

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MECHANICAL TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI NÁDOBKÁ HLUBOKÝM TAŽENÍM

PRODUCTION OF PART VESSEL BY DEEP DRAWING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

HYNEK PALČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL NOVOTNÝ, CSc.

BRNO 2010

ZADÁNÍ

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student: Hynek Palčík

který studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Výroba součásti Nádobka hlubokým tažením

V anglickém jazyce:

Production of part Vessel by deep drawing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracování technologického postupu výroby nádobky hlubokým tažením, technicko-ekonomické hodnocení

Cíle bakalářské práce:

- 1) Vypracování literární rešerše z oblasti hlubokého tažení
- 2) Analýza možných metod výroby
- 3) Návrh technologického postupu výroby zadané součásti
- 4) Vypracování výkresové dokumentace a technické zprávy
- 5) Vypracování technického-ekonomického hodnocení

Seznam odborné literatury:

- 1) KOTOUČ, J. a kol.: Tvářecí nástroje, ČVUT Praha 1993
- 2) fa.SCHULER: Handbuch der Umformtechnik 1996
- 3) kolektiv autorů: Lisování, SNTL Praha, 1971
- 4) Odborné časopisy, sborníky z konferencí

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Karel Novotný, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

PALČÍK Hynek: Výroba součásti Nádobka hlubokým tažením

Vypracovaná bakalářská práce je návrhem technologie výroby plechové součásti nádobka z materiálu DC 04 (11 305) vyrobené tažením. Na základě literárních a odborných článků o hlubokém tažení byla navržena technologie hlubokého tažení o třech krocích.

Klíčová slova: Tváření, tažení, tažení plechů, tažník.

ABSTRACT

PALČÍK Hynek: Production of part Vessel by deep drawing

Elaborated bachelor's thesis is proposal of part vessel production by deep drawing from material DC (11 305). Based on technical articles focused on deep drawing, was used technology of deep drawing in tree steps.

Keywords: forming, drawing, drawing sheets, puncheons.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PALČÍK, Hynek: *Výroba součástí Nádobka hlubokým tažením*. Brno, 2010. 32 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Obor strojírenská technologie. Vedoucí práce doc. Ing. Karel Novotný, CSc.

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 27.05.2010

.....
PALČÍK Hynek

PODĚKOVÁNÍ

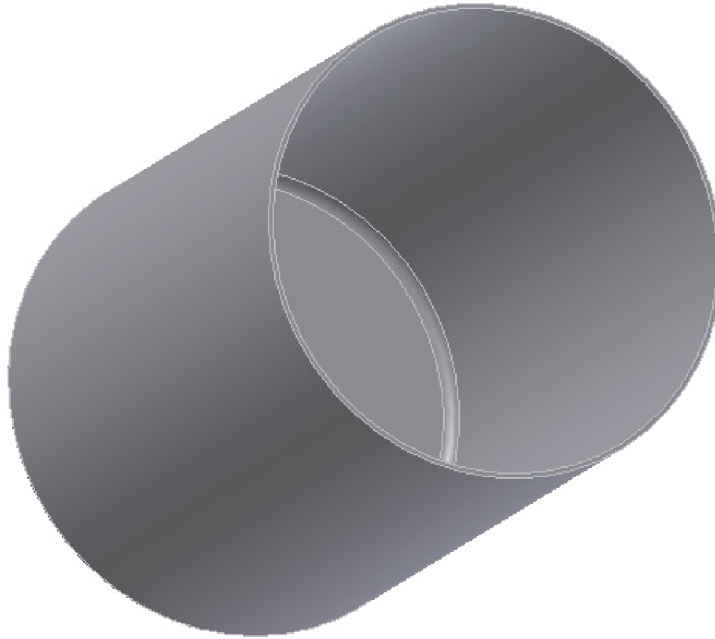
Tímto děkuji panu doc. Ing. Karlu Novotnému, CSc. za cenné rady a připomínky týkající se zpracování této práce.

Obsah

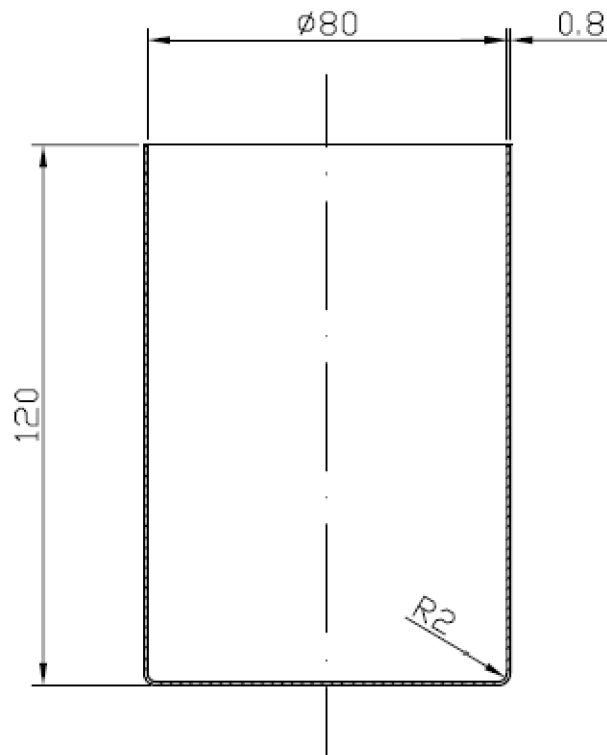
Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
1. Úvod	9
1.1. Technologičnost konstrukce výtažku	10
1.2. Technologičnost materiálu	10
2. Literární rešerše tažení	11
2.1. Proces Tažení	12
2.1.1. Vznik vln	13
2.1.2. Schéma napjatostí a deformací	15
2.2. Síla a práce	16
2.3. Velikost přístřihu a počet tahů	17
2.3.1. Součinitel tažení	17
2.3.2. Velikost přístřihu	18
2.3.3. Technologické zásady	18
2.3.4. Mazání	19
2.4. Nástroj pro tažení	19
2.4.1. Materiál nástroje	20
3. Konstrukční řešení	21
3.1. Parametry výrobku	21
3.2. Velikost přístřihu	21
3.3. Použití přidržovače a počet operací	22
3.4. Výpočet tažná síla	22
3.4.1. Tažná síla	23
3.4.2. Síla přidržovače	23
3.4.3. Celková tažná síla	23
3.5. Tažná práce	23
3.6. Tažné hrany a tažná mezera	23
3.7. Mazání	24
4. Volba lisu	25
5. Ekonomické zhodnocení	26
5.1. Ekonomické zhodnocení	26
5.2. Výpočet nákladů	26
6. Závěr	29
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů	
Přílohy	

1. ÚVOD

Cílem mé bakalářské práce je zpracovat výrobu součásti NÁDOBKKA (obr.1). Jedná se o válcovou nádobku se dnem, která bude vyrobena technologií hlubokého tažení v sérii 80 000 ks·rok⁻¹. Polotovarem je kruhový přístřih o průměru 223mm, součást je vyrobena z hlubokotažného plechu DC 04 (11 305) o síle 0,8 mm.



Obr. 1 součást nádobka (3D pohled)



Obr. 2 součást nádobka

1.1. Technologičnost konstrukce výtažku [1, 6]

Technologičnost výtažků je závislá na volbě materiálu, zvláště jde-li o výtažky vyžadující vysoký stupeň deformace a větší počet tahů. Rozměrová přesnost výtažků zhotovených nejjednodušším postupem tažení je ovlivněna některými vlastnostmi procesu tažení:

- tloušťka stěny výtažku se mění, v přechodu dna do pláště je nejmenší, na horním okraji výtažku a v obvodu je největší (rozdíly tloušťek mohou být 20 - 30%)
- plášť výtažku bývá mírně kuželovitý (do 3°), u nízkých výtažků z tlustého plechu
- poloměry zaoblení přechodu mezi dnem a pláštěm je nutno přizpůsobit metodě tažení
- okraj výtažku bývá nerovný, vznikají takzvané cípy, které je nutno po vytažení odštíhnout. Příčinou je nejčastěji anizotropie mechanických vlastností plechu, nestejněměrná tloušťka plechu a nestejně přidržení okrajů
- největší zpevnění materiálu je zejména na okraji výtažku

1.2. Technologičnost materiálu [1, 6]

Náklady na materiál jsou v poměru k celkovým výrobním nákladům na výtažek tím větší, čím je větší počet výtažků. Ve velkosériové a hromadné výrobě převažuje účinek technologičnosti materiálu všechny ostatní zdroje úspor. Volíme tedy materiál, který vyhoví funkci dané součásti a také usnadní optimální výrobní proces. Dalším požadavkem je čistý, lesklý povrch plechu, bez okují a mechanického poškození.

Tab. 1 Chemické složení

Prvky	C	Si	Mn	P	S	Al
Chemické složení [%]	max. 0,07	max. 0,03	max. 0,4	max. 0,025	max. 0,025	min. 0,025
Třída odpadu podle ČSN 42 0030	005					
Barevné označení podle ČSN 42 0010	hnědá - modrá					
Druh oceli podle způsobu výroby	uklidněná kyslíková konvertorová					
Výrobek	tenké plechy					
Provedení	válcováno za studena					
Stav povrchu	hladký	ČSN 42 6312.+1				
	matný	ČSN 42 6312.+2				
	zdrsněný	ČSN 42 6312.+3				
Jakost povrchu	ČSN 42 6312.3 nebo ČSN 42 6312.4					
	ČSN 42 5351.3 nebo ČSN 42 5351.4					
Rozměrová norma	ČSN 42 6312					
	ČSN 42 5351					
Technické dodací předpisy	ČSN 42 0127					
	ČSN 42 0108					
Tloušťka [mm]	0,50 až 2,00					
Označení materiálu a stavu	11 305.21					
Stav	rekrytalizační žihání					
Třída obrobiteľnosti	Lehce převálcovaný za studena					

Tab. 2 Označení materiálu

ČSN	EN	DIN	W.Nr.	BS	GOST	Charakteristické vlastnosti
11 305	DC 04 FeP03	St 4 St 14	1.0338	1;2 CR 1;2 CS 1;2 HR 1;2 HS	08 Ju 08 JuA	vhodná k hlubokému tažení, dobře svařitelná

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE TAŽENÍ [1, 6]

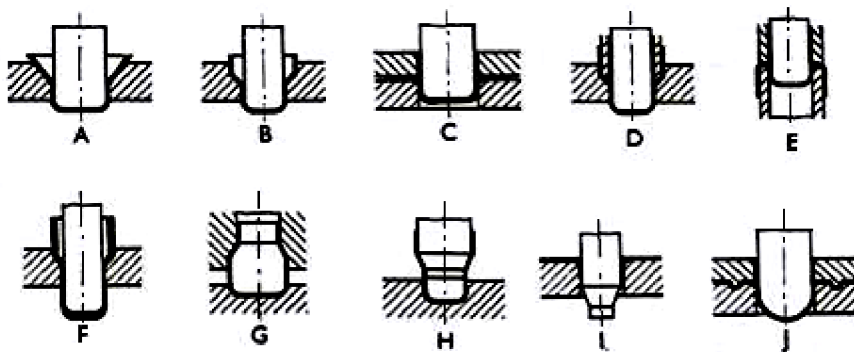
Technologie tváření kovů a slitin představuje výrobní proces, při němž dostávají polotovary po zpracování konkrétní navržený tvar za působení vnějších sil bez porušení materiálu.

Tvářením se mohou zhotovovat polotovary, které jsou určeny k dalšímu zpracování tvářením, obráběním a jinými technologiemi, ale i hotové výrobky různých rozměrů a tvarů. Tváření má v hutní a ve strojírenské výrobě velký a nezastupitelný význam. Tato technologie je efektivní a velice ekonomická, uplatňuje se především v sériové a hromadné výrobě.

Tažením vzniká z rovinného pásu plechu potažmo přístříhu prostorový výtažek, či výlisek. Dle tvaru výtažku lze tažení dělit na tažení mělké a hluboké, tažení bez a se ztenčením stěny, tažení rotačních (*kruhových*) a nerotačních tvarů a dále tažení nepravidelných tvarů, mezi které patří např. karosářské výlisky.

Výchozí polotovar pro tažení bývá z pravidla rovinný přístřih plechu, pás plechu nebo již jinak zpracovaný polotovar.

Tažení lze dále dělit na: prosté tažení, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, rozšiřování a lemování, zužování, přetahování, napínání a speciální způsoby.



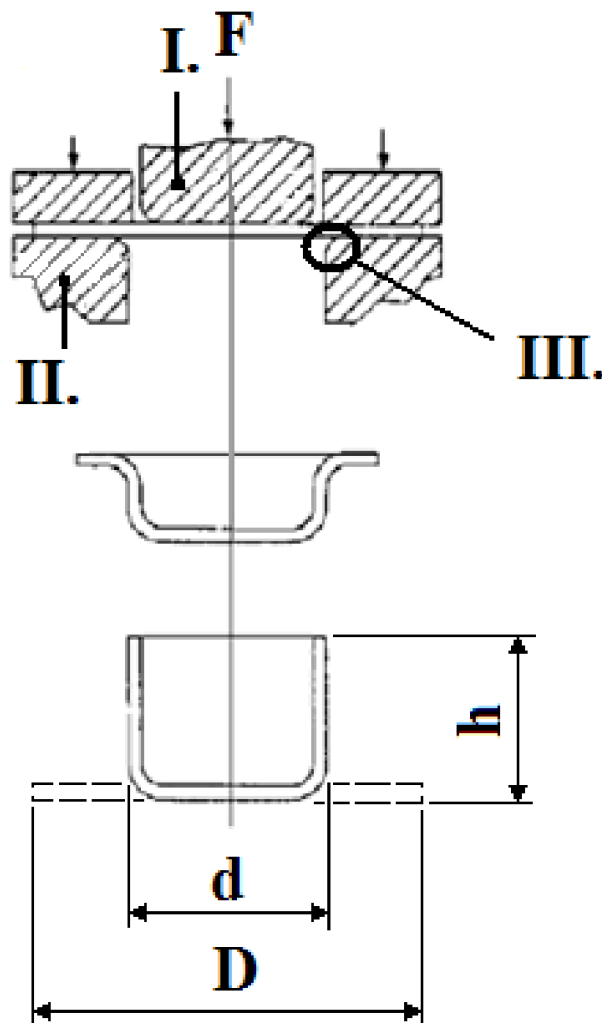
Obr. 3 Technologické způsoby tažení [6]

A, B - tažení bez přidržovače, C, D - tažení s přidržovačem, E - zpětné tažení (obracení),
F - tažení se ztenčením stěny, G - zužování, H - rozšiřování, I - lemování (přetahování),
J - napínání

2.1. Proces tažení [6]

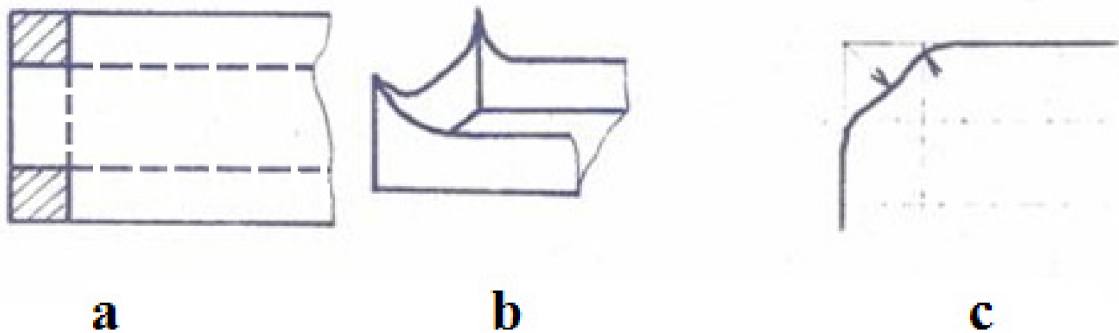
Princip tažení lze zjednodušeně vysvětlit na tažení jednoduchého válcového tělesa se dnem. Obdobným způsobem lze vyrobit výtažky hranatých nebo nepravidelných tvarů.

Zatlačujeme-li tažník (I.) do tažnice (II.), posunuje se plech přes tažnou hranu (III.), která se z celého nástroje nejrychleji opotřebovává. Potřebná síla musí splňovat podmínky nutné k tažení s ohledem na pevnost taženého materiálu, aby při tažení nedošlo k porušení soudržnosti tažené součásti. Je tedy nutné uvažovat vliv tření a zpevnění materiálu. Při tažení se mezikruží přístříhu změnil na válec s průměrem d a výškou h z dřívějšího rozměru přístříhu D . V důsledku zákona zachování konstantního objemu se objem součásti během procesu nemění.



Obr. 4 Princip tažení válcového tvaru [6]

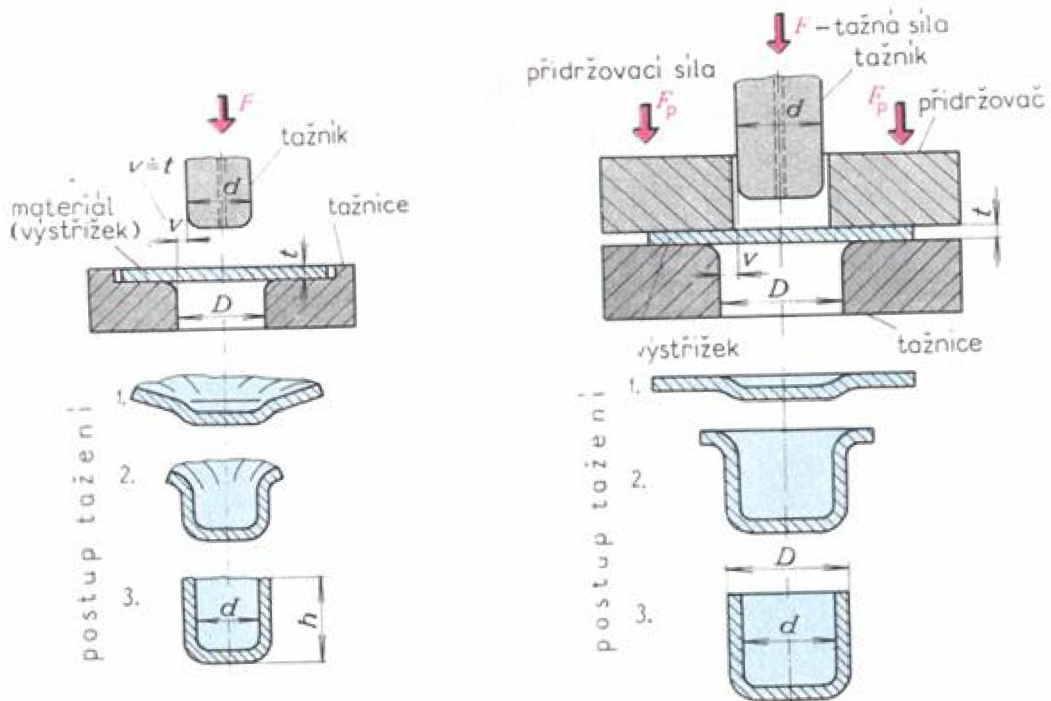
Hranaté výtažky krabicového tvaru se táhnou takzvaným mělkým tahem. Na obrázku č. 3 (a, b), je názorně vidět, proč není vhodné pro tažení součástí s rohy nebo součástí krabicového tvaru používat obdélníkový přístřih. V rozích by vznikly vysoké cípy, které by musely být následně odstraněny. Na obrázku č. 3 (c) je ukázka osvědčeného tvaru nástřihu pro tažení krabice s obdélníkovou základnou.



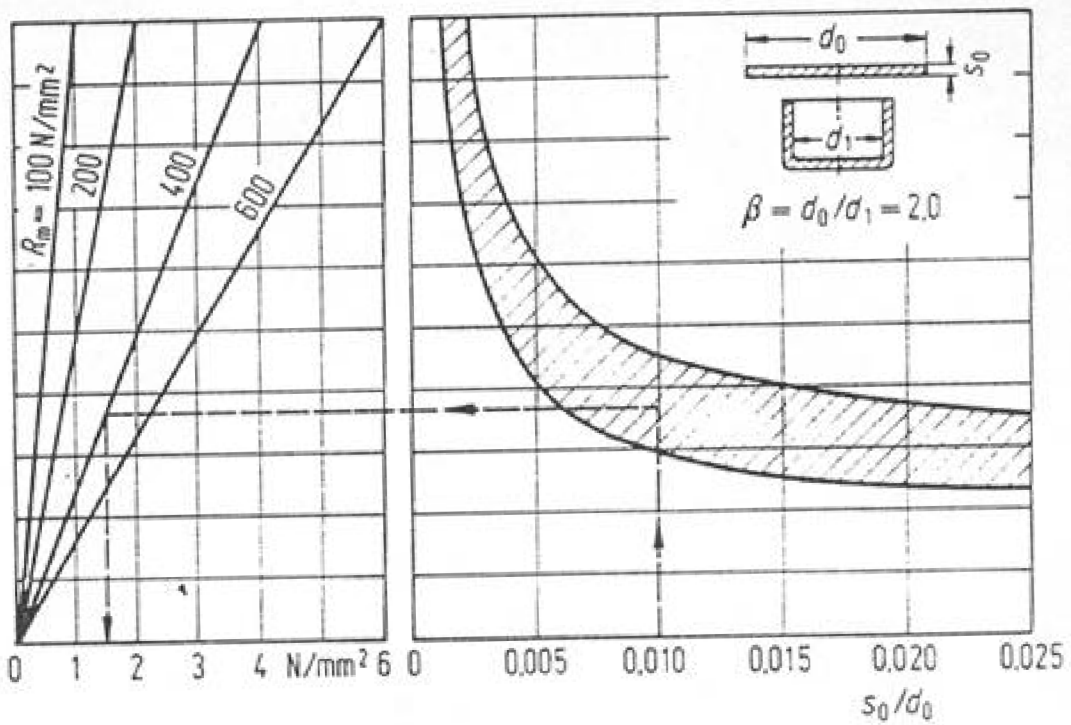
Obr. 5 Tažení hranaté krabice (vlevo - cípy, vpravo - optimální nástřih) [6]

2.1.1. Vznik vln [6]

Při tažení se přesouvá značná část a objem materiálu do tažnice. Materiál si zachovává svůj objem, tudíž se během tažení vytlačuje, zvětšuje výšku nádoby, mění tloušťku stěny a podobně. Vše záleží na zvoleném způsobu tažení. Při tažení postupuje materiál z přírubové části do válcové, díky čemuž má materiál snahu se v přírubové části vlnit, hlavně při vysokém stupni deformace. Při malém stupni deformace a při velké tloušťce materiálu se vlny téměř netvoří. Vzniku vln lze zabránit tzv. přidržovačem, kde je důležitým parametrem jeho měrný tlak. Měrný tlak přidržovače závisí na tloušťce plechu, poměru výchozí tloušťky plechu ku průměru nádoby, jakosti plechu a součinitele tažení. Celková síla přidržovače je součinem měrného tlaku a činné plochy přidržovače. Určení měrného tlaku přidržovače lze pomocí grafů.



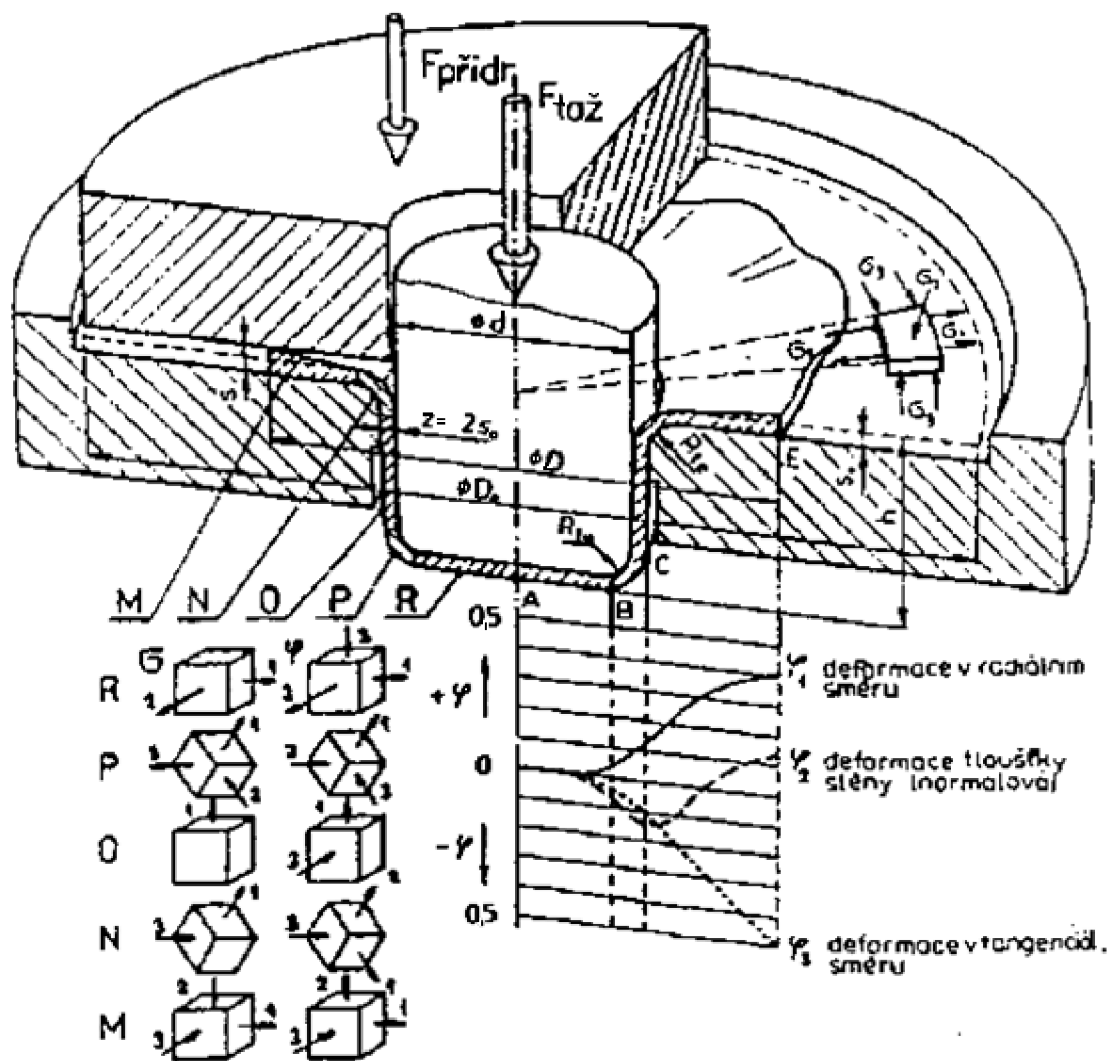
Obr. 6 Tvorba vln u tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo)



Obr. 7 Diagram pro zjištění měrného tlaku přidržovače pro první tah

2.1.2. Schémata napjatostí a deformací [1]

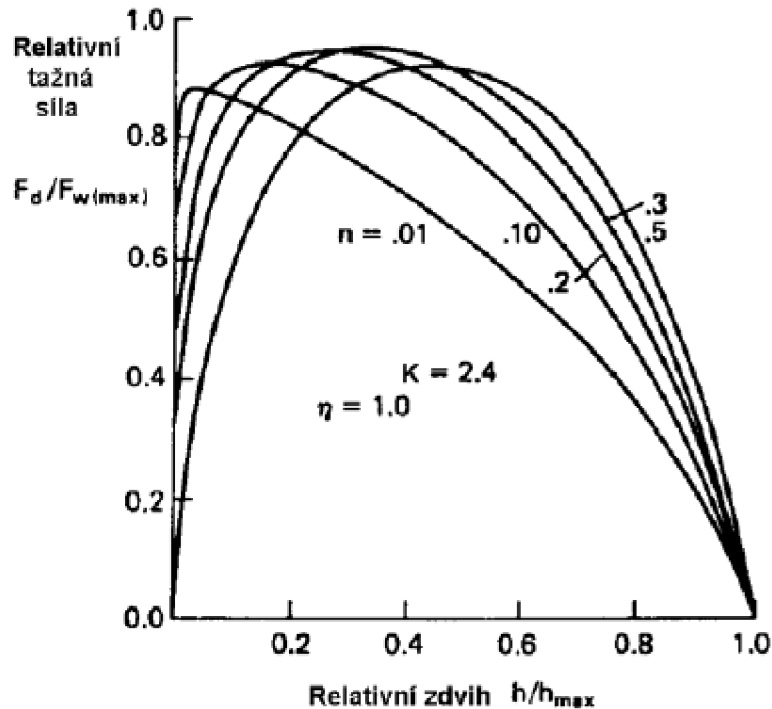
Napjatost při tažení je v jednotlivých místech výtažku různá a dochází zde k anizotropii mechanických vlastností plechu. Materiál pod přidržovačem (M) je namáhán tahem v radiálním směru, tlakem v tangenciálním směru a tlakem kolmo na povrch příruby. Materiál, který přechází přes tažnou hranu (N) je namáhán ohybem radiálním a tangenciálním tlakem. Válcová oblast (O) je natahována v jednom směru. V oblasti přechodu válcové části do dna výtažku (P) je prostorová nestejnorodá napjatost, která má za následek prodloužení a ztenčení tloušťky stěny výtažku. V této oblasti dochází nejčastěji k utržení dna. V oblasti dna (R) vzniká rovinná napjatost.



Obr. 8 Schéma napětí a deformací při tažení s přidržovačem

2.2. Síla a práce [1, 6]

V literatuře je uvedeno spoustu matematických vztahů pro výpočet sil, některé jsou poměrně komplikované, a proto se zjednodušují. Praktické vzorce vycházejí z toho, že dovolené napětí musí být menší, než napětí na mezi pevnosti. Tudíž, největší tažná síla musí být o něco menší, než síla, která způsobí utržení dna výtažku od bočních stěn. Z diagramu je patrné, že síla se mění od nuly po maximum asi v polovině tahu a potom opět klesá.



Obr. 9 Průběh relativní tažné síly na posuvu tažníku

Velikost tažné síly pro nástroj s přidržovačem, pro první a další tahy se zjednodušeně vypočte podle vztahu:

$$F_c = F_t + F_p = O \cdot t \cdot R_m + S \cdot p \text{ [N]}$$

Kde: O – obvod tažné hrany [mm]
 R_m – pevnost materiálu v tahu [MPa]
 S – plocha přidržovače [mm²]
 p – měrný tlak přidržovače pro ocel [2,5 Mpa]
 t – tloušťka plechu [mm]

Velikost práce při tažení se vypočte:

$$A = F_c \cdot C \cdot h \text{ [J]}$$

Kde: C – součinitel pro kalibraci dna [0,66]
 F_c – celková síla [N]
 h – výška výtažku [m]

2.3. Velikost přístřihu a počet tahů [6]

Při tažení je celkové přetvoření plechu vysoké, ve většině případů nelze celou nádobku vytáhnout v jedné operaci. Proto se první tah provádí mělký a o velkém průměru. Při dalších tazích se vždy zmenšuje průměr a v závislosti na tom roste výška výtažku. Počet tahů je poměr průměru přístřihu k průměru výtažku. Při velkém počtu tahů může dojít k vyčerpání plastičnosti a je nutné provést mezioperační žihání.

2.3.1. Součinitel tažení [1, 6]

Součinitel tažení m vyjadřuje míru tvářitelnosti a je dán pro jednotlivé operace vztahem.

$$1. \text{ operace } m_1 = \frac{d_1}{D}$$

$$2. \text{ operace } m_2 = \frac{d_2}{d_1}$$

Celkový součinitel tažení se vypočítá vynásobením dílčích součinitelů tažení z jednotlivých operací.

$$m = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n$$

Celkový součinitel tažení má pro různé druhy výtažků, různé druhy materiálů a poměrné tloušťky t/D , rozdílné hodnoty. Pro praktické využití jsou sestaveny tabulky a grafy, podle nichž lze rychle a snadno určit počet tažných operací. Také slouží k určení jednotlivých rozměrů při dané operaci.

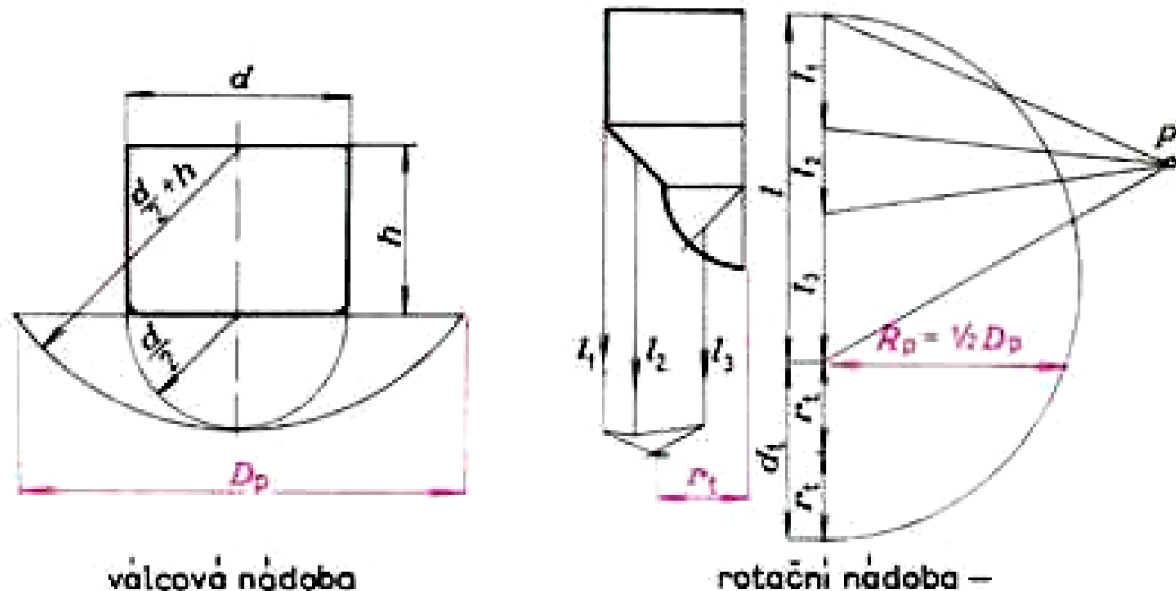
Pro určení maximální deformace na jeden tah a počtu tažných operací, se používá součinitel tažení, který se vypočte ze vztahu:

$$m = \frac{d}{D} = \frac{1}{K}$$

Kde: D – průměr přístřihu [mm]
 K – stupeň tažení
 d – průměr výtažku [mm]
 m – součinitel tažení [-]

2.3.2. Určování velikosti a tvaru přístřihu [6]

Při výpočtu průměru polotovaru se nejčastěji vychází z rovnosti zachování konstantního objemu přístřihu a výtažku, potažmo zachování plochy přístřihu a plochy výtažku s přídavkem na odstřížení. Dále se používají různé tabulky, nebo grafické metody stanovení průměru přístřihu, výpočtové metody a jejich kombinace.



Obr. 10 Stanovení přístřihu u rotačních nádob

2.3.3. Technologické zásady [6]

Z hlediska technologie je nutné dodržovat určité zásady, jakožto:

- výška výtažku má být co nejmenší
- upřednostňování výtažky válcového tvaru s rovným, jednoduchým dnem, kolmým na osu výtažku
- u hranatých výtažků zaoblit co nejvíce přechodovou část mezi dnem a pláštěm, případně přírubou
- přírubu u výtažku použít jen v nezbytných případech, je-li to nevyhnutelné a snažit se je minimalizovat
- rozměry a zvláště tloušťku stěny na výtažku volit s co největšími tolerancemi, aby se výtažky nemusely kalibrovat
- volba vhodného materiálu s ohledem na funkci výtažku, ale také s požadavkem na co nejlepší tažné vlastnosti

2.3.4. Mazání [1, 6]

Mazání patří k důležitým prostředkům při technologii tváření. Na vlastnostech maziva závisí životnost nástroje, povrchové vlastnosti tvářeného materiálu a také velikost tvářecí práce. Ze strany tažníku je výhodné co nejvyšší tření, ze strany tažnice je potřeba co nejmenší tření.

Při tažení se používá mazání k zmenšení tření. Dochází zde k mazání tažného nástroje, tak i tvářeného materiálu. Rovněž zaručuje prodloužení životnosti materiálu, ulehčení tvářenému materiálu a zajištění požadovaných rozměrů a tolerancí výtažku.

Požadavky na vlastnosti maziv:

- musí vytvářet dostatečně pevný a nevysychající film s vhodným koeficientem tření
- tepelně stálé
- po použití lehce odstranitelné a fyziologicky nezávadné
- musí být nekorozivní a nesmí chemicky reagovat s povrchem výtažku
- nesmí vyvolávat barevné změny na povrchu výtažku
- kapalná maziva musí mít dobrou smáčivost kovů a dobrou tepelnou vodivost

Maziva pro tváření se dělí do tří skupin:

- Kapalná - používají se ropné, syntetické a rostlinné oleje bez přísad i s přísadami, nebo s přídavkem tuhých maziv, ale i emulze (olej a voda) a vodné roztoky sodných a draselných mýdel (intenzivní chlazení)
- Plastická - používají se měkká tažná maziva, kde se požaduje velká mazací schopnost
- Tuhá - používají se tehdy, kdy je žádoucí velmi únosný mazací film, a nejsou kladeny zvláštní nároky na odvod tepla

Lanolín a lůj: nejsou vhodná pro zvláště těžké a hluboké tažení a mají lepší viskózní vlastnosti za zvýšených teplot než minerální oleje

Maziva hypoidní: směs minerálních olejů se sloučeninami obsahující síru a chlor

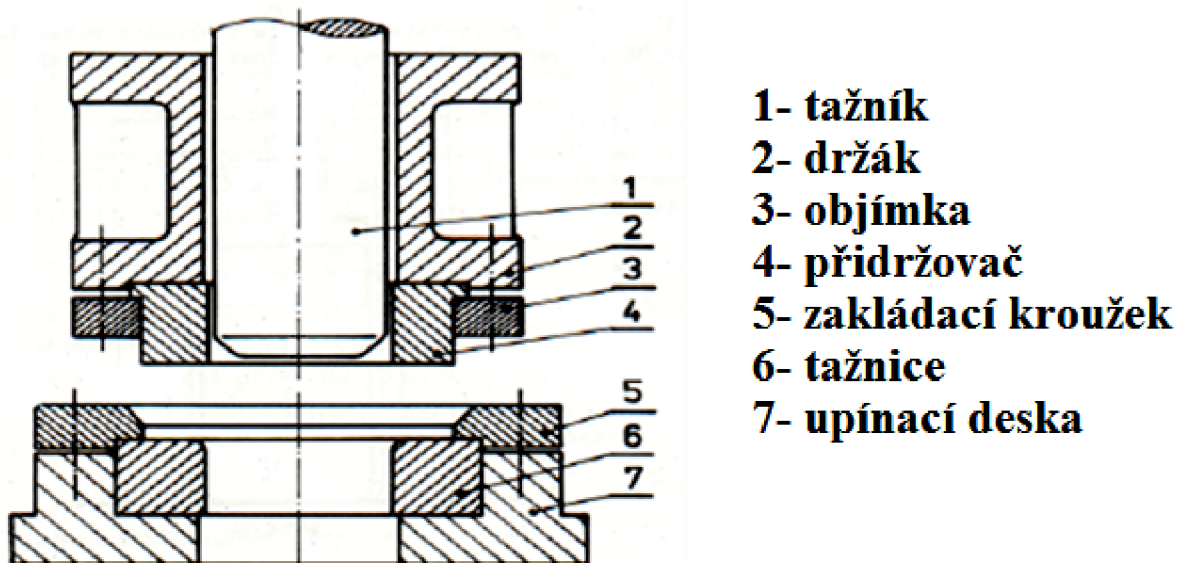
Maziva mýdlová: tuhá, polotuhá, tekutá, suchá. Mýdlová maziva mají velice dobrou přilnavost k povrchu při smykovém zatížení.

Maziva s grafitem: pro nejobtížnější tváření se používá čistého grafitu nebo jeho směsí s olejem nebo lojem. Výhodou těchto maziv je, že nedochází k vytlačení ani vysokými tlaky a zachovávají si dobré mazací schopnosti za zvýšených teplot.

Kovové povlaky (amorfní vrstvičky zinku, olova, mědi apod.) - pro obtížné tažení

2.4. Nástroje pro tažení [6, 9]

Hlavními částmi tažného nástroje je tažník, tažnice a ve většině případů také přidržovač, který zabraňuje vzniku vln při tažení. Mezi důležité konstrukční části patří také poloměr zaoblení tažné hrany a tažná mezera. Tvářecí stroj je nazývá tažný lis a dle konstrukce je dělíme na jednočinné, dvojčinné, trojčinné nebo postupové. Dle způsobu pohonu mohou být jako mechanické lisy nebo hydraulické lisy. Na hluboké tažení se mimo mechanických lisů také používají hydraulické dvojčinné lisy. Při náročných pracích, například výroby karosářských dílů automobilů, se používají trojčinné lisy, ty se dají částečně nahradit dvojčinnými lisy, opatřenými přidavným pneumatickým nebo hydraulickým zařízením.



Obr. 11 Tažný nástroj

2.4.1. Materiál nástroje [7]

Materiál funkčních částí - Výkon, spolehlivost a trvanlivost u tažných nástrojů je ovlivněna řadou faktorů. Mezi základní patří druh materiálu částí nástroje a jeho tepelné zpracování. Funkční části nástrojů se vyrábějí převážně z nástrojových ocelí. Vysoce výkonné nástroje vyžadují vložkování funkčních částí slinutými karbidy, keramickými materiály nebo povlakování materiály odolnými proti opotřebení. Materiály funkčních částí nástroje musí odolávat abrazivním a adhezivním účinkům, které vznikají na stykových plochách tvářeného materiálu a nástroje vlivem tření podmíněným vysokými tlaky, které v některých případech dosahují až 3 500 MPa. Nejčastěji používanými nástrojovými oceli jsou oceli třídy 19 (19 321, 19 436) s tvrdostí po tepelném zpracování 58 až 64 HRC.

Materiál desek stojánků/rámů - U menších nástrojů se používají konstrukční oceli třídy 11 (11 373, 11 500, 11 600). U velkých nástrojů se preferuje z ekonomických důvodů šedá litina (42 2421, 42 2424) nebo litá ocel s lepšími mechanickými vlastnostmi (42 2650.2, 42 2563.1).

3. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

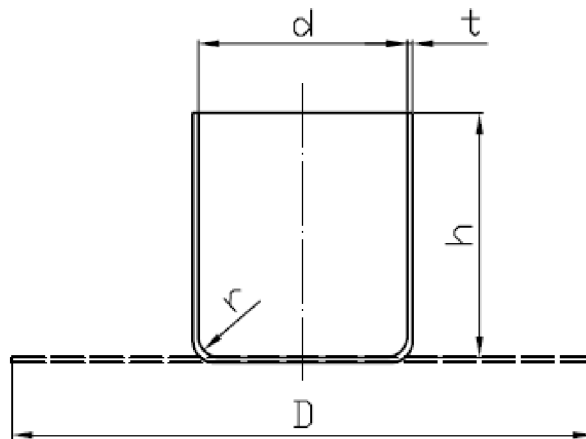
3.1. Parametry výrobku [5]

Základní rozměry výrobku:

(viz. příloha č. 1)

3.2. Velikost přístříhu [5]

Při výpočtu průměru polotovaru lze vycházet z rovnosti zachování konstantního objemu přístříhu a výtažku.



Obr. 12 Výpočet průměru výstřížku.

Tedy: $V_p = V_v$

$$V_v = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s = \pi \cdot d \cdot h + \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow D$$

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} = \sqrt{80^2 + 4 \cdot 80 \cdot 120} = 212 \text{ mm}$$

$$D_p = D + 5\%D = 212 \cdot 1,05 = \underline{\underline{223 \text{ mm}}}$$

Kde: D – průměr přístříhu [mm]
 V_p – objem přístříhu [mm³]
 V_v – objem výtažku [mm³]
 d – průměr výtažku [mm]
 h – výška výtažku [mm]

K vypočtenému průměru výstřížku se přidává pro odstřížení nerovných okrajů, které vznikly při tažení z důsledku *plošné anizotropie* materiálu 5 až 10 %.

3.3. Použití přidržovače a počet operací [5]

- Při optimálním tlaku přidržovače zabraňujeme vzniku vln, přeložek a dalších deformací. Přidržovač dále ustředuje výtažek při druhém a dalším tahu vůči tažnici. Tlak přidržovače má být pouze tak velký, aby zamezil vzniku záhybů na okraji pláště výtažku.

$$\text{Tedy: } k_p = 50 \cdot \left(Z - \sqrt[3]{\frac{t}{D}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \sqrt[3]{\frac{0,8}{223}} \right) = 87,63$$

Pak: Je-li $k_p \geq \frac{100 \cdot d}{D}$ musí být přidržovač
Je-li $k_p \leq \frac{100 \cdot d}{D}$ může se táhnout bez přidržovače

$$87,63 \geq \frac{100 \cdot 80}{223} = 35,87 \Rightarrow \text{Musí se táhnout s přidržovačem.}$$

Kde: k_p – součinitel použití přidržovače [-]
 Z – materiálová konstanta [-] pro Ocel 1,9
 t – tloušťka plechu [mm]
 d – průměr výtažku [mm]
 D – průměr přístřihu [mm]

- Počet operací se volí na základě koeficientu tažení m , nejčastěji se volí střední hodnoty.

Pro Ocel: $m_1 = \frac{d_1}{D} = 0,55 \div 0,65$

$$m = \frac{d_{n+1}}{d_n} = 0,75 \div 0,85$$

Pro I. tah	$m_1 = 0,57$	\Rightarrow	$d_1 = m_1 \cdot D = 0,57 \cdot 223 = \underline{127,1 \text{ mm}}$
Pro II. tah	$m_2 = 0,79$	\Rightarrow	$d_2 = m_2 \cdot D = 0,79 \cdot 127,1 = \underline{100,4 \text{ mm}}$
Pro III. tah	$m_2 = 0,8$	\Rightarrow	$d_3 = m_3 \cdot D = 0,8 \cdot 100,4 = \underline{80 \text{ mm}}$

Kde: D – průměr přístřihu [mm]
 d – průměr výtažku [mm]
 m – součinitel tažení [-]

Výtažek bude zhotoven na tři tahy.

3.4. Výpočet tažné síly [5]

Celková tažná síla je součtem síly přidržovací a tažné síly, vyvozená z přetvárného procesu tažení.

3.4.1. Tažná síla F_t [5]

Pak: tah I: $F_{t1} = O_1 \cdot t_0 \cdot Rm = 791,7 \cdot 0,8 \cdot 360 = \underline{228 \text{ kN}}$
tah II: $F_{t2} = O_2 \cdot t_0 \cdot Rm = 628,3 \cdot 0,8 \cdot 360 = \underline{181 \text{ kN}}$
tah III: $F_{t3} = O_3 \cdot t_0 \cdot Rm = 502,7 \cdot 0,8 \cdot 360 = \underline{145 \text{ kN}}$

Kde: O – obvod tažné hrany [mm]
 t – tloušťka plechu [mm]
 Rm – pevnost materiálu v tahu [MPa]

3.4.2. Síla přidržovače F_p [5]

Pak: tah I: $F_{p1} = S \cdot p = 26389,4 \cdot 2,5 = \underline{65973,4 \text{ N}}$
tah II: $F_{p2} = S \cdot p = 4813,7 \cdot 2,5 = \underline{12034,3 \text{ N}}$
tah III: $F_{p3} = S \cdot p = 2827,4 \cdot 2,5 = \underline{7068,6 \text{ N}}$

Kde: S – plocha přidržovače [mm²]
 p – měrný tlak přidržovače pro ocel [2,5 Mpa]

3.4.3. Celková tažná síla F_c [5]

Pak: tah I: $F_{c1} = F_{t1} + F_{p1} = 228 + 66 = \underline{294 \text{ kN}}$
tah II: $F_{c2} = F_{t2} + F_{p2} = 181 + 12 = \underline{193 \text{ kN}}$
tah III: $F_{c3} = F_{t3} + F_{p3} = 145 + 7 = \underline{152 \text{ kN}}$

3.5. Tažná práce A [5]

Tažná práce slouží ke stanovení vhodného lisu.

Pak: $A = \frac{C \cdot F_c \cdot h}{1000} = \frac{0,66 \cdot 294000 \cdot 0,12}{1000} = \underline{23285 \text{ J}}$

Kde: F_c – celková síla [N]
 C – součinitel pro kalibraci dna [0,66]
 h – výška výtazku [m]

3.6. Poloměr zaoblení tažné hrany a tažná mezera [5]

Poloměry zaoblení tažných hran jsou závislé na síle plechu.

- Tažná hrana tažnice

Pro první tah se volí $r_t = (8 \text{ až } 10) t \Rightarrow \underline{7 \text{ mm}}$

Pro další tahy se volí $r_t = (6 \text{ až } 8) t \Rightarrow \underline{5 \text{ mm}}$

Kde: t – tloušťka plechu [0,8 mm]

- *Tažná hrana tažníku*

Pro první tah se volí $r_p = r_t = \underline{7 \text{ mm}}$

Pro druhý tah se volí $r_p = r_t = \underline{5 \text{ mm}}$

Pro poslední tah se volí $r_p = (3 \text{ až } 4) t \Rightarrow \underline{2 \text{ mm}}$

- *Tažná hrana přidržovače*

U prvního tahu se používá rovinná plocha přidržovače

U dalších tahů je přidržovací plocha kuželová o úhlu $\alpha = 30^\circ$ až $45^\circ \Rightarrow \underline{40^\circ}$

- *Tažná mezera t_m mezi tažníkem a tažnicí bývá větší, než je tloušťka zpracovávaného plechu. Mezera je větší nejen kvůli tolerancím plechu, ale i kvůli přemístování přebytečného materiálu při tažení.*

Pak: $t_m = (1,2 \text{ až } 1,3) t$ – pro první tah

$t_m = (1,1 \text{ až } 1,2) t$ – pro poslední tah

Pro I. tah $t_m = 1,25 \cdot 0,8 = \underline{1 \text{ mm}}$

Pro II. tah $t_m = 1,15 \cdot 0,8 = \underline{0,92 \text{ mm}}$

Pro III. tah $t_m = 1,25 \cdot 0,8 = \underline{0,92 \text{ mm}}$

Kde: t_m – tažná mezera [mm]

t – tloušťka plechu [mm]

3.7. Mazání

Vzhledem k velikosti, složitosti a tvaru dané součásti, jsem volil tekuté mýdlové mazivo na bázi minerálního oleje, zahuštěného lithiovým mýdlem, z důvodu jeho velmi dobré mechanické stability, odolnosti vůči oxidaci a vynikající lubrikační vlastnosti i odolnost vůči tlakům, nárazům a v neposlední řadě také odolnost vůči otěru. Jsou to dostupná a hygienicky nezávadná maziva.

4. VOLBA LISU

Volbu lisu určuje:

- jmenovitá síla lisu
- velikost zdvihu
- sevření
- rozměry stolu a beranu
- vybavení lisu:
 - přidržovač
 - vyhazovač

Podle daných kritérií jsem volil hydraulický tažný lis s přidržovačem CTS 30 od firmy ŽĎAS a.s., Žďár nad Sázavou.

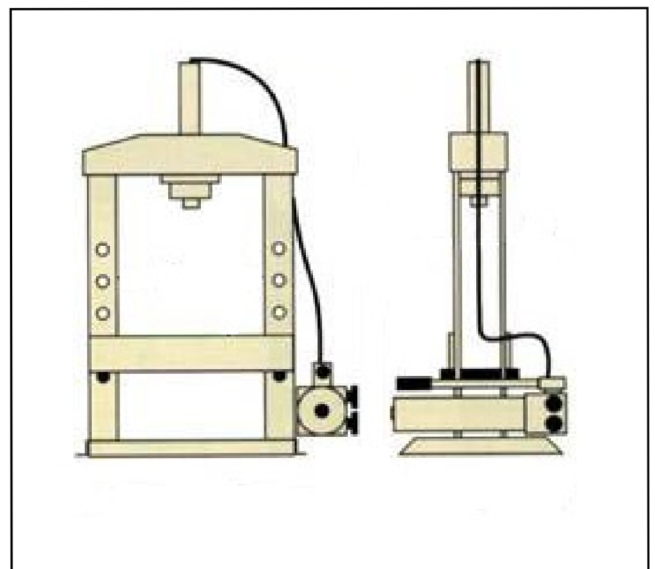
Lis je určen zejména k tažení menších výrobků z plechu s použitím přidržovače nebo bez něho. Je vhodný i pro jiné lisovací práce.

Pracovní rozsah

Jmenovitá síla lisu	300 [kN]
Síla přidržovače	100 [kN]
Zpětná síla	70 [kN]
Zdvih	200 [mm]
Sevření	450 [mm]
Rozměr stolu	365x200 [mm]
Rozměr beranu	310x280 [mm]
Výkon hlavního motoru	9 [kW]

Příslušenství

Horní přidržovač
Upínky nástrojů
Výměna nástrojů
Ochranné kryty (mechanické nebo optické)
Dvouruční spouštění (přenosový stojánek)
Tlumení rázů
Plnicí a filtrační olejový agregát



Obr. 13 Lis CTS 30

5. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

5.1 Ekonomické zhodnocení

Ekonomika tváření je ovlivněna řadou faktorů, které ovlivňují celkové náklady na výrobu 1 ks, jedná se o:

- Materiál výrobku** musí splňovat mechanické požadavky na výrobu dané součásti za co nejnížší náklady a maximálního využití.
- Technologickým postupem** určujeme nutných počet operací (počet kroků) pro zhotovení požadovaného výrobku danou metodou.
- Životností nástroje** je dána počtem vyrobitelných kusů, ale také materiálem z kterého je nástroj vyroben. Zvýšení životnosti nástroje je možné vhodnou volbou jeho materiálu a mazáním při samotném tažení. Naopak se tímto zvyšuje cena nástroje.
- Pracností obsluhy stroje a mezioperační dopravy** je dána lidskou prací a fyzickou námahou, kterou je potřeba vynaložit na zhotovení daného výrobku. Tyto operace se snažíme minimalizovat a nahrazovat automatizací. Například vhodnou konstrukcí nástroje, použití jednoduchých manipulátorů můžeme snížit fyzickou práci obsluhy stroje.
- Manipulace a skladování nástrojů** je při samotné montáži na lis, při opravách a skladování většího počtu nástrojů, jsou kladeny vyšší požadavky na organizaci, hospodaření a vhodné skladování nástrojů.
- Zmetkovitost** při tažení a dalších operacích způsobuje výrobu nevyhovujících kusů daného výrobku. Nevyhovující kusy mohou být způsobeny:
 - nesprávným nastavením lisu.
 - upnutí nástroje.
 - konstrukce nástroje.
 - tvářený materiál.

5.2 Výpočet nákladů

Ve výpočtech nejsou uvažovány náklady na pořízení strojů nebo budov, výrobní náklady jsou uvažovány na výrobní sérii $80\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$, 2% jsou připsány na ztráty při výrobě.

Počet tabulí plechu:

Tabule plechu: 2000 x 1000 x 0,8 mm
Hmotnost jedné tabule 12,5 kg
Cena jedné tabule $651 \text{ Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$
Cena za odpad $3 \text{ Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$
Počet výstřížků $n = 80\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$
Průměr přístříhu 223 mm

Počet přístřížků z jedné tabule: $\frac{32 \text{ ks}}{2} \Rightarrow 1,25 \text{ m}^2$

Využití jedné tabule je: $\frac{1,25}{2} \cdot 100 = \underline{62,5\%}$

Počet tabulí: $\frac{80\,000}{32} = \underline{2\,500 \text{ tab} \cdot \text{rok}^{-1}}$

Náklady na materiál (N_M) $651 \cdot 2\,500 = \underline{1\,627\,500 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}}$

Zhodnocení odpadu (N_O)

Množství plechů: $2\,500 \cdot 12,5 = \underline{31\,250 \text{ kg}}$
Množství odpadu: $37,5\% \text{ odpadu z } 31\,250 \text{ kg je } \underline{11\,720 \text{ kg}}$
Zhodnocení odpadu: $3 \cdot 11\,720 = \underline{35\,160 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}}$

Celkové náklady na materiál

$$N_C = N_M + N_O = 1\,627\,500 - 35\,160 = \underline{1\,592\,340 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}}$$

Náklady na mzdy za rok

Stříhání přístříhu (M_1)

Přípravný čas: $0,5 \text{ hod} \cdot \text{směnu}^{-1}$
Kontrola: $0,5 \text{ hod} \cdot \text{směnu}^{-1}$
Výrobní čas: $1\,200 \text{ ks} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 6,5 = 7\,800 \text{ ks} \cdot \text{směnu}^{-1}$
Celkový čas na operaci: $80\,000 / 7\,800 = 10,3 = 10 \text{ směn} \cdot 7,5 = 75 \text{ hod}$
Mzdové náklady: $75 \cdot 120 = \underline{9\,000 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}}$

Tažení (M_2)

Přípravný čas: $0,5 \text{ hod} \cdot \text{směnu}^{-1}$
Kontrola: $0,5 \text{ hod} \cdot \text{směnu}^{-1}$
Výrobní čas: $120 \text{ ks} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 6,5 = 780 \text{ ks} \cdot \text{směnu}^{-1}$
Celkový čas na operaci: $80\,000 / 780 = 102,6 = 103 \text{ směn} \cdot 7,5 = 772,5 \text{ hod}$
Mzdové náklady: $772,5 \cdot 120 = \underline{92\,700 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}}$

Zarovnání okrajů (M_3)

Přípravný čas: $0,5 \text{ hod} \cdot \text{směnu}^{-1}$
Kontrola: $0,5 \text{ hod} \cdot \text{směnu}^{-1}$
Výrobní čas: $180 \text{ ks} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 6,5 = 1\,170 \text{ ks} \cdot \text{směnu}^{-1}$
Celkový čas na operaci: $80\,000 / 1\,170 = 68,4 = 68 \text{ směn} \cdot 7,5 = 510 \text{ hod}$
Mzdové náklady: $510 \cdot 120 = \underline{61\,200 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}}$

Celkové mzdové náklady

$$M_C = M_1 + M_2 + M_3 = 9\,000 + 92\,700 + 61\,200 = \underline{162\,900 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}}$$

Zdravotní a sociální pojištění

$$P_{SZ} = M_C \cdot 0,34 = 162\,900 \cdot 0,34 = \underline{55\,386 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}}$$

Výdaje za mzdy celkem

$$V_{MC} = M_C + P_{SZ} = 162\,900 + 55\,386 = \underline{218\,286 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}}$$

Náklady na elektrickou energii za rok

Stříhání přístříhu (E_1)

Příkon stroje:	P= 8 kW
Výrobní čas:	75 hod
Cena energie:	3,6 Kč/kWh
Cena energie na lisování:	$8 \cdot 75 \cdot 3,6 = \underline{2\,160\text{ Kč}\cdot\text{rok}^{-1}}$

Tažení (E_2)

Příkon stroje:	P= 9 kW
Výrobní čas:	772,5 hod
Cena energie:	3,6 Kč/kWh
Cena energie na lisování:	$9 \cdot 772,5 \cdot 3,6 = \underline{25\,029\text{ Kč}\cdot\text{rok}^{-1}}$

Zarovnání okrajů (E_3)

Příkon stroje:	P= 5 kW
Výrobní čas:	510 hod
Cena energie:	3,6 Kč/kWh
Cena energie na lisování:	$5 \cdot 510 \cdot 3,6 = \underline{9\,180\text{ Kč}\cdot\text{rok}^{-1}}$

Celkové náklady na elektrickou energii

$$E_C = E_1 + E_2 + E_3 = 2\,160 + 25\,029 + 9\,180 = \underline{36\,369\text{ Kč}\cdot\text{rok}^{-1}}$$

Náklady na nástroje

Nástroj pro stříhání přístříhu:	380 000 Kč·rok ⁻¹
Nástroje pro tažení:	560 000 Kč·rok ⁻¹
Nástroj pro zarovnání:	<u>30 000 Kč·rok⁻¹</u>
Celkem za nástroje Σ:	<u>970 000 Kč·rok⁻¹</u>

Celkové náklady (C_C)

$$C_C = N_C + V_{MC} + E_C = 1\,592\,340 + 218\,286 + 36\,369 = \underline{1\,846\,995\text{ Kč}\cdot\text{rok}^{-1}}$$

Náklady na jeden výlisek (N_V)

$$N_V = C/n = 1\,846\,995/80\,000 = \underline{23,08\text{ Kč}}$$

Cena jednoho výlisku + zisk ve výši 15%

$$C_{JV} = N_V + 15\% = 23,08 + 15\% = \underline{27,2\text{ Kč}}$$

Cena jednoho výlisku + 19% DPH

$$C_V = C_{JV} + 19\% = 27,2 + 19\% = \underline{32,37\text{ Kč}}$$

6. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat technologický postup výroby součásti: nádobka hlubokým tažením. Výroba byla řešena jako sériová, 80 000 ks·rok⁻¹. Výrobek je vyráběn z materiálu 11 305. Návrh postupu výroby nádobky vycházel z požadavku, co nejefektivnějšího využití.

Technologie výroby součásti hlubokým tažením s přidržovačem, je nejběžnější a tudíž nejekonomičtější z hlediska nízkých nákladů, jednoduchosti nástroje a širokého využití různých tvářecích strojů. Po vyhodnocení jsem došel k závěru, že pro výrobu 80 000 ks·rok⁻¹ je nejvhodnější metoda hlubokého tažení s přidržovačem. V technicko-ekonomickém zhodnocení jsem provedl ekonomické propočty s výrobní cenou 32,37 Kč·ks⁻¹. Výroba nádobky se dá přizpůsobit i na jiný materiál, nebo materiál s povrchovou úpravou.

Vzhledem k široké možnosti využití stroje, jsem zvolil lis CTS 30 a k němu navrhl tažný nástroj. Výkresová dokumentace je uvedena jako příloha, která obsahuje výkres sestavy, tažníku, tažnice a hotového výtažku. V této práci je potvrzeno, že dosahujeme nižších nákladů na výrobu dané součásti oproti jiným nekonvenčním technologiím.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DVOŘÁK, Milan, et al. *Technologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 7/2004, 238s.
- [2] KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s.
- [3] DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Kurs technických znalostí : lisování kovů*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1960. 90 s.
- [4] VÁVRA, Pavel, LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1986. 373 s.
- [5] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. *ČSN 22 7301*. Praha : Český normalizační institut.
- [6] LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření - tažení* [online]. Technická universita Liberec, [2003] [cit. 2010-02-20]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm>.
- [7] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno : Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [8] Svaz strojírenské technologie [online]. Venturia s.r.o., [2008-2010]. Dostupný z WWW: <<http://www.sst.cz/katalog/>>.
- [9] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení – tvářecí stroje*. Brno, 2002. 122 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SIMBOLŮ

A	práce	[J]
C	součinitel pro kalibraci dna	[0,66]
C_C	celkové náklady	[$Kč \cdot rok^{-1}$]
C_{JV}	cena jednoho výlisku + zisk ve výši 15%	[$Kč$]
C_V	cena jednoho výlisku + 19% DPH	[$Kč$]
D	průměr přístřihu	[mm]
E_C	celková energie	[$Kč \cdot rok^{-1}$]
$E_{1, 2, 3}$	náklady na elektrickou energii	[$Kč \cdot rok^{-1}$]
F_C	celková síla	[N]
F_P	síla přidržovače	[N]
F_T	tažná síla	[N]
M_C	celkové mzdové náklady	[$Kč \cdot rok^{-1}$]
$M_{1, 2, 3}$	náklady na mzdy	[$Kč \cdot rok^{-1}$]
N_C	celkové náklady na materiál	[$Kč \cdot rok^{-1}$]
N_M	náklady na materiál	[$Kč \cdot rok^{-1}$]
N_O	zhodnocení odpadu	[$Kč \cdot rok^{-1}$]
N_V	náklady na jeden výlisek	[$Kč$]
K	stupeň tažení	[-]
O	obvod tažné hrany	[mm]
P_{SZ}	zdravotní a sociální pojištění	[$Kč \cdot rok^{-1}$]
R_m	pevnost materiálu v tahu	[MPa]
S	plocha přidržovače	[mm^2]
V_{MC}	výdaje za mzdy celkem	[$Kč \cdot rok^{-1}$]
V_P	objem přístřihu	[mm^3]
V_V	objem výtažku	[mm^3]
Z	materiálová konstanta	[-] pro Ocel 1,9
d	průměr výtažku	[mm]
k_p	součinitel použití přidržovače	[-]
h	výška výtažku	[m]
m	součinitel tažení	[-]
p	měrný tlak přidržovače pro ocel	[2,5 Mpa]
t	tloušťka plechu	[mm]
t_m	tažná mezera	[mm]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Výkres součásti – Nádobka BC-3P2-01/2010

Příloha č. 2: Výkres součásti – Tažník BC-3P2-02/2010

Příloha č. 3: Výkres součásti – Tažnice BC-3P2-03/2010

Příloha č. 4: Výkres sestavy – Tažidlo BC-3P2-04/2010