



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI "SHAKER" PLOŠNÝM TVÁŘENÍM ZA STUDENA

MANUFACTURING OF THE PART "SHAKER" BY COLD SHEET METAL FORMING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Pekař

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Jopek, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Pavel Pekař**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Jopek, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

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

Výroba součásti "shaker" plošným tvářením za studena

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby "shakeru" – souosého dílce vyráběný technologií plošného tvářením za studena.

Cíle bakalářské práce:

- Vypracovat literární studii se zaměřením na technologii hlubokého tažení.
- Zhodnotit současný stav výroby součásti – "shakeru".
- Upravit geometrické parametry dílce s ohledem na ekonomické a funkční aspekty výrobku, navrhnout vlastní technologii výroby včetně posouzení možných variant výroby.
- Zpracovat technické a ekonomické hodnocení navržené technologie.
- Vypracovat výkresovou dokumentaci nástroje včetně nezbytných výpočtů.
- Doporučení pro průmyslovou praxi.

Seznam doporučené literatury:

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

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

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tvářením a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

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

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

PEKAŘ Pavel: Výroba součásti "shaker" plošným tvářením za studena.

Práce se zabývá návrhem technologie výroby výtažku z korozivzdorného hlubokotažného ocelového plechu 0,3 mm jakosti 17 240. Na základě literární studie problematiky stříhání a hlubokého tažení bylo navrženo stříhání a tažení s přidržovačem ve sdruženém nástroji. Nástroj je řešen formou standardního stojánku s vodícími tyčemi upnutého v hydraulickém lisu pro tváření plechů PO 100, s nominální tvářecí silou 1 000 kN. Střížnice, tažnice a tažníky jsou vyrobeny z nástrojové oceli jakosti 19 436.9 tepelně zpracované podle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: ocel 17 240, tváření, stříhání, hluboké tažení, sdružený nástroj, hydraulický lis

ABSTRACT

PEKAŘ Pavel: Manufacturing of the part "shaker" by cold sheet metal forming.

The project elaborated design of technology production of the extract from the stainless deep drawing sheet 0,3 mm steel 17 240. Pursuant to of the literary pursuit a problem of the sheering and deep drawing was designed sheering and drawing with blank holder in combined tool. The tool is solved like customary rack with guiding rods clamped on the hydraulic press for forming of sheet PO 100 with nominal forming force 1 000 kN. Shearing die, drawing die and drawing punch are produced from tool steel 19 436.9 heat-worked according to drawing documentation.

Keywords: 17240 steel, forming, shearing, deep drawing, combined tool, hydraulic press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PEKAŘ, Pavel. *Výroba součástí "shaker" plošným tvářením za studena* [online]. Brno, 2021 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132165>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Jopek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 18.5.2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Miroslavu Jopkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Zároveň bych také chtěl poděkovat své rodině za podporu při bakalářském studiu.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	9
1 ZHODNOCENÍ STAVU SOUČÁSTI	10
1.1 Posouzení možných variant výroby	11
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A TAŽENÍ	14
2.1 Stříhání.....	14
2.1.1 Rozmístění přístřihů.....	14
2.1.2 Mezera a funkční rozměry nástroje	15
2.1.3 Síla a práce.....	16
2.1.4 Nástroj.....	17
2.2 Tažení	18
2.2.1 Velikost polotovaru a odstupňování tahů	18
2.2.2 Mezera	20
2.2.3 Použití přidržovače	20
2.2.4 Síla a práce.....	21
2.2.5 Mazání a rychlost.....	22
2.2.6 Nástroj.....	22
2.2.7 Stroj.....	24
3 NÁVRH VÝROBY	25
3.1 Optimalizace součástí.....	25
3.2 Průměr přístřihu a počet tažných operací	26
3.3 Rozmístění přístřihů	27
3.4 Postup a parametry tváření	28
3.5 Volba stroje.....	33
3.6 Konstrukce nástroje	34
4 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	38
5 ZÁVĚRY	40
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků a tabulek	
Seznam příloh a výkresů	

ÚVOD [3], [4], [5], [6]

Neustálý rozvoj ve strojírenství umožňuje výrobu součástí stále rychleji, kvalitněji a levněji, což jsou v dnešní době veledůležité aspekty. Výběr vhodné technologie a její následná optimalizace je naprosto klíčový pro konkurenceschopnost podniků zabývajících se výrobou. Automatizace výrobních procesů sice vyžaduje vysoké počáteční náklady, ale umožňuje vyšší efektivitu a zároveň výrazně redukuje potřebu lidské práce. Výsledná produktivita tvářecích technologií v hromadné výrobě násobně převyšuje produktivitu obrábění.

Technologie tváření se významně podílí na produkci strojních součástí z kovů a jejich slitin. Tyto výrobky splňují přísné požadavky na jejich přesnost, technologické, mechanické i geometrické vlastnosti. Díky tomu jsou tvářené díly používány v různých odvětvích průmyslu jako je automobilový, letecký, vojenský, energetický, ale také ve spotřební technice.

Proces tváření spočívá v plastickém deformování polotovaru pomocí nástrojů s cílem dosáhnout potřebného tvaru a mechanických vlastností dílce. Tyto procesy rozdělujeme na objemové tváření, kdy dochází k výrazné změně tvaru výchozího polotovaru, a na plošné tváření, kdy polotovarem je nejčastěji plech, který bývá přetvořen do prostorového tvaru bez výrazné změny jeho tloušťky. Objemové tváření vyžaduje vyvození vyšších sil než plošné tváření, a proto často probíhá za tepla, které usnadňuje výrobní proces.

Tažení patří mezi metody plošného tváření. Výtažky z plechu činí přibližně 30 % celkové produkce výroby lisoven. Díky unikátnosti tvaru vyrobených dílců má tažení ekonomický význam již v malosériové výrobě. Správně zkonstruovaný tažný nástroj ve spojení s vhodným lisem umožňujícím automatizaci dokáže vyprodukovat přesné výtažky vysokou rychlostí.

Typickým odvětvím pro výrobu součástí tažením je automobilový a letecký průmysl, dále například výroba nábojnice. S výrobky zhotovenými tímto způsobem se často setkáváme i v běžném životě, kde je lze vidět v podobě dřezu obr. 1, korby koleček obr. 2, nádob, různých krytů atd.



Obr. 1 Dřez [7]



Obr. 2 Korba [8]

1 ZHODNOCENÍ STAVU SOUČÁSTI [9]

Zadaná nádoba obr. 3, 4 je část shakeru, který slouží k promíchání výživových doplňků ve formě prášku s vodou. Požadovaná výrobní série činí 30 000 ks za rok. Nádoba má konstantní tloušťku stěny 0,3 mm, což zajišťuje nízkou hmotnost při dostatečné pevnosti součásti. Dílec tvaru komolého kužele o výšce 182 mm největším \varnothing 92 mm se zužuje ke dnu \varnothing 72 mm, kde se nachází prolis zvyšující stabilitu nádoby při jejím postavení na rovinný povrch. Zahrdlení součásti \varnothing 82 mm umožňuje spojení s víkem. Vrchní část hrdla \varnothing 78 mm dosedá na pryžové těsnění uložené v drážce víka a zajišťuje nepropustnost tekutiny ze shakeru.

Na součást nejsou kladeny vysoké požadavky na toleranci rozměrů. Jedná se ale o pohledovou součást, takže její vnější povrch je v konečné fázi výroby lakován matným lakem.

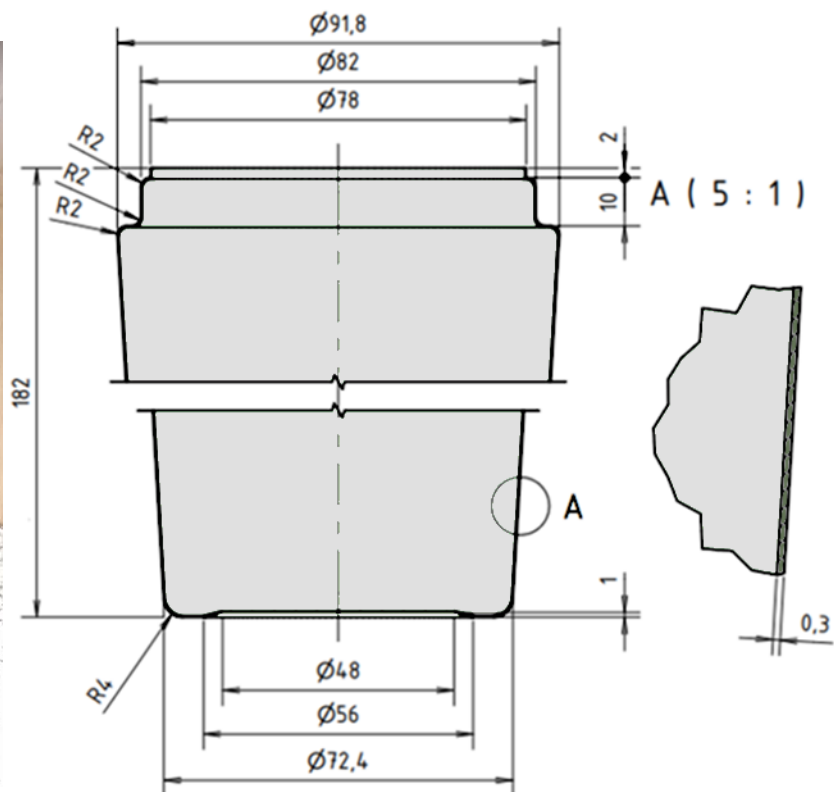
Zadaný materiál ČSN 17 240 (DIN 1.4301) je jedním z nejpoužívanějších korozivzdorných ocelí. Jedná se o ocel, která je díky svému chemickému složení (Tab. 1) vhodná pro svařování, odolná proti opotřebení, dobře leštitelná a zvláště hlubokotažná. Má výrazné využití zejména v potravinářském, farmaceutickém a stavebním průmyslu.

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 17 240. [9]

Materiál	Ocel ČSN 17 240 (DIN 1.4301)		
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]	Mez kluzu Rp _{0,2} [MPa]
	max. 750	45	min. 230
Chemické složení	Uhlík – C [%]	Chrom – Cr [%]	Nikl – Ni [%]
	max. 0,07	max. 19,5	max. 10,5



Obr. 3 Shaker

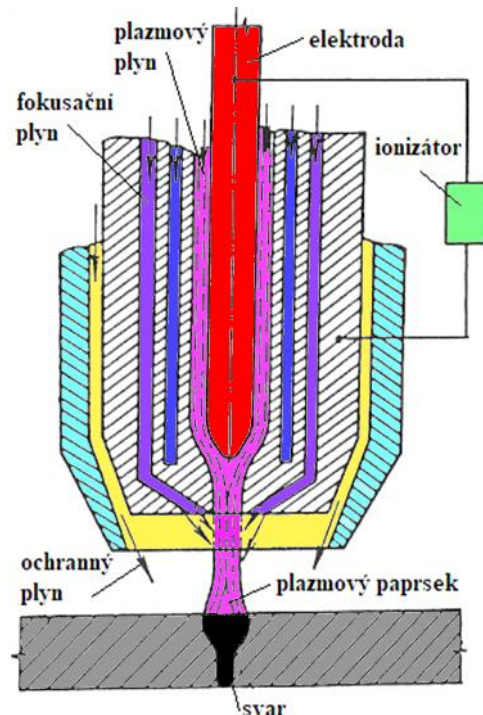


Obr. 4 Zadaná součást

1.1 Posouzení možných variant výroby [1], [3], [10]

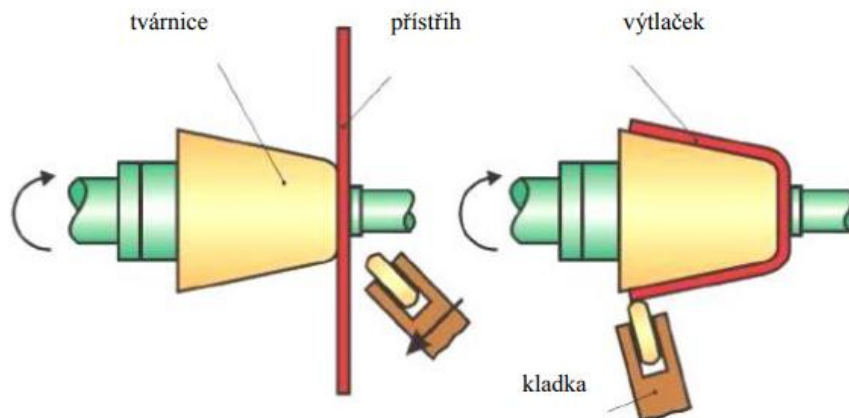
Výběr vhodné technologie je velice důležitý z pohledu efektivity a produktivity výroby. Základním předpokladem, který ale musí splňovat, je samotná vyrobiteľnost, dodržení požadované přesnosti a zejména také kvality součásti zhotovené danou technologií:

- Svařování plazmou – před samotným svařováním je potřeba předem vystříhnout rovinný obdélníkový přístřih, jehož ohnutím a následným svařením vznikne válcový plášť. Zvlášť stříhán by byl přístřih pro výrobu prolisovaného dna, které by bylo následně svařeno s válcovým pláštěm. Princip svařování plazmou obr. 5 spočívá v průchodu plazmového plynu elektrickým obloukem, který je přiškrcen, čímž dochází ke zvýšení jeho teploty a tím i dosažení vyšší ionizace plynu. Kromě plazmového plynu se používá ještě fokusační plyn pro zúžení plazmového paprsku a ochranný plyn, který chrání svar před vlivem atmosféry. Mikroplazmové svařování je umožněno díky stabilnímu hoření plazmového oblouku i při nízkém svařovacím proudu. Díky nízkému proudu je možné svařovat touhle metodou i kovové fólie tloušťky 0,01 mm. U tenkých plechů je nutné použití vhodných přípravků pro ustavení svařovaných dílců.



Obr. 5 Plazmové svařování [10]

- Kovotlačení – jedná se o rotační technologii tváření, která se používá pro výrobu dutých součástí v případě, kdy je hluboké tažení obtížné, nebo ekonomicky nevýhodné v malosériové výrobě. Umožňuje vytvoření dílců s konstantní i proměnnou tloušťkou stěny. Princip spočívá v přitlačování přístřihu plechu na tvárnici (obr. 6), která odpovídá dutině tvářené součásti, pomocí tlačené kladky. Polotovár je přitlačován k čelu tvárnice příložkou pomocí pinoly koníku. Tvárnice upnutá ve vřeteníku vykonává rotační pohyb, který dále přenáší třecí sílu na polotovár. Stroj pro rotační tlačení má podobnou konstrukci jako běžný soustruh.

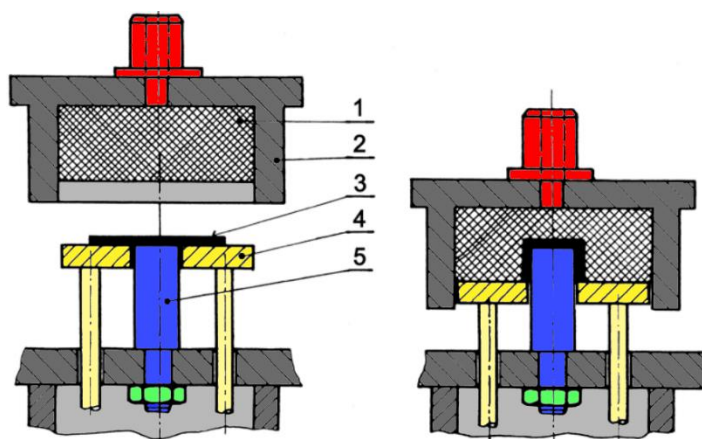


Obr. 6 Schéma kovotlačení [11]

Rozlišujeme kovotlačení ruční a strojní. Ruční způsob vyžaduje velkou zručnost obsluhy stroje, ale také nižší pořizovací náklady. Strojní způsob dovoluje automatizovanou výrobu speciálními nástroji, které vykonávají více základních operací na jedno upnutí. Nevýhodou kovotlačení je nízká produktivita, riziko vzniku trhlin a nízká kvalita povrchu.

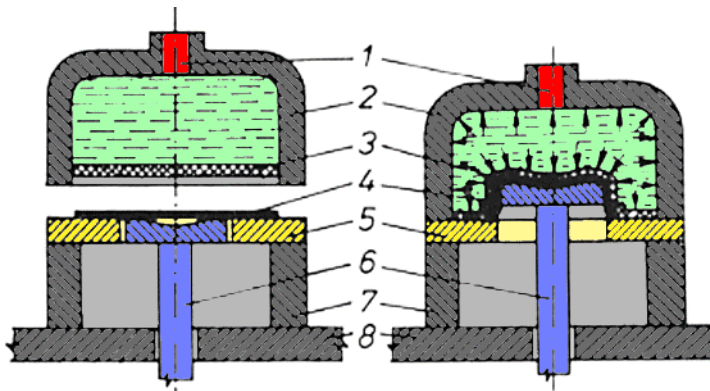
- Nekonvenční tažení – tato technologie je také známá jako tažení nepevnými nástroji. Tažník bývá pevnou kovovou částí nástroje stejně jako u konvenčního tažení, ale tažnice a často i přídržovač jsou nahrazeny elastickým nepevným médiem, např. kapalinou nebo elastomery. Konvenční ocelová tažidla jsou dražší a jejich výroba i případná úprava je časově mnohem náročnější než u nepevných tažidel. V automobilovém a leteckém průmyslu je často potřeba rychle vyzkoušet nový typ konstrukce vyrobením pár kusů různých výtažků, které bývají rozměrné a výroba pevného nástroje je tedy výrazně neekonomická. V těchto případech je mnohem výhodnější použití tažení nepevným nástrojem. Při tváření nepevnými nástroji navíc nedochází k mechanickému poškození povrchu a polotovaru je neustále přídržován elastickým médiem.

Mezi metodami využívajícími elastomery je pro hluboké tažení nejvhodnější systém Marform obr. 7. Tento způsob kombinuje klasické tažení s přídržovačem a tažení elastomery. Horní část nástroje je tvořena kontejnerem 2 vyplněným jednotlivými elastomernými deskami 1, které je možno při opotřebení vyměnit. Spodní část se skládá z pevného tažníku 5, přídržovače 4 a pohybující se základní desky 6. Polotovar 3 se nachází mezi horní a spodní částí.



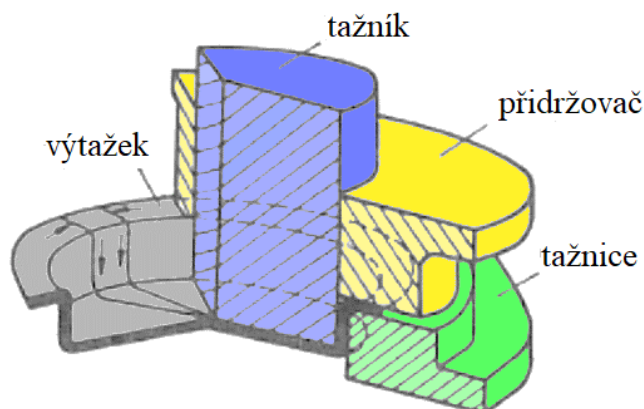
Obr. 7 Systém Marform [3]

Systémem využívající kapalinu je označován jako Hydroform obr. 8. Tento způsob tažení využívá tlakové komory 2 vyplněné kapalinou a uzavřené pryžovou membránou 3. U tohoto systému dochází k pohybu nejen základní desky 8, která přisouvá přídržovací desku 5, ale i samotného tažníku 6. Přístříh 4 je deformován pohybem tažníku, který jej táhne do vaku s kapalinou.



Obr. 8 Systém Hydroform [3]

- Konvenční tažení – pro výrobu součástí tímto způsobem je použito pevného nástroje – tažidla obr. 9. Přístříh je vtahován tažníkem do pevné tažnice, čímž získává prostorový tvar. Průměr přístříhu se postupně redukuje, což způsobuje pěchování polotovaru, a to může způsobit zvlnění taženého přístříhu. Tento jev potlačíme použitím přídržovače, který přitlačuje polotovaru k tažnici.



Obr. 9 Tažidlo [3]

Výroba svařováním mikroplazmou je vhodná pro hromadnou výrobu, ale zahrnuje velké množství přípravných operací, které výrazně zvyšují celkovou cenu produkce. Samotné plazmové svařování vyžaduje rovněž vysoké provozní náklady. Kovotlačení také není vhodné, zejména kvůli nízké produktivitě a kvalitě povrchu. U metody nekonvenčního tažení Marform dochází při hlubokém tažení ke značnému opotřebení elastomerových desek, proto musí být následně často měněny. Metoda Hydroform je vhodnější pro hluboké tažení než předešlá varianta, nicméně z pohledu produktivity výroby není příliš efektivní pro sérii 30 000 kusů.

Jako jasná volba se tedy po zhodnocení charakteru součásti a objemu výrobní série jeví konvenční tažení. Pro dosažení co nejkratšího času potřebného ke zhotovení výtažku lze použít postupový nástroj obr. 10, který umožňuje provést jednotlivé operace s co nejnižšími časovými prodlevami mezi nimi.



Obr. 10 Postupový nástroj [13]

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A TAŽENÍ [14]

Zadaná nádoba bude tedy tažena z velmi tenkého plechu 0,3 mm z korozi-vzdorné oceli značené jako ČSN 17 240. Před samotným tažením je potřeba nejprve vyrobit vhodný polotovár. Tento přístřih může být například vypálen laserem nebo plazmou. V tomto případě bude zhotoven stříháním v pevném nástroji ze svitku plechu, aby byl zvolený stroj pro tváření více využit. Po vystřížení následuje tažná operace, případně více tažných operací u hlubokých či složitých dílců. Na obr. 10 lze vidět přehled operací při výrobě hlubokého výlisku.

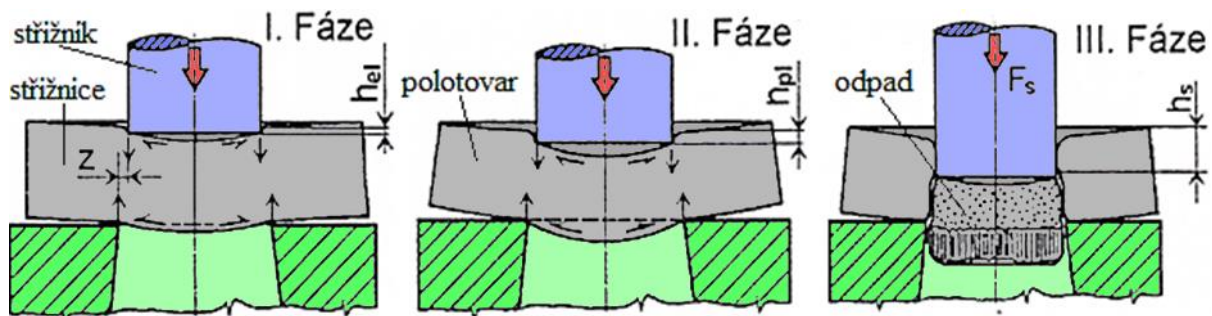


Obr. 11 Přehled operací [14]

2.1 Stříhání [5]

Stříhání patří mezi základní způsoby dělení materiálu. Samotné ustřížení materiálu je způsobeno smykovým napětím vytvořeným relativním pohybem dvou břitů, které mezi sebou svírají střížnou vůli. V případě dělení s uzavřenou křivkou stříhu bývá uváděna spíše střížní mezera, která odpovídá polovině vůle.

V první fázi (obr. 12), kdy střížník dosedá na povrch polotovaru a dále vniká do povrchu, dochází pouze k elastické deformaci, která je nežádoucím jevem. Její velikost je závislá na mechanických vlastnostech polotovaru. Čím tvrdší a křehčí má charakteristiku, tím menší vniknutí břitů je potřeba. Obecně se pohybuje mezi 5 až 8 % tloušťky plechu. Ve druhé fázi dosáhne napětí vyšší hodnoty než mez kluzu děleného materiálu, čímž dochází k plastické deformaci. Hloubka plastického vniknutí odpovídá hodnotě 10 až 25 % tloušťky stříhaného materiálu. Při třetí fázi dosahuje napětí meze pevnosti ve smyku a vzniknou trhliny, které se rychle šíří, dokud nedojde k oddělení dílce. Postup trhliny je převážně závislý na střížné vůli mezi břity střížného nástroje.



Obr. 12 Průběh stříhání [5]

2.1.1 Rozmístění přístřihů [16], [17]

Účelem návrhu rozmístění stříhaných součástí na výchozím polotovaru je maximální využití materiálu, co nejjednodušší manipulace s plechem, případně dosažení speciálních technologických požadavků. Ve velkosériové výrobě je vhodnější používat svitky plechu než jednotlivé tabule plechu, neboť svitek plechu umožňuje automatizaci jeho podávání. U menších sériích bývá využíváno tabulí plechu, které se pomocí tabulových nůžek dělí na pásy.

Mezi každými výstřížky se doporučuje nechat můstek (obr. 13) a boční okraj, aby vystříhnutí součásti nezdeformovalo vedlejší součást nebo zbytek pásu plechu, což by následně mohlo způsobit zaseknutí polotovaru při dalším posouvání. Jejich šířka se odvíjí od tloušťky plechu, druhu materiálu, tvaru a rozměru výstřížku. V technické praxi jsou tyto šířky odpadu stanoveny pomocí směrnice příloha 2.

Vhodná šířka plechu je dána vztahem:

$$P = D_0 + 2 \cdot f \quad [\text{mm}]. \quad (2.1)$$

Délka kroku pro posunování plechu je dána vztahem:

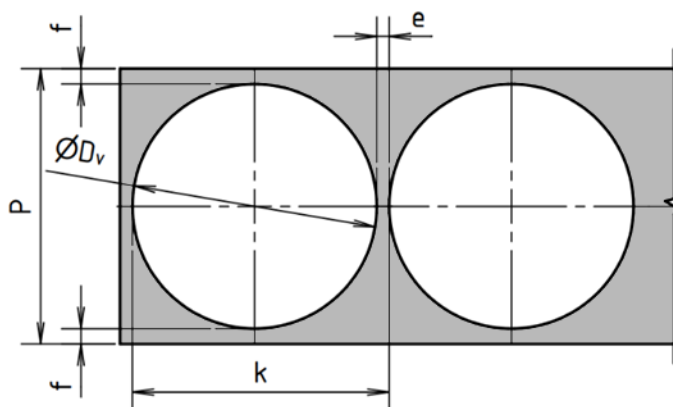
$$k = D_0 + e \quad [\text{mm}], \quad (2.2)$$

kde: D_0 – průměr výstřížku [mm],

e – můstek [mm],

f – šířka okraje [mm].

Při návrhu je vhodné zohlednit různé varianty rozmístění výstřížku a zvolit variantu, která umožňuje co největší využití polotovaru. Zároveň je také nutno zohlednit, jakým způsobem ovlivní uvažované varianty celkovou technologii výroby. Hospodárnost rozmístění přístřihů u svitků vyjadřuje podíl využití ku celkové ploše na opakujícím se úseku pásu.



Obr. 13 Rozmístění přístřihů [16]

Součinitel využití materiálu je dán vztahem:

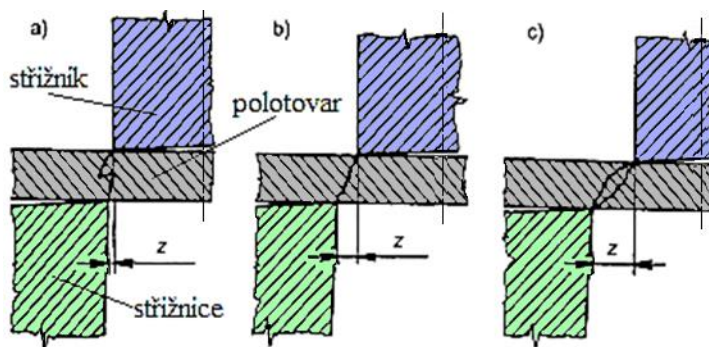
$$\eta = \frac{S_v}{S_u} \cdot 100 \quad [\%], \quad (2.3)$$

kde: S_v – plocha výstřížku [mm²],

S_u – plocha potřebného úseku svitku [mm²].

2.1.2 Mezera a funkční rozměry nástroje [5], [15], [16], [17]

Střížná mezera v prostoru mezi střížníkem a střížnicí má podstatný vliv na kvalitu střížné plochy, trvanlivost břitů a velikost střížné síly. Její velikost se zásadně liší i podle zvoleného způsobu stříhání. Při použití příliš malých (obr. 14a) nebo velkých mezer (obr. 14c) nedochází k přímému protnutí smykových napětí, čehož důsledkem je rozšíření pásma otěru na větší část plochy, která má po oddělení velkou drsnost povrchu. Pokud je mezera správně navržena (obr. 14b), trhliny vznikající během procesu se setkají a umožní plynulé odtržení.



Obr. 14 Střížná mezera [17]

Optimální velikost střížné mezery závisí zejména na mechanických vlastnostech polotovaru a jeho tloušťce. Dále je také ovlivněna i požadavkem na kvalitu střížné plochy. Stanovit střížnou mezera lze za použití technologických diagramů pro daný materiál nebo výpočtem.

Střížná mezera pro plechy $s \leq 3$ mm se určí podle vztahu:

$$z = c \cdot s_0 \cdot \sqrt{0,1 \cdot \tau_s} = c \cdot s_0 \cdot \sqrt{0,08 \cdot R_m} \quad [\text{mm}], \quad (2.4)$$

kde: c – koeficient závislý na přesnosti stříhu, volí se v rozmezí 0,005 až 0,035 [–],

s_0 – tloušťka plechu [mm],

R_m – mez pevnosti v tahu [MPa].

Při stanovení funkčních rozměrů střížníku a střížnice je nejprve nutno určit, o jaký typ stříhání se jedná:

- Děrování – tato varianta označuje případ, kdy dochází k vytvoření otvoru v součásti a odstřižený materiál se stává odpadem. Základní částí nástroje, která je vyrobena na daný rozměr, je střížník. Otvor ve střížnici je následně zvětšen o dvojnásobnou hodnotu střížné mezery ‘z’.
- Vystříhování – tato varianta označuje případ, kdy dochází k vystřížení obrysu součásti a odstřiženým materiálem se stává samotný dílec. Základní částí nástroje, která je vyrobena na daný rozměr, je střížnice. Velikost střížníku je následně zvětšena o dvojnásobnou hodnotu střížné mezery ‘z’.

Při stříhání většího počtu kusů dochází k opotřebení nástroje, kdy rozměr střížníku zmenšuje a rozměr střížnice se naopak zvětšuje. Aby bylo umožněno použití nástroje i při jeho částečném opotřebení, využívá se při návrhu předepsaná výrobní tolerance součásti dle přílohy 3. Nutno je také zohlednit výrobní toleranci samotného nástroje.

Pro případ vystříhování, kdy při opotřebení dochází ke zvětšení rozměru součásti, je *rozměr střížnice a střížníku* dán vztahem:

$$A_e = \left(A_j - \frac{P_o}{2} \right)^{+\delta_e} \quad [\text{mm}], \quad (2.5)$$

$$A_k = \left(A_j - \frac{P_o}{2} - v + \delta_k \right)_{-\delta_k} \quad [\text{mm}], \quad (2.6)$$

kde: A_j – jmenovitý rozměr součásti [mm],

P_o – přípustná míra opotřebení [mm],

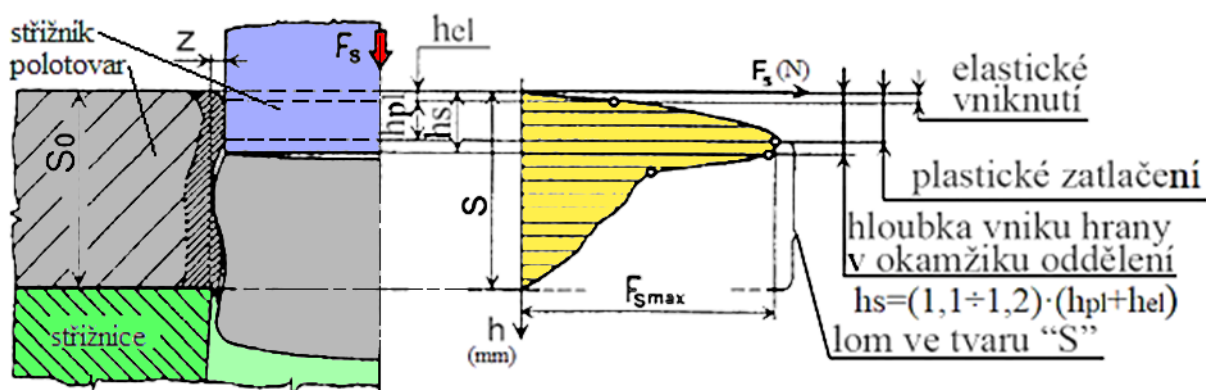
δ_e – výrobní tolerance střížnice [mm],

v – střížná vůle [mm],

δ_k – výrobní tolerance střížníku [mm].

2.1.3 Síla a práce [5], [16]

Střížná síla se mění během celého procesu v závislosti na hloubce vniku břitu do materiálu. Její průběh je znázorněn na obr. 15. K počátečnímu elastickému vniknutí je potřeba výrazně menší síla než k následné plastické deformaci. Plynulý nárůst je způsoben lokálním deformačním zpevněním (plastické zatlačení). Po dosažení maxima dochází k lomu ve tvaru ‘S’ křivky, který je doprovázen výrazným poklesem síly. Otěr vzniklých ploch snižuje rychlost poklesu v závěrečné fázi střížného procesu.



Obr. 15 Průběh střížné síly [5]

Určení střížní síly je důležité z pohledu dimenzování nástroje a volby tvářecího stroje. Její velikost je nejvíce ovlivněna otupením nástroje při větších sériích, mechanickými vlastnostmi a tloušťkou polotovaru, rozměry výrobku a velikostí vŕle. V praxi se ke snížení síly používají konstrukční úpravy na střížníku nebo střížnici – zkosení, odstupňování apod.

Vztah pro výpočet *střížná síly*:

$$F_s = k_o \cdot \tau_s \cdot S = k_o \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l \cdot s_0 \quad [N], \quad (2.7)$$

kde: k_o – součinitel otupení, nejčastěji 1,1 až 1,3 [–],

l – délka střížné hrany [mm].

Práce, která byla vykonaná ke stříhu, je zobrazena vyšrafovanou oblastí pod křivkou průběhu síly na obr. 15. Pro zjednodušení lze plochu grafu aproximovat na plochu poloviny elipsy.

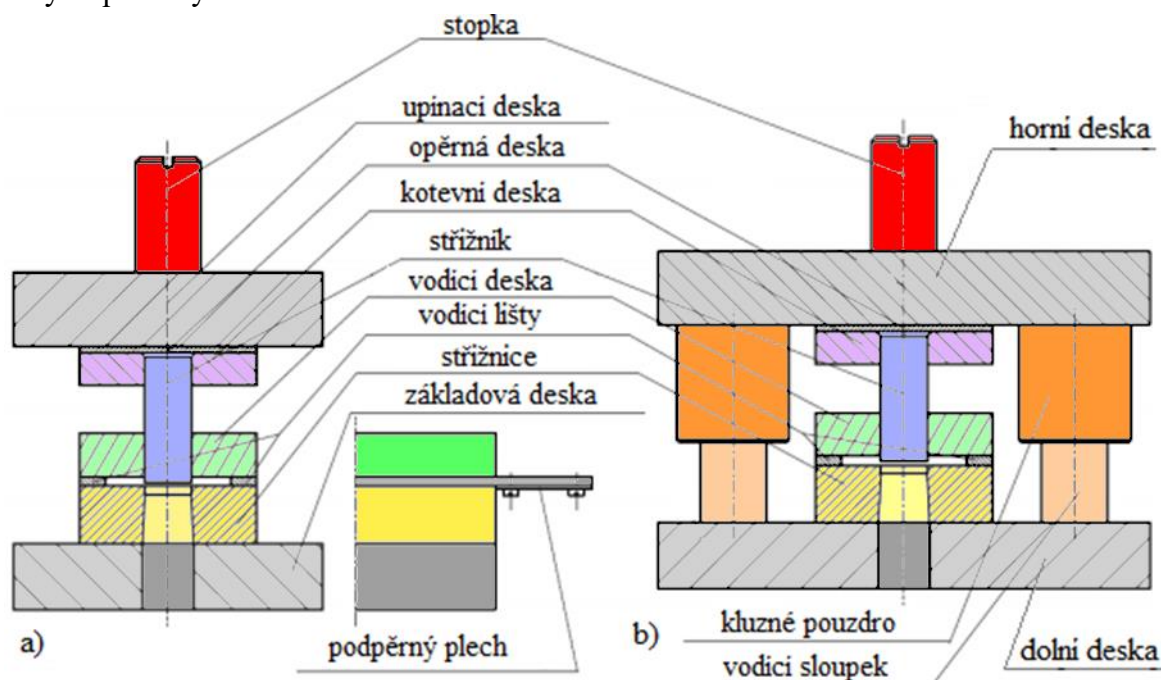
Střížná práce je tedy počítána dle vztahu:

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot F_s \cdot k_1 \cdot s_0 \quad [J], \quad (2.8)$$

kde: k_1 – koeficient hloubky vniknutí nože, pro ocel vyšší pevnosti $s < 1$ je 0,5 [–].

2.1.4 Nástroj [5], [18]

Velká část stříhadel se skládá z normalizovaných součástí, díky čemuž je zrychlen jejich vývoj a výroba se stává mnohem levnější i přesnější. Schéma jednoduchého jednooperačního střížného nástroje zobrazuje na obr. 17a variantu bez vodícího stojánku a na obr. 17b variantu s vodícím stojánkem. Horní a dolní deska vodícího stojánku umožňuje přesné vedení střížné skříně (dolní část stříhadla) a upínací hlavice (horní část stříhadla) pomocí vodících sloupků v kluzných pouzdrách. Při vysokých rychlostech stříhání bývají kluzná pouzdra nahrazena valivými pouzdry.



Obr. 16 Jednoduché jednooperační stříhadlo [19]

Stříhání přístřihů pro hluboké tažení nevyžaduje vysokou přesnost a kvalitu střížné plochy, proto lze použít i nástroje bez vodící desky, které jsou výrobně jednodušší a tím i levnější.

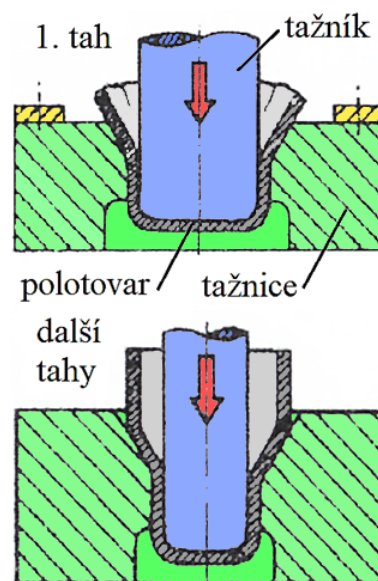
Posunování polotovaru může být provedeno ručně, v případě pásů plechu, nebo automaticky pomocí odvíjecí linky u svitků. Taková linka se skládá z odvíjecího, rovnacího a podávacího zařízení. Může být také ale doplněna mazacím zařízením.

2.2 Tažení [1], [3], [5]

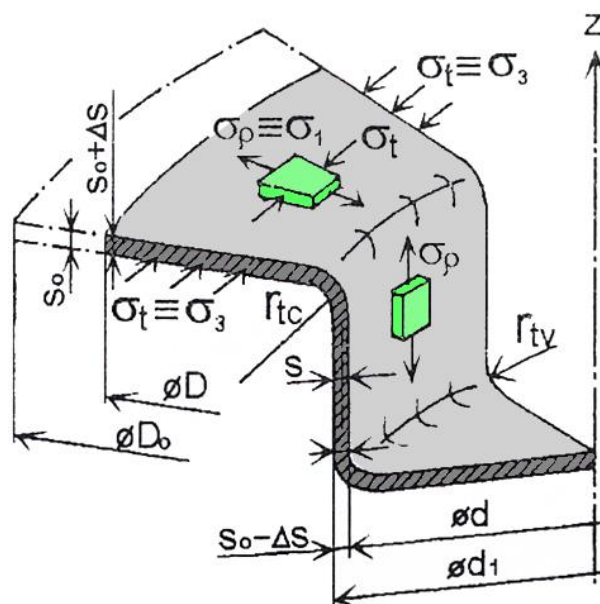
Tažení (obr. 17) plechu označuje technologický proces, během kterého dochází k prostorovému ohybu rovinného přístřihu plechu v jedné nebo více tažných operacích. Jejich počet se odvíjí hlavně od poměru mezi rozměry původního polotovaru a rozměry výsledného dílce. Změnu tvaru přístřihu způsobuje tažník, který na něj působí tlakem a vtahuje jej přes tažnou hranu do otvoru tažnice. Výrobek může získat podobu od jednoduchých rotačních součástí až po složité nerotační tvary.

Podle základního rozdělení rozlišujeme tažení se zeslabením stěny a tažení bez zeslabení stěny. Metoda se zeslabením stěny se běžně skládá ze dvou operací. Nejprve dochází k vtahování plechu mezi tažník a tažnici s větší mezerou, než je tloušťka výchozího polotovaru, a následně s menší mezerou. Tímto způsobem se výtažek stává výrazně hlubším na úkor redukce tloušťky své stěny. Nejznámějším příkladem součásti vyrobené se zeslabením stěny jsou nábojnice.

Výrazně častěji se vyskytující metodou je již zmiňované tažení bez zeslabení stěny vyobrazené na obr. 18. V úvahách o tomto způsobu pracujeme se základním předpokladem, že tloušťka polotovaru ' s_0 ' se během procesu nemění. Ve skutečnosti však i při dodržení větší tažné mezery dochází ke značné změně tloušťky ' Δs ' plechu. V průběhu pozorujeme intenzivní pěchování materiálu v oblasti příruby vlivem tečného napětí, které způsobuje zvlnění. Tento jev lze výrazně omezit použitím přidržovače, který na polotovar působí dalším tlakovým napětím. Tímto dochází k výraznému prodloužení ve směru tahu a konec příruby se stává tlustším až o 30 % v závislosti na stupni tažení. Ve válcové části výtažku existuje pouze jednoosá tahová napjatost. Naopak v oblasti kolem ohybu u dna výtažku působí prostorová nestejnoroďá napjatost, která způsobuje ztenčení stěny. V tomto místě nejčastěji dochází k vytvoření trhlin a případně až k utržení celého dna výtažku. Při víceoperačním tažení bývá zeslabeno i samotné dno.



Obr. 17 Víceoperační tažení bez přidržovače [5]



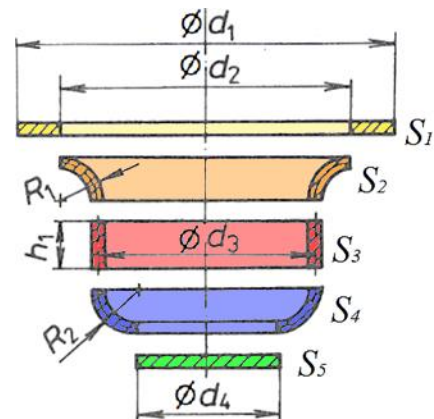
Obr. 18 Napjatost při tažení bez přidržovače [5]

2.2.1 Velikost polotovaru a odstupňování tahů [1], [2], [3], [5], [6], [19]

Při určování velikosti polotovaru pro výtažky bez ztenčení stěny je zákon o zachování objemu zjednodušen na zákon zachování ploch. Výpočet velikosti přístřihu pak vychází z rovnosti povrchů výtažku a přístřihu. U tenkých plechů se počítá s vnějšími rozměry výtažku, ale u tlustých plechů se doporučuje uvažovat střední rozměr tloušťky plechu. Okraje výtažků bývají po tváření nerovné a různě deformované vlivem plošné anizotropie, a proto je potřeba polotovary zvětšit o přídavek na odstřížení cípatého okraje, který činí 3 % a dále 1 % za každou další tažnou operaci.

U tažení jednoduchých rotačních součástí lze velikost přístřihu určit nomogramem pomocí vstupních rozměrů hloubky a průměru požadovaného výtažku. Diagram ve uveden v příloze 4.

Při určování velikosti polotovaru výpočtem je potřeba výtažek nejprve rozdělit na základní části typu kotouč, konkávní prstavec, konvexní prstavec atd. Na obr. 19 je znázorněna rotační součást složená z kotouče o průměru 'd₄', konvexní prstavec o poloměru 'R₂', válce o středním průměru 'd₃' a výšce 'h₁', konkávního prstence o poloměru 'R₁', rovinného prstence o vnějším průměru 'd₁' a vnitřním průměru 'd₂'. Použitím vzorců je určen obsah jednotlivých ploch. Jejich součet zvětšený o přírůstek na ostřížení se díky zákonu o zachování ploch rovná potřebné ploše přístřihu.



Obr. 19 Rozdělení ploch [3]

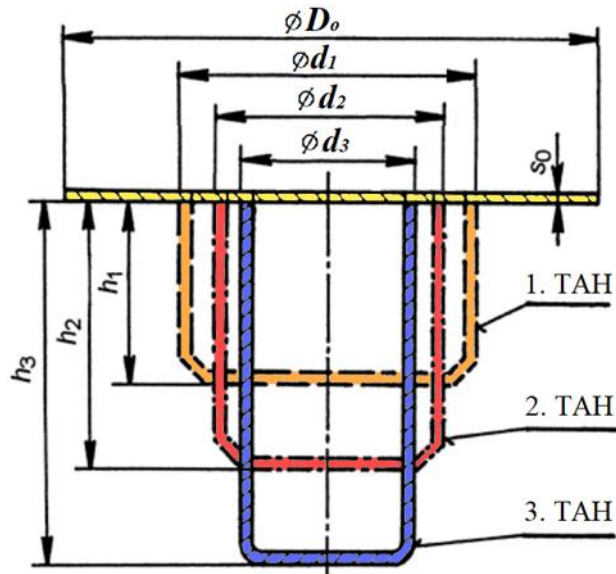
V dnešní době se jako nejvhodnější řešení jeví spočítání plochy výtažku pomocí CAD softwaru.

Průměr přístřihu se určí vztahem:

$$S_p = \frac{\pi \cdot D_o^2}{4} \Rightarrow D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}} \quad [\text{mm}], \quad (2.9)$$

kde: S_p – plocha přístřihu [mm²].

S ohledem na stabilitu tažného proces existují omezení pro rozměry a tvary součástí, které lze zhotovit v jedné operaci. Pokud tato kritéria výrobek nesplňuje, je potřeba zařadit více tažných operací. Obr. 20 znázorňuje jejich odstupňování, kdy v prvním tahu získáme výtažek o výšce 'h₁' redukci průměru přístřihu 'D_o' na průměr 'd₁' atd. Protože se plech tvářením zpěvňuje, dochází ke zmenšování způsobilosti materiálu pro tvářením za studena. To se projeví snížením schopnosti redukce průměru v každé další operaci. Případně lze využít mezioperační žíhání pro obnovu původní struktury, která umožňuje opět využít maximální možnou redukci. Stupeň redukce průměru při tažení se označuje jako součinitel tažení 'm' a bývá vyjádřena pomocí poměru výchozího průměru polotovaru ku průměru výtažku.



Obr. 20 Odstupňování tažných operací [19]

Analogicky je určován součinitel tažení i pro další operace:

$$m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}} \quad [-], \quad (2.10)$$

kde: d_i – průměr výtažku v daném tahu [mm],

d_{i-1} – výchozí průměr součásti [mm].

Na jeho velikost má vliv celá řada faktorů – druh a kvalita plechu, geometrie funkčních částí nástroje, podmínky tažení atd. Nejvíce je ale ovlivněn poměrnou tloušťkou polotovaru 's_o/D_o', kterou je nutno se řídit při volbě součinitele tažení v Tab. 2.

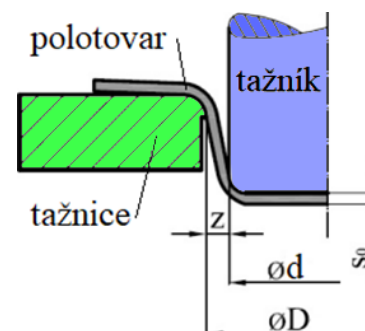
Tab. 2 Součinitel tažení. [2]

Součinitel tažení m_i	Poměrná tloušťka materiálu: $\frac{s_0}{D_o} \cdot 100 [-]$					
	2,0 - 1,5	1,5 - 1,0	1,0 - 0,6	0,6 - 0,3	0,3 - 0,15	0,15 - 0,08
m_1	0,48-0,50	0,50-0,53	0,53-0,55	0,55-0,58	0,58-0,60	0,60-0,63
m_2	0,73-0,75	0,75-0,76	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,80	0,80-0,82
m_3	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,80	0,81-0,82	0,81-0,82	0,80-0,84
m_4	0,78-0,80	0,80-0,81	0,81-0,82	0,80-0,83	0,83-0,85	0,85-0,86
m_5	0,80-0,82	0,82-0,84	0,84-0,85	0,85-0,86	0,86-0,87	0,87-0,88

Po dosažení požadovaného průměru výtažku je vhodné provést rozvolnění tahů, které spočívá v úpravě jednotlivých součinitelů tažení. Úpravou rozumíme jejich rovnoměrném zvýšení u předchozích operací. Výsledkem je bezpečnější průběh tažení.

2.2.2 Mezera [1], [5], [19]

Při tažení bez ztenčení stěny (obr. 21) je potřeba navrhnout mezeru mezi tažníkem a tažnicí širší, než je tloušťka samotného plechu, aby jí prošel i napěchovaný okraj. Dále také musí být uvažováno s výrobní tolerancí polotovaru. V případě, že je příliš velká, dochází k tvorbě sekundárních vln na stěně výtažku. V opačném případě zase hrozí zadírání plechu, což zvyšuje tažnou sílu a může dojít až k utržení dna. Mezera se mezi jednotlivými tahy postupně zmenšuje až na samotnou tloušťku plechu v případě kalibrace.



Obr. 21 Tažná mezera [1]

Pro první tah se *mezera* volí dle vztahu:

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s_0 \quad [\text{mm}]. \quad (2.11)$$

Pro další tahy:

$$z_i = (1,1 \div 1,2) \cdot s_0 \quad [\text{mm}]. \quad (2.12)$$

Pro kalibraci:

$$z_k = (1,0 \div 1,1) \cdot s_0 \quad [\text{mm}]. \quad (2.13)$$

2.2.3 Použití přídržovače [1], [3], [5], [19]

U mělkých výtažků z tlustého plechu většinou není nutné použít přídržovač, nicméně u hlubokých výtažků je to nutností. Působí na polotovar a přitlačuje jej k svrchní části tažnice, čímž zabraňuje jeho zvlnění. Čím je plech tenčí a součinitel tažení nižší, tím vyšší je riziko vzniku vln v přírubě. Obecně se plechy do tloušťky 0,5 mm táhnou s přídržovačem vždy.

Nutnost použití přídržovače v prvním tahu lze určit dle vztahu:

$$\alpha = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad [-], \quad (2.14)$$

kde: Z – materiálová konstanta, pro hlubokotažnou ocel má hodnotu 1,9 [-].

Dále se ověří *platnost podmínky*:

$$\alpha \geq \frac{100 \cdot d_1}{D_0} \quad [-], \quad (2.15)$$

kde: d_1 – průměr výtažku po prvním tahu.

Pokud je podmínka (2.15) splněna, je nutné použití přídržovače v prvním tahu. V dalších tažných operacích se používá, pokud součinitel tažení ' m_i ' nabývá nižší hodnoty než 0,9.

Síla, kterou je polotovár svíráán během tažení, nesmí být příliš velká, aby dovolovala vtahování plechu do tažnice. Zároveň také ale musí být dostatečně velká, aby zabraňovala vzniku zvlňnění přírubby.

Přidrřovací sílu lze vyjádřit jako:

$$F_p = S_\varepsilon \cdot p \quad [\text{N}], \quad (2.16)$$

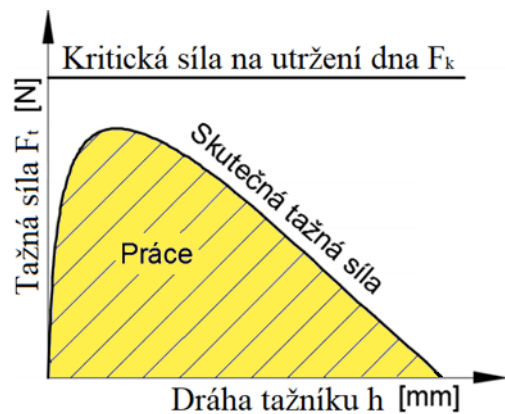
kde: S_ε – činná plocha přidrřovače [mm^2],

p – tlak přidrřovače [MPa].

U korozivzdorných ocelí se doporučuje tlaku v rozsahu $2 \div 5 \text{ MPa}$ v závislosti na tloušťce plechu. Jedná se spíše ale o orientační hodnoty. V praxi bývá nastaven experimentálně podle potřeby.

2.2.4 Síla a práce [1], [3], [5], [11]

Skutečná tažná síla vyjadřuje sílu, kterou musí být tvářený plech vtahován do tažnice, aby došlo k vytvoření trvalých plastických deformací. Skládá se ze síly potřebné k překonání tření, ohybu na tažné hraně a deformaci přírubby. Její přibližný průběh je znázorněn na obr. 22. Maximální hodnoty dosahuje v hloubce tahu, která odpovídá součtu tloušťky plechu, poloměru zaoblení tažnice a tažníku. Ve skutečnosti se ale může stát, že její průběh bude výrazně odlišný, neboť tato síla je závislá na spoustě faktorů. Jedním z nich je např. nedodrření vhodné tažné mezery.



Obr. 22 Průběh tažné síly [1]

K urychlení výpočtu se v praxi používá zjednodušeného empirického vzorce, který určuje maximální kritickou sílu. Tato kritická síla vyjadřuje mezní hodnotu, při které by došlo k utrření dna výtažku. Je tedy zaručeně vyšší než potřebná tažná síla.

Kritická síla se počítá dle vzorce:

$$F_k = C \cdot \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot Rm \quad [\text{N}], \quad (2.17)$$

kde: C – součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení, tab. 3 [–],

d – průměr výtažku [mm].

Tab. 3 Vybrané hodnoty součinitele C . [1]

m_i	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80
C	1,00	0,86	0,72	0,60	0,40

Pro stanovení potřebné síly tvářecího stroje se v případě tažení ve sdruženém nástroji počítají ještě i další operace. Při výběru lisu je potřeba součet těchto sil ještě zvýšit alespoň o 30 %, čímž se zaručí dostatečná bezpečnost.

Práce, která byla spotřebována k provedení tahu, je zobrazena vyšrafovanou oblastí pod křivkou průběhu síly na obr. 22. Pro její přibližný výpočet lze využít vzorec pro upravený tvar plochy v grafu.

Tažná práce je tedy počítána dle vztahu:

$$A_t = F_k \cdot K \cdot h \quad [\text{J}], \quad (2.18)$$

kde: K – součinitel zaplnění plochy, obvykle v rozsahu $0,6 \div 0,8$ [–],

h – výška výtažku [m].

2.2.5 Mazání a rychlost [1], [3], [19]

Mazivo je důležitou součástí spousty technologických procesů tváření. Od jeho vlastností se odvíjí životnost nástrojů, povrchové vlastnosti tvářených materiálů a velikost potřebné síly. Na povrchu kovů vytváří jemný, celistvý a homogenní mazací film, která musí vydržet i při vysokých tlacích. Musí být lehce použitelné, odstranitelné z povrchu po tváření, tepelně stálé, fyziologicky a ekologicky nezávadné. Volba vhodného maziva pro tažení závisí na velikosti tvářecích tlaků, provozní teplotě (rychlosti tažení), pracnosti při nanášení a odstraňování.

Při tažení korozivzdorných ocelí je mazání velice důležité. Ztráty třením mohou představovat zvětšení síly až o 30 %. Zabraňuje přímému kontaktu mezi plechem a tažnicí, čímž snižuje tření, a tím i riziko zadírání. Z kapalných maziv jsou pro tažení nejvhodnější syntetické oleje obohacené o velké množství aditiv, které zlepšují únosnost mazací vrstvy a viskozitu maziva. Pro nejsložitější tahy lze použít tuhé mazivo ve formě grafitu. Ten se ale následně velmi špatně odstraňuje z hotové součásti.

Rychlost tažení ovlivňuje třecí poměry během procesu. Při vysokých rychlostech dochází ke snižování dovoleného stupně tažení, a proto by mohlo dojít k porušení výtažku. Její velikost se volí podle pevnosti tvářeného materiálu. U korozivzdorných ocelí by tedy tažná rychlost neměla překročit hranici $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

2.2.6 Nástroj [1], [3], [5], [18], [19]

Při navrhování konstrukce tažidla je potřeba znát technologické parametry tažení, druh použitého stroje, mechanické vlastnosti taženého materiálu a jeho tloušťku. Teprve až s těmito znalostmi lze zkonstruovat nástroj. Tažidla jsou rozdělena podle různých kritérií do mnoha skupin:

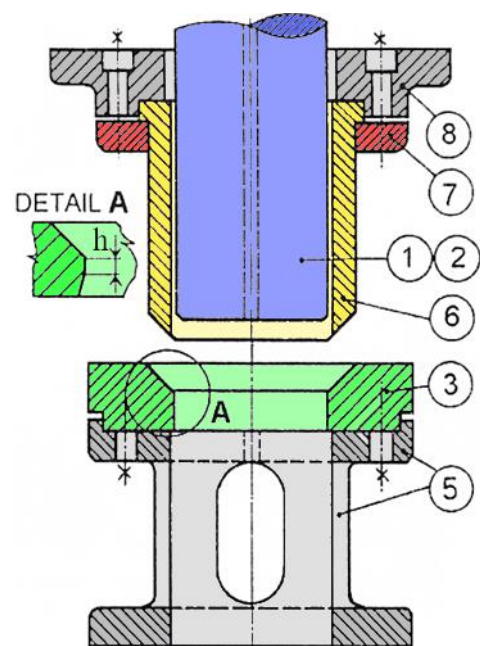
- bez přidržovače, s přidržovačem
- pro první tah, pro další tahy, pro poslední tah
- jednoduché, sdružené, postupové tažidlo
- pro jednočinný, dvojčinný, trojčinný lis.

V malosériové výrobě se často tabule plechu nejprve nadělí na jednotlivé přístříhy, které se následně táhnou v jednoduchých tažidlech. Čím je ale výrobní série větší, tím je výhodnější využít například postupové sdružené nástroje.

Příklad jednoduchého tažidla s přidržovačem pro poslední tah je znázorněn na obr. 23. Hlavními funkčními částmi jsou tažník (1), tažnice (3) a zkosený přidržovač (6). Ten je vystředěn upínací deskou (8) a upnut kroužkem (7) pomocí šroubů se zápusťnou hlavou. Tělo tažnice (5) slouží pro upnutí tažnice a je dostatečně vysoká, aby umožnila vytažení hlubokého výtažku.

U složitějších tažidel můžeme dále najít vyhazovače pro vyzdvižení výtažku zpět nad tažnici, vodící sloupky ve vodících pouzdech pro zaručení přesného pohybu mezi horní a dolní částí tažidla. Pro upnutí do beranu lisu se používá stopka, která je přímo součástí tažníku, nebo stopka upnutá v upínací desce. U rozměrných nástrojů bývá nástroj připevněn do stroje pomocí upínek.

Vzhledem k velké variabilitě tažených součástí je většina částí tažného nástroje nenormalizovaná.



Obr. 23 Tažidlo pro poslední tah [5]

Vlastnosti funkčních částí:

- Tažnice – jedná se o nejdůležitější část tažidla. V případě tažení rotačních dílců má prstencový tvar a může být celistvá, nebo dělená s vložkou tažnou hranou. Její geometrie výrazně ovlivňuje celý proces. Otvor má průměr daný součtem průměru tažníku a tažné mezery. Zaoblení tažné hrany ovlivňuje velikosti napětí v polotovaru, velikost potřebné tažné síly a riziko vzniku vad při tažení. Proto je nutno funkční plochu leštit na nízkou hodnotu drsnosti. Zvětšením poloměru se dosahuje snazšího tažení, což umožňuje zvětšit stupeň tažení na jednu operaci. Současně se však zmenšuje plocha pod přídržovačem, čímž dojde ke zvýšení pravděpodobnosti vzniku sekundárního zvlnění.

Doporučené zaoblení tažnice pro první tah:

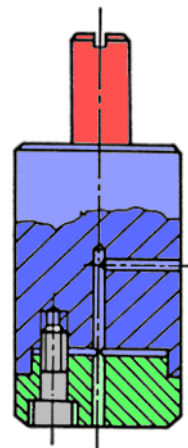
$$r_{tc1} = (8 \div 10) \cdot s_0 \quad [\text{mm}]. \quad (2.19)$$

Doporučené zaoblení tažnice pro další tahy:

$$r_{tci} = (6 \div 8) \cdot s_0 \quad [\text{mm}]. \quad (2.20)$$

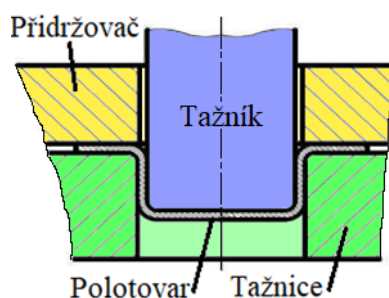
Konstrukční provedení jsou různá. Hlavním faktorem při volbě jejich tvaru je požadovaný směr vyhazování výtažku. Pokud chceme, aby propadávali spodem nástroje, mívají ostrou hranu ve spodní části. V případě, kdy se má vracet zpět nahoru, bývá volen kuželový výstupní otvor. Tento případ je znázorněn v detailu A obr. 23.

- Tažník – jedná se o element, jehož funkčními částmi je čelo, poloměr zaoblení a válcová část. Vnější průměr je současně vnitřní průměrem výtažku. Přechodové poloměry se volí zpravidla stejné jako na tažnici. Důležitým konstrukčním prvkem je odvodušňovací kanál (obr. 24), který zabraňuje vzniku podtlaku pod čelem při stahování výtažku. U postupových tahů je potřeba zkosit hranu pod úhlem 30° až 45°. Tato zkosená plocha se při dalších tazích využije pro přídržování. V poslední operaci odpovídá jeho zaoblení požadovanému zaoblení na výtažku. Pokud je tento poloměr příliš malý, je nutné použít další operaci – kalibrace. Pro tažení součástí velkých průměrů je vhodné použít dělené tažníky. Tažník je namáhán na vzpěr, ale často má tak velký průřez, že jej ani není potřeba kontrolovat.



Obr. 24 Tažník [19]

- Přídržovač – důvodem použití přídržovače je zamezení tvorby vln na polotovaru tím, že přitlačují plech na tažnici svou funkční plochou. V prvním tahu se používá rovinný prstencový přídržovač (obr. 25), v dalších tazích je prstencový přídržovač zkosen pod úhlem 30° až 45° (obr.23). Dosedací plocha pro přídržovač byla vytvořena tažníkem v předchozím tahu. Přídržovací síla může být vyvozena pružinou, pneumaticky nebo druhým beranem. Volba se odvíjí od možností tvářecího stroje.



Obr. 25 Přídržovač 1. tah [18]

Všechny zde zmíněné části tažidel jsou v kontaktu s vyráběnou součástí. Jelikož u nich chceme dosáhnout co nejvyšší životnosti, jsou vyráběny z nástrojových ocelí. Konkrétní doporučené materiály pro tyto části jsou ČSN 19 191, ČSN 19 436 nebo ČSN 19 573 zušlechťené na hodnoty mezi HRC 58 ÷ 63. Ostatní prvky bývají z konstrukčních ocelí ČSN 11 500 a ČSN 11 600. Základové desky jsou u hlubokých výtažků hodně vysoké, proto je vhodné je volit jako odlitky ze šedé litiny nebo jako svařence z konstrukčních ocelí třídy 11 vhodných ke svařování.

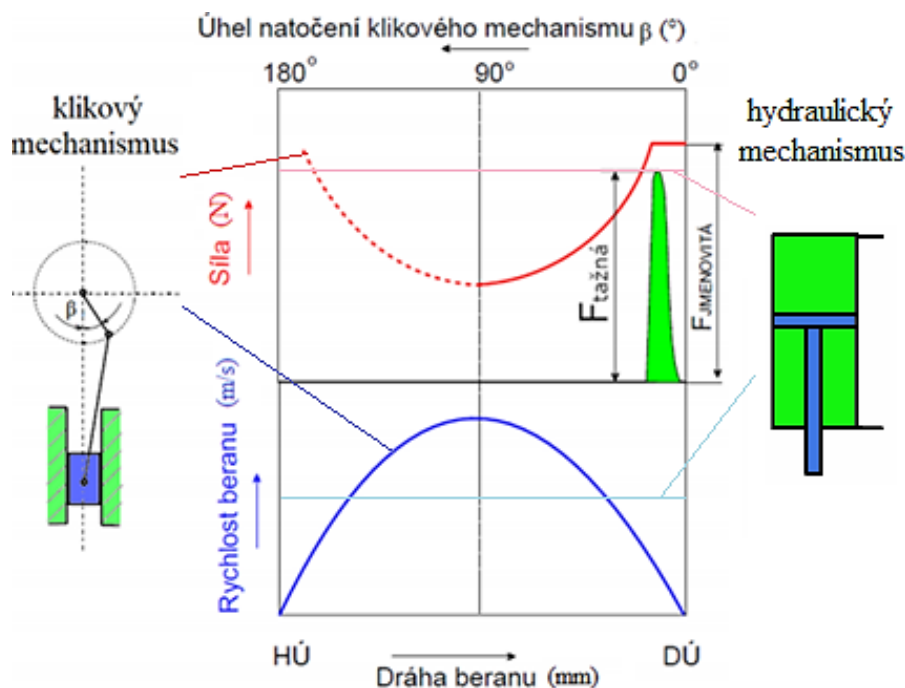
2.2.7 Stroj [20], [21]

Při výběru vhodného tvářecího stroje pro danou součást se musí uvažovat hlavně s počtem vyráběných kusů, rozměry dílce a velikost potřebné tvářecí síly. Pro volbu stroje je určující i vybavenost podniku či ekonomické hledisko. Dalším velice významným parametrem je počet jejich nezávislých pracovních částí:

- Jednočinné – jsou vybaveny pouze jedním beranem. Tento typ lisů je vhodný pro tažení tlustých plechů bez přidržovače. Pokud je potřeba využít přidržovač, musí být ovládán pružinami.
- Dvojčinné – jsou vybaveny dvěma nezávislými berany. Tento typ lisů je nejvhodnější pro hluboké tažení, protože kromě vnitřního tažného beranu je jejich součástí i vnější beran, který ovládá přidržovač. U některých strojů se nachází místo horního přidržovacího beranu spodní.
- Trojčinné – jsou vybaveny vnějším, vnitřním i spodním beranem.

Podle způsobu pohonu dělíme lisy pro hluboké tažení na:

- Hydraulické – pracují na základně poznatku o rovnoměrném šíření tlaku kapaliny všemi směry. Umožňují vyvodit obrovské síly až v řádech stovek MN. Jejich hlavní výhodou je konstantní síla a rychlost beranu, díky čemuž jsou často používány pro hluboké tažení tenkých plechů. Pracují klidně, bez otřesů a velkého hluku. Dále umožňují libovolné nastavení výšky zdvihu a tváření jmenovitou silou v každé fázi zdvihu. Kvůli potřebě vytvořit vysoké tlaky je konstrukce pohonu velice komplikovaná, což se promítne do pořizovací ceny stroje. Komplikovaná konstrukce také znamená složitější údržbu. Hydraulické lisy mají pomalý chod, kvůli kterému je produktivita práce menší než u mechanických lisů.
- Mechanické – pro hluboké tažení využívají klikový mechanismus, který pro pracovní zdvih umožňuje využít nejvýše čtvrtinu otáčky klikového hřídele. Jelikož se rychlost a síla beranu v každém okamžiku mění, hrozí u nich natržení výtazku. Schopnost lisu dosáhnout jmenovité síly až těsně před dolní úvratí je velice důležitým faktorem se kterým se musí počítat. Jejich zdvih je pevně daný a není možnost ho jakkoliv ovlivnit. Konstrukčně jsou ale jednodušší a produktivnější než lisy hydraulické.



Obr. 26 Pracovní diagram klikového a hydraulického lisu [22]

3 NÁVRH VÝROBY

Rotační nádoba bude vyráběna konvenčním tažením z nerezové oceli ČSN 17 240 o tloušťce 0,3 mm. Vzhledem k objemu výrobní série 30 000 ks ročně je vhodné navrhnout co nejvíce automatizovanou výrobu pro snížení celkových nákladů. Tomu napomůže odvíjecí linka, která dodává do nástroje výchozí polotovar ve formě svitku. Pomocí sdruženého nástroje dojde k vystřížení přístříhu a jeho následnému tažení, čímž výrazně snížíme náklady na manipulaci mezi pracovišti. Mezi jednotlivými operacemi bude polotovar přenášen manuálně. Sdružený nástroj zároveň umožní efektivnější využití stroje, neboť hlubokotažné lisy bývají velice rozměrné.

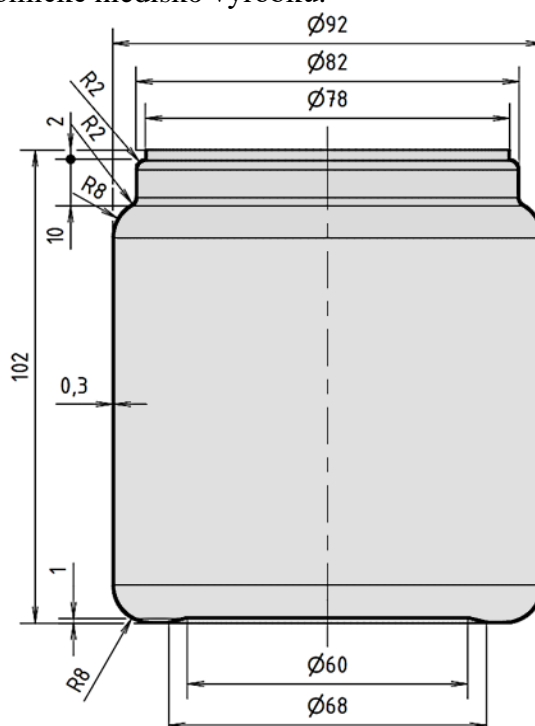
Posledními výrobními operacemi při výrobě součásti by bylo ostřížení nerovného okraje a závěrečné zahrndlení. To by bylo provedeno pomocí obrubovacího stroje, který rotací tvarovaných kladek vytvoří požadované zahrndlení nádoby. Z důvodu omezeného rozsahu bakalářské práce nebudou tyto operace rozebírány jako zmiňované stříhání přístříhu a tažení.

3.1 Optimalizace součásti

Na základně zkušeností s dlouhodobým používáním zadané součásti (obr. 4) bude provedena úprava některých rozměrů za účelem zlepšení funkčnosti součásti. Při navrhování optimálnějšího tvaru je zároveň brán zřetel na ekonomické hledisko výrobku.

Původní nádoba je vyrobena s poměrně malými poloměry zaoblení u hrdla i dna. V těchto oblastech dochází k usazování nečistot při nedůkladném čištění, a proto byla navržena nádoba znázorněná na obr. 27 s většími poloměry zaoblení. Ty jsou i z hlediska technologie výroby příznivější.

Dosažení tvaru komolého kužele je poměrně zdlouhavý proces. Nejprve dochází k vytvoření válcovitého výtažku o větším průměru, než je základová část kužele. Poté je několika tahy dosaženo odstupňovaného výtažku, který se v poslední operaci zkalibruje na požadovaný tvar. Zároveň bývá doprovázeno výraznějším ztenčením stěny, což není vhodné při tažení takto tenkého plechu. Změnou na válcový tvar bude dosaženo snížení počtu potřebných tažných operací, zjednodušení konstrukce nástroje a zvětšení objemu nádoby. Průměr zůstane stejný jako největší průměr původní nádoby, aby bylo možno použít stejné víko.



Obr. 27 Upravená nádoba

Originální nádoba disponuje zbytečně velkým objemem 1 l. Maximální objem tekutiny určené pro smíchání s doporučenou dávkou 30 g výživových doplňků činí 400 ml. Nicméně aby bylo možno třesením uzavřené nádoby správně promíchat prášek s tekutinou, je potřeba její objem zvětšit alespoň o 50 %. Výsledkem tedy stačí 600 ml. Tato redukce hloubky výrazně zmenšuje potřebnou velikost přístříhu a počet tažných operací.

Při posuzování technologičnosti se na vyráběném dílci nenachází žádné výrazné problematické parametry. Má jednoduchý rotační tvar, dostatečně velké zaoblení hran, velice mělký prolis dna a žádné velké požadavky na toleranci rozměrů. Jediným rizikovým parametrem, na který musí být brán ohled při návrhu technologie, je malá tloušťka plechu.

3.2 Průměr přístřihu a počet tažných operací

Stanovení správné velikosti přístřihu pro výrobu nádoby tažením bez ztenčení stěny je klíčové jak z pohledu technologického, tak i ekonomického. V současnosti jsou ve strojírenství využívány CAD systémy pro modelování součástí a následnou tvorbu jejich výkresové dokumentace. Model součásti zobrazené na obr. 27 tak lze využít jako jednoduchý a velice přesný způsob výpočtu celkové plochy vyráběné nádoby. Jelikož je stěna velice tenká, bylo počítáno s vnějšími průměry dílce.

Pomocí programu Inventor Professional 2019 od společnosti Autodesk byla vypočtena plocha nádoby $S_p = 35\,461 \text{ mm}^2$. Na základě tohoto údaje lze předběžně určit *průměr přístřihu* 'D₀' dle vzorce:

$$D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 35\,461}{\pi}} = 212,5 \text{ mm.} \quad (2.9)$$

Průměr přístřihu je potřeba zvětšit o přídavek na ostřížení cípatého okraje. Jeho velikost je dána počtem tažných operací.

Rozměry výtažku dosažitelné v dané operaci udává součinitel tažení 'm_i'. Jeho hodnoty pro jednotlivé operace jsou uvedeny v závislosti na pořadí tahu a *poměrné tloušťce polotovaru* v Tab. 2.

$$\frac{S_0}{D_o} \cdot 100 = \frac{0,3}{212,5} \cdot 100 = 0,14. \quad (3.1)$$

Minimální součinitele tažení jsou tedy m₁ = 0,6, m₂ = 0,8, m₃ = 0,8, m₄ = 0,85 a m₅ = 0,87. Pomocí těchto koeficientů lze předběžně vypočítat *jednotlivé průměry výtažků*, dokud nebude dosaženo požadovaného průměru 92 mm:

$$\begin{aligned} d_1 &= m_1 \cdot D_o = 0,6 \cdot 212,5 = 127,5 \text{ mm,} \\ d_2 &= m_2 \cdot d_1 = 0,8 \cdot 127,5 = 102 \text{ mm,} \\ d_3 &= m_3 \cdot d_2 = 0,8 \cdot 102 = 81,6 \text{ mm.} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Pomocí výpočtu bylo zjištěno, že k vyrobění požadovaného tvaru je zapotřebí tři tažných operací. Na základě této informace lze stanovit *průměr přístřihu* zvětšený o přídavek na ostřížení cípatého okraje, který činí 3 % pro jednooperační tažení plus 1 % za každou další operaci. Celkový přídavek je tedy volen 5 %:

$$D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}} \cdot 1,05 = \sqrt{\frac{4 \cdot 35\,461}{\pi}} \cdot 1,05 = 223,11 \text{ mm.} \quad (2.9)$$

Průměr přístřihu 'D₀' byl na základě výpočtu zvolen 223 mm, protože při konstrukci i výrobě nástroje se mnohem lépe pracuje v rámci celých čísel. Zmenšení přístřihu o jedenáct setin se vzhledem k celkovému rozměru polotovaru nijak neprojeví.

Dále je potřeba znovu určit *průměry v jednotlivých tazích*, neboť došlo k úpravě výchozího polotovaru:

$$\begin{aligned} d_1 &= m_1 \cdot D_o = 0,6 \cdot 223 = 133,8 \text{ mm,} \\ d_2 &= m_2 \cdot d_1 = 0,8 \cdot 133,8 = 107,04 \text{ mm,} \\ d_3 &= m_3 \cdot d_2 = 0,8 \cdot 107,04 = 85,632 \text{ mm.} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Požadovaný vnější průměr vyráběné součásti činí 92 mm. Třetím tahem lze dosáhnout menšího rozměru, a proto je vhodné provést rozvolnění tahů zvýšením koeficientů 'm_i'. Tím dochází ke snížení velikosti přetvoření v jednotlivých operacích, což zaručuje nižší riziko vzniku trhlin.

Výpočet upravenými koeficienty tažení určuje konečné *průměry výtažků* v jednotlivých operacích:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,62 \cdot 223 = 138,26 \text{ mm.} \quad (2.10)$$

V prvním tahu bude zhotoven výtažek s průměrem 138 mm. Zaokrouhlení na celé číslo je voleno pro zjednodušení následné konstrukce a výroby nástroje. I když zaokrouhlením dojde ke zvýšení stupně deformace, tak vzhledem k minimálnímu průměru 133,8 mm je vyhovující.

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,81 \cdot 138 = 111,78 \text{ mm} \quad (2.10)$$

Druhý tah zredukuje přístřih na průměr 112 mm. Tento rozměr je volen ze stejného důvodu jako v případě prvního tahu.

$$d_3 = m_3 \cdot d_2 = 0,82 \cdot 112 = 91,84 \text{ mm} \quad (2.10)$$

V posledním tahu bude nádoba tažena na konečný rozměr, který odpovídá 92 mm.

3.3 Rozmístění přístřihů

Na základě požadavku navrhnout co nejvíce automatizovanou výrobu bude polotovar nakupován ve formě svitku. Svitok se upíná na odvíjecí buben a dále je veden do rovnačky. Ta se skládá ze dvou řad rovnacích válců nastavených tak, že mezi sebou postupně prohýbají plech, čímž jej vyrovnávají a zbavují vnitřního pnutí. Polotovar do tvářecího stroje vtahuje podavač ovládaný řídicím panelem.

Šířka svitku (obr.28) závisí na průměru přístřihu a jeho násobnosti v jedné řadě. Nicméně z konstrukčního hlediska je možno uvažovat pouze jednořadou variantu, jelikož záměrem je stříhání a tažení v jednom sdruženém nástroji.

Velikost můstku 'e' mezi výstřižky a bočního okraje 'f' udává směrnice pro stanovení šířky odpadu v příloze 2. Můstek má tedy velikost 2,5 mm a boční okraj 3,5 mm. Nyní lze určit *šířku svitku 'P'* a *velikost kroku 'k'* pro jeho podávání dle vzorce (2.1) a (2.2):

$$P = D_0 + 2 \cdot f = 223 + 2 \cdot 3,5 = 230 \text{ mm}$$

$$k = D_0 + e = 223 + 2,5 = 225,5 \text{ mm}$$

Svitky plechu bývají dodávány na zakázku podle požadavku zákazníka. Zakoupit svitek plechu o tloušťce 0,3 mm z oceli ČSN 17 240 umožňuje například firma MONTAN OCEL. Délka svitku je nepřímo dána jeho vnitřním průměrem 500 mm a vnějším průměrem 1 300 mm. Hmotnost takového svitku 'm_s' činí 1 950 kg.

Délka svitku je:

$$L_s = \frac{m_s}{P \cdot s_0 \cdot \rho} = \frac{1\,950}{230 \cdot 0,3 \cdot 7900 \cdot 10^{-9}} = 3\,577\,325 \text{ mm,} \quad (3.2)$$

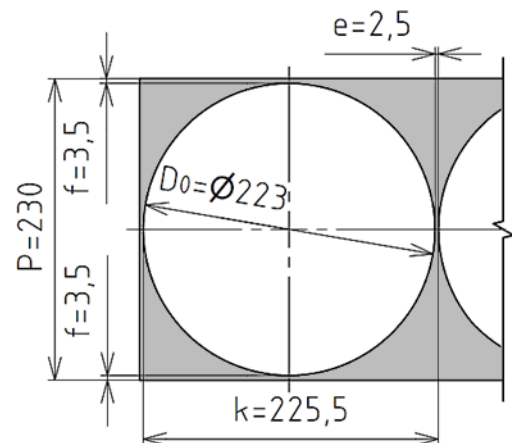
kde: m_s – hmotnost svitku [kg],

ρ – hustota oceli [kg.mm⁻³].

Počet přístřihů ze svitku je:

$$N_p = \frac{l_s}{k} = \frac{3\,577\,325}{225,5} = 15\,863,97 \text{ ks.} \quad (3.3)$$

Z jednoho svitku lze vystříhnout 15 863 polotovarů pro následné tažení. Reálný počet se ale může lišit, protože určit přesnou délku svitku je velmi obtížné. Na výrobu celé série 30 000 ks budou tedy stačit dva svitky.



Obr. 28 Výstřižek ze svitku

Součinitel využití plechu je:

$$\eta = \frac{S_v}{S_u} \cdot 100 = \frac{\frac{\pi \cdot D_0^2}{4}}{P \cdot k} \cdot 100 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4 \cdot P \cdot k} \cdot 100 = \frac{\pi \cdot 223^2}{4 \cdot 230 \cdot 225,5} \cdot 100 = 75,3 \% \quad (2.3)$$

Využitelnost materiálu 75,3 % při jednořadém uspořádání je přijatelná. Trojřadá varianta uspořádání sice zpravidla dosahuje využitelnosti až 80 %, ale vzhledem k použití sdruženého nástroje je konstrukčně téměř neproveditelná.

3.4 Postup a parametry tváření

Ve sdruženém nástroji jsou prováděny tři tvářecí operace:

- První operace – spočívá ve vystřížení přístříhu o velikosti $230 \pm 0,3$ mm ze svitku plechu. Nejprve je potřeba spočítat správnou *střížnou mezeru*, která zaručí plynulý průběh stříhu a minimální velikost síly. Výstřížek, zvětšený o přídavek na odstřížení, nemusí být nijak výrazně přesný, proto je koeficient ‘c’ volen 0,02:

$$z = c \cdot s_0 \cdot \sqrt{0,08 \cdot R_m} = 0,02 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{0,08 \cdot 750} = 0,047 \text{ mm.} \quad (2.4)$$

S ohledem na přesnost výroby je střížná mezera volena 0,05 mm. Vůle ‘v’ poté odpovídá dvojnásobku, který činí 0,1 mm.

Výpočet rozměru střížníku a střížnice zohledňuje i opotřebení břitu. Velikost přípustné míry opotřebení ‘P_o’ se stanoví pomocí tabulky v příloze 3 na základě tolerance, se kterou se přístříh vystřihuje. Tato tabulka zároveň stanovuje i výrobní tolerance. Pro případ vystřihování, kdy opotřebením dochází ke zvětšování rozměru součásti, jsou *rozměry střížnice a střížníku* dány vztahy (2.5) a (2.6):

$$D_e = \left(D_0 - \frac{P_o}{2} \right)^{+\delta_e} = \left(223 - \frac{0,5}{2} \right)^{+0,19} = 222,75^{+0,19} \text{ mm,}$$

$$D_k = \left(D_0 - \frac{P_o}{2} - v + \delta_k \right)_{-\delta_k} = \left(223 - \frac{0,5}{2} - 0,1 + 0,12 \right)_{-0,12} = 222,77_{-0,12} \text{ mm.}$$

Pro výpočet *střížné síly* (2.7) bude uvažována nejhorší situace, kdy součinitel otupení břitu ‘k’ a mez pevnosti v tahu ‘R_m’ nabývají maximálních hodnot:

$$F_s = k \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l \cdot s_0 = k \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot \pi \cdot D_0 \cdot s_0 = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 750 \cdot \pi \cdot 223 \cdot 0,3 = 163\,935 \text{ N.}$$

Pro výpočet *střížné práce* je uvažován koeficient hloubky vniknutí nože ‘k₁’ roven 0,5, jelikož se jedná o plech tenčí než 1 mm z oceli o vyšší pevnosti:

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot F_s \cdot k_1 \cdot s_0 = \frac{\pi}{4} \cdot 163\,935 \cdot 0,5 \cdot 0,0003 = 19 \text{ J.} \quad (2.8)$$

Po vystřížení rondelu následuje tažení pro vytvoření výtažku s vnějším průměr 138 mm. Podstata procesu spočívá ve vtažování přístříhu do tažnice pomocí tažníku. *Tažná mezera* mezi nimi se volí na základě výpočtu:

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s_0 = (1,2 \div 1,3) \cdot 0,3 = 0,36 \div 0,39 \text{ mm.} \quad (2.11)$$

Na základě výpočtu byla zvolena mezera 0,4 mm.

Otvor v tažnici má stejnou velikost jako vnější průměr výtažku. Dalším funkčním rozměrem je *zaoblení tažné hrany*, která výrazně ovlivňuje proces tažení. Její zaoblení se navrhuje podle vzorce:

$$r_{tc1} = (8 \div 10) \cdot s_0 = (8 \div 10) \cdot 0,3 = 2,4 \div 3 \text{ mm.} \quad (2.19)$$

Pro poloměr zaoblení tažnice prvního tahu je volena velikost 3 mm. Jedná se o maximální hodnotu vypočteného rozmezí stejně jako v případě návrhu mezery.

Výška kalibrované části tažnice je kvůli tloušťce plechu volena 2 mm.

Hrana tažníku je zkosená pod úhlem 45° , aby vytvořila plochu pro přidržování v dalších operacích. Obě vzniklé hrany (obr.29) mají zaoblení r_{tk1} odpovídající zvolenému poloměru zaoblení tažnice. Průměr tažníku pro tento tah je menší než otvor tažnice o dvojnásobek mezery:

$$d_{tk1} = d_1 - 2 \cdot z_1 = 138 - 2 \cdot 0,4 = 137,2 \text{ mm.} \quad (3.4)$$

Jelikož se táhne plech tenčí než 0,5 mm, je nutné použít přidržovač u každého tahu a není potřeba to dále ověřovat výpočtem další podmínky. Přidržovač u prvního tahu má tvar rovinného prstence, jehož vnější průměr je větší než průměr přístříhu. Vnitřní průměr je vůči průměru tažníku zvětšen o 2 mm pro zaručení dostatečné vůle.

Při tažení tenkých korozivzdorných plechů je potřeba použít zvýšený tlak přidržovače. Pro výpočet *přidržovací síly* (2.16) je tedy volen tlak 3 MPa:

$$F_{p1} = S_{c1} \cdot p = \frac{\pi \cdot (D_0^2 - (d_{tk1} + 2)^2)}{4} \cdot p = \frac{\pi \cdot (223^2 - (137,2 + 2)^2)}{4} \cdot 3 = 71\,516 \text{ N.}$$

Velikost *kritické síly* pro první tah se odvíjí od hodnoty koeficientu zohledňujícího součinitel tažení podle Tab. 3:

$$F_{k1} = C_1 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot s_0 \cdot R_m = 0,86 \cdot \pi \cdot 138 \cdot 0,3 \cdot 750 = 83\,890 \text{ N.} \quad (2.17)$$

Před výpočtem práce vykonané při prvním tahu je nutné určit délku jeho dráhy, která odpovídá hloubce výtažku. *Výška válcové části* se určí z plochy přístříhu:

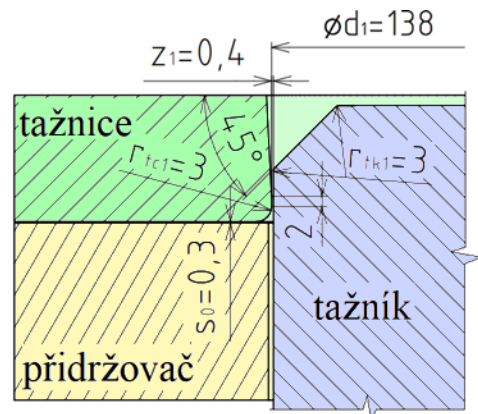
$$S_p = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} + \frac{\pi \cdot (d_1^2 - d_2^2)}{4 \cdot \cos(45^\circ)} + \pi \cdot d_1 \cdot h_{v1} \Rightarrow h_{v1} = \frac{S_p - \left(\frac{\pi \cdot d_2^2}{4} + \frac{\pi \cdot (d_1^2 - d_2^2)}{4 \cdot \cos(45^\circ)} \right)}{\pi \cdot d_1} =$$

$$= \frac{35\,461 - \left(\frac{\pi \cdot 112^2}{4} + \frac{\pi \cdot (138^2 - 112^2)}{4 \cdot \cos(45^\circ)} \right)}{\pi \cdot 138} = 42,4 \text{ mm.} \quad (3.5)$$

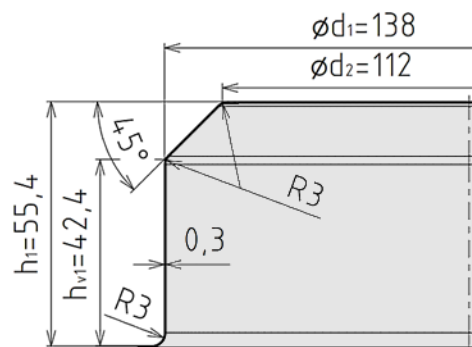
Celková hloubka výtažku na obr. 30 je dána součtem výšky válcové části 42,4 mm a výškou zkosené části 13 mm. Hloubka po prvním tahu h_1 je tedy 55,4 mm. Přídavek na ostřížení, se kterým nebylo počítáno, bude využit jako plocha pro vyhození z tažníku.

Pro výpočet *práce* dle vztahu (2.19) je volena střední hodnota součinitele zaplnění plochy 0,7:

$$A_{t1} = F_{k1} \cdot K \cdot h_1 = 83\,890 \cdot 0,7 \cdot 0,0554 = 3\,253 \text{ J.}$$



Obr. 29 Geometrie prvního tahu



Obr. 30 Výtažek po prvním tahu

- Druhá operace – po provedení prvního tahu následuje druhý tah pro zredukování průměru výtažku na vnější rozměr 112 mm. Tato operace má velice podobný charakter jako ta předchozí.

Tažná mezera druhého tahu se volí na základě výpočtu:

$$z_2 = (1,1 \div 1,2) \cdot s_0 = (1,1 \div 1,2) \cdot 0,3 = 0,33 \div 0,36 \text{ mm.} \quad (2.11)$$

Z daného rozsahu byla zvolena mezera 0,35 mm.

Otvor v tažnici má opět stejnou velikost jako vnější průměr výtažku. Pro podepření polotovaru má vstupní hrana otvoru zkosení 45°. Teprve zkosením vznikne tažná hrana. *Zaoblení tažné hrany* se navrhuje podle vzorce:

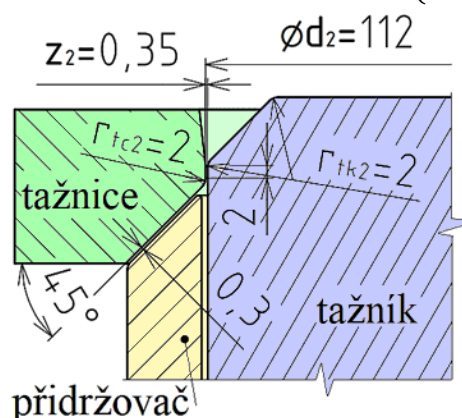
$$r_{tk2} = (6 \div 8) \cdot s_0 = (6 \div 8) \cdot 0,3 = 1,8 \div 2,4 \text{ mm.} \quad (2.19)$$

Pro poloměr zaoblení tažnice druhého tahu je volena velikost 2 mm. Výška její kalibrované části je volena podle tloušťky plechu 2 mm stejně jako v předešlé operaci.

Hrana tažníku je rovněž zkosená pod úhlem 45° k vytvoření přidržovací plochy pro poslední tah. Obě vzniklé hrany (obr.31) mají zaoblení 'r_{tk2}' odpovídající zvolenému poloměru zaoblení tažnice. Samotný *průměr tažníku* je vůči otvoru tažnice zmenšen o dvojnásobek mezery:

$$d_{tk2} = d_2 - 2 \cdot z_2 = 112 - 2 \cdot 0,35 = 111,3 \text{ mm.} \quad (3.4)$$

Přidržovač druhého tahu má tvar prstence zkoseného pod úhlem 45°, aby dosedal na přidržovací plochu výtažku, která byla vytvořena pomocí tažníku v minulé operaci. Vnější průměr přidržovače odpovídá vnitřnímu rozměru výtažku po prvním tahu. Vzhledem k malé tloušťce plechu bude při výpočtu síly uvažován vnější rozměr výtažku. Vnitřní průměr je vůči průměru tažníku zvětšen o 2 mm pro zaručení dostatečné vůle. Činná plocha je tedy výrazně menší než v předchozím tahu.



Obr. 31 Geometrie druhého tahu

Tlak přidržovače pro výpočet *přidržovací síly* (2.16) je volen shodně 3 MPa:

$$F_{p2} = S_{\epsilon 2} \cdot p = \frac{\pi \cdot (d_1^2 - (d_{tk2} + 2)^2)}{4 \cdot \cos(45^\circ)} \cdot p = \frac{\pi \cdot (138^2 - (111,3 + 2)^2)}{4 \cdot \cos(45^\circ)} \cdot 3 = 20\,683 \text{ N.}$$

Velikost *kritické síly* pro druhý tah se odvíjí od hodnoty koeficientu zohledňujícího součinitel tažení podle Tab. 3:

$$F_{k2} = C_2 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot s_0 \cdot R_m = 0,4 \cdot \pi \cdot 112 \cdot 0,3 \cdot 750 = 31\,667 \text{ N.} \quad (2.17)$$

Výška válcové části výtažku je opět určena pomocí plochy přístřihu (3.5):

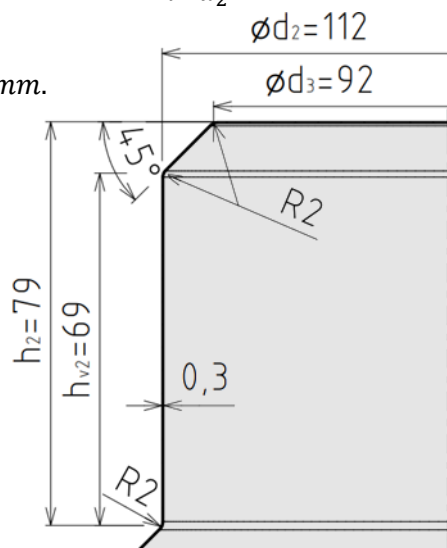
$$S_p = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} + \frac{\pi \cdot (d_2^2 - d_3^2)}{4 \cdot \cos(45^\circ)} + \pi \cdot d_2 \cdot h_{v2} \Rightarrow h_{v2} = \frac{S_p - \left(\frac{\pi \cdot d_3^2}{4} + \frac{\pi \cdot (d_2^2 - d_3^2)}{4 \cdot \cos(45^\circ)} \right)}{\pi \cdot d_2} =$$

$$= \frac{35\,461 - \left(\frac{\pi \cdot 92^2}{4} + \frac{\pi \cdot (112^2 - 92^2)}{4 \cdot \cos(45^\circ)} \right)}{\pi \cdot 112} = 69 \text{ mm.}$$

Celková hloubka výtažku po druhém tahu (obr. 32) je dána součtem výšky válcové části 69 mm a výškou zkosené části 10 mm. Hloubka po druhém tahu 'h₂' je tedy 79 mm. Příkladově na ostřížení, se kterým nebylo počítáno, bude využit jako plocha pro vyhození z tažníku.

Pro výpočet *tažné práce* dle vztahu (2.19) byla volena střední hodnota součinitele zaplnění plochy 0,7:

$$A_{t2} = F_{k2} \cdot K \cdot h_2 = 31\,667 \cdot 0,7 \cdot 0,079 = 1\,751 \text{ J.}$$



Obr. 32 Výtažek po druhém tahu

- Třetí operace – po provedení druhého tahu následuje poslední tah. Ten redukuje průměru výtažku na konečný rozměr 92 mm. Jeho tažení je v této operaci spojeno s prolisováním dna, kdy se v podstatě jedná o velice mělký zpětný tah.

Tažná mezera třetího tahu se volí na základě výpočtu:

$$z_3 = (1,1 \div 1,2) \cdot s_0 = (1,1 \div 1,2) \cdot 0,3 = 0,33 \div 0,36 \text{ mm.} \quad (2.11)$$

Z daného rozsahu byla zvolena mezera 0,35 mm.

Otvor v tažnici je shodný s vnějším průměrem nádoby. Pro podepření polotovaru má vstupní hrana otvoru zkosení 45°. Zaoblení tažné hrany vzniklé zkosením se navrhuje podle vzorce:

$$r_{tk3} = (6 \div 8) \cdot s_0 = (6 \div 8) \cdot 0,3 = 1,8 \div 2,4 \text{ mm.} \quad (2.19)$$

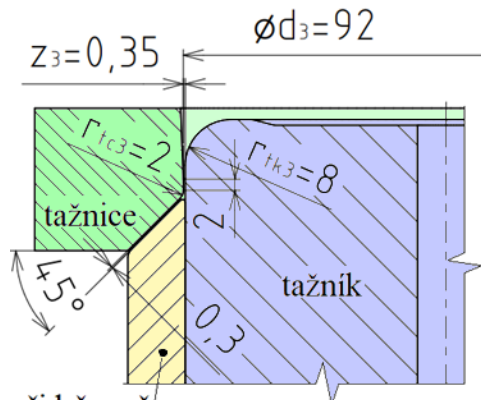
Pro poloměr zaoblení tažnice třetího tahu je volena velikost 2 mm. Výška její kalibrované části je volena podle tloušťky plechu 2 mm stejně jako v předešlé operaci.

Hrana tažníku 'r_{tk3}' je zaoblena poloměrem 8 mm, což odpovídá požadovanému zaoblení dna tažené nádoby. Na čele tažníku (obr. 33) se nachází vybrání, které slouží jako tažnice pro prolisování dna ve finální části tahu. Rozměry vybrání tedy přesně odpovídají prolisu ve dně nádoby. Jako tažník slouží vyhazovač s čelem upraveným inverzně vůči vybrání v tažníku. Průměr tažníku je menší než vnější průměr nádoby o dvojnásobek mezery dle vztahu (3.4):

$$d_{tk3} = d_3 - 2 \cdot z_3 = 92 - 2 \cdot 0,35 = 91,3 \text{ mm.}$$

Přidržovač třetího tahu má rovněž tvar prstence zkoseného pod úhlem 45°. Vnější průměr přidržovače odpovídá vnitřnímu rozměru výtažku po druhém tahu. Vzhledem k malé tloušťce plechu bude při výpočtu síly uvažován vnější rozměr výtažku. Vnitřní průměr je vůči průměru tažníku zvětšen o 2 mm pro zaručení dostatečné vůle.

Tlak přidržovače pro výpočet přidržovací síly (2.16) je volen shodně 3 MPa:



přidržovač

Obr. 33 Geometrie třetího tahu

$$F_{p3} = S_{\epsilon 3} \cdot p = \frac{\pi \cdot (d_2^2 - (d_{tk3} + 2)^2)}{4 \cdot \cos(45^\circ)} \cdot p = \frac{\pi \cdot (112^2 - (91,3 + 2)^2)}{4 \cdot \cos(45^\circ)} \cdot 3 = 12\,793 \text{ N.}$$

Velikost kritické síly pro třetí tah se odvíjí od hodnoty koeficientu zohledňujícího součinitel tažení podle Tab. 3:

$$F_{k3} = C_3 \cdot \pi \cdot d_3 \cdot s_0 \cdot Rm = 0,4 \cdot \pi \cdot 92 \cdot 0,3 \cdot 750 = 26\,012 \text{ N.} \quad (2.17)$$

Výška válcové části výtažku je opět určena pomocí plochy přístřihu (3.5):

$$\begin{aligned} S_p &= \frac{\pi \cdot d_4^2}{4} + \frac{\pi \cdot (\pi \cdot d_4 \cdot r_{tk3} + 4 \cdot r_{tk3}^2)}{2} + \pi \cdot d_3 \cdot h_{v3} \Rightarrow \\ \Rightarrow h_{v3} &= \frac{S_p - \left(\frac{\pi \cdot d_4^2}{4} + \frac{\pi \cdot (\pi \cdot d_4 \cdot r_{tk3} + 4 \cdot r_{tk3}^2)}{2} \right)}{\pi \cdot d_3} = \\ &= \frac{35\,461 - \left(\frac{\pi \cdot 76^2}{4} + \frac{\pi \cdot (\pi \cdot 76 \cdot 8 + 4 \cdot 8^2)}{2} \right)}{\pi \cdot 92} = 96,2 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Celková hloubka výtažku po třetím tahu (obr. 34) je dána součtem výšky válcové části 96,2 mm a výškou zaobleného dna 8 mm. Hloubka po třetím tahu 'h₃' je tedy 104,2 mm. Neprotažený přídavek na ostřížení opět slouží jako plocha pro vyhození z tažníku a zároveň také znázorňuje část určenou k odstranění.

Pro výpočet *tažné práce* dle vztahu (2.19) byla volena střední hodnota součinitele zaplnění plochy 0,7:

$$A_{t3} = F_{k3} \cdot K \cdot h_3 = 26\,012 \cdot 0,7 \cdot 0,1042 = 1\,897\,J.$$

Výška výtažku je rozdílná v každé operaci. Vzhledem k průběhu tažné síly by bylo velice obtížné určit přesnou maximální hodnotu celkové síly. Uvažovaná kritická síla potřebná na utržení dna má ovšem konstantní velikost. *Celková tvářecí síla* horní části nástroje pro výrobu nádoby sduženým postupovým nástrojem je dána součtem sil v jednotlivých operacích:

$$F_c = F_s + F_{k1} + F_{k2} + F_{k3} = 163\,935 + 83\,890 + 31\,667 + 26\,012 = 305\,504\,N = 305,5\,kN. \quad (3.6)$$

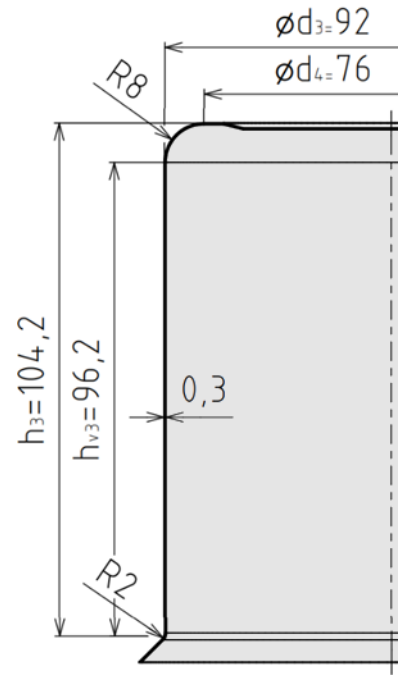
Celková přidržovací síla:

$$F_p = F_{p1} + F_{p2} + F_{p3} = 71\,516 + 20\,683 + 12\,793 = 104\,992\,N = 105\,kN. \quad (3.7)$$

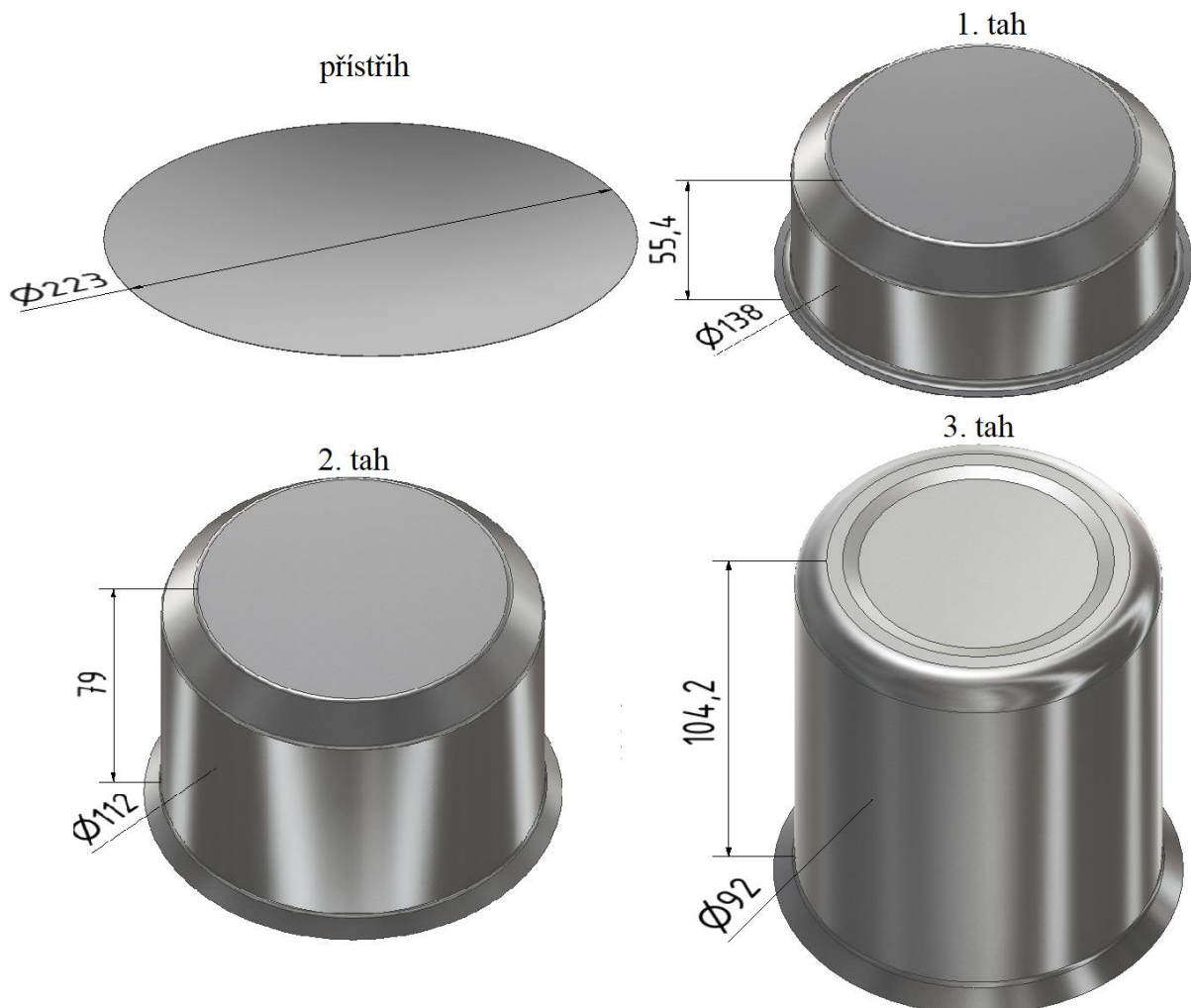
Práce vyvinutá pro vyrobení nádoby je také dána součtem jednotlivých částí:

$$A_c = A_s + A_{t1} + A_{t2} + A_{t3} = 19 + 3\,253 + 1\,751 + 1\,897 = 6\,920\,J. \quad (3.8)$$

Celkový přehled tvářecích operací je znázorněn na obr. 35.



Obr. 34 Výtažek třetího tahu



Obr. 35 Přehled tvářecích operací

3.5 Volba stroje [23]

Prvním parametrem, podle kterého se vybírá vhodný lis, je způsob, jakým dochází k vyvození tvářecí síly. Mechanické lisy nejsou pro hluboké tažení tenkých plechů příliš vhodné, jelikož se rychlost beranu neustále mění a dosahují maximální síly až těsně pod dolní úvratí jeho dráhy. Oproti tomu dražší hydraulické lisy umožňují tváření konstantní silou i rychlostí. Dalším výběrovým kritériem je počet jeho nezávislých pracovních částí. Jelikož je nutno při tažení použít přidržovače, musí být lis dvojčinný.

Na základě těchto požadavků byl zvolen hydraulický lis pro tažení a tvarování dílů z plechu s označením PO 100 (obr. 36) od firmy Dieffenbacher. Jedná se o hlubokotažný lis s nejnižší jmenovitou tvářecí silou, která činí 1 000 kN. Vzhledem k vypočtené síle 305,5 kN tedy disponuje dostatečně velkou rezervou pro zaručení bezpečnosti. Dále je také vybaven spodním přidržovačem o síle až 400 kN.

Tab. 4 Základní parametry lisu PO 100. [23]

Tvářecí síla	1 000 kN
Přidržovací síla	400 kN
Tvářecí rychlost (max. síla)	14 mm.s ⁻¹
Zdvih	500 mm
Sevřená výška	300 mm
Velikost stolu	1 000 x 700 mm

Na základě výběru tohoto stroje a výrobní technologii navržené v předešlých kapitolách bude následně zkonstruován tvářecí nástroj.

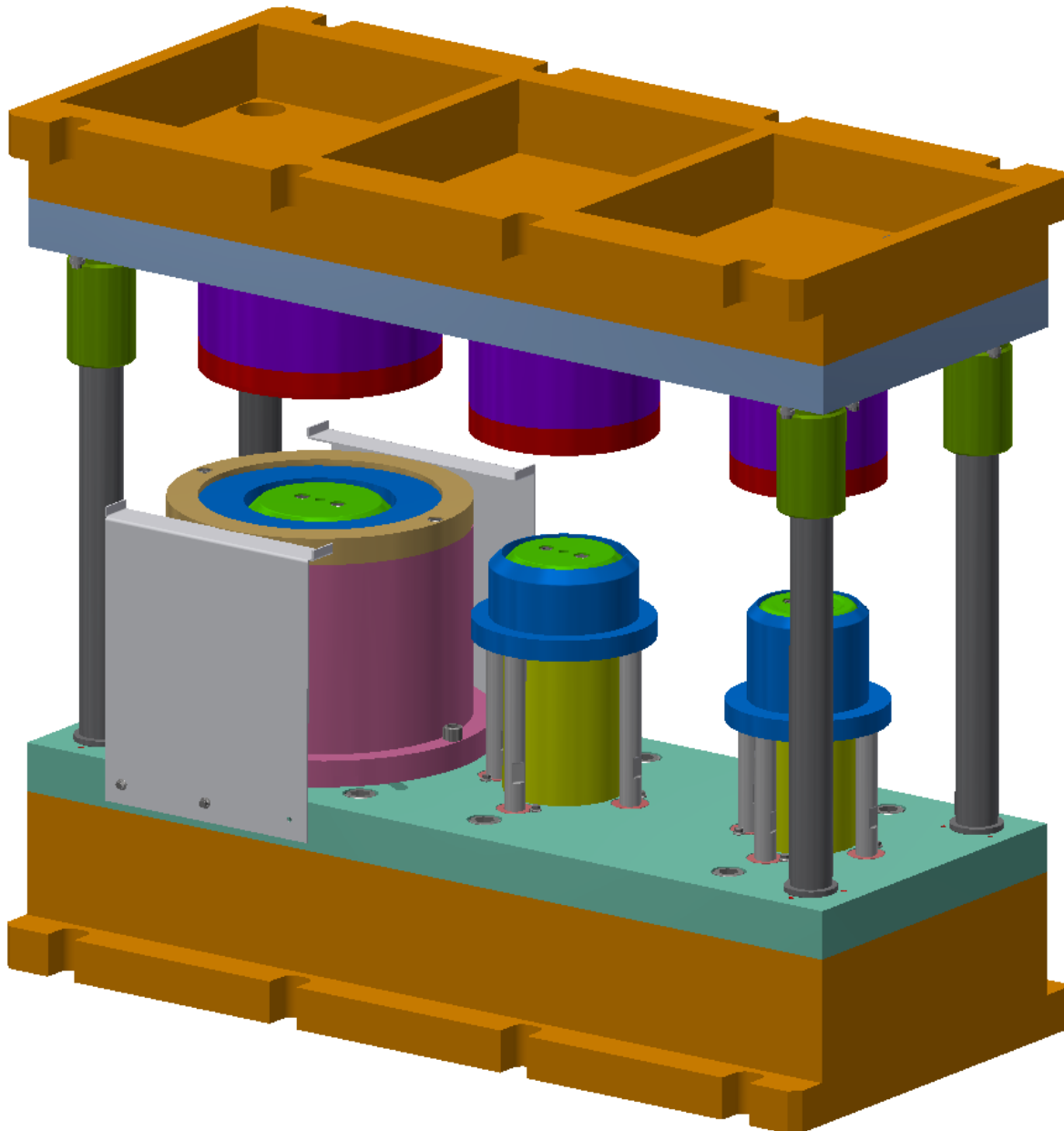


Obr. 36 Hydraulický lis [23]

3.6 Konstrukce nástroje

Pro dosažení co nejnižších výrobních nákladů a co největšího využití zvoleného hydraulického lisu byl navržen sdružený postupový nástroj. Ten umožňuje vystříhnutí přístříhu ze svitku plechu, provedení všech tří tahů i prolisování dna nádoby. Skládá se převážně z nenormalizovaných součástí.

Konstrukce nástroje v otevřeném stavu je znázorněna na obr. 37. Oranžové **skořepiny** jsou svařence základové desky, šesti plochých tyčí a dvou čtvercových tyčí. Vybrání slouží pro upnutí nástroje upínkami do beranu a stolu lisu. Jejich vzdálenost odpovídá rozteči 'T' drážek v upínacích deskách lisu. **Skořepiny** jsou zpevněny dvěma žebry, aby co nejvíce eliminovali průhyb základových desek během tváření. Ty jsou spojeny se světle modrou **horní upínací deskou** a tyrkysovou **spodní upínací deskou** pomocí šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M20. Upínací desky o rozměrech 896 x 346 mm jsou od firmy Meusburger. Jejich přesný vzájemný pohyb je zaručen čtyřmi tmavě šedými **vodícími sloupky** a tmavě zelenými **vodícími pouzdry** od stejné firmy. Světle šedé **podpěrné plechy** slouží pro vedení svitku plechu. Ke spodní upínací desce jsou připevněny pomocí tří šestihranných šroubů s přírubou M5.

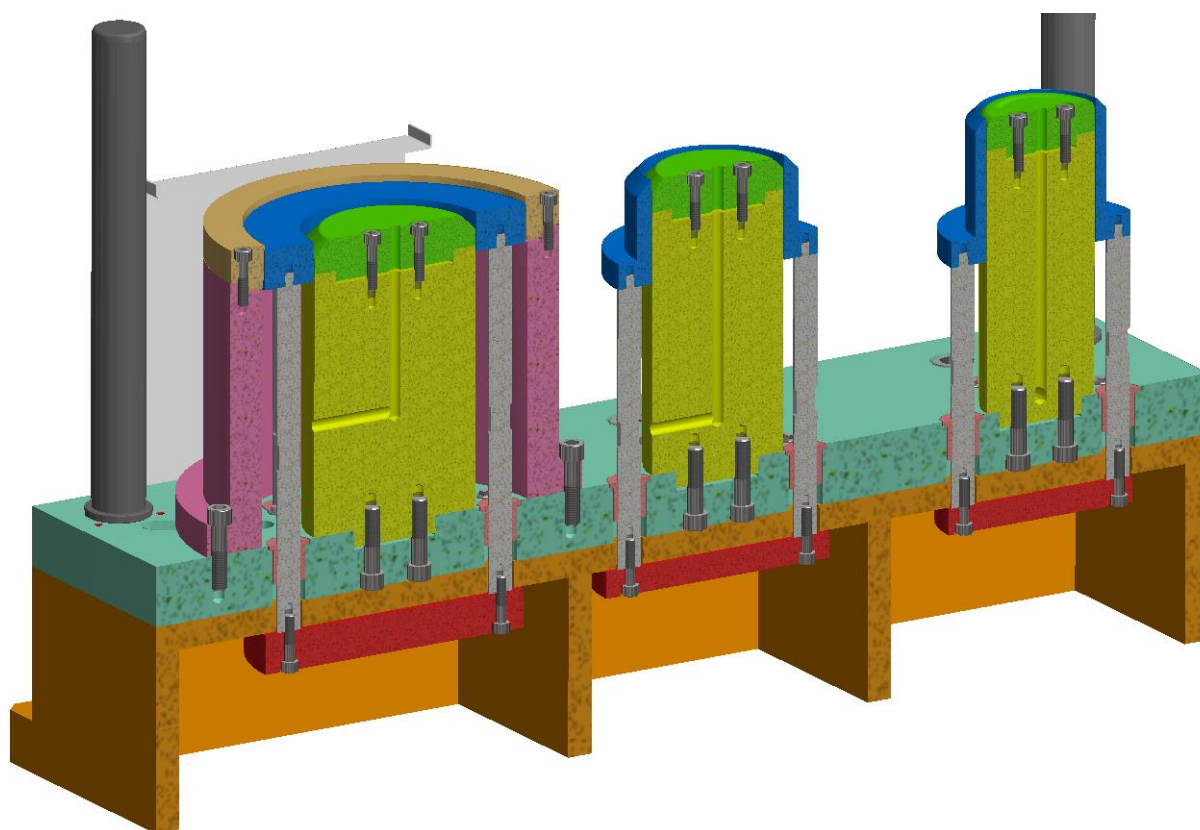


Obr. 37 Sdružený postupový nástroj v otevřeném stavu

Spodní část nástroje v řezu je znázorněna na obr. 38. Šířka plochých tyčí, ze kterých se skládá oranžová **skořepina**, závisí na výšce zdvihu tmavě modrých **přidržovačů**. Deska spodního přidržovače lisu se nachází pod stolní deskou. Z toho důvodu je potřeba ji provrtat a těmito dírami vést tyče, které ovládají přidržovače. Jelikož těchto šedých tyčí **přidržovačů** se v první operaci nachází 6, ve druhé 4 a v poslední také 4, není vhodné vrtat do stolní desky všech 14 děr. Místo toho jsou tyče **přidržovačů** upnuty pomocí šroubů M8 k červeným **kotoučům přidržovačů**, čímž se u každé operace sníží počet otvorů pouze na jednu větší díru. Druhý konec **přidržovacích tyčí** je vlastním závitem spojen se samotnými **přidržovači**. Posledním prvkem tyčí jsou drážky sloužící k jejich montáži. V tyrkysové **spodní upínací desce** jsou vedeny světle růžovými **kluznými pouzdry s přírubou**. Proti vysunutí jsou pojištěny šestihrannými šrouby s přírubou M5.

Tažníky jsou děleny na dvě části. Z nástrojové oceli jsou vyrobeny pouze zelené **vložky**. Se žlutými **těly tažníků** z konstrukční oceli jsou lícovány osazením a spojeny dvěma šrouby M8. Zahloubení děr pro hlavy těchto šroubů je hlubší, aby do něj zajeli celé a nehrozilo poškození výtažků. Těla tažníku jsou vybavena osazením i druhého konce pro lícování s upínací deskou. Spojeny jsou opět dvěma šrouby M12. Důležitým prvkem tažníků jsou dále zavzdušňovací kanálky, které zamezují vzniku podtlaku při vysouvání hotového výtažku. Jejich hloubka je vždy větší než výška výtažku v daném tahu.

Spodní část nástroje je v první operaci vybavena béžovou **střížnicí**, která je ustavena tak, že se její čelo nachází 5 mm nad čelem **přidržovače** a **vložky tažníku**. Díky tomu dojde k vystřížení přístříhu před prvním tažením. Funkční průměr střížnice je vysoký pouze 3 mm pro její případné přebušování. Dále se ale rozšiřuje, aby zbytečně nedocházelo k zadírání výstřížku. Růžové **tělo střížnice** slouží pro její přesné ustavení na spodní upínací desku. Vůči střížnici je tělo lícováno opět pomocí osazení a spojeno dvěma šrouby M8. Do upínací desky je přesně ustaveno dvěma kolíky o průměru 10 mm a přišroubováno dvěma šrouby M12. Posledním prvkem spodní části nástroje jsou vyfrézované drážky v upínací desce, které slouží k odvzdušnění i zavzdušnění prostoru pod **přidržovačem** v první operaci.

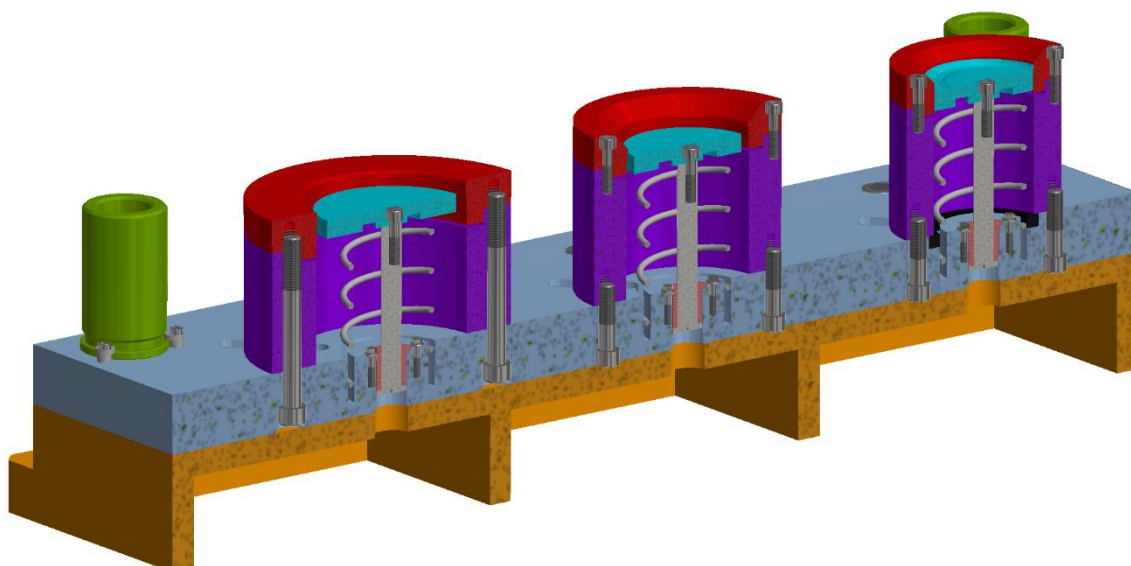


Obr. 38 Spodní část nástroje v řezu

Horní část nástroje v řezu je znázorněna na obr. 39. Šířka plochých tyčí, ze kterých se skládá oranžová **svařovaná skořepina**, závisí na výšce zdvihu azurových **vyhazovačů**. Vyhazovače jsou pomocí šroubů M8 připevněny k šedým tyčím vyhazovačů. Jejich protější konec je vybaven osazením, čímž dochází k vymezení maximálního zdvihu vyhazovačů. V tomto osazení se nachází i montážní drážka. Spolu s růžovými **kluznými pouzdry s přírubou** slouží tyto tyče k vedení vyhazovačů ve světle modré **horní upínací desce**. Pouzdra jsou zajištěna dvěma šestihrannými šrouby s přírubou M5. Drážky ve vyhazovačích zabraňují jejich vzájemné kolizi. Vyhazovací síla je vyvozena tlačnou pružinou, která se při úplném stlačení schová do drážky vyfrézované v upínací desce. V poslední operaci se nachází ještě černý dorazový kroužek sloužící jako podpora při prolisování dna nádoby.

Hlavními prvky horní části nástroje jsou červené **tažnice**, které jsou slícovány s fialovými **těly tažnic** osazením. Tažnice první operace je upnuta dvěma šrouby M14 přímo k upínací desce. Tento způsob upnutí je nutný, abychom se vyhnuli nutnosti vyvrtat díry na činné ploše tažnice. V dalších operacích by tento způsob upnutí vyžadoval zbytečně dlouhé šrouby, a proto jsou tažnice i jejich těla upnuta zvlášť, což umožňuje snazší rozebírání. Kolíky o průměru 10 mm zaručují přesné ustavení těl tažnic vůči upínací desce. Odvzdušnění a zavzdušnění prostoru pod vyhazovači je v každé operaci dosaženo díky dvěma drážkám v upínací desce.

Tmavě zelená **vodící pouzdra** jsou připevněna k vodící desce třemi excentrickými držáky a šrouby M6 rovněž od firmy Meusburger.

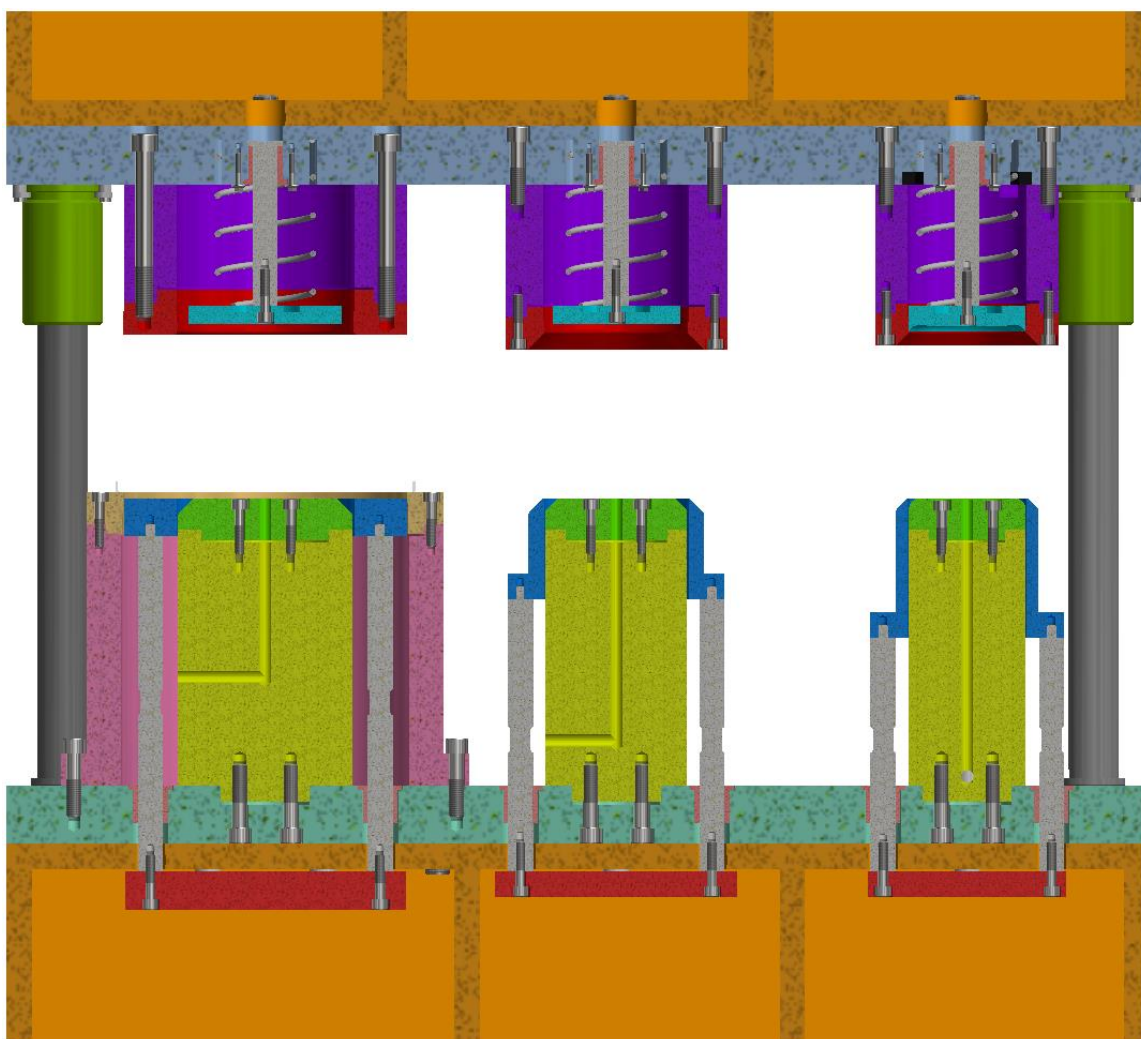


Obr. 39 Horní část nástroje v řezu

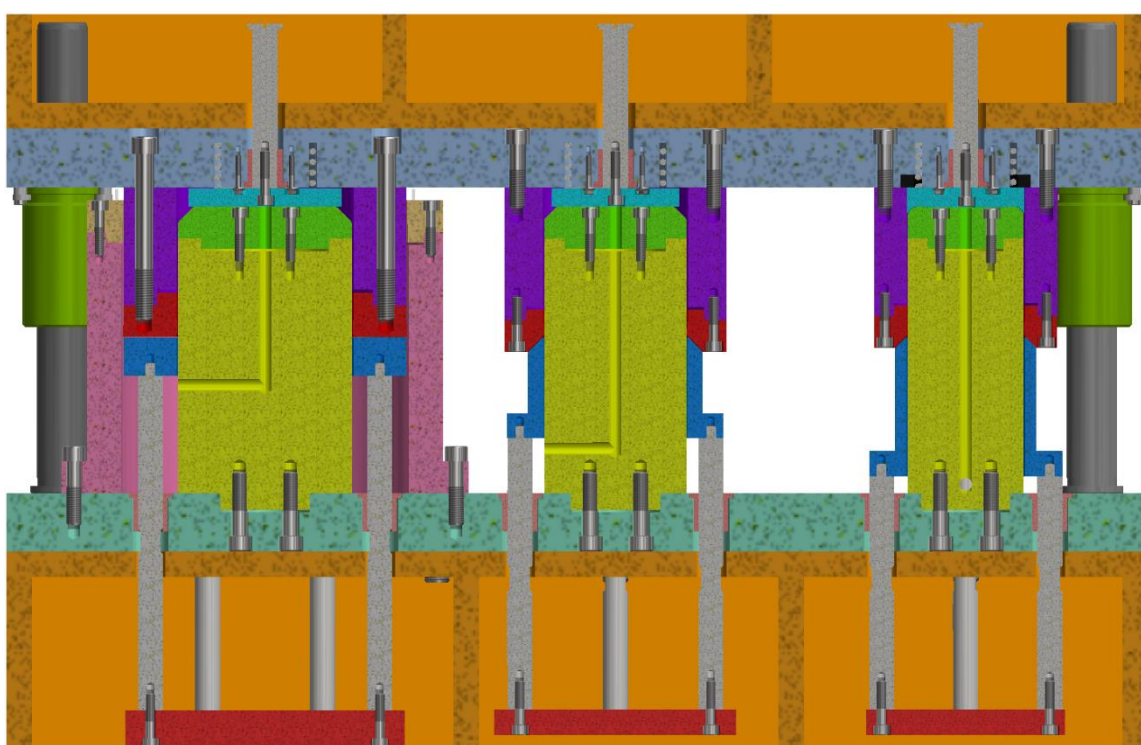
Výška zdvihu 'h_z' pro výrobu nádoby tímto nástrojem činí 224 mm. Jeho dráha se dá teoreticky rozdělit na čtyři etapy. První část začíná v otevřeném stavu nástroje a končí v bodě, kdy se v první operaci mine hrana tažnice se střižnicí, čímž dojde k vystřížení přístřihu ze svitku plechu. Dále následuje druhá část, na jejímž začátku dochází k zahájení všech tří tažných operací naráz. Tato část končí vytažením nejmělkčího výtažku v první operaci. Další část končí vytvořením výtažku druhé operace. Poslední část je ukončena dosednutím vyhazovače na dorazový kroužek ve třetí operaci, čímž dojde k prolisování dna nádoby.

Po dokončení celého zdvihu následuje otevření nástroje, vyjmutí hotového výtažku ze třetí operace, přesunutí výtažků z první a druhé operace do následující operace a posunutí svitku plechu. Celý proces se poté dále opakuje.

Řez celým nástrojem v otevřeném (zakládacím) stavu je zobrazen na obr. 40 a po úplném sevření je znázorněn na obr. 41.



Obr. 40 Řez nástrojem v otevřeném stavu



Obr. 41 Řez nástrojem v sevřeném stavu

4 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Vhodnost navrženého výrobního postupu je potřeba posoudit i z ekonomického hlediska. V následujících výpočtech se jedná spíše jen o orientační zhodnocení, aby se odhadla návratnost počátečních nákladů.

Polotovár ve formě svitku plechu bude nakupován za cenu 80 Kč.kg⁻¹. *Cena přístřihu* se poté určí jako:

$$c_p = m_p \cdot C_p = P \cdot k \cdot s_0 \cdot \rho \cdot C_p = 230 \cdot 225,5 \cdot 0,3 \cdot 7,9 \cdot 10^{-6} \cdot 80 = 9,83 \text{ Kč}, \quad (4.1)$$

kde: m_p – hmotnost polotovaru [kg],

C_p – cena za kilo svitku plechu [Kč.kg⁻¹].

Nevyužitou část svitku lze prodat jako nemagnetickou nerez za 25 Kč.kg⁻¹. *Cena odpadu* se poté určí jako:

$$c_o = c_p \cdot \frac{C_o}{C_p} \cdot \left(\frac{100 - \eta}{100} \right) = 9,83 \cdot \frac{25}{80} \cdot \left(\frac{100 - 75,3}{100} \right) = 0,76 \text{ Kč}, \quad (4.2)$$

kde: C_o – cena za kilo odpadu [Kč.kg⁻¹].

Celková cena materiálu na výrobu nádoby:

$$c_m = c_p - c_o = 9,83 - 0,76 = 9,07 \text{ Kč}. \quad (4.3)$$

Cena nástroje bude odhadnuta na základě předpokladu, že každý milimetr tažné hrany nástroje odpovídá 1 500 Kč:

$$c_n = (\pi \cdot d_1 + \pi \cdot d_2 + \pi \cdot d_3) \cdot c_n = \pi \cdot (138 + 112 + 92) \cdot 1\,500 = 1\,611\,637 \text{ Kč}, \quad (4.4)$$

kde: c_n – cena nástroje za milimetr tažné hrany [Kč.mm⁻¹].

Firma Dieffenbacher udává, že hodinové náklady na provoz stroje PO 100 činí 2 000 Kč. Tato částka zahrnuje amortizaci lisu, mzdu operátora, náklady na údržbu a spotřebovanou elektřinu. Na základě této informace lze spočítat *náklady stroje* na výrobu jedné nádoby:

$$n_s = \frac{N_s \cdot t}{3600} = \frac{N_s \cdot (t_p + t_m)}{3600} = \frac{N_s \cdot \left(\frac{2 \cdot h_z}{v_b} + t_m \right)}{3600} = \frac{2000 \cdot \left(\frac{2 \cdot 224}{100} + 5 \right)}{3600} = 5,23 \text{ Kč}, \quad (4.5)$$

kde: N_s – hodinové náklady stroje [Kč.h⁻¹],

t – čas výroby v nástroji [s],

t_p – čas pohybu nástroje [s],

t_m – čas pro manipulaci s výtažky mezi operacemi [s],

v_b – rychlost beranu lisu (tažení korozivzdorných ocelí max. 116 m.s⁻¹) [mm.s⁻¹].

Dále je potřeba zohlednit cenu plastového víka, tváření hrdla a lakování vnějšku nádoby:

$$c_d = c_v + c_z + c_l = 10 + 5 + 3 = 18 \text{ Kč}, \quad (4.6)$$

kde: c_v – cena plastového víka [Kč],

c_z – cena tváření hrdla [Kč],

c_l – cena lakování nádoby [Kč].

Celkové náklady tedy činí fixní náklad za nástroj a *variabilní náklady*. Ty jsou složeny z nákladů na materiál, provoz stroje, dokončovací operace a výrobu víka:

$$v_n = c_m + n_s + c_d = 9,07 + 5,23 + 18 = 32,3 \text{ Kč}. \quad (4.7)$$

Nejlevnější korozivzdorný shaker tohoto typu stojí v českých internetových obchodech 159 Kč. Snížením prodejní ceny na 149 Kč bude dosaženo zvýšení konkurenceschopnosti výrobku. Při obchodní marži konečného prodejce 30 % ho výrobce prodá za *cenu shakeru*:

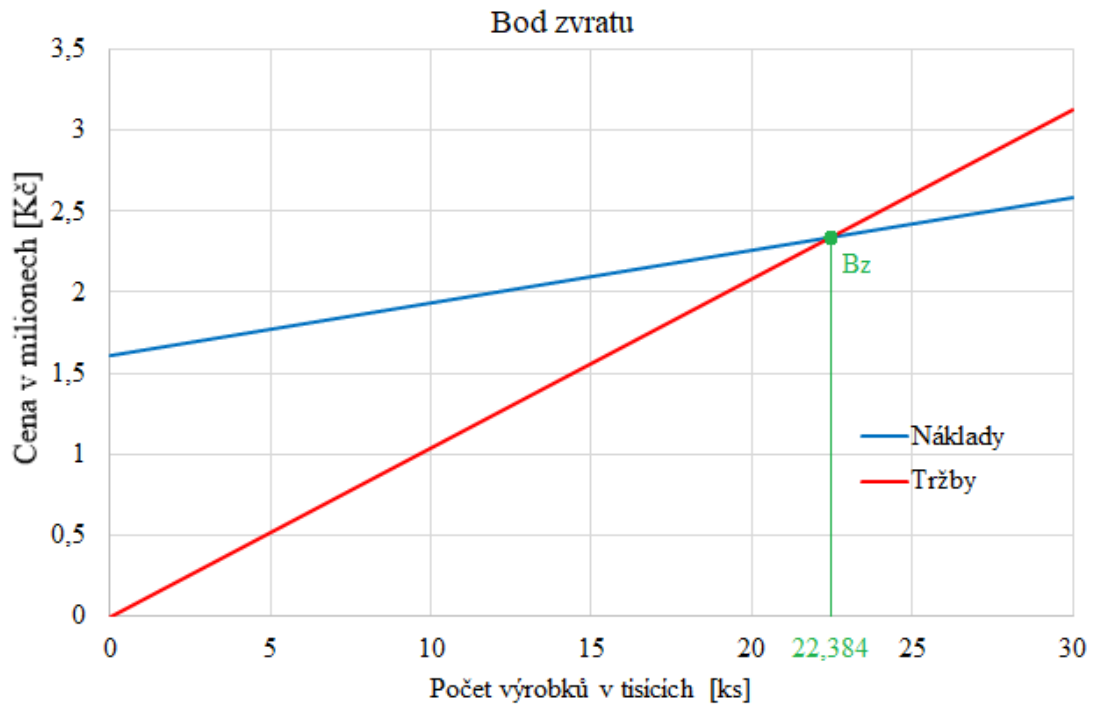
$$c_s = c_k \cdot 0,7 = 149 \cdot 0,7 = 104,3 \text{ Kč}, \quad (4.8)$$

kde: c_k – cena shakeru v obchodě [Kč].

Na základě předešlých výpočtů lze určit, po jakém počtu vyrobených shakerů dojde k vyrovnání nákladů a tržeb. Výrobou dalších produktů dochází ke generování zisku. *Bod zvratu* je dán vztahem:

$$B_z = \frac{C_n}{c_s - v_n} = \frac{1\,611\,637}{104,3 - 32,3} = 22\,384 \text{ ks.} \quad (4.9)$$

Ke generování zisku dojde zhruba po vyrobení 22 384 ks shakerů. Tento bod zvratu je znázorněn i graficky.



5 ZÁVĚRY

Zadaná součást je nádoba, která spolu s víkem tvoří shaker pro smíchání a konzumování doplňků stravy. Na základě s dlouhodobými zkušenostmi byly navrženy její úpravy s ohledem na technologické a funkční aspekty. Výsledná součást má jednoduchý rotačně symetrický válcový tvar s prolisovaným dnem a konstantní tloušťku stěny 0,3 mm. Vzhledem k jejímu účelu byla zvolena ocel ČSN 17 240. Roční objem výrobní série činí 30 000 ks za rok.

Ze čtyř výrobních technologií byla zvolena varianta konvenčního hlubokého tažení s přidržovačem bez ztenčení stěny. Oddělení přístřihu pro následné tažení bude provedeno pomocí střížného nástroje s uzavřenou křivkou stříhu. Pro tyto technologie je poté vypracována literární studie vycházející zejména z doporučené literatury.

Prvním krokem při návrhu výroby bylo určení celkové plochy nádoby a následný výpočet potřebného průměr přístřihu včetně přídávku na ostřížená nerovného okraje. Velikost tohoto přístřihu byla stanovena 223 mm. Stříhán je ze svitku plechu o šířce 230 mm. Součinitel využití toho plechu činí 75,3 %. Kalíšek vytvořený první tažnou operací má průměr 138 mm, druhou operací 112 mm a posledním tahem 92 mm. Dále byly stanoveny funkční rozměry nástrojů pro jednotlivé operace. Celková tvářecí síla nabývá hodnoty 305,5 kN a přidržovací síla 105 kN.

Jako výrobní tvářecí stroj byl zvolen hydraulický lis pro tváření plechů PO 100 od firmy Dieffenbacher. Tento lis je vybaven spodní přidržovací deskou. Následně byl zkonstruován sdružený postupový nástroj, který umožňuje vystřížení přístřihu, provedení všech tažných operací i prolisování dna nádoby. Mezi jednotlivými operacemi bude polotovar přenášen manuálně.

Výsledkem ekonomického zhodnocení je stanovení počtu součástí, které je potřeba vyrobit pro dosažení zisku. Tento počet činí zhruba 22 384 kusů.

Pro průmyslovou praxi bych doporučil zvážit rozšíření hydraulického lisu o transferový podavač, který nahradí operátora, a ten se může věnovat například tváření hrdla. Dále by bylo vhodné zvážit použití pneumaticky ovládaných vyhazovačů, neboť pružiny mají výrazně omezenou životnost.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [12]

1. DVOŘÁK, Milan, Karel NOVOTNÝ a František GAJDOŠ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2340-4.
2. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. 1. New York 10016: Industrial Press, 2004. ISBN 978-0831131821.
3. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knihnice technických aktualit. ISBN 80-03-00221-4.
4. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
5. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
6. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník CTT-K* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2006 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm.
7. Dřezy. *Online koupelny* [online]. Litomyšl: SANITINO, c2008-2020 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.onlinekoupelny.cz/grohe-drezy-nerezovy-drez-k500-s-automaticym-odtokem-1160x500-mm-31588sd0iij1>
8. Stavební kolečka. *Hornbach* [online]. Praha 9: Hornbach baumarkt, c2004-2020 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/shop/Nahradni-korba-pro-kolecko-80-1/4228025/artikl.html>
9. Technické materiály. *Techportal* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, c1997-2020 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/>
10. MRŇA, Libor. *Dělení a svařování plazmou* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2013 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/index.php>
11. LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. Liberec, 2018 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/10.htm.
12. Citace Pro. *Generátor citací* [online]. 2012 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
13. Multi servo press. *Bias makina* [online]. Istanbul: BIAS Mühendislik, c2016 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <http://www.biasmakina.com/en/katalog.php>
14. FAQ's. *Twinplex* [online]. Wood Dale: Twinplex Stamping Company, c2004 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.twinplex.com/faq.html>
15. LIDMILA, Zdeněk. Ročníkový projekt I – tváření, svařování. *E-learning na VUT v Brně* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2020 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://moodle.vutbr.cz/mod/folder/view.php?id=163673>
16. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.

17. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – v příkladech* [online]. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2013 [cit. 2021-03-14]. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_005/
18. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
19. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – teoretický základ* [online]. 1 Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2013 [cit. 2021-03-14]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/
20. KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje II*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1985. ISBN 80-214-1038-8.
21. NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje a zařízení: část tvářecí stroje. *Odbor technologie tváření kovů a plastů* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2002 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/studium/index.php?stranka=opory>
22. LIDMILA, Zdeněk. *Ročníkový projekt I – tváření, svařování* [přednáška]. Brno: Vysoké učení technické, 2020
23. *Hydraulické lisy. Dieffenbacher* [online]. Eppingen: Datenschutzbeauftragter, c2021 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: dieffenbacher.cz/front_content.php?idcat=277&lang=6

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_c	Celková práce	[J]
A_e	Rozměr střižnice	[mm]
A_j	Jmenovitý rozměr součásti	[mm]
A_k	Rozměr střižníku	[mm]
A_s	Střižná práce	[J]
A_t	Tažná práce	[J]
B_z	Bod zvratu	[ks]
C	Součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení	[-]
C_n	Cena nástroje	[Kč]
C_o	Cena za kilo odpadu	[Kč.kg ⁻¹]
C_p	Cena za kilo svitku plechu	[Kč.kg ⁻¹]
c	Koeficient přesnosti stříhu	[-]
c_d	Cena dokončovacích operací	[Kč]
c_k	Cena shakeru v obchodě	[Kč]
c_l	Cena lakování	[Kč]
c_m	Cena materiálu	[Kč]
c_n	Cena nástroje za milimetr tažné hrany	[Kč.mm ⁻¹]
c_o	Cena odpadu	[Kč]
c_p	Cena polotovaru	[Kč]
c_v	Cena víka	[Kč]
c_z	Cena tváření zahrnutí	[Kč]
D_0	Průměr přístříhu	[mm]
D_e	Průměr střižnice	[mm]
D_k	Průměr střižníku	[mm]
D_v	Průměr výstřížku	[mm]
d	Průměr výtažku	[mm]
d_{tk}	Průměr tažníku	[mm]
e	Šířka můstku	[mm]
F_c	Celková tvářecí síla	[N]
F_k	Kritická síla	[N]
F_p	Přidržovací síla	[N]
F_s	Střižná síla	[N]
f	Šířka okraje	[mm]
h	Hloubka výtažku	[mm]
h_v	Hloubka válcové části výtažku	[mm]
h_z	Výška zdvihu	[mm]
K	Součinitel zaplnění plochy	[-]
k	Délka kroku	[mm]
k_1	Koeficient hloubky vniknutí nože	[-]

k_o	Součinitel otupení	[–]
L_s	Délka svitku	[mm]
l	Délka střížné hrany	[mm]
m	Součinitel tažení	[–]
m_p	hmotnost polotovaru	[kg]
m_s	Hmotnost svitku	[kg]
N_p	Počet přístřihů ze svitku	[ks]
N_s	Hodinové náklady stroje	[Kč.h ⁻¹]
n_s	Náklady stroje	[Kč]
P	Šířka plechu	[mm]
P_o	Přípustná míra opotřebení	[mm]
p	Tlak přidržovače	[MPa]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
r_{tc}	Zaoblení tažnice	[mm]
$S_č$	Činná plocha přidržovače	[mm ²]
S_p	Plocha přístřihu	[mm ²]
S_v	Plocha výstřížku	[mm ²]
S_u	Plocha potřebného úseku svitku	[mm ²]
s_o	Tloušťka plechu	[mm]
t	Čas výroby v nástroji	[s]
t_p	Čas pohybu nástroje	[s]
t_m	Čas pro manipulaci s výtažky mezi operacemi	[s]
v	Střížná vůle	[mm]
v_b	Rychlost beranu lisu	[mm.s ⁻¹]
v_n	Variabilní náklady	[Kč]
Z	Materiálová konstanta	[–]
z	Střížná mezera	[mm]
z_1	Tažná mezera prvního tahu	[mm]
α	Součinitel použití přidržovače	[–]
δ_e	Výrobní tolerance střížnice	[mm]
δ_k	Výrobní tolerance střížníku	[mm]
η	Součinitel využití materiálu	[–]
ρ	Hustota korozivzdorné oceli	[kg.mm ⁻³]
τ_s	Mez pevnosti ve stříhu	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Dřez [7]	9
Obr. 2 Korba [8]	9
Obr. 3 Shaker.....	10
Obr. 4 Zadaná součást	10
Obr. 5 Plazmové svařování [10].....	11
Obr. 6 Schéma kovotlačení [11].....	11
Obr. 7 Systém Marform [3].....	12
Obr. 8 Systém Hydroform [3]	12
Obr. 9 Tažidlo [3].....	12
Obr. 10 Postupový nástroj [13]	13
Obr. 11 Postup tažení [14].....	14
Obr. 12 Průběh stříhání [5].....	14
Obr. 13 Rozmístění přístřihů [16]	15
Obr. 14 Střížná mezera [17]	15
Obr. 15 Průběh střížné síly [5]	16
Obr. 16 Jednoduché jednooperační stříhadlo [19]	17
Obr. 17 Víceoperační tažení bez přidržovače [5].....	18
Obr. 18 Napjatost při tažení bez přidržovače [5]	18
Obr. 19 Rozdělení ploch [3]	19
Obr. 20 Ostupňování tažných operací [19]	19
Obr. 21 Tažná mezera [1].....	20
Obr. 22 Průběh tažné síly [1]	21
Obr. 23 Tažidlo pro poslední tah [5].....	22
Obr. 24 Tažník [19].....	23
Obr. 25 Přidržovač 1. tah [18].....	23
Obr. 26 Pracovní diagram klikového a hydraulického mechanismu [22].....	24
Obr. 27 Upravená nádoba.....	25
Obr. 28 Výstřížek ze svitku.....	27
Obr. 29 Geometrie prvního tahu	29
Obr. 30 Výtažek po prvním tahu.....	29
Obr. 31 Geometrie druhého tahu.....	30
Obr. 32 Výtažek po druhém tahu	30
Obr. 33 Geometrie třetího tahu	31
Obr. 34 Výtažek třetího tahu	32
Obr. 35 Přehled tvářecích operací	32
Obr. 36 Hydraulický lis [23]	33
Obr. 37 Sdružený postupový nástroj v otevřeném stavu.....	34
Obr. 38 Spodní část nástroje v řezu.....	35
Obr. 39 Horní část nástroje v řezu.....	36
Obr. 40 Řez nástrojem v otevřeném stavu	37
Obr. 41 Řez nástrojem v sevřeném stavu	37

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli [9]	10
Tab. 2 Součinitel tažení [2]	20
Tab. 3 Vybrané hodnoty součinitele C [1]	21
Tab. 4 Základní parametry lisu PO 100 [23].....	32

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list [9]
- Příloha 2 Směrnice pro stanovení šířky odpadu [15]
- Příloha 3 Přípustná míra opotřebení a výrobní tolerance střížného nástroje [15]
- Příloha 4 Nomogram pro výpočet průměru přístřihu [3]

SEZNAM VÝKRESŮ

Nádoba	BP-01
Sdružený nástroj	BP-02
Tažník 2	BP-03
Tažnice 2	BP-04


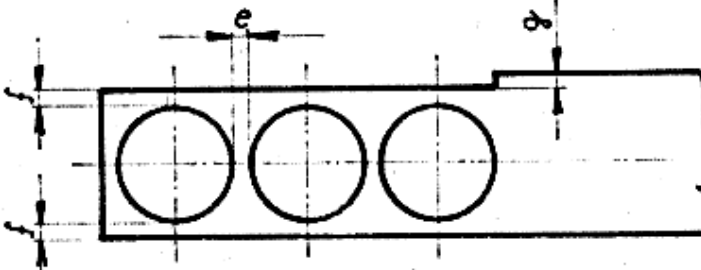
Příloha 1

Materiálový list [9]

1.4301		Cr-Ni austenitická ocel odolná korozi				X5CrNi18-10	
Číselné označení						Značka	
Chemické složení [hm. %]⁷⁾							
C	Si	Mn	P	S ¹⁾	Cr	Ni	N ⁸⁾
max 0,07	max 1,00	max 2,00	max 0,045	max 0,015	17,5–19,5	8,00–10,5	max 0,11
Normy EN							
[1] 10088-1,-2, -3	[6] 10222-5	[11] 10270-3	[16] 10312				
[2] 10028-7	[7] 10250-4	[12] 10272	[17] 10088-4,-5				
[3] 10151	[8] 10263-5	[13] 10294-2					
[4] 10216-5	[9] 10264-4	[14] 10296-2					
[5] 10217-7	[10] 10269	[15] 10297-2					
Mechanické vlastnosti							
Polotovary, norma		C ²⁾ [1][2][17]	H ³⁾ [1][2][17]	P ⁴⁾ [1][2][17]	T ⁵⁾ [1][12][17]		
Rozměr t, d [mm]		≤ 8	≤ 13,5	≤ 75	≤ 160	>160 ≤ 250	
Stav		po rozpouštěcím žíhání (+AT)					
Mez kluzu R _{p0,2} [MPa] min		230	210	190			
Mez kluzu R _{p1,0} [MPa] min		260	250	225			
Mez pevnosti R _m [MPa]		540–750	520–720	500–700			
Tažnost A [%]	podél min	–				45	–
	příčně min	45				–	35
Nárazová práce KV [J]	podél min	–	100	100			
	příčně min	–	60	–			
KV ⁻¹⁹⁶ [J]	příčně min	–	60	–			

Příloha 2

Směrnice pro stanovení šířky odpadu [15]

 NAŘ KON-KL	SMĚRNICE PRO STANOVENÍ ŠÍŘKY ODPADU						415 - 06 - 205					
	Výpis z ON 22 6032						Počet stran 3					
												
Pl. mat.	Šířka pásu											
	do 15		15+50		50+100		100+200		200+300		300+400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1+0,9	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5				
1	1	1,2	1,3	1,6	1,6	2	2	3,8	2,5	5,2	3	6,6
1,3	1,1	1,4	1,6	2	2,1	2,5	3,1	3,8	4	5,3	5	6,7
1,5	1,2	1,5	1,7	2,2	2,2	2,7	3,2	4	4,3	5,4	5,4	6,8
1,8	1,4	1,8	1,8	2,2	2,3	2,8	3,3	4,2	4,4	5,6	5,5	7
2	1,5	2	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,5	4,5	5,8	5,7	7,2
2,2	1,6	2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,6	4,5	4,6	6	5,8	7,3
2,5	1,7	2,2	2,3	2,8	2,7	3,4	3,7	4,7	4,7	6	5,8	7,4
2,8	1,8	2,2	2,4	3	2,8	3,5	3,8	4,7	5	6,2	6	7,5
3	2	2,5	2,5	3	3	3,7	4	5	5	6,3	6,2	7,7
3,5			2,7	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,5	6,3	8
4			3	3,8	3,5	4,3	4,5	5,6	5,6	6,8	6,5	8,2
4,5			3,2	4	3,7	4,6	4,7	5,8	5,7	7,2	6,8	8,7
5			3,5	4,2	4	5	5	6,2	6	7,7	7	9,2
Flouščka mat.		do 1	1,1+1,3		1,4+1,5		1,6+1,8		1,9+2			
g		1,5	1,8		2		2,2		2,5			
Rozměry uvedené v tabulkách platí pro kovy. Pro materiály měkké (chrom. kůže, textil, azbest) použít dvojnásobné hodnoty e; f. Rozměr g zvětšit 1,5 krát.												
Kreslil	Přezkoušel	Schválil						Platí od				
<i>Soudk</i>	<i>Ky Pankov</i>	<i>Štef</i>						1.4.1981				

Příloha 3

Přípustná míra opotřebení a výrobní tolerance střížného nástroje [15]

Tolerance součásti Δ		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance nástroje	
od	do		δ_e	δ_k
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,038	0,026
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,046	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,056
0,280	0,300	0,230	0,089	0,056
0,300	0,320	0,250	0,100	0,062
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,380	0,160	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,510	0,190	0,120

Příloha 4

Nomogram pro výpočet průměru přístříhu [3]

