry se určují podle následujících metod [8; 16; 27; 31]:

- výtažky do průměru 100 mm

$$r_{tv} = (3 \div 4) \cdot s \quad (2.19)$$

kde: r_{tv} – poloměr zaoblení tažníku [mm]

- výtažky 100 ÷ 200 mm

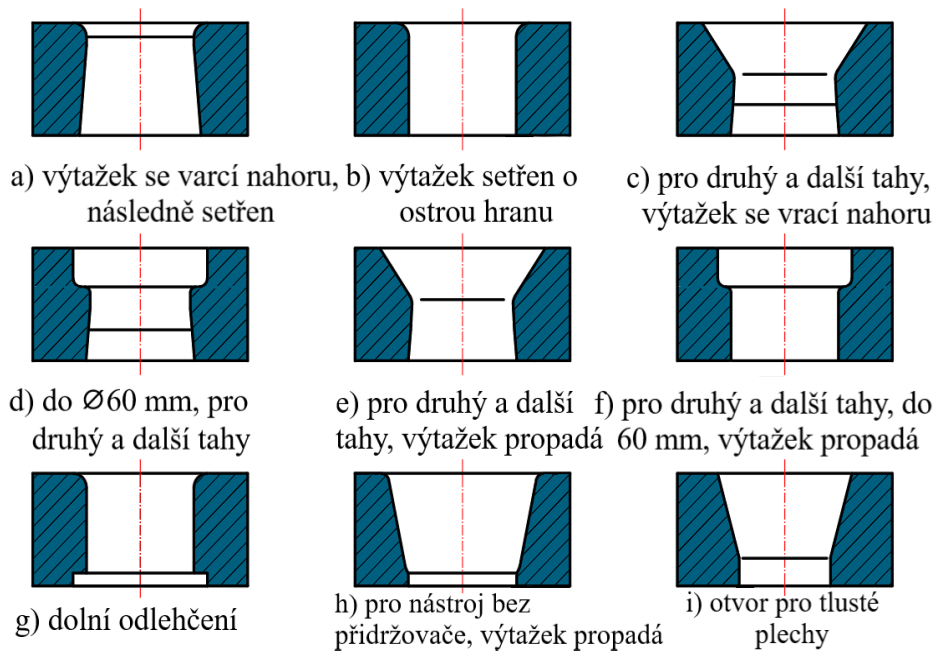
$$r_{tv} = (4 \div 5) \cdot s \quad (2.20)$$

- výtažky nad 200 mm

$$r_{tv} = (5 \div 7) \cdot s \quad (2.21)$$

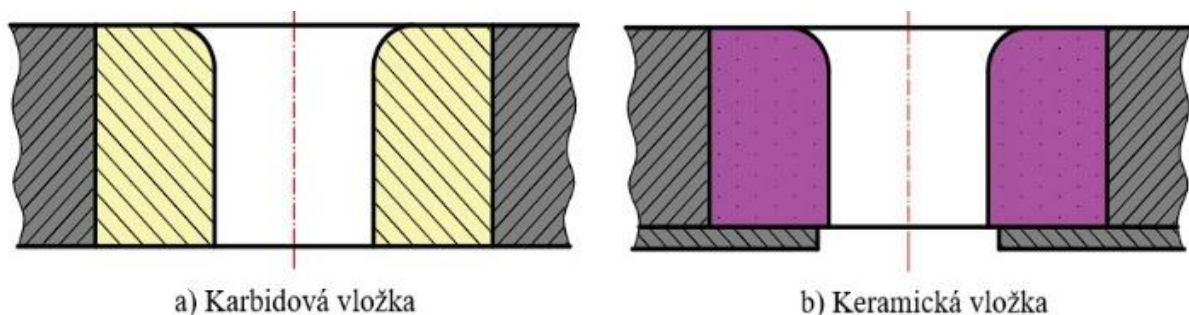
2.6.2 Tažnice

Další aktivní část tažidla, do které je přes její tažné hrany vtahován přístřih či již jednou tvářený výlisek a probíhá v ní změna na požadovaný tvar. Vnější tvar je prstencovitý a vnitřní plocha může být zhotovena v různých variantách podle požadavků na danou operaci, ve které je využívána. Tvar a rozměry jsou vhodně uzpůsobeny tažníku a přidržovači tak, aby byl samotný proces bez komplikací. Geometrie je upravena podle způsobu vyjímání výtažku, který se buďto vrací nad nástroj a je vzápětí sejmut z tažníku, nebo dojde o setření o ostrou hranu tažnice a propadá pod nástroj do sběrné bedny na kusy. Různá provedení jsou zobrazena na obr. 19. [8; 27]



Obr. 19 Varianty vnitřního tvaru tažnic. [27]

Z konstrukčního hlediska se vyrábějí buďto celistvé z jednoho kusu anebo jako vložkované. Ve druhém případě se vložkuje nejčastěji pouze tažná hrana, z důvodu šetření s využitím dražšího materiálu. Běžně používané materiály pro výrobu malých a středních průměrů jsou nástrojové oceli třídy 19. a u méně namáhaných to mohou být i cementační oceli, např. 14 220. Z důvodu velmi dobrých kluzných vlastností se používá i šedá litina 42 2425 (**HB** 190 až 240). Další možností zhotovení je ze slinutých karbidů, příp. se používají i keramické. Vložky se do držáku lisují s předpětím, jehož se dosáhne ohřevem zděře nebo ochlazením vložky. Jedná se o nepostradatelnou část postupu montáže nástroje, neboť slinuté karbidy ani keramika nemají dostatečnou pevnost v tahu a při provozu by při působení radiálních a tečných tahových sil hrozilo jejich porušení. U keramických materiálů se navíc na stranu, kde se výtažek stírá z tažníku, přidává opěrná plocha, zabráňující bodovému tlaku, který je pro tento typ materiálu rizikový. Nalisované vložky tažnic v obou variantách jsou zobrazeny na obr. 20. [30]



Obr. 20 Vložkované tažnice. [30]

Velikost zaoblení tažných hran tažnice společně s tažníkem patří mezi zásadní parametry, které se promítají do průběhu tažné síly a kvality tvářecího procesu. Při zmenšování hodnot zaoblení na tažnici se zvyšuje plocha, kdy jde v kontaktu přidržovač s přírubou přístříhu a tím je zvyšována i jeho síla. Z těchto důvodů je pro počáteční fázi tažení vhodné mít poloměr zaoblení co nejmenší. [8; 16]

Naopak v další fázi je výhodnější, aby hodnota poloměru byla co největší, neboť je tím u výtažku snižováno napětí v ohybu a šířka vtahované příruby. Tím se zvyšuje tuhost součásti a její odolnost vůči zvlnění. Příliš velké zvětšení však může vést k již zmiňovanému zmenšení podpěrné a přidržovací plochy, jenž může vyvolat tzv. sekundární zvlnění, což vede k přeložení výtažku v tažné mezeře a jeho porušení. Rozměry zaoblení se dají určit následujícími způsoby [8; 16; 27; 31]:

- dle ČSN 22 7301 – slouží k přibližné volbě při jednooperačním tažení podle:

$$r_{tc} = (6 \div 10) \cdot s \quad (2.22)$$

kde: r_{tc} – poloměr zaoblení tažnice [mm]

- výpočetní metodou – rozlišuje se dle pořadí operací:

- Pro první tah:

$$r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{s \cdot (D_0 - d_1)} \quad (2.23)$$

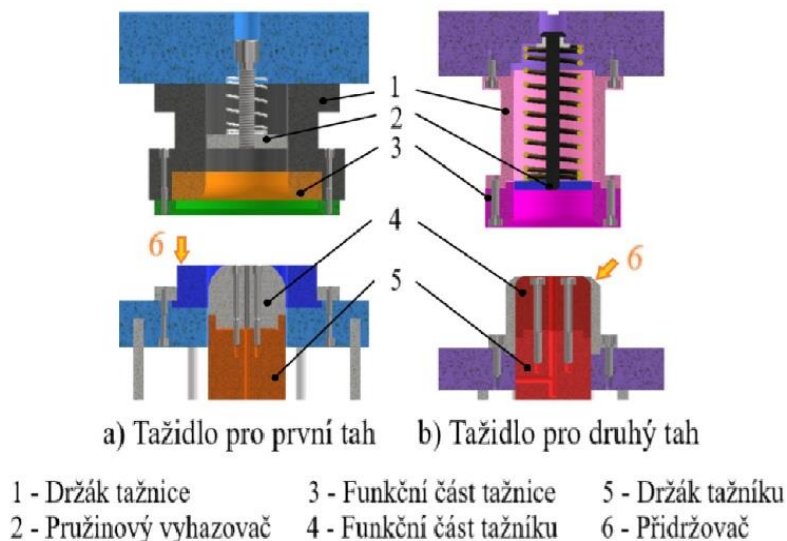
- Pro další tahy:

$$r_{tc} = \frac{d_{i-1} - d_i}{2} - s \quad (2.24)$$

2.6.3 Přidržovače

Tvoří aktivní část tažného nástroje, sloužící k přenosu tlaku z beranu lisu, z přidavného zařízení nebo prostřednictvím pružného elementu na přírubu materiálu. Jejich úkolem je zabránit vzniku defektů a vlnění okrajů výtažku během tažení. [27; 30; 31]

Konstrukční řešení jsou koncipována na základě toho, pro jakou operaci jsou určeny, a tudíž se rozdělují podle pořadí tahu. Přidržovač pro první tah lze vidět na obr. 21 a., kde si lze povšimnout, že přidržovač je rovný, z důvodu toho, že polotovarem pro tuto operaci je rovinný přístřih plechu, kdežto na obr 21 b. má zkosené vnější hrany a jeho délka je větší. To je z důvodu lepšího uložení již válcového výlisku z předešlé operace. [1; 8; 10; 24; 27]



Obr. 21 Příklad přidržovačů pro první a druhý tah.

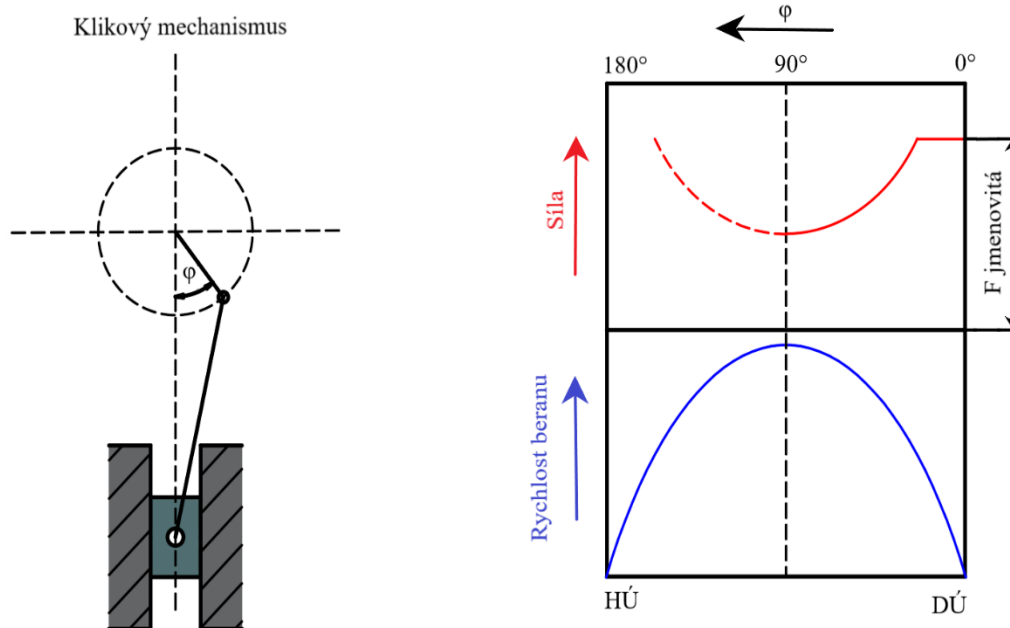
Pro výrobu se využívají materiály stejné jako u tažnic, nebo materiály s nižším koeficientem tření, konkrétně např. šedá litina (42 2456). Díky menšímu zatížení ve srovnání s tažníky a tažnicemi jsou přídržovače obvykle vyráběny jako celistvé bez vložek. [27; 30; 31]

2.7 Stroje

Při volbě tvářecího zařízení pro realizaci výroby se musí brát v úvahu základní parametry jako je velikost výrobní série, rozměry vyráběné součásti a v neposlední řadě velikost tvářecí síly. U hlubokého tažení se dá na základě charakteristiky procesu, který probíhá za studena, předpokládat požadavek na velkou sílu. Vzhledem k tomu, že výroba na konvenčním nástroji je z hlediska pořizovacích nákladů dosti náročná, využívá se pro série v řádu desítek tisíc kusů, a tudíž je nutno vzít v úvahu, že tvářecí stroj by měl disponovat vhodnou tvářecí rychlostí, aby byl zajištěn optimální čas výroby. Z těchto důvodů se nejčastěji v hlubokém tažení využívají lisu. V závislosti na mechanismu k přenášení energie na beran lisu se rozlišují na mechanické a hydraulické. Existují i kategorie, do kterých jsou rozčleněny dle jejich konstrukce. [1; 10; 33]:

- jednočinné – mají k dispozici pouze vnitřní beran, který je hlavním pracovním mechanismem
- dvojčinné – disponují i vnějším beranem, sloužící k přenosu tlaku na přídržovač. Oproti hlavnímu se pohybuje s předstihem, aby nejdříve došlo k přidržení polotovaru.
- trojičinné – kromě výše zmíněných obsahují navíc i vnitřní smýkadlo, umožňující provedení více operací na jeden zdvih

Mechanické tvářecí stroje využívají k přenosu energie mechanických převodových systémů, převádějící rotační pohyb motoru se setrvačником na přímočarý vratný. Průběh nejdůležitějších parametrů je uveden na obr. 22, ze kterého je patrné, že největší síly je dosaženo těsně před dolní úvratí. Rychlost zařízení nabývá maximálních hodnot mezi horní a dolní úvratí. [33; 34; 35]



Obr. 22 Pracovní diagram klikového lisu. [35]

Mezi výhody patří zejména jednoduchost konstrukce, velká produktivita a ve srovnání s hydraulickými nižší pořizovací cena. Jejich nevýhodou je však nekonzistentní průběh síly, závislý na úhlu natočení kliky. Dále může docházet k přetížení, kdy je překročen kroutící moment, proto se musí zavádět zvláštní pojistky proti havárii případnému zadření. [33; 34; 35]

Nejčastěji používané typy jsou klikové a výstředníkové, viz obr. 23 a 24. U výstředníkových lze u poháněcího mechanismu nastavovat zdvih a jsou vhodné pro mělké tažení. Klikové lisy se dají univerzálně použít v mnoha oblastech plošného tváření. Oba typy jsou vhodné pro realizace jak malých, tak i velkých sérií. [33; 34; 35]



Obr. 23 Výstředníkový lis. [36]



Obr. 24 Klikový lis. [37]

Hydraulické lisy fungují na základě rovnoměrného šíření tlaku všemi směry (Pascalův zákon). Pomocí olejového čerpadla je vyvozen tlak v kapalině, která je přivedena nad píst a tlačí jej dolů. Píst je propojen s beranem lisu. Kompletní zařízení je zobrazeno na obr. 25 [33; 34; 35]



Obr. 25 Univerzální hydraulický lis od firmy HŠV Polička. [38]

Mezi jejich výhody patří zejména stálá rychlost a síla beranu. Z těchto důvodů jsou hojně používány při hlubokém tažení, neboť nedochází k intenzivnímu zpevnění vlivem rychlých deformací a je zamezeno riziko utržení dna. V porovnání s klikovými dokáží vyvinout větších sil, a to až 10^3 MN. Dále je u nich možné nastavovat velikost pracovního zdvihu beranu. V neposlední řadě se dá celý automatizovaný cyklus v závislosti na různých situacích rychle a jednoduše nastavovat, což se vyplácí u vyšších výrobních sérií. [33; 34; 35]

Do nevýhod se řadí jejich složitá konstrukce a požadavek na těsnění kapaliny, s čímž se pojí i obtížnější údržba a dražší náklady. Výrobnost oproti mechanickým je poněkud nižší, neboť mají pomalejší chod beranu. Tyto nedostatky se však u moderních strojů dají eliminovat použitím nových hydraulických prvků, a proto se tyto zařízení využívají stále častěji. [33; 34; 35]

2.8 Maziva

V průběhu tažení vznikají mezi nástrojem a materiálem třecí síly. V případě, že se díky jim uskutečňuje požadovaná deformace, jsou žádoucí, a naopak pokud zvyšují odpory, je nutno tyto pasivní síly zmenšit, právě pomocí mazání. Volí se tak, aby dostatečně snížily pasivní účinky a zredukovali příliš velkou tažnou sílu, která by způsobila porušení polotovaru. Dále by měli zlepšit kvalitu povrchu díky odstranění zadírání a poškrábání povrchu plechu na styčných plochách nástroje a tím zároveň prodloužit celkovou životnost tažidla. [8; 24]

Z hlediska teorie se uvádí, že není nutno mazat celý přístřih, neboť ze strany tažníku je výhodné mít tření co nejvyšší, a naopak v kontaktních plochách s tažnicí co nejmenší. To se bohužel v praxi často nedodrжуje, z důvodu horší proveditelnosti a maže se vše. V oblasti kontaktu přidržovače a materiálu je nutno mít zajištěno co nejlepší mazání. Nanesené mazivo musí dokonale pokrýt oblast výlisku a vytvořit jemný, celistvý a homogenní mazací film, u kterého nesmí dojít k porušení soudržnosti ani při vysokých tlacích. Zároveň se však musí brát v úvahu jeho snadné odstranění po tvářecím procesu. Mělo by být chemicky odolné, ekologicky nezávadné a nemělo by snižovat životnost tažidla a přístřihu. [8; 10; 24]

V dnešní době jsou na trhu dostupná maziva různých druhů, viz obr. 26, všechny se dělí do dvou základních kategorií, a to na kapalná a tuhá. Vybírají se na základě tvářeného materiálu a obtížnosti (hloubky) tažení. Pro materiály typu ocel se pro lehčí tahy využívá řepkového oleje. Pro větší zatížení se aplikují maziva s plnidly (přidanou tuhou složkou), např. směs řepkového nebo živočišného oleje a plavené křídly. Při nejnáročnějších tazích se využívají maziva s grafitem. Na povrch se nanášejí pomocí štětce či válečku anebo pomocí přípravku ve spreji. [8; 10; 24]



Obr. 26 Sortiment maziv značky Molyduval. [39]

2.9 Technologičnost

Jedná se o soubor technických a ekonomických parametrů, které se přiřazují výrobě a konstrukci požadovaného výrobku tak, aby byl dosažen vhodný kompromis mezi vyrobiteľností a dodržením požadované funkčnosti a jakosti. Její návrh má přímý vliv na účinnost produkce a s tím spojené náklady. Je ovlivněna zejména velikostí výrobní série, která udává požadavky na způsob zhotovení samotného výtažku. Ty by měli odpovídat technickým možnostem firmy z pohledu dostupnosti výrobních zařízení a kvalifikace personálu. Dalším důležitým bodem je výchozí materiál, neboť jeho mechanické, potažmo technologické, vlastnosti, určují jeho vhodnost pro zvolený tvářecí proces. Za účelem efektivní, nenáročné a rychlé výroby je třeba respektovat specifická pravidla, jako [1; 2; 3; 8; 10; 15; 23; 24; 31]:

- vhodný materiál – v první řadě by měl odpovídat základním požadavkům na funkčnost produktu a zároveň být komerčně dostupný a ekonomicky vhodný. Jeho struktura a chemické složení by mělo být technologicky kompatibilní s daným způsobem zpracování, konkrétně by měl mít dobrou tažnost, pevnost a plasticitu. Je také třeba počítat s anizotropií plechu a volit polotovary podle metody, kterou byl zpracován, neboť ta ovlivňuje míru anizotropie.
- jednoduchost tvaru – ovlivňuje obtížnost zhotovení tažných nástrojů a s nimi spojené náklady. Plochy kuželové a parabolické vyžadují speciální postup při tažení a tím pádem často i větší počet tahů, proto je vhodné zvážit, zda se nedají nahradit jednoduššími tvary, jako jsou například tělesa rotační s kolmým dnem k ose.
- příruby – vhodné je nepředepisovat, s výjimkou nezbytných případů, kde by nebyla při jejich absenci splněna požadovaná funkčnost. Pokud je zadána, optimální je omezit její šířku.
- minimální možná tloušťka – pro velikost tvářecí síly je nejvýhodnější volit co nejméně dovolenou tloušťku materiálu.
- tolerance délkové a geometrické – běžné tažení konvenční metodou je schopné zaručit zhotovení výlisků v tolerančním stupni IT 11 až IT 12 a proto je optimální volit tak, aby se nemusela dělat kalibrace. Také se nedoporučuje je předepisovat tam, kde by neplnili žádnou funkci a pouze by neúměrně zvyšovaly výrobní náklad vůči funkčnosti.
- drsnost povrchu – na součást by neměl být kladen příliš velký požadavek na dobrou drsnost povrchu, ale mělo by se spíše docílit toho, aby po předepsané hodnotě nemuselo následovat po hlubokém tažení jiná operace pro zlepšení kvality povrchu.
- zaoblení – vyhýbat se ostrým přechodům tím, že se dle empirických vztahů zvolí vhodné hodnoty zaoblení dna výtažku. Čím je jeho hodnota vyšší, tím se snižuje riziko protrhnutí dna.

3 NÁVRH VÝROBY

Vyráběnou součástí je kryt elektromotoru, který má válcový tvar s prolisovaným dnem, ke zvýšení tuhosti. Model výrobku lze vidět na obr. 27. Celková výška nabývá 67 mm, vnitřní průměr má 120 mm s rozměrovou tolerancí +0,4. Prolis na spodní straně má průměr 87 mm a je dlouhý 9 mm. Těleso má konstantní tloušťku 1,5 mm. Pro výrobu bude použita ocel ČSN 11 305, která byla zvolena na základě její vhodnosti pro zvolenou metodu výroby konvenčním hlubokým tažením a požadavkem na odolnost vůči případným nárazům. Velikost výrobní série je stanovena na 100 000 ks/rok.

Při porovnání s doporučenými technologickými zásadami lze všechny považovat za splněné. Zvolený materiál je díky svému chemickému složení, vyznačující se nízkým obsahem uhlíku (max. 0,08 %) a odolností vůči stárnutí, ideální volbou. Součást má jednoduchou rotační konstrukci s prolisovaným dnem, kolmým k ose rotace. Neobsahuje žádnou přírubu, tloušťka je volena optimálně pro požadovanou ochrannou funkci. Předepsaná tolerance +0,4 mm je z hlediska přesnosti technologie, která se pohybuje ve stupni IT 11 až 13, vyrobitelná. Zbylé rozměry spadají pod obecné tolerance (ISO 2768 cK), které se dají rovněž vyrobit bez komplikací a potřeby zavést kalibrační operaci. Na výkrese, který je k dispozici v přílohách, nebyla stanovena hodnota drsnosti, a proto spadá do obecných tolerancí, díky kterým nabývá takových hodnot, že nebude nutné zařadit jinou technologii pro jeho vylepšení.



Obr. 27 Model vyráběné součásti.

3.1 Rozměry přístřihu

Pro zhotovení vyráběné součásti je zapotřebí určit tvar a velikost rondele, který bude použit jako polotovar pro operaci tažení. Vzhledem k tomu, že výrobkem je rotační válcové těleso, nabízí se jako vhodná možnost zvolit kruhový tvar přístřihu. K určení průměru rondele lze potom použít tyto metody:

A. Pomocí vzorce, jenž byl odvozen ze zákona zachování objemu (2.3):

$$D_0 = \sqrt{d_{ps}^2 + 4 \cdot d_{ps} \cdot h} =$$

$$= \sqrt{121,5^2 + 4 \cdot 121,5 \cdot 67} = 217,54 \text{ mm}$$

kde: d_{ps} – střední průměr pláště [mm]

Výpočet touto metodou nezahrnuje zaoblení dna a tvarové prvky, jako prolis dna. Jedná se tedy o orientační výpočet, který je vhodnější aplikovat na tvarově jednodušší součásti.

B. Výpočet zahrnující zaoblení dna (2.4):

$$D_0 = \sqrt{d_{ps}^2 + 4 \cdot d_{ps} \cdot h - 1,72 \cdot d_{ps} \cdot R_{d1}} =$$

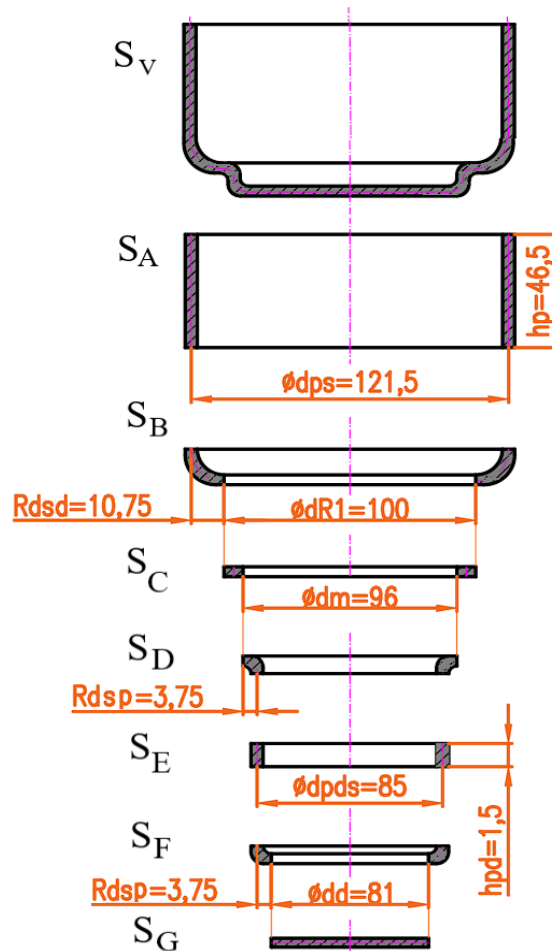
$$= \sqrt{121,5^2 + 4 \cdot 121,5 \cdot 67 - 1,72 \cdot 121,5 \cdot 10} = 212,7 \text{ mm}$$

kde: R_{d1} – poloměr zaoblení dna krytu [mm]

Oproti předešlému výsledku se kvůli zohlednění zaobleného dna zmenšila hodnota na 212,7 mm. Jedná se o něco přesnější výpočet, ale stále zde není zahrnuto prolisovaný spodek, tudíž výsledek nelze pokládat za příliš přesný.

C. Určení pomocí rozdělení celkové plochy na jednotlivé geometrické útvary (2.5):

Metoda založená na principu rozdělení tělesa na jednotlivé segmenty, u kterých se za použití pomocných vzorců, jež jsou uvedeny v příloze 2, vyčíslí jednotlivé plochy. Suma těchto hodnot je potom celková plocha součásti. Díky této hodnotě lze následně pomocí použití pravidla o zachování objemu (2.5) zjistit průměr přístřihu. Rozpad řešené součásti na geometrické útvary, včetně potřebných rozměrů, je zobrazen na obr. 28. [8]



Obr. 28 Rozložení výrobku na jednotlivé geometrické segmenty. [8]

- Plocha S_A :

$$\begin{aligned} S_A &= \pi \cdot d_{ps} \cdot h_p = \\ &= \pi \cdot 121,5 \cdot 46,5 = 17\,7469,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

kde: h_p – výška pláště [mm]

- Plocha S_B :

$$\begin{aligned} S_B &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_{Rd} \cdot R_{dsd} + 4 \cdot R_{dsd}^2) = \\ &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 100 \cdot 10,75 + 4 \cdot 10,75^2) = 6031,01 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

kde: d_{Rd} – výpočtový průměr dna u R_{dsd} [mm]

R_{dsd} – střední poloměr zaoblení dna [mm]

- Plocha S_C :

$$\begin{aligned} S_C &= \frac{\pi}{4} \cdot (d_{Rd}^2 - d_m^2) = \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot (100^2 - 96^2) = 6031,01 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

kde: d_m – vnitřní průměr mezikruží [mm]

- Plocha S_D :

$$\begin{aligned} S_D &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_m \cdot R_{dsp} - 4 \cdot R_{dsp}^2) = \\ &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 96 \cdot 3,75 - 4 \cdot 3,75^2) = 1688,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

kde: R_{dsp} – poloměr zaoblení prolisu [mm]

- Plocha S_E :

$$\begin{aligned} S_E &= \pi \cdot d_{pds} \cdot h_{pd} = \\ &= \pi \cdot 88,5 \cdot 1,5 = 417,05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

kde: d_{pds} – střední průměr prolisu [mm]

h_{pd} – výška pláště prolisu [mm]

- Plocha S_F :

$$\begin{aligned} S_F &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_d \cdot R_{Rdsp} + 4 \cdot R_{dsp}^2) = \\ &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 81 \cdot 3,75 + 4 \cdot 3,75^2) = 1587,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

kde: d_d – výpočtový průměr dna [mm]

- Plocha S_G :

$$\begin{aligned} S_G &= \pi \cdot \frac{d_d^2}{4} = \\ &= \pi \cdot \frac{81^2}{4} = 5152 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Celková plocha S_V ze vzorce (2.5):

$$\begin{aligned} S_V &= S_A + S_B + S_C + S_D + S_E + S_F + S_G = \\ &= 17749,21 + 6031,01 + 615,01 + 1688,17 + 417,05 + 1587,3 + \\ &\quad + 5152 = 33\,240,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Pro výpočet průměru přístřihu bude plocha S_V dosazena do vzorce (2.6):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_V}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 33\,240,49}{\pi}} = 205,73 \text{ mm}$$

Na základě tohoto výpočtu bylo zjištěno, že hledaný průměr je 205,73 mm. Jedná se o poměrně náročnou, ale zato přesnou metodu. Jelikož v něm bylo zahrnuto prolisované dno a všechna zaoblení, která se počítala ke střednici výrobku, hodnota je dle očekávání nižší než u předešlých dvou.

- D. Pomocí softwaru umožňující 3D modelování a výpočet plochy (objemu):

CAD programem Autodesk Inventor 2024 byla řešená součást vymodelována dle výrobního výkresu do stavu, kdy je rondel již přetvořený do podoby krytky. [40]

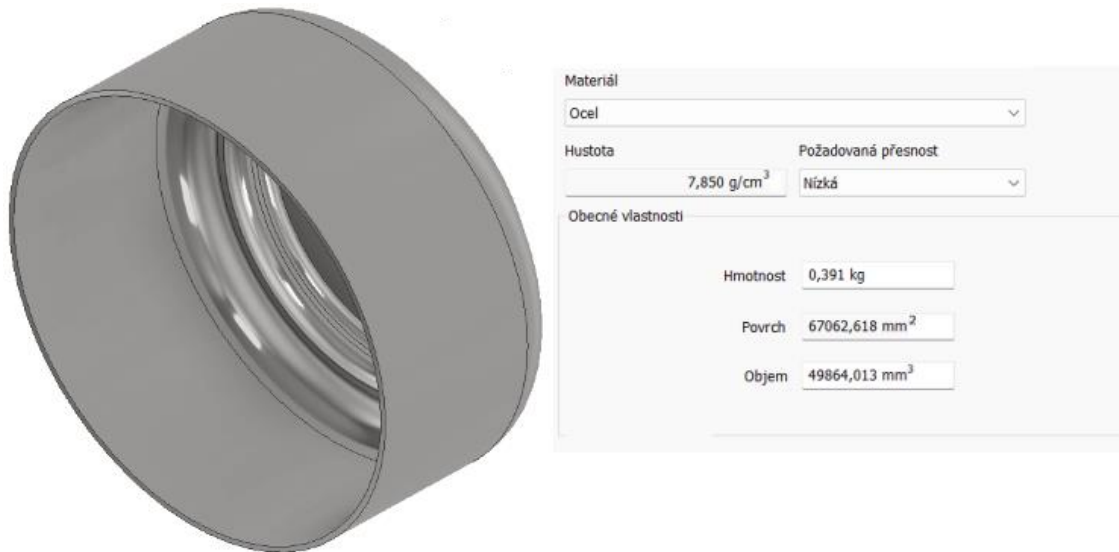
- Objem výtažku:

$$V = 49\,864,01 \text{ mm}^3$$

- Velikost přístřihu D_0 dle (2.2):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{s \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 49\,864,01}{1,5 \cdot \pi}} = 205,73 \text{ mm}$$

Jelikož software vyhodnocuje celkovou plochu, tzn. vnitřní a vnější část, včetně přechodů, musela být z nabídky, kterou lze vidět na obr. 29, odečtena hodnota objemu. [40]



Obr. 29 Objem dle aplikace Inventor. [40]

Z uvedených způsobů výpočtů výchozího polotovaru lze říci, že nejpřesnější vyčíslení bylo získáno pomocí rozdělení součásti na jednotlivé plochy a modelovacího programu. Hodnoty v obou byly v obou případech stejné, což jenom potvrzuje správnost výpočtu. Pro další postup proto bude ponechána hodnota 205,73 mm, z důvodu toho, že se celkový průměr bude navyšovat o přídavek na ostřížení, dle počtu potřebných tahů [8].

3.2 Počet tažných operací

Pro vypočtené rozměry přístřihu je nutno navrhnout počet tažných operací tak, aby byly dosaženy požadované specifikace. Pro výpočet je nutné určit poměrnou tloušťku plechu dle (2.9) a k ní na základě tab. 3 přiřadit součinitel tažení.

$$\Delta s = \left(\frac{s}{D_0} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1,5}{205,73} \right) \cdot 100 = 0,73 \%$$

Dle vypočteného poměru se součinitel pro tažení pro první operaci nachází ve třetím sloupci tab. 3 a nabývá hodnoty 0,54. Jeho dosazením do upraveného vzorce dle (2.7) lze určit maximální průměr, který lze pomocí hlubokého tažení zhotovit.

- První operace:

$$\begin{aligned} d_1 &= m_1 \cdot D_0 = \\ &= 0,54 \cdot 205,73 = 111,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d \geq d_1$$

$$120 \geq 111,1$$

Jelikož požadovaný průměr d nabývá větší hodnoty než d_1 , byla splněna podmínka ukončení výpočtu.

Velikost polotovaru se kvůli vlivu anizotropie, která byla vnesena do materiálu polotovaru z hutní výroby a zapříčiňuje rozdílné mechanické vlastnosti v různých směrech tváření, musí navýšit o 3 % pro první tah a pro další každý tah se musí zvýšit o 1 %. V tomto konkrétním případě bude průměr navýšen o 3 %. [8; 16]

$$\begin{aligned} D'_0 &= D_0 \cdot 1,03 = \\ &= 205,73 \cdot 1,03 = 211,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

kde: D'_0 – průměr přístříhu navýšený o přídavek na ostřížení [mm]

Po započítání přídavku na ostřížení byl výsledný průměr přístříhu zvolen $D'_0 = 212$ mm, z důvodu usnadnění a optimalizování rozměrů pro způsob dělení materiálu.

Kvůli změně průměru rondle je znovu nutno ověřit počet potřebných tažných operací dle (2.7):

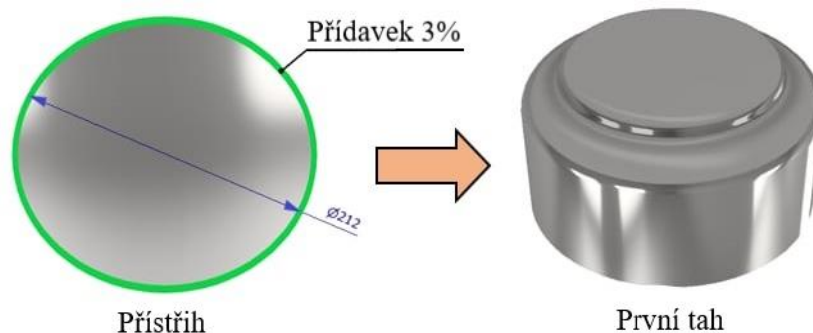
- První operace s upravenými rozměry:

$$\begin{aligned} d'_1 &= m_1 \cdot D'_0 = \\ &= 0,54 \cdot 212 = 114,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d \geq d'_1$$

$$120 \geq 114,5$$

Počet tažných operací se nezměnil ani po upravení průměru přístříhu. Výtažek bude vytvořen v jedné operaci, ve které bude zhotoven tvar krytu s vnitřním průměrem 120 mm. Tento postup je znázorněn na obr. 30.



Obr. 30 Přeměna přístříhu na výtažek v jedné operaci.

3.3 Návrh technologie výroby přístříhu

Pro zhotovení rondle je nutno navrhnout způsob dělení polotovaru tak, aby bylo dosaženo co největší efektivity. To znamená zvolit vhodný výchozí polotovar a k němu způsob, jakým bude zpracován. V sériové a hromadné výrobě bývá nejčastějšími používanými polotovary pro hluboké tažení buďto tabule plechu, či svitky. U obou je nutné zohlednit velikost výrobní série, dostupné skladovací prostory, potřebnou manipulační techniku a v neposlední řadě jejich procentuální využití materiálu a s ním související náklady. [41]

Po zvážení uvedených parametrů byla zvolena možnost vyrábět přístříhy ze svitků plechů. Výhody, které svitky oproti tabulím poskytují, jsou zejména menší čas na přípravu, protože jejich šířku je možno po domluvě s dodavatelem uzpůsobit dle konkrétních potřeb a není potřeba je dále dělit na jednotlivé pásy. Ve výrobním parku firmy, kde bude realizována produkce, je k dispozici kombinované zařízení SRA6512 D (obr. 31) od firmy P/A Industries Inc., které umožňuje automatické odvíjení, rovnání cívek plechu a podávání v krocích, čímž se zajišťuje kratší čas pro manipulaci. Proto je pro výrobní sérii o 100 000 ks za rok vhodné použít tento způsob. [41; 42]

Pro zpracování svitků byla zvolena technologie stříhání na konvenčním nástroji (obr. 32). Tato metoda poskytuje přesnost výstřižků v tolerančním stupni IT 12 – IT 14, což je pro zhotovení polotovaru dostačující. Výhodou je možnost automatizace a jednoduchost zhotovení, neboť postačí vyrobit střižník a střižnici o jednom průměru, což na pořízení není tak nákladné. Pro zvolenou variantu bude zhotoven výpočet využitelnosti materiálu, dle rozmístění přístřihů na páse. [15; 22; 31]

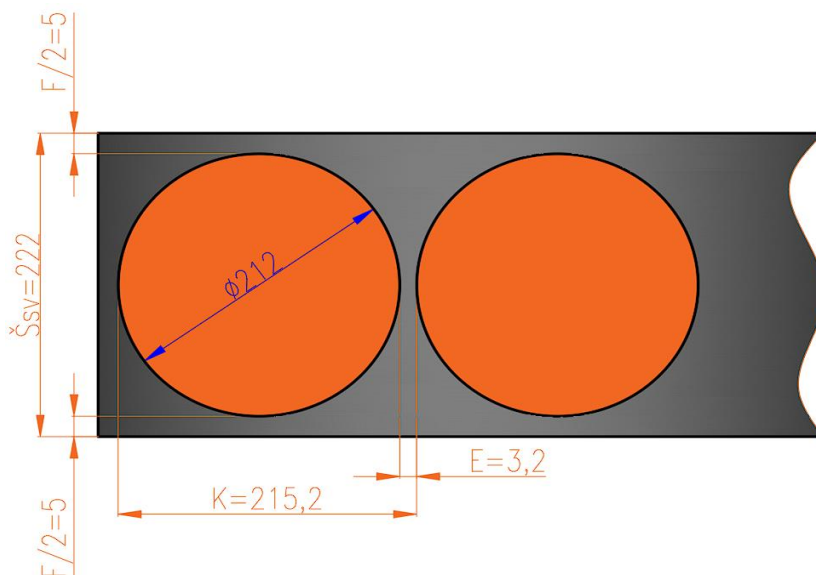


Obr. 31 Manipulační zařízení na svitky. [42]



Obr. 32 Stříhání na střižném nástroji. [43]

Pro požadované rozměry výstřižku byly dle přílohy 4 určeny hodnoty můstku, okrajů a kroku. Hodnota okrajů $f/2$ byla upravena z 4,25 mm na 5 mm, z důvodu zaokrouhlení na celé sudé číslo, aby bylo možné plech vyrobit. Přístřih tedy bude vystřihován ze svitků plechu o šířce 222 mm a tloušťce 1,5 mm. Rozmístění výrobků na páse, včetně všech potřebných kót, je zobrazeno na obr. 33. [44]



Obr. 33 Uspořádání výrobků pro výrobu přístřihu. [44]

Nyní je potřeba určit průměry svitků, od nichž se bude odvíjet procentuální využitelnost. Výrobce udává vnitřní průměr cívky od 510 mm do 610 mm. Pro výpočet bude zvolena hodnota $d_{sv} = 510$ mm. Zároveň požaduje minimální počet na objednávku 25 000 kg. Kombinované zařízení pro manipulaci je dimenzováno na svitky do průměru 1524 mm o váze až 3000 kg. Z toho důvodu bude proveden výpočet využitelnosti pro vnější průměry od 600 mm do 1500 mm. Samotný výpočet bude proveden pouze pro variantu o největším rozměru $D_{sv} = 1000$ mm. Hodnoty pro zbylé varianty budou uvedeny v tab. 5. [42; 45]

Hmotnost svitku:

$$\begin{aligned}
 m_{sv} &= \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot \check{S}_{sv} \cdot \rho_{DC04} = & (3.1) \\
 &= \frac{\pi \cdot (1000^2 - 510^2)}{4} \cdot 222 \cdot 7,86 \cdot 10^{-6} = 1014 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

kde: m_{sv} – hmotnost svitku [kg]

\check{S}_{sv} – šířka svitku [mm]

ρ_{DC04} – hustota DC04 [$kg \cdot mm^{-3}$]; pro DC04 $\rho_{DC04} = 7,86 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot mm^{-3}$

Délka svitku:

$$\begin{aligned}
 L_{sv} &= \frac{m_{sv}}{\check{S}_{sv} \cdot s \cdot \rho_{DC04}} = & (3.2) \\
 &= \frac{1014}{222 \cdot 1,5 \cdot 7,86 \cdot 10^{-6}} = 387\,410,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

kde: L_{sv} – rozvinutá délka svitku [mm]

Počet výstřížků z jednoho svitku:

$$\begin{aligned}
 n_{v/sv} &= \frac{L_{sv}}{K} = & (3.3) \\
 &= \frac{387\,410,4}{215,2} = 1800,23 \rightarrow 1800 \text{ ks}
 \end{aligned}$$

kde: $n_{v/sv}$ – počet výstřížků ze svitku [ks]

K – střížný krok [mm]

Z důvodu toho, že hodnota počtu kusů může nabývat pouze celé číslo a zbytek se počítá jako nevyužitý materiál, byla při výpočtu výsledek zaokrouhlen směrem dolů.

Množství svitků, potřebné pro zhotovení výrobní série:

$$\begin{aligned} n_{sv/vs} &= \frac{n_{vs}}{n_{v/sv}} = & (3.4) \\ &= \frac{100\,000}{1800} = 55,55 \rightarrow 56 \text{ ks} \end{aligned}$$

kde: $n_{sv/vs}$ – počet svitků pro výrobní sérii [ks]

n_{vs} – velikost výrobní série [ks]

Potřebný počet kusů svitků byl zaokrouhlen směrem nahoru, aby hodnota nabývala celého čísla a zároveň byla splněna podmínka kompletní zhotovení série.

Celková plocha cívky plechu:

$$\begin{aligned} S_{sv} &= L_{sv} \cdot \check{S}_{sv} = & (3.5) \\ &= 387\,410,4 \cdot 222 = 86\,005\,110,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

kde: S_{sv} – plocha svitku [mm^2]

Využití jednoho svitku:

$$\begin{aligned} \eta_{sv} &= \frac{S_d \cdot n_{v/sv}}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot D_0'^2}{4} \cdot n_{v/sv}}{S_{sv}} \cdot 100 = & (3.6) \\ &= \frac{\frac{\pi \cdot 212^2}{4} \cdot 1800}{86\,005\,110,32} \cdot 100 = 73,88 \% \end{aligned}$$

kde: η_{sv} – procentuální využití svitku [%]

S_d – plocha výstřižku [mm^2]

Využití svitků pro celou výrobní sérii:

$$\begin{aligned} \eta_{sv/vs} &= \frac{S_d \cdot n_{vs}}{S_{sv} \cdot n_{sv/vs}} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot D_0'^2}{4} \cdot n_{vs}}{S_{sv} \cdot n_{sv/vs}} \cdot 100 = & (3.7) \\ &= \frac{\frac{\pi \cdot 212^2}{4} \cdot 100\,000}{86\,005\,110,32 \cdot 56} \cdot 100 = 73,29 \% \end{aligned}$$

kde: $\eta_{sv/vs}$ – procentuální využití svitků pro výrobní sérii [%]

Tab. 5 Využitelnost materiálu pro různé vnější průměry svitků

D_{Sv} [mm]	$n_{v/Sv}$ [ks]	$n_{Sv/Vs}$ [ks]	S_{Sv} [mm ²]	η_{Sv} [%]	$\eta_{Sv/vs}$ [%]
600	243	412	11 612 259,1	73,87	73,68
800	924	109	44 159 131,5	73,86	73,34
1000	1800	56	86 005 110,32	73,88	73,29
1200	2870	35	137 150 195,5	73,87	73,54
1400	4135	25	197 594 387,1	73,87	71,46
1500	4841	21	231 303 647,8	73,88	72,67

Pro zhotovení požadovaného polotovaru pro operaci hlubokého tažení byly vypočteny procentuální využitelnosti svitků o různých vnějších průměrech. Po zvážení byla zvolena možnost vyrábět přístřihy z cívky o průměru $D_{Sv} = 1200$ mm, neboť dosahuje využití na celkovou sérii 73,54 %. a oproti průměru 600 mm, který má sice vyšší využití o 0,14 %, však poskytuje menší počet potřebných kusů svitků, což znamená vyšší čas provozu do spotřebování a snížení manipulační doby na výměnu. Počet výstřížků je potom 2870 ks na jeden svitek a pro pokrytí celé výrobní série bude potřeba celkem 35 svitků. Zároveň byla splněna podmínka minimálního počtu objednaného množství (v kg).

3.4 Posouzení nutnosti přidržovače

Na základě zvoleného průměru přístřihu, tloušťky materiálu a taženého průměru, je nutné provést kontrolu použití přidržovače. Kontrolní výpočty budou provedeny podle tří metod. První z nich je dle Friedlinga, který posuzuje poměrnou tloušťku vůči empiricky stanovené hodnotě tak, jak je uvedeno ve vztahu (2.9). Kvůli navýšení průměru o přídavek, bude tato hodnota přepočtena:

$$\begin{aligned}\Delta s' &= \left(\frac{s}{D_0'}\right) \cdot 100 = \\ &= \left(\frac{1,5}{212}\right) \cdot 100 = 0,69 \%\end{aligned}$$

kde: $\Delta s'$ – poměrná tloušťka pro průměr s přídavkem [%]

Neboť poměrná tloušťka vyšla menší než 1,5, je nutné použít přidržovač.

Další způsob, posuzující nutnosti použití přidržovače, je dle Šofmana. Tato metoda porovnává rozdíl mezi průměrem výchozího rondelu a taženého rozměru. Výsledek se poté porovnává s tloušťkou stěny, vynásobené konstantou dle (2.10):

$$\begin{aligned}D_0' - d &\leq 18 \cdot s \\ 212 - 120 &\leq 18 \cdot 1,5 \\ 92 &\not\leq 27\end{aligned}$$

Jelikož nebyla splněna podmínka toho, že pravá strana nerovnice musí být menší než levá, stanovený způsob vyžaduje použití přidržovače při provádění první operace.

Poslední variantou ověření nutnosti přidržovače je výpočet dle normy ČSN 22 7301. V ní se porovnává velikost součinitele α , v němž je zakomponována tloušťka materiálu, průměr přístřihu a materiálová konstanta, s vynásobeným součinitelem tažení, jak je uvedeno v (2.11):

$$\alpha < 100 \cdot \frac{d}{D_0}$$

$$50 \cdot \left(z_m - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) < 100 \cdot \frac{d}{D_0}$$

$$50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{1,5}}{\sqrt[3]{212}} \right) < 100 \cdot \frac{120}{212}$$

$$84,73 \not< 56,6$$

Materiálová konstanta z_m byla pro ocel DC04 dle literatury určena 1,9. Opět nebyla splněna platnost nerovnice, uvedené v normě. Z toho důvodu je nutné použít přidržovač.

Na základě kontrolních výpočtů pro použití přidržovače v jediné tažné operaci bylo zjištěno, že podle všech uvedených metod je jeho použití nezbytné. Tato skutečnost vyplývá z toho, že při tvářecím procesu je dosaženo poměrně velké redukce z průměru 212 mm na 120 mm. S ohledem na tyto faktory byla pro první operaci zvolena rovná konstrukce přidržovače, neboť výchozím polotovarem bude rovinný přístřih.

3.5 Velikosti tažné mezery a kontrola zaoblení nástrojů

Pro správnou funkci procesu hlubokého tažení je nutné zajistit vhodnou hodnotu mezery mezi tažníkem a tažnicí tak, aby bylo dosaženo optimální velikosti síly a zároveň nedocházelo k nežádoucímu vlnění plechu. Určení probíhá zejména v závislosti na tloušťce a technických vlastnostech tvářeného materiálu. K jejímu stanovení se bude vycházet na základě těchto způsobů:

- Oehlerova metoda (2.12):

$$\begin{aligned} z &= s + k \cdot \sqrt{10 \cdot s} = \\ &= 1,5 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 1,5} = 1,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

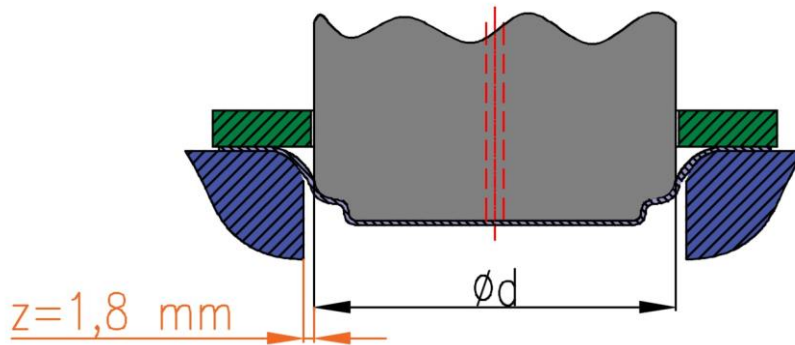
Materiálový koeficient k byl pro ocel DC04 dle literatury určen 0,07. Metoda pro všechny tahy udává stejnou velikost mezery, to však vzhledem k tomu, že výroba bude provedena pomocí jedné operace, nehraje takovou roli.

- dle ČSN 22 7301 (2.13):

$$\begin{aligned} z &= (1,2 \div 1,3) \cdot s = \\ &= (1,2 \div 1,3) \cdot 1,5 = (1,8 \div 1,95) \text{ mm} \end{aligned}$$

Výpočet byl proveden pouze pro první operaci. Hodnoty se nacházejí v rozmezí od 1,8 až 1,95.

Na základě získaných výsledků byly pomocí dvou metod určeny podobné velikosti. Po zhodnocení byla pro jedinou tažnou operaci zvolena hodnota $z = 1,8 \text{ mm}$, z důvodu shodnosti obou způsobů a zajištění lépe vyrobitelných rozměrů tažných nástrojů. Výsledná mezera je potom zakótována na obr. 34.



Obr. 34 Znáornění vypočtené tažné mezery.

Dále je nutné provést kontrolu minimálního poloměru zaoblení nástrojů, zejména u tažníku, neboť se řešená součást bude vyrábět pouze v jednom tahu. Z toho vyplývá, že se jeho hodnota musí shodovat s předepsaným poloměrem zaoblení dna na výrobním výkrese krytu.

- A. tažník – v závislosti na taženém průměru $D'_0 = 212$ mm a tloušťce plechu s se bude postupovat dle (2.21), který je určen pro výtažky nad 200 mm:

$$\begin{aligned} r_{tv} &= (5 \div 7) \cdot s = \\ &= (5 \div 7) \cdot 1,5 = (7,5 \div 10,5) \text{ mm} \end{aligned}$$

Skutečný poloměr zaoblení dna je dle výkresu, uvedeného v příloze, 10 mm, což spadá do vypočítaného rozmezí. V souladu s tím bude tažník vyráběn s poloměrem zaoblení $r_{tv} = 10$ mm.

- B. tažnice – ovlivňuje průběh tažné síly, kvalitu tvářeního procesu a velikost přidržovací plochy. Pro stanovení hodnoty poloměru zaoblení se bude postupovat podle následujících metod:

- dle normy ČSN 22 7301 (2.23):

$$\begin{aligned} r_{tc} &= (6 \div 10) \cdot s = \\ &= (6 \div 10) \cdot 1,5 = (9 \div 15) \text{ mm} \end{aligned}$$

Na základě tohoto výpočtu bylo určeno rozmezí poloměrů od 9 do 15 mm. Tato metoda je vhodná zejména pro přibližné určení hodnot při jednooperačním tažení, což je vzhledem k jediné tažné operaci žádoucí.

- výpočetní metodou (2.24):

$$\begin{aligned} r_{tc} &= 0,8 \cdot \sqrt{s \cdot (D'_0 - d)} = \\ &= 0,8 \cdot \sqrt{1,5 \cdot (212 - 120)} = 9,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Z důvodu jednooperačního tažení byla provedena pouze varianta pro první tah, díky které byla získána konkrétní hodnota poloměru zaoblení tažnice $r_{tc} = 9,4$ mm.

Pro konstrukci byl zvolen poloměr zaoblení $r_{tc} = 10$ mm. Rozhodnutí bylo vyvozeno na základě výpočtu, kde zvolený rozměr spadá do zjištěného rozmezí. Navíc je dle literatury uváděno, že pro poměrnou tloušťku, která je větší než 0,6 %, což je v tomto konkrétním případě platné, je vhodné, aby poloměr zaoblení tažníku a tažnice byl stejný. [30]

3.6 Síla a práce

Pro zjištění potřebné síly výrobního zařízení bude proveden výpočet všech silových složek, vyskytujících se v procesu hlubokého tažení. Prvním krokem je určení tažné síly F_t , která bude vypočtena z upraveného vzorce pro F_{krit} . Pro součinitel tažení při první operaci, který se stanovuje dle vztahu (2.7), je nutno odečíst z tab. 6 hodnotu opravného koeficientu C_t .

$$m'_1 = \frac{d}{D'_0} = \frac{120}{212} = 0,566$$

kde: m'_1 – skutečný součinitel tažení pro 1. operaci [-]

Tab. 6 Vybrané hodnoty koeficientu C_t v závislosti na m

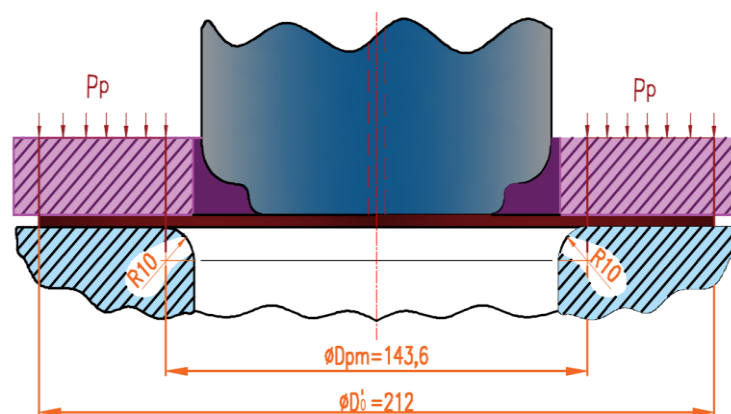
Součinitel tažení m [-]	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80
Součinitel C_t [mm]	1,00	0,86	0,72	0,60	0,40

Na základě velikosti $m'_1 = 0,566$ byla zvolena hodnota koeficientu $C_t = 1,00$, jenž bude dosazen do vzorce (2.16).

$$F_t = C_t \cdot \pi \cdot d \cdot s \cdot R_m = 1 \cdot \pi \cdot 120 \cdot 1,5 \cdot 330 = 186\,610,6\,N = 186,6\,kN$$

Dle tab.1 je maximální hodnota meze pevnosti 350 MPa. Z důvodu zajištění dostatečné tvářecí síly byla proto zvolena hodnota $R_m = 330$ MPa. Koeficient $C_t = 1$, což znamená, že vypočítaná hodnota odpovídá F_{krit} . Použití vypočítané síly by vedlo k utržení dna součásti. Tomu lze předejít tak, že se před zahájením výroby se provede několik testů při nižších zatíženích. Jejich cílem je zjistit dostatečně velkou sílu, aby součást byla vyrobena podle specifikací a zároveň nedošlo k poškození materiálu

Další složkou celkové síly je síla přidržovací. Vzhledem k tomu, že součást bude vyrobena pomocí jedné operace, byla zvolena rovná konstrukce přidržovače. Rozměry byly navrženy na základě velikosti přístříhu, tažníku a tažnice. Náčrt rozměrů je vidět na obr. 35. Při výpočtu je důležité zahrnout poloměr zaoblení tažnice, protože v kolmém průmětu na rovinu přístříhu není v této oblasti s přidržovačem v kontaktu, a proto na této ploše nepůsobí žádnou silou.



Obr. 35 Schéma znázorňující tlak přidržovače.

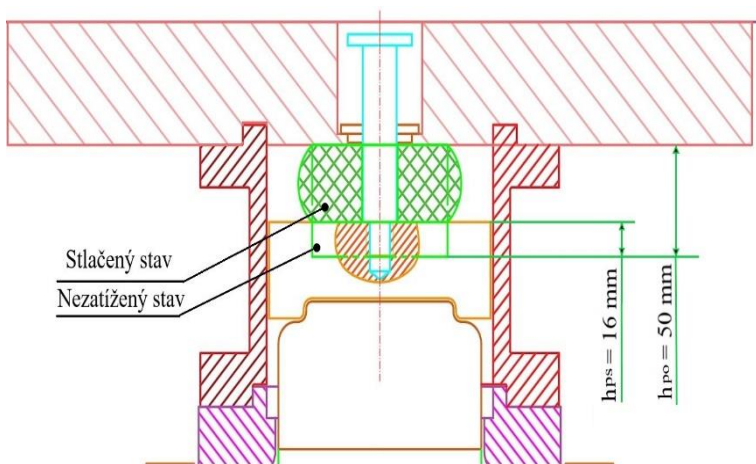
Silové zatížení přidržovače se potom spočítá podle (2.17)

$$\begin{aligned}
 F_p &= S_{\text{čin}} \cdot p_p = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - D_{pm}^2) \cdot p_p = \\
 &= \frac{\pi}{4} \cdot (212^2 - 143,6^2) \cdot 2 = 38\,206,5 \text{ N} = 38,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

kde: D_{pm} – nejmenší průměr přidržovače v kontaktu s tažnicí [mm]

Z přílohy 3 byla určena velikost tlaku p_p , který se používá pro hlubokotažné plechy o tloušťce 1,5 mm, a to 2 MPa.

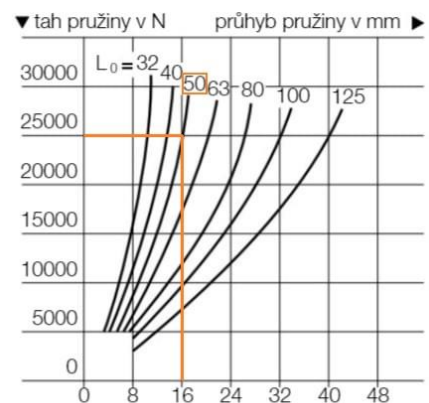
Poslední silová složka, přítomná v tažné operaci, je síla vyhazovače. Pro jeho konstrukci byla využita polyuretanová pružina od firmy FIBRO, určená pro velmi složité tvářecí operace. Díky svému složení a tvrdosti 80 SHORE dokáže vyvinout velkých tlačných sil. Konkrétně byla zvolena pružina o průměru 80 mm a výšce $h_{p0} = 50$ mm. Při hlubokém tažení je pružina v nástroji stlačena o $h_{ps} = 16$ mm, viz. obr. 36. Díky tomu lze z grafu (obr. 37), udávající závislost síly na stlačení, odečíst příslušnou hodnotu.



Obr. 36 Znárodnění výšky stlačení v nástroji.

246.5.080.

Ø 80/80 Shore A



Obr. 37 Závislost síly na stlačení. [48]

Z diagramu lze vidět, že síla, odpovídající stlačení $h_{ps} = 16$ mm, je rovna 25 000 N. Nyní lze dopočítat celkovou sílu, která bude potřeba pro kompletní vylisování součásti a to tak, že se sečtou jednotlivé složky.

$$\begin{aligned}
 F_c &= F_t + F_p + F_{vyh} = & (3.8) \\
 &= 186\,610,6 + 38\,206,5 + 25\,000 = 249\,817,1 \text{ N} = 249,18 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

kde: F_c – celková síla tvářecí operace [N]

F_{vyh} – síla vyhazovače [N]

Celková síla F_c byla vyčíslena na 249,18 kN. Na hodnotu bude brán zřetel při výběru výrobního zařízení.

Vzhledem k přítomnosti více silových složek bude pro výpočet tažné práce A použita celková síla F_c . Pro zdvih bude brána hodnota celkové výšky h , navýšená o 8 %, kvůli přídatku na ostřížení a rezervy ke kompenzaci výrobních tolerancí přístřihu. Tažná práce se poté vypočítá dle vzorce (2.18):

$$A = \frac{C \cdot F_c \cdot (h + h \cdot \frac{8}{100})}{1000} =$$

$$= \frac{0,66 \cdot 249\,817,1 \cdot (67 + 67 \cdot \frac{8}{100})}{1000} = 11\,930,67 \text{ J}$$

3.7 Volba strojního zařízení

Pro výrobu součásti hlubokým tažením byl vybrán stroj CUPJ 63 DEU (obr. 38) od výrobce HŠV Polička, jenž se nachází ve výrobním parku firmy, ve které bude součást produkována. Jedná se o univerzální hydraulický jednočinný lis, disponující přídatným zařízením, umístěným ve spodní části. Z něj poté vystupují hydraulicky ovládané tyče, které slouží k převodu síly na přidržovací nebo vyhazovací zařízení. Pracovní prostor stolu je proto upraven pro průchod připojovacích tyčí. Na obr. 39 lze popisovanou část vidět na lise CUPJ 160 DEU. [45]



Obr. 38 Hydraulický lis CUPJ 63 DEU. [45]



Obr. 39 Řada CUPJ s přídatným zařízením. [38]

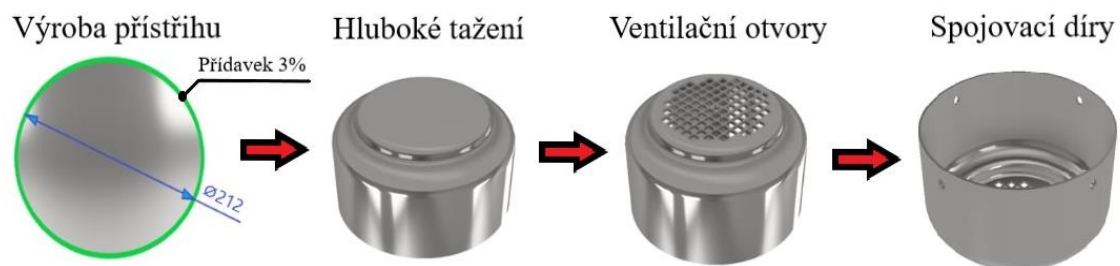
Správné podmínky tvářecí operace zajišťuje regulovatelná síla o maximální hodnotě 630 kN, která převyšuje požadovanou velikost síly. Tím je zaručena vyrobitelnost součásti a zároveň nehrozí riziko přetížení. Beran lisu je veden na sloupech v celém rozsahu zdvihu, čímž poskytují dostatečnou tuhost a bezpečnost pracovního procesu. Díky zakomponovanému ovládacímu systému pístu lisu lze stroj provozovat ve třech různých rychlostních nastaveních. Pro upnutí nástrojů jsou ve stole a beranu lisu zhotoveny T-drážky, případně firma nabízí možnost dodat příslušenství v podobě desky, která umožňuje upínání nástroje za stopku. Základní parametry, dostupné na webových stránkách výrobce, jsou uvedeny v tab. 7. Kompletní údaje, včetně nákresu zařízení jsou k dispozici v příloze 5. [45]

Tab. 7 Technické parametry zvoleného zařízení [45]

Síla	Rychlost		Rozměry			
	Lisování	Rychloposuv	Pracovní		Upínací	
			Rozevření	Zdvih	Beran	Stůl
[kN]	[mm/s]	[mm/s]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
630	20 / 12 / 8	75 / 50 / 35	670	300	400 x 720	500 x 750

3.8 Návrh tažného nástroje

Pro výrobu těla krytu bude využito tažidla, které zhotoví výtazek v jedné tažné operaci. Polotovarem bude kruhový přístřih, vyroben konvenčním střížným nástrojem. Po tažení bude nutné zarovnat zvlněné okraje. Realizace bude provedena pomocí speciálních ostříhovacích nástrojů. Následně budou ve spodní části vystřiženy ventilační otvory. Směr stříhu bude veden tak, aby střížník směřoval do vnitřního prostoru součásti, čímž se zamezí vznik případných ořepů na vnější straně. Nakonec budou po obvodu vystřiženy díry, sloužící ke vložení šroubů, které budou sloužit ke spojení krytu s rámem elektromotoru. Celý návrh je graficky zobrazen na obr. 40. Vzhledem k zaměření bakalářské práce, bude návrh tažného nástroje zaměřena pouze na konstrukci tažidla. Zbylé operace budou provedeny v kooperaci.



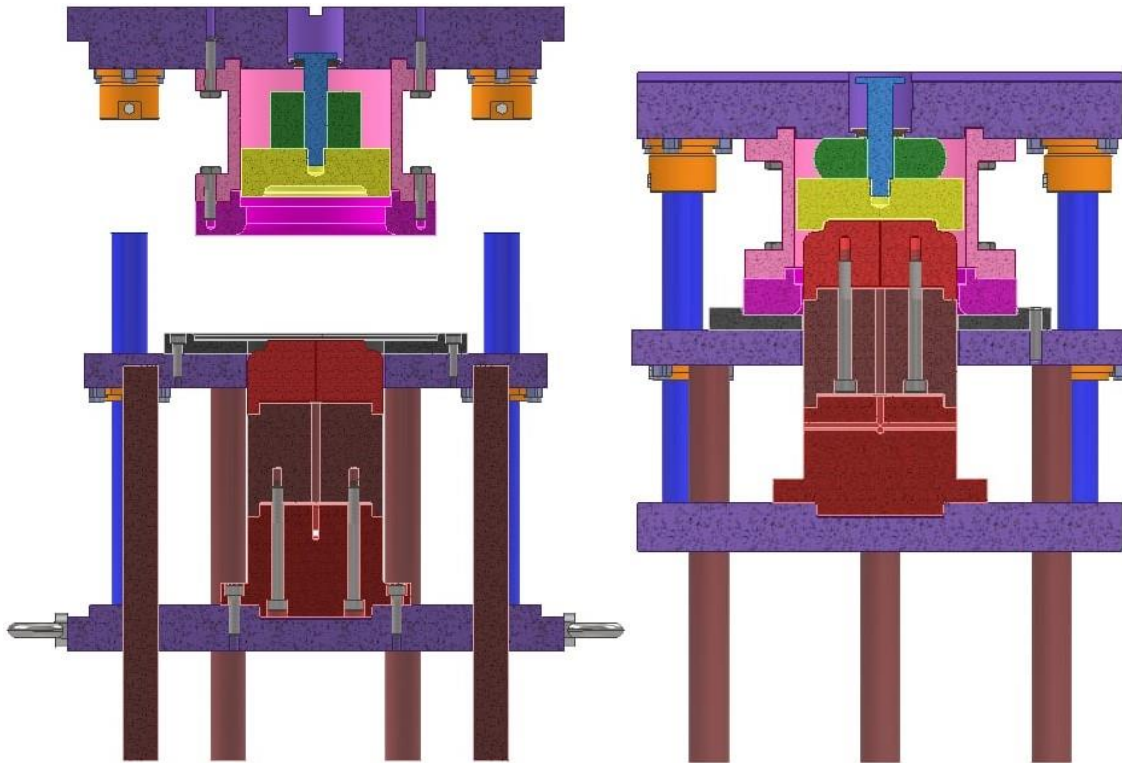
Obr. 40 Navržený výrobní postup.

Tažný nástroj byl navrženo podle velikosti upínacích a pracovních plochu zvoleného lisu a byl brán zřetel na výsledky technologických výpočtů, které byly aplikovány do konstrukce. Vzhledem k charakteristice ovládání beranu, byla koncepce kinematiky navržena tak, že za beran je uchycena **horní upínací deska**. K ní je připevněna **tažnice**, která je vyrobená z materiálu 19 312. Jedná se o nástrojovou ocel, legovanou manganem, chromem a vanadem. Tažnice je připojena k desce pomocí **držáku**, který je zhotoven z běžné konstrukční oceli 11 500. Obě funkční části se pohybují směrem dolů, kde dosedají na rondel, umístěný na **přidržovači**. Ten zároveň plní funkci zaváděcího kroužku tak, že se přístřih umístí do vybrání v čele součásti a tím dochází k vystředění polotovaru vůči nástroji. Je připojen pomocí tyčí k **přídavnému hydraulickému zařízení**, které při procesu tlačí proti síle beranu a díky tomu vzniká **přidržovací tlak** a působí na přístřih. V **horní desce** je také uložen **vyhazovač**, který má tvarové vybrání, shodné s vnějším tvarem dna součásti. Kromě vyhození součásti tedy umožňuje i zhotovení prolisu dna. Pro vyvození dostatečné lisovací síly je uložen na **čepu s polyuretanovou pružinou** ve tvaru trubky. Ta díky vysoké tvrdosti (80 SHORE) dokáže přenášet velká tlaková zatížení. Mezi další výhody této komponenty se řadí zejména dlouhá životnost, nízké náklady na pořízení a téměř bezúdržbový provoz. Informace o vybrané pružině jsou uvedeny v příloze 6. [46]

Ke **spodní upínací desce**, upnuté ke stolu lisu, je přišroubován tažník. Skládá se ze tří součástí, a to z **funkční části středního držáku** a **spodního držáku**. Při procesu je tažená součást v kontaktu převážně s **funkční částí**, z toho důvodu je pro její výrobu použitý stejný materiál, jako pro tažnici. Držák byl rozdělen do dvou částí, z důvodu zajištění vzájemného spojení šrouby tak, aby se jejich hlavy nevyskytovaly na čele funkční části a nedošlo tak k nežádoucímu otláčení na povrchu výrobku. Jelikož se přímo nepodílejí na procesu hlubokého tažení, jsou vyrobeny z konstrukční oceli 11 500.

Přesné vedení desek nástroje je zajištěno pomocí čtyř **sloupků** o průměru 32 mm, které jsou vedeny v **kluzných pouzdrech** od firmy FIBRO, jež díky bronzovým výstelkám vykazují výbornou odolnost vůči opotřebení účinkem třecích sil. Nachází se na horní a střední upínací desce, kde jsou zalisována a připojena pomocí šroubů s přidržovací hlavou. Rozměrové parametry zvolených vodičích prvků jsou k dispozici v příloze 7. [47]

Upínání nástroje je řešeno pomocí stavitelných upínek, které přidržují horní a spodní upínací desku za boční strany. Upínky jsou zajištěny šrouby a T-maticemi, umístěných ve drážkách stolu a beranu. Na přední a zadní straně desek jsou navíc zhotoveny díry se závitem, sloužící pro připojení manipulačního přípravku a skladovacích lišt. Řez 3D modelem tažného nástroje v otevřeném a sevřeném stavu je zobrazen na obr. 41 a 42.



Obr. 41 Řez nástrojem v otevřeném stavu.

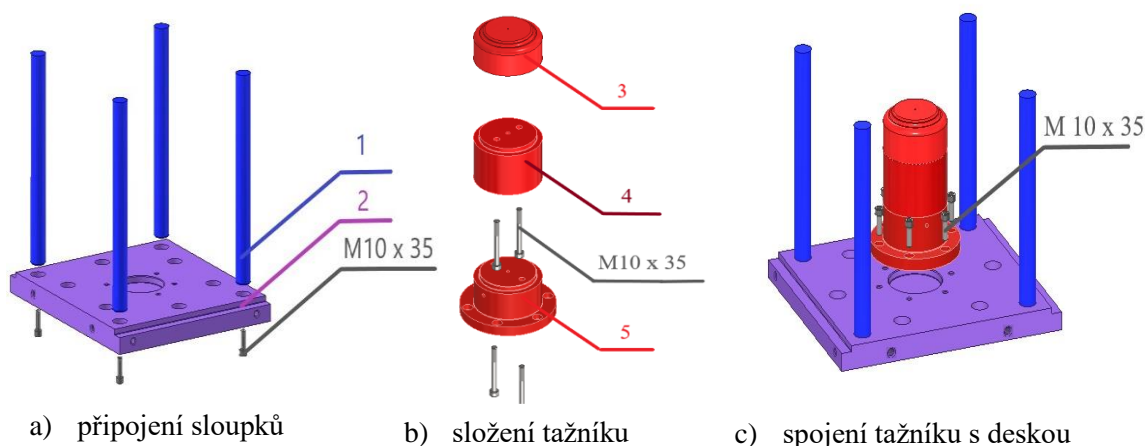
Obr. 42 Řez nástrojem v sevřeném stavu.

3.8.1 Popis montáže a technologická příprava

K zajištění ideální funkčnosti, rychlému a bezproblémovému sestavení je nutné dodržet správný postup. Vzhledem k tomu, že celková sestava nástroje nabývá hmotnosti 206,9 kg, je potřeba počítat s použitím zdvižné techniky. U šroubových spojů je třeba dbát na předepsané momenty utažení dle jmenovitého rozměru a třídy pevnosti, aby nedošlo k poškození závitů. Z toho důvodu bude pro montáž využíván momentový klíč. Při konstrukci bylo dbáno na zajištění dostatečného místa pro přístup utahovacích nástavců. Montáž a upnutí do výrobního stroje je tedy provedena v následujících krocích:

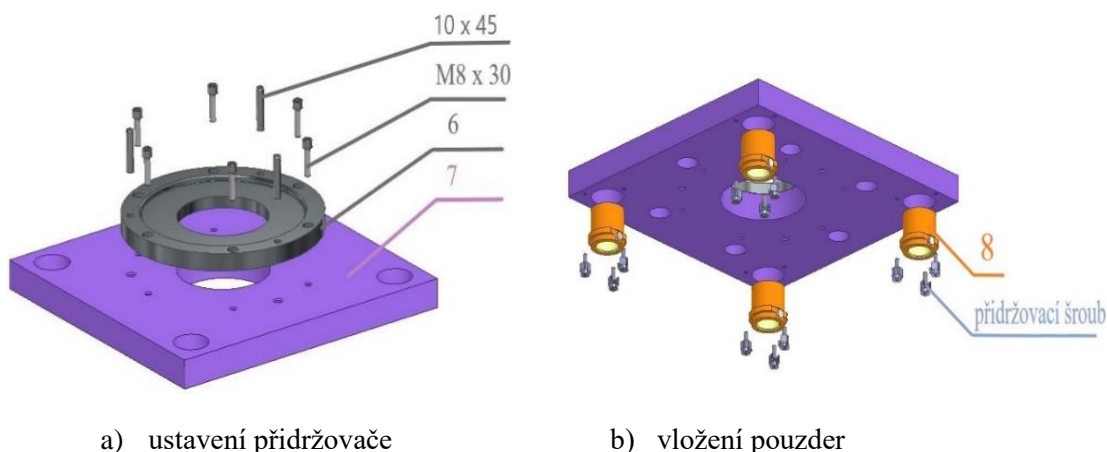
- A. spodní upínací deska – v prvním kroku jsou do vyfrézovaných děr, umístěných v rozích **spodní desky** (poz. 2), vloženy **vodící sloupky** (poz. 1) tak, že díry se závitem směřují dolů. Následně jsou na jedné straně desky našroubovány závěsné šrouby. Za ně se uchytí řetěz či lano, které slouží k naklonění součásti a umožní se tak přišroubování sloupků pomocí čtyř šroubů M10 x 35 mm.

Dalším krokem je sestavení **tažníku**, který se skládá ze tří částí. První spojované součásti jsou **funkční část tažníku** (poz. 3) a **střední držák tažníku** (poz. 4). **Funkční část** je vložena tvarovým vybráním na horní osazení **poz. 4** a tím jsou vůči sobě vystředěny. Následně je provedeno spojení pomocí dvou šroubů M 10 x 100 mm. Takto složené komponenty přijdou na **spodní držák** (poz. 5), kde dojde k vystředění stejným způsobem. **Poz. 5** se sešroubuje s **poz. 4** pomocí šroubů o stejném rozměru. Poté jsou součásti jako jeden celek vloženy osazením příruby **poz. 5** do díry v **poz. 2**. a tím jsou i vystředěny vůči rovině **desky**. Po obvodu příruby **poz. 5** jsou vyvrtány díry se zapuštěním, sloužící k vložení šroubu M10 x 35 mm a následnému spojení s **poz. 2**. Postup je graficky znázorněn na obr. 43.



Obr. 43 Postup montáže spodní upínací desky.

- B. střední upínací deska – k ní bude nejdříve připojen **přidržovač** (poz. 6) tak, že se zajistí kolíkovým spojem. Díky způsobu výroby, kdy se vrtaly díry pro kolíky a šrouby společně s protikusem, je zajištěna vzájemná poloha otvorů a dochází ke správnému vystředění součástí. Následně se **přišroubuje poz. 6** ke **střední desce** (poz. 7), za použití šesti šroubů M8 x 30 mm. Do rohových děr jsou zalisována **kluzná pouzdra** (poz. 8), která jsou umístěna mazacím otvorem směrem ven z lisu, viz obr. 44. Tím je docíleno snadnějšího přístupu pro mazání při údržbě. Každý kluzný prvek je zajištěn třemi šrouby s **přidržovací hlavou**. Složená sestava se umístí na **vodící sloupky**.

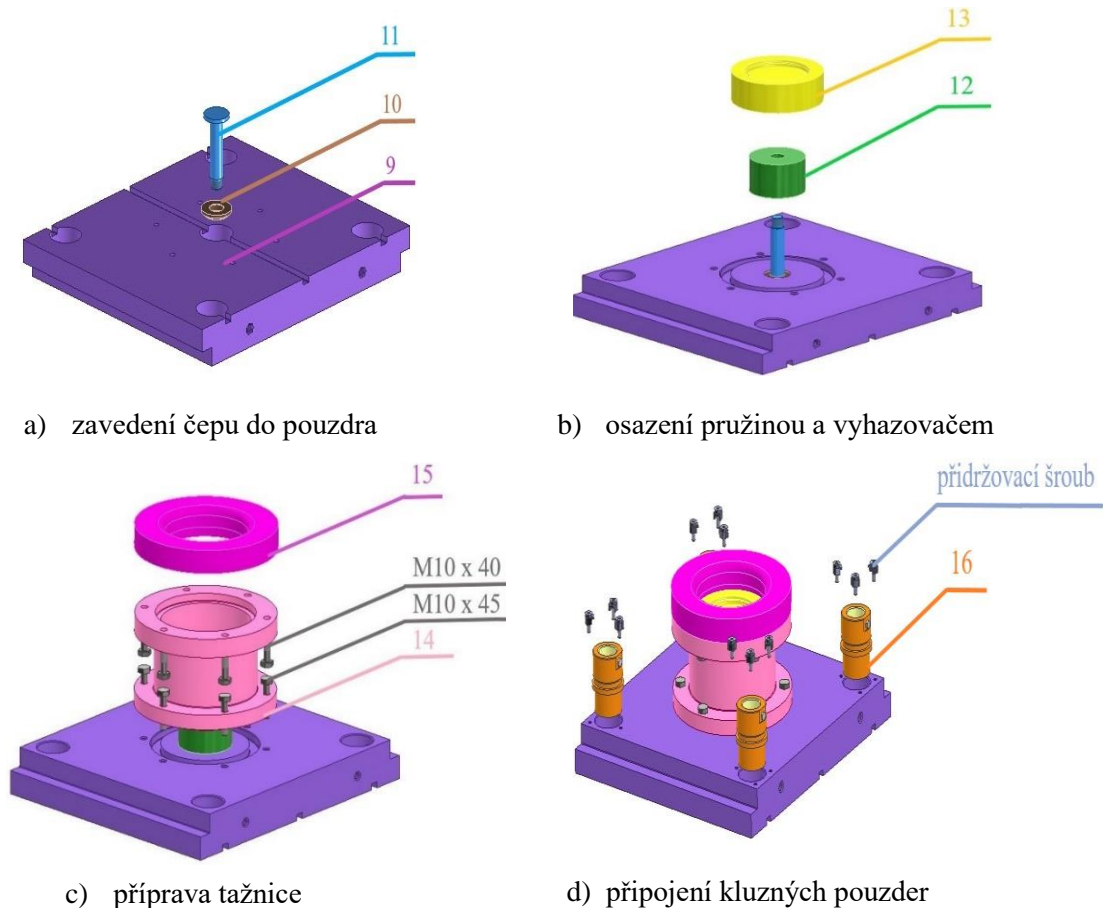


Obr. 44 Postup montáže střední upínací desky.

C. horní upínací deska – z vrchní strany **desky** (poz. 9) je nejdříve zalisováno **bronzové pouzdro** (poz. 10), kterým se prostrčí **vodící čep** (poz. 11). Deska je poté otočena o 180 stupňů a na **poz. 11** je nasazena **polyuretanovou pružinou** (poz. 12) a našroubován **vyhazovač** (poz. 13).

Do díry, umístěné uprostřed horní desky, je vsazen **držák tažnice** (poz. 14). Vystředění vůči rovině **poz. 9** je zajištěno jeho osazením, které do otvoru zapadá. Následně se připevnění pomocí šesti šroubů s šestihrannou hlavou M10 x 45 mm. Poté se na držák připojí samotná **tažnice** (poz. 15) a spojí se s ním šrouby M10 x 40 mm.

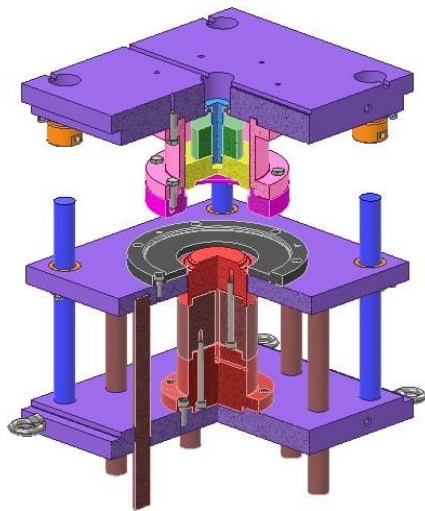
Do čtyř rohových děr je dále nutné nalisovat horní **kluzná pouzdra** (poz. 16), která je potřeba zajistit šrouby s přidržovací hlavou. Znárodnění postupu montáže celé sekce je zobrazeno na obr. 45.



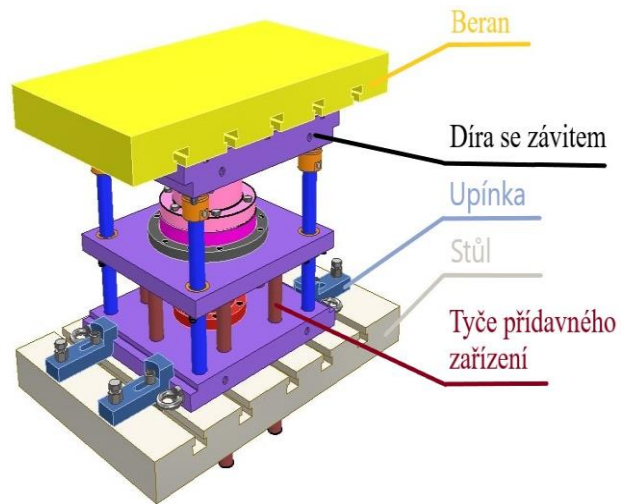
Obr. 45 Postup montáže horní upínací desky.

D. manipulace při upínání do lisu – zkompletování tažidla je dokončeno nasazením **horní desky** na **vodící sloupky**. Kompletně složený nástroj je zobrazen v řezu 3D modelem na obr. 46. Pro optimální manipulaci se do bočních děr obou desek našroubuje manipulační přípravek, a tak je zajištěno, že se **vrchní deska** nebude pohybovat vůči **spodní desce**. Takto ustavený nástroj má výšku, odpovídající sevřenému stavu. Následuje připojení šroubů se závěsnými oky. Díky nim bude možné nástroj pomocí manipulačního zařízení zvednout na nástrojový vozík od firmy FIBRO, sloužící k ulehčení zakládání do stroje.

Vozík je spojen s rámem lisu a po valivých elementech je nástroj přesunut do lisu. Upnutí je provedeno pomocí **zalomených upínek**, zajištěných v T-drážkách stolu a **beranu**. **Tyče přidavného hydraulického zařízení** jsou připojeny do děr střední upínací desky. Připravený nástroj, upnutý v lisu, je zobrazen na obr. 47. Po zajištění nástroje v lisu je odmontován manipulační přípravek a závěsná oka. Pro skladování lze využít skladovacích lišt, které se našroubují do závitových děr, zhotovených v deskách. [50]



Obr. 46 Tažný nástroj po složení.



Obr. 47 Systém upínání nástroje.

- E. technologická příprava – před samotnou výrobou je potřeba namazat části nástroje a polotovaru, aby byly zajištěny optimální podmínky při hlubokém tažení. U hlubokého tažení se nemaže celý polotovar, neboť v kontaktních plochách mezi tažníkem a polotovarem je nevhodnější mít tření co nejvyšší a mezi vnitřní stěnou tažnice a přístřihem je naopak žádoucí, aby bylo tření co nejmenší. [8; 10; 24]

Z toho důvodu bude mazána strana rondely, která je v kontaktu s tažnicí. Dále se namaže vnitřní vybrání přidržovače, kvůli redukci tření mezi plochou plechového přístřihu a vnější částí přidržovače.

Pro mazání bude využit MOLYDUVAL Morlaub KFP 61 V. Jedná se o speciální přípravek, určený pro snížení nežádoucích vlivů tření při různých tvářecích operacích za studena. Základem je olej s nízkou viskozitou, který se po tváření sám odstraňuje evaporací. Určené plochy se budou natírat manuálně pomocí štětce. [39]

ZÁVĚR

Vyráběným dílem je kryt elektromotoru, sloužící k ochraně pracovního prostoru ventilátoru před vnikem cizích těles. Jedná se o rotační válcovou součást s prolisovaným dnem. Tloušťka nabývá konstantní hodnoty 1,5 mm a vnitřní připojovací průměr je tolerován $0,2 \div 0,4$ mm do plusu. Pro výrobu byla určena nelegovaná nízkouhlíková ocel 11 305. S ohledem na plánovanou výrobní sérii, činící 100 000 kusů za rok, rozměry a materiál, byla pro zhotovení zvolena technologie hlubokého tažení.

Při návrhu byl nejdříve různými způsoby vypočten průměr přístříhu. Jelikož se výsledek u metody rozložení na jednotlivé geometrické útvary a použitím 3D modelovacího softwaru shoduje, byl předběžný rozměr přístříhu stanoven na 205,73 mm. Na základě této znalosti byla vyčíslena poměrná tloušťka a k ní byl přiřazen koeficient tažení o hodnotě 0,54, díky kterému bylo zjištěno, že výtažek lze vyrobít v jediné tažné operaci. Podle zjištěného počtu tažných operací byl původní průměr přístříhu navýšen na 212 mm. Rondel se bude vyrábět pomocí stříhání na konvenčním střížném nástroji. Polotovarem bude ocelový svitek o šířce 222 mm, tloušťce 1,5 mm a průměru 1200 mm. Průměr svitku byl vybrán dle největšího procentuálního využití 73,87 %. Ke kompletnímu dokončení výrobní série bude potřeba 35 kusů. Dále byly stanoveny technologické parametry jako je nutnost použití přidržovače a tažná mezera. U poloměru zaoblení tažníku byla výpočtem potvrzena předepsaná hodnota 10 mm. Tažnici byla z vypočteného rozsahu dle doporučení z literatury přidělena stejná hodnota. Velikost tažné síly je dle výpočtu 186,6 kN. Jelikož však je opravný koeficient roven 1, bude se muset před započítáním výroby provést zkušební série, ve které se upraví síla tak, aby nedocházelo k porušování materiálu. Celková síla, zahrnující ještě přidržovací a vyhazovací, potom nabývá 249,18 kN.

Výroba bude realizována na hydraulickém lisu CUPJ 63 DEU od firmy HŠV Polička. Stroj je doplněn o přídatné hydraulické zařízení, které bude spojeno s přidržovačem. Tím bude zajištěno vyvinutí přidržovací síly.

Dle navrženého technologického postupu bude nejprve vystřížen přístříh, který poslouží jako polotovar pro hluboké tažení, kdy se plech přetvoří na tělo krytu. Ventilační otvory a připojovací díry budou vyrobeny v kooperaci. Pro druhou tvářecí operaci byl dle upínacích ploch lisu a technologických výpočtů navržen tažný nástroj, skládající se ze tří upínacích desek. Horní a spodní díl je do lisu upnut pomocí upínek. Návrh byl doplněn o detailní postup montáže a mazání, pro které bude využit přípravek MOLYDUVAL Morlaub KFP 61 V.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC: *Technologie tváření kovů* [online]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm. [cit. 2023–12-17].
 2. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
 3. PODANÝ, Kamil. *Technologie tváření – [přednáška]*. Brno: VUT v Brně, 14. 02. 2023.
 4. ANCHOR HYDRAULIC INDUSTRIES. *DEEP DRAWING* [online]. c 2018. Dostupné z: https://anchorpress.in/deep_drawing.php. [cit. 2023–12-18].
 5. MECONET OY. *Deep drawing products* [online]. © 2019. Dostupné z: <https://www.meconet.net/en/deep-drawing-products/>. [cit. 2023-12-18].
 6. TECH PORTAL. *Charakteristika konstrukčních ocelí* [online]. c 1997–2023. Dostupné z: searchcontent.phtml (techportal.cz). [cit. 2023-12-11]
 7. EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES. *DC04 (1.0338)* [online]. © 2011–2023. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=201. [cit. 2023-12-11].
 8. TIŠNOVSKÝ, Miroslav; MÁDLE, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knihnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4.
 9. PODANÝ, Kamil. *Technologie tváření – [přednáška]*. Brno: VUT v Brně, 25. 04. 2023.
 10. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC: *Technologie plošného tváření – tažení* [online]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm. [cit. 2023–12-17].
 11. VUT FSI ÚST: *slévárenství* [online], dostupné z: <https://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/technologie-ii/odlevanituhnuti-obecne.pdf>. [cit. 2023–12-17].
 12. VIKTOR MÁCHA – INDUSTRIAL PHOTOGRAPHY. *Železářny Štěpánov, grey iron casting* [online]. © 2023. Dostupné z: <https://www.viktormacha.com/nejnovejsi/zelezarny-stepanov-grey-iron-casting-2755.html>. [cit. 2023-12-21]
 13. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004. ISBN ISBN 0-8311-3182-9.
 14. CUSTOMPARTNET. *Sheet Metal Forming* [online]. c 2023. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>. [cit. 2023-12-11]
 15. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Učební texty vysokých škol. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4.
 16. BŘEZINA, Richard; PETRUŽELKA, Jiří. *Úvod do tváření II*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0068-3.
-

17. VYKOV CZ, S. R. O. *ZÁKLADY TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ KOVŮ* [online]. © 2006-2023. Dostupné z: <https://www.vykov.cz/aktualne/zaklady-tepelneho-zpracovani-kovu> [cit. 2023-12-27].
18. ELECTRIC MOTOR MANUFACTURERS | ELECTRIC MOTOR SUPPLIERS. *AC Motors* [online]. Dostupné z: <https://www.electric-motors.net/ac-motors/>. [cit. 2023-12-23].
19. Hydraulic Press *Deep Drawing Process* [online]. 2019. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=2KZRQSI8GkQ&ab_channel=Artizono. [cit. 2023-12-23].
20. AUTODESK. *Fyzikální vlastnosti* [online]. © 2024. Dostupné z: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2023/CSY/?guid=GUID-2D7AC6B0-7B1E-4F1A-900F-C98A0705D47A>. [cit. 2024-01-25]
21. GOEL, Amit. *BLANK OPTIMIZATION IN SHEET METAL FORMING USING FINITE ELEMENT SIMULATION*. Texas A&M University, 2004. Thesis. Texas A&M University.
22. DVOŘÁK, Milan; CÍSAŘOVÁ, Michaela. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ* [online]. Brno, 2021, 89. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/ctt_technologie_tvareni_sylabus_dvorak_cisarova.pdf. [cit. 2023-12-11].
23. PODANÝ, Kamil. Ročníkový projekt II – tváření, svařování [cvičení]. Brno: VUT v Brně, 20. 9. 2023. [cit. 2023-12-11].
24. DVOŘÁK, Milan; NOVOTNÝ, Karel; GAJDOŠ, František. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2340-4. [cit. 2023-12-11].
25. GAU, Jenn-Terng. *Flow chart for multi steps blank optimization* [online]. 2008, 2008 [cit. 2024-02-06]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Flow-chart-for-multi-steps-blank-optimization_fig4_227327361 [cit. 2023-12-11].
26. ROMANOVSKIJ, V. P. a Vladika JOSEF. *Průručka pro lisování za studena*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. Řada strojírenské literatury.
27. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
28. BROWNE, M.T. a M.T. HILLERY. Optimising the variables when deep-drawing C.R.1 cups. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2003, 64-71. ISSN 0924-0136. Dostupné z: doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00934-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00934-2) [cit. 2024-02-17].
29. CHINA BE-CU PROTOTYPE. *CNC Metal Spinning Services* [online]. © 2024. Dostupné z: <https://be-cu.com/metal-spinning/>. [cit. 2024-03-13]
30. KOTOUČ, Jiří; Jan, ŠANOVEC; Jan, ČERMÁK; Luděk, MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
31. FOREJT, Milan; PÍŠKA Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

32. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. 3., upravené a dopln. vyd. Praha: SNTL, 1980. Řada strojírenské literatury.
33. HŠV STROJE, A.S. *Univerzální hydraulické lisy* [online]. © 2024. Dostupné z: <https://hsvpolicka.cz/cs/lisy/univerzalni-hydraulicke-lisy>. [cit. 2023-12-08].
34. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: základy stavby a využití*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985. Technický průvodce (SNTL).
35. NOVOTNÝ, Karel. *VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ* [online]. Brno, 2021, 89. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf.
36. RIPRON, S.R.O. *Excentrický lis EPC* [online]. © 2024. Dostupné z: <https://www.ripron.cz/lisy-excentricke/excentricky-lis/>. [cit. 2024-03-02]
37. KSTROJE. *Tvářecí stroje / Lisy / Lis klikový / SNI 110* [online]. (C) 2006–2024. Dostupné z: <http://www.kstroje.cz/cz/2635/stroj/lis-klikovy/>. [cit. 2024-03-02]
38. HŠV STROJE, A.S. *Lisy* [online]. © 2024. Dostupné z: <https://www.hsvpolicka.cz/cs/galerie/lisy-g>. [cit. 2024-03-02]
39. DECKENBACH CZ, S.R.O. *MOLYDUVAL* [online]. Dostupné z: eshop.fina-oleje.cz/t221k4kn/eshop/4-1-MOLYDUVAL/0/5/1191-MOLYDUVAL-Moralub-KFP-61-V-5-L. [cit. 2024-05-03].
40. Autodesk Inventor Professional 2024. Autodesk, 2024. Dostupné z: www.autodesk.com/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription. [cit. 2024-29-03].
41. HLAVENKA, Bohumil. *Manipulace s materiálem*. 4. vyd. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství: PC-DIR Real, 2000. ISBN 80-214-1698-X.
42. P/A INDUSTRIES INC. *MEDIUM DUTY STOCK REELS/DECOILERS – SINGLE MANDREL* [online]. © 2024. Dostupné z: www.pa.com/products/stock-reels-decoilers/medium-duty-stock-reelsdecoilers-single-mandrel. [cit. 2024-03-12]
43. COMPANY PMX S.R.O. *Střižné nástroje* [online]. © 2019. Dostupné z: www.companypmx.cz/cz/nase-vyrobyky/strizne-nastroje.html. [cit. 2024-03-29]
44. FOREJT, Milan. *ROČNÍKOVÝ PROJEKT I: tváření, svařování* [online]. Brno: ÚST FSI VUT v Brně, 2002. Dostupné z: ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dr2_rocnikovy_projekt_I_2019_forejt.pdf. [cit. 2022-09-18]
45. HŠV STROJE, A.S. *Sloupové univerzální hydraulické lisy* [online]. © 2024. Dostupné z: www.hsvpolicka.cz/cs/lisy/sloupove-univerzalni-hydraulicke-lisy. [cit. 2024-03-27]
46. FIBRO LAEPPLE TECHNOLOGY INC. *FIBRO NORMÁLIE-Elastomerové pružiny* [online]. © 2023. Dostupné z: www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/793/. [cit. 2024-05-11]

47. FIBRO LAEPPLE TECHNOLOGY INC. *FIBRO NORMÁLIE-Vodící pouzdra* [online]. © 2023. Dostupné z:
www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/162/.
[cit. 2024-05-11].
48. FIBRO LAEPPLE TECHNOLOGY INC. *FIBRO NORMÁLIE-KRUHOVÁ PRUŽINA 80 SHORE A* [online]. © 2023. Dostupné z:
www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/796/.
[cit. 2024-05-11].
49. FIBRO LAEPPLE TECHNOLOGY INC. *FIBRO NORMÁLIE-VODÍČÍ POUZDRA S OSAZENÍM ECO-LINE, S BRONZOVOU VLOŽKOU* [online]. © 2023. Dostupné z:
www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/296/.
[cit. 2024-05-11].
50. HŠV STROJE, A.S. *Příslušenství* [online]. © 2024. Dostupné z:
www.hsypolicka.cz/cs/lisy/prislusenstvi.
[cit. 2024-05-11]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažná síla	[J]
A_{ti}	tažná práce v i-té operaci	[J]
C_t	opravný součinitel	[-]
D_0	průměr výchozího přístřihu	[mm]
D'_0	průměr přístřihu navýšený o přídavek na ostřížení	[mm]
D_{pm}	největší průměr přídržovače v kontaktu s tažnicí	[mm]
D_{Sv}	vnější průměr svitku	[mm]
d_1	průměr výtažku pro první operaci	[mm]
d_d	výpočtový průměr dna	[mm]
d_i	průměr výtažku po i-té operaci	[mm]
d_{i-1}	průměr výtažku na začátku i-té operace	[mm]
d_m	vnitřní průměr mezikruží	[mm]
d_{pds}	střední průměr prolisu	[mm]
d_{Rd}	výpočtový průměr dna	[mm]
d_s	střední průměr výtažku	[mm]
d_{Sv}	vnitřní průměr svitku	[mm]
F_C	celková síla tvářecí operace	[N]
F_{krit}	kritická síla na utržení dna	[N]
F_t	tažná síla	[N]
F_{ti}	tažná síla v i-té operaci	[N]
F_{vyh}	síla vyhazovače	[N]
f	velikost okraje pro stříhání	[mm]
h	výška výtažku	[mm]
h_p	výška pláště	[mm]
h_{p0}	výška pružiny v nezatíženém stavu	[mm]
h_{pd}	výška pláště prolisu	[mm]
h_{pS}	stlačení pružiny	[mm]
K	střížný krok	[mm]
k	materiálový koeficient	[-]
L_{Sv}	rozvinutá délka svitku	[mm]
m_1	součinitel tažení pro první operaci	[-]
m'_1	skutečný součinitel tažení pro první operaci	[-]
m_2	součinitel tažení pro druhou operaci	[-]
m_c	celkový součinitel tažení	[-]
m_i	součinitel tažení pro i-tou operaci	[-]
m_n	součinitel tažení pro n-tou operaci	[-]
m_{Sv}	hmotnost svitku	[kg]
$n_{Sv/Vs}$	počet svitků pro výrobní sérii	[ks]
$n_{v/Sv}$	počet výstřížku ze svitků	[ks]
n_{Vs}	velikost výrobní série	[ks]
p_p	přídavný tlak působící na přídržovač	[MPa]
R	poloměr zaoblení dna	[mm]
R_{d1}	poloměr zaoblení dna krytu	[mm]
R_{dsd}	střední poloměr zaoblení dna	[mm]
R_{dsd}	střední poloměr zaoblení prolisu	[mm]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
r_{tc}	poloměr zaoblení tažnice	[mm]

r_{tv}	poloměr zaoblení tažníku	[mm]
S_0	plocha výchozího polotovaru	[mm ²]
$S_{\text{čin}}$	činná plocha přidržovače	[mm ²]
S_{Sv}	plocha svitku	[mm ²]
S_v	plocha výtažku	[mm ²]
s	tloušťka materiálu	[mm]
\check{s}_{Sv}	šířka svitku	[mm]
V_0	objem polotovaru	[mm ³]
V_v	objem výtažku	[mm ³]
z	tažná mezera	[mm]
Z_m	materiálová konstanta	[-]
Δs	poměrná tloušťka	[%]
$\Delta s'$	poměrná tloušťka pro průměr s přídavkem	[%]
η_{Sv}	procentuální využití svitku	[%]
$\eta_{Sv/Vs}$	procentuální využití svitků pro výrobní sérii	[%]
ρ_{DC04}	hustota oceli DC04	[kg · mm ⁻³]
σ_v	deformační odpor při tažení	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list oceli DC04
Příloha 2	Pomocné vzorce pro výpočet velikosti přístříhu
Příloha 3	Doporučená velikost tlaků přidržovače
Příloha 4	Nomogram pro určení hodnot „E“ a „F/2“ – stříh přímý: oblý tvar
Příloha 5	CUPJ 63 DEU – rozměry
Příloha 6	FIBROFLEX – KRUHOVÁ PRUŽINA 80 SHORE A
Příloha 7	VODÍCÍ POUZDRA S OSAZENÍM ECO-LINE, S BRONZOVOU VLOŽKOU

SEZNAM VÝKRESŮ

TAŽNÝ NÁSTROJ	BP-00-2024
K – TAŽNÝ NÁSTROJ	K-BP-00-2024
DRŽÁK TAŽNICE	BP-04-2024
SPODNÍ DRŽÁK TAŽNÍKU	BP-05-2024
STŘEDNÍ DRŽÁK TAŽNÍKU	BP-06-2024
TAŽNICE	BP-07-2024
TAŽNÍK	BP-09-2024
KRYT ELEKTROMOTORU	BP-Z-202

Chemické složení v % oceli DC04 (1.0338): EN 10130-2006

C	Mn	P	S
max 0.08	max 0.4	max 0.03	max 0.03



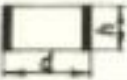





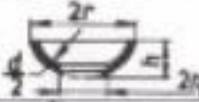
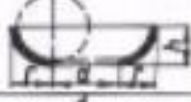


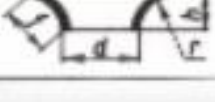
Mechanické vlastnosti oceli DC 04 (1.0338)

Rm - Mez pevnosti (MPa)	270-350
--------------------------------	---------

ReH - Minimální mez kluzu (MPa)	210-220
--	---------

A - Min. prodloužení $L_0 = 80$ mm (%)	37-38
---	-------

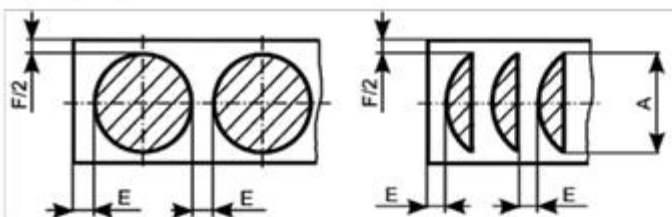
Pomocné vzorce pro výpočet velikosti přístřihu [8]

rotační tvar	plocha
	$A = \frac{\pi}{4} d^2$ kolo
	$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2)$ prstenec
	$A = \pi \cdot d \cdot h$ válec
	$A = \frac{\pi}{4} d \cdot \sqrt{d^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{4} d \cdot f$ rotační kužel
	$A = \frac{\pi}{4} (d + d_1) \sqrt{(d - d_1)^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{2} f (d + d_1)$ kornatý kužel
	$A = \pi \cdot d^2$ koule
	$A = \frac{\pi}{2} d^2$ polokoule
	$A = \pi \cdot d \cdot h = \pi \cdot (r^2 + h^2)$ kulová úseč
	$A = \pi \sqrt{4r^2 h^2 + (r^2 - r_1^2 - h^2)^2} = \pi d \cdot h$ kulová vrstva
	$A = \frac{\pi}{2} (\pi \cdot d \cdot r + 4r^2)$ konkávní prstenec (čtvrtina)
	$A = \frac{\pi}{2} (\pi \cdot d \cdot r - 4r^2)$ konvexní prstenec (čtvrtina)
	$A = \pi \cdot [(d - 2r) \cdot f + 2r \cdot h]$ konkávní prstenec
	$A = \pi \cdot [(d + 2r) \cdot f - 2r \cdot h]$ konvexní prstenec

Tloušťka taženého plechu (mm)	Tlak přidržovače (MPa)			
	Tažený materiál			
	ocelový plech		mosaz	hliník
	tvrdý	hlubokotažený	tombak	
0,2	3,0	2,1 až 2,5	2,0	1,5
0,4	2,9	2,0 až 2,4	1,9	1,5
0,6	2,8	2,0 až 2,4	1,9	1,45
0,8	2,8	1,9 až 2,3	1,8	1,45
1	2,7	1,8 až 2,3	1,8	1,4
1,5	2,7	1,8 až 2,2	1,7	1,35
2	2,6	1,8 až 2,1	1,7	1,3
2,5	2,5	1,8 až 2,1	1,6	1,25
3	2,5	1,9 až 2,1	1,6	1,2
3,5	2,4	1,9 až 2,0	1,5	1,2
4	2,3	1,9	1,5	1,15
4,5	2,3	1,8	1,4	1,15
5	2,2	1,8	1,4	1,1
6	2,1	1,7	1,3	1,1
7	2,1	1,7	1,3	1,05
8	2,0	1,6	1,2	1,0

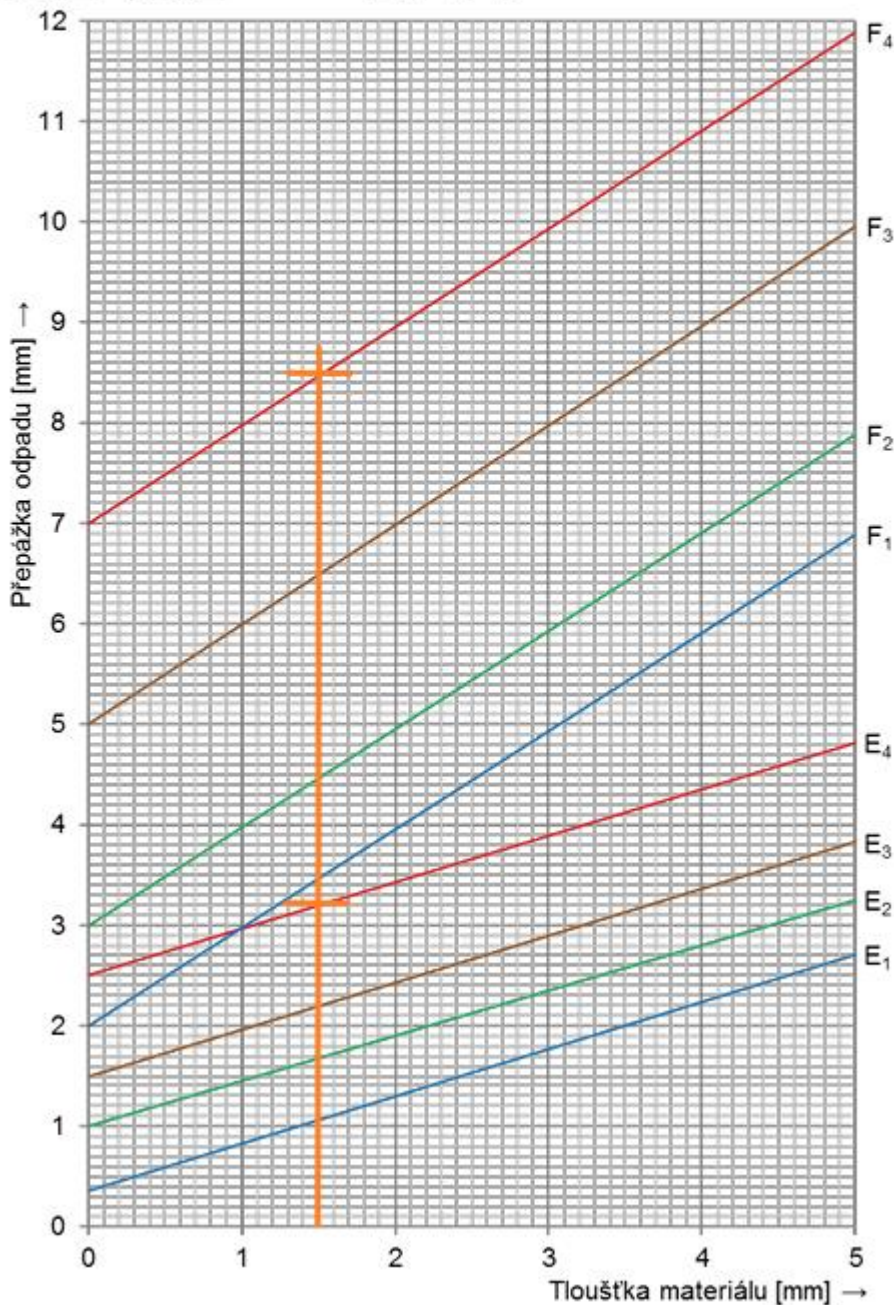
Nomogram pro určení hodnot „E“ a „F/2“ – stříh přímý: oblý tvar [44]

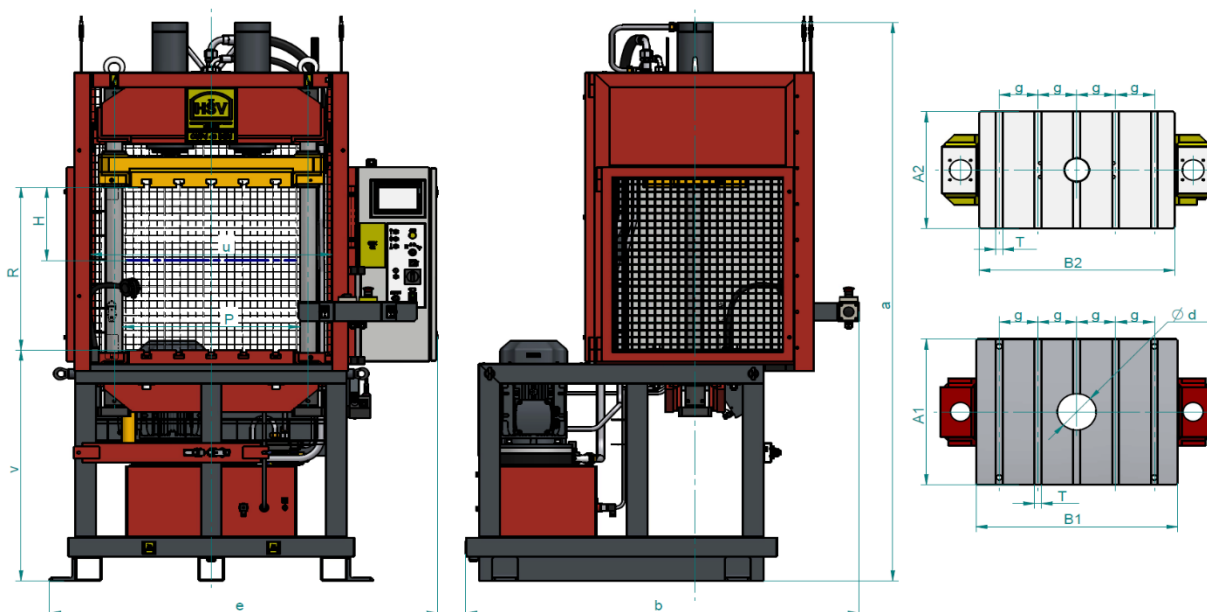
Stříh přímý



Největší rozměr výstřížku A

- E₁, F₁ = do 15 mm
- E₂, F₂ = 15 až 50 mm
- E₃, F₃ = 50 až 100 mm
- E₄, F₄ = přes 100 mm



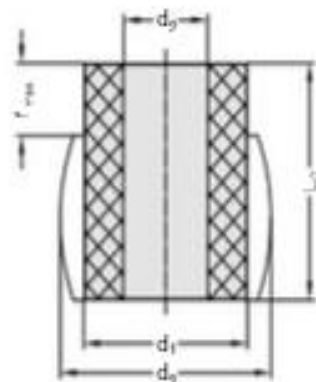


TECHNICKÉ PARAMETRY

PARAMETR	JEDN.	CUPJ 16 DEU	CUPJ 25 DEU	CUPJ 40 DEU	CUPJ 63 DEU	CUPJ 100 DEU	CUPJ 160 DEU	CUPJ 250 DEU	CUPJ 500 DEU
Jmenovitá síla	kN	160	250	400	630	1000	1600	2500	5000
Jmenovitá síla	tuny	16	25	40	63	100	160	250	500
Rychlosouv	mm/s	80 / 50 / 25	90 / 60 / 25	65 / 45 / 20	75 / 50 / 35	85 / 60 / 45	65 / 40 / 30		0–16
Lisování	mm/s	25 / 15 / 10	25 / 15 / 8	25 / 15 / 8	20 / 12 / 8	20 / 15 / 8	18 / 12 / 5		0–2
Návrat	mm/s	35 / 20 / 15	35 / 25 / 10	40 / 25 / 10	80 / 50 / 40	80 / 50 / 40	65 / 40 / 30		0–16
Rozevření	R	mm	600	670	670	670	670		700
Zdvih beranu	H	mm	250	300	300	300	300		600
Průchod mezi sloupky	P	mm	550	650	685	800	800		1440
Stůl	A1×B1	mm	400×500	500×600	500×650	500×750	500×750		1400×1400
Beran	A2×B2	mm	300×470	400×550	400×630	400×720	400×720		1400×1400
Výška max.	a	mm	2135	–	2300	–	–	ve vývoji	2880
Hloubka	b	mm	1170	–	1525	–	–		1900
Propad ve stole	d	mm	100	125	125	125	125		–
Šířka lisu	e	mm	1370	–	1500	–	–		3000
Výška stolu	v	mm	950	950	950	950	900		800
Hmotnost	kg	1000	–	1600	–	–	–		19000
T-drážka	T	mm	18	18	22	22	22		–
Rozteč drážek	g	mm	100	120	125	125	150		–
Počet drážek	pc		5	5	5	5	5		–
Cena bez DPH	Kč	1 220 000	na vyžádání	1 420 000	na vyžádání	na vyžádání	na vyžádání	na vyžádání	na vyžádání



246.5.



Popis:

Pružiny FIBROFLEX® jsou vysoce elastické polyuretanolastomerové výrobky. Tvrdost dle stupnice Shore A je důležitou vlastností pro použitý materiál FIBROFLEX®. Tuto vlastnost je nutno zohlednit při výběru správné tvrdosti pro určité případy použití.

Materiál:

Polyuretan 80 Shore A
Barva: zelená

Upozornění:

Na základě fyzikálních vlastností mají polyuretanové elastomery sklon k "usazení". Ten závisí na vzniklé teplotě tření, okolní teplotě, rychlosti a počtu změn zatížení, zdvihů pružiny a tvrdosti.

Může činit 4 až 7 % délky pružiny l_0 .

246.5. FIBROFLEX®-Kruhová pružina 80 Shore A, dle DIN ISO 10069-1

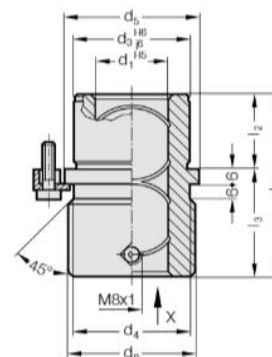
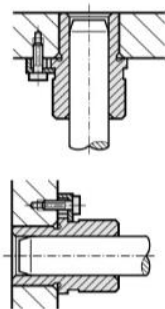
Objednací číslo	d_1	l_0	d_2	d_3	f_{max}	F_{max} [N]	Objednací číslo	d_1	l_0	d_2	d_3	f_{max}	F_{max} [N]
246.5.016.012	16	12,5	6,5	21	4,3	1 020	246.5.063.100	63	100	17	81	35	16 200
246.5.016.016	16	16	6,5	21	5,6	980	246.5.063.125	63	125	17	81	43,7	16 000
246.5.016.020	16	20	6,5	21	7	950	246.5.080.032	80	32	21	104	11,2	31 500
246.5.016.025	16	25	6,5	21	8,7	940	246.5.080.040	80	40	21	104	14	30 100
246.5.020.016	20	16	8,5	26	5,6	1 530	246.5.080.050	80	50	21	104	17,5	29 900
246.5.020.020	20	20	8,5	26	7	1 510	246.5.080.063	80	63	21	104	22	28 800
246.5.020.025	20	25	8,5	26	8,7	1 500	246.5.080.080	80	80	21	104	28	28 300
246.5.020.032	20	32	8,5	26	10,6	1 490	246.5.080.100	80	100	21	104	35	28 100
246.5.025.020	25	20	10,5	32	7	2 600	246.5.080.125	80	125	21	104	43,7	28 000
246.5.025.025	25	25	10,5	32	8,7	2 550	246.5.100.032	100	32	21	130	10,6	56 000
246.5.025.032	25	32	10,5	32	10,6	2 520	246.5.100.040	100	40	21	130	14	52 000
246.5.025.040	25	40	10,5	32	14	2 500	246.5.100.050	100	50	21	130	17,5	50 000

VODÍČÍ POUZDRA S OSAZENÍM ECO-LINE, S BRONZOVOU VLOŽKOU [49]



Příklad montáže

2081.94.



Materiál:

ocel, d₃ indukčně kalená




Provedení:

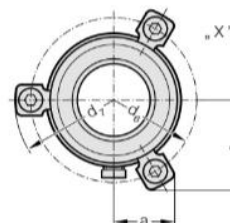
Vodící plochy - bronzová vložka, upínací průměr jemně broušený.

Upozornění:

Na zajištění se používají 3 držáčky, od $\varnothing d_1 = 38$ mm 4 držáčky, které jsou obsaženy v dodávce (Objednací číslo: 207.45 - držáčky včetně šroubků s válcovou hlavou dle DIN 6912, hlavy $\varnothing 13$).

Mazání pomocí trychtýřové tlakové mazničky se závitem DIN 3405-A M8x1.

-  Popis kluzného vedení na začátku kapitoly D.
-  Výběr vhodného vedení viz. výběrová tabulka na začátku kapitoly D.
-  Směrnice pro vestavbu / Tabulky rozměrů na konci kapitoly D.



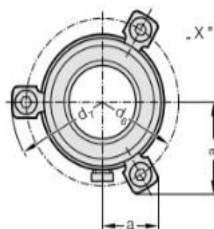
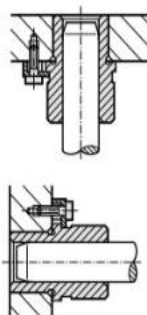
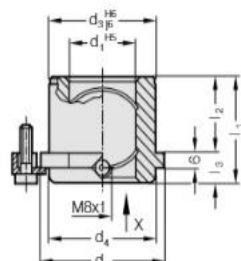
2081.94. Vodící pouzdra s osazením ECO-LINE, s bronzovou vložkou, ISO 9448-6

d ₁	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d ₂	32	40	48	58	70	85	105
d ₄	32	40	48	58	70	85	105
d ₅	40	48	56	66	80	95	118
d ₆	52	60	67	77	91	106	129
d ₇	64,7	72,7	79,7	89,7	103,7	118,7	141
d ₈	39	46	53	63	77	92	115
a	20,7	22,7	24,4	35,3	40,2	45,5	54,5
a ₁	30,3	33,4	36,4	35,3	40,2	45,5	54,5
l ₁	43	59	75	82	97	116	120
l ₂	23	23	30	37	47	60	60
l ₃	20	36	45	45	50	56	60

Příloha 7
 VODÍCÍ POUZDRA S OSAZENÍM ECO-LINE, S BRONZOVOU VLOŽKOU [49]

2081.95.

Příklad montáže



Materiál:

ocel, d₃ indukčně kalená




Provedení:

Vodící plochy - bronzová vložka,
 upínací průměr jemně broušený.

Upozornění:

Na zajištění se používají 3 držáčky, od $d_1 = 38$ mm 4 držáčky, které jsou obsaženy v dodávce (Objednací číslo: 207.45 - držáčky včetně šroubků s válcovou hlavou dle DIN 6912, hlavy $\varnothing 13$).

Mazání pomocí trychtyřové tlakové mazničky se závitěm DIN 3405-A M8x1.

-  Popis kluzného vedení na začátku kapitol D.
-  Výběr vhodného vedení viz. výběrová tabulka na začátku kapitoly D.
-  Směrnice pro vestavbu / Tabulky rozměrů na konci kapitoly D.

2081.95. Vodící pouzdra s osazením ECO-LINE, s bronzovou vložkou, ISO 9448-6

d ₁	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d ₂	32	40	48	58	70	85	105
d ₃	32	40	48	58	70	85	105
d ₄	40	48	56	66	80	95	118
d ₅	52	60	67	77	91	106	129
d _r	64,7	72,7	79,7	89,7	103,7	118,7	141
a	20,7	22,65	24,4	35,3	40,2	45,5	54,4
a ₁	30	33,4	36,4	35,3	40,2	45,5	54,4
l ₁	35	35	42	52	65	80	80
l ₂	23	23	30	37	47	60	60
l ₃	12	12	12	15	18	20	20