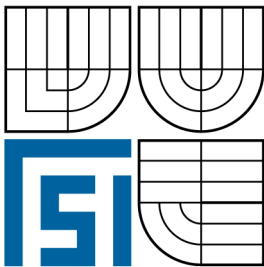


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY**

TECHNOLOGIE TAŽENÍ NEROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ

DRAWING TECHNOLOGY OF NON-ROTARY PARTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR SMUTNÝ

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING.MICHAELA MAREČKOVÁ

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Smutný

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Technologie tažení nerotačních součástí

v anglickém jazyce:

Drawing technology of non-rotary parts

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na technologii tažení nerotačních součástí. V práci by měla být uvedena problematika tažení od jednoduchých až po tvarově složitějších nerotačních součástí. Dále zde budou uvedeny příklady součástí a jejich využití v praxi spolu s výrobním postupem.

Cíle bakalářské práce:

Vytvoření přehledu stávajících i moderních metod pro zhotovení výtahků nerotačních tvarů.

Seznam odborné literatury:

TIŠNOVSKÝ, M. a MÁDLE, L. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.

DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.

FREMUNT, P., KREJČÍK, J. a PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

BOLJANOVIC, V. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Marečková

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 18.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovával samostatně na základě poznatků získaných na vysoké škole, za použití odborné literatury a po konzultacích s vedoucí bakalářské práce.

V Brně 29.května 2009

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Michaele Marečkové za její odborné a metodické vedení a rady při zpracování bakalářské práce.

ANOTACE

PETR SMUTNÝ: Technologie tažení nerotačních součástí. Bakalářská práce prezenčního studia bakalářského studijního programu STROJÍRENSTVÍ. Obor strojní inženýrství. 1. stupeň, 3. ročník LS, akademický rok 2008/2009, studijní skupina 5. FSI VUT Brno, květen 2009, 37 stran, 4 tabulky.

Téma bakalářské práce je zaměřeno na technologii tažení nerotačních součástí. V práci je uvedena problematika tažení jednoduchých i složitých součástí.

Cílem této práce je vytvoření přehledu metod pro zhotovení nerotačních výtahů.

Klíčová slova: technologie, tažení, nerotační součásti

ANOTATION

PETR SMUTNÝ: Drawing technology of non-rotary parts. Bachelor's thesis of daily bachelor's studies, study programme INDUSTRY. The branch mechanical engineering, level 1, 3rd form, academical year 2008/2009, study group 5. FME of Brno University of Technology, May 2009, 37 pages, 4 tables.

The theme of bachelor's thesis is concentrated on drawing technology of non-rotary parts. There is named problems of drawing technologie of simple and complicated parts in this work..

The aim of this bachelor's thesis is creation the summary of methods for the construction non-rotary extrakt.

Keywords: technology, drawing, non-rotary parts

Obsah:

Zadání

Čestné prohlášení

Poděkování

Anotace

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Technologie tažení.....	10
2.1 Proces tažení	10
2.2 Vznik vln.....	11
2.3 Anizotropie.....	13
2.4 Výpočet síly a práce	14
2.5 Určování rozměrů přístřihu, počet tahů	16
2.6 Technologické zásady a mazání.....	17
3. Tažení výtažků nerotačních tvarů	18
3.1 Stanovení součinitele tažení pro první tah	20
3.2 Několika operační tažení hranatých výtažků	24
3.3 Sestrojení přechodu při tažení symetrických hlubokých výtažků.....	24
4. Ostatní technologické způsoby tažení	27
4.1 Tažení bez ztenčení stěny	27
4.2 Tažení se ztenčením stěny.....	27
4.3 Zpětné tažení.....	27
4.4 Tažení stupňovitých, kónických, kulovitých, parabolických výtažků	28
4.5 Tažení s ohřevem	28
4.6. Speciální způsoby tažení	28
4.6.1 Tváření pryží – metoda Guerin	28
4.6.2 Metoda Marform	29
4.6.3 Tváření kapalinou – metoda Wheelon	30
4.6.4 Metoda Hydroform	30
4.6.5 Hydromechanické tažení.....	31
5. Nástroje pro tažení.....	33
6. Závěr	35

Seznam použitých označení a symbolů

Seznam použité literatury

1.Úvod

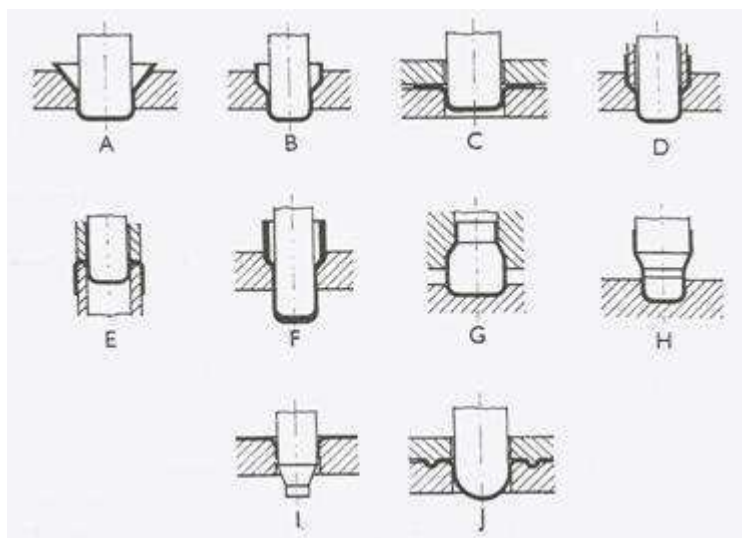
Tažení je technologický proces, který spadá do kategorie tváření. Samotné tváření lze obecně definovat jako proces, při kterém se mění tvar výchozího materiálu působením síly bez odběru třísek. Tímto způsobem se vyrábí hotový výtáček.

Tažení je typem plošného tváření. Tažením plechů a pásů vzniká za působení vnějšího napětí a vnějších sil, v jedné nebo ve více operacích, prostorový výlisek nerozvinutého tvaru. Dle tvaru výlisku hovoříme o tažení rotačních tvarů, hranatých tvarů nebo nesymetrických tvarů výtáček. Tento proces tažení můžeme také dělit na tažení mělké a hluboké, tažení bez a se ztenčením stěny.

Cílem této práce bylo vytvoření přehledu metod pro zhotovení nerotačních výtáček.

2. Technologie tažení [6]

Tažením plechů a pasů vzniká prostorový vylisek nerozvinutelného tvaru. Podle tvaru vylisku se může proces tažení dělit na tažení mělké a hluboké, tažení bez a se ztenčením stěny, tažení rotačních a nerotačních tvarů a dále tažení nepravidelných tvarů (tzv. karosářské vylisky). Výchozím polotovarem je přístřih plechu, pás plechu nebo již jinak zpracovaný polotovar, který lze zpracovávat následujícími technologiemi: prostým tažením, tažením se ztenčením stěny, zpětným tažením, žlábkováním, rozšiřováním a lemováním, zužováním, přetahováním, napínáním a speciálními způsoby.



Obr.1.:Technologické způsoby tažení

A, B - tažení bez přídržovače, 1. a 2. tah, C, D - tažení s přídržovačem, 1. a 2. tah, E – zpětné tažení (obracení), F – tažení se ztenčením stěny, G – zužování, H – rozšiřování, I – lemování (přetahování), J – napínání [6]

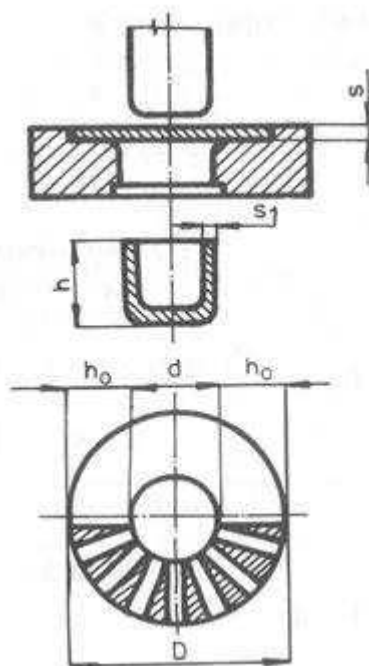
Tažení je takový technologický způsob tváření, při kterém se jedním a nebo v několika tazích vyrobí z rovného plechu (přístřihu) duté těleso - polouzavřená nádoba. Někdy se tento technologický proces nazývá hluboké tažení. Nástrojem je tažidlo, které se skládá z tažníku a tažnice a ostatních konstrukčních částí(např.:přídržovač, zakládací kroužek,...), výrobkem je výtazek.

2.1 Proces tažení [6]

Princip tažení lze vysvětlit na tažení jednoduchého válcového tvaru se dnem. Potom obdobným způsobem lze získané výsledky aplikovat i na výtazky hranatých nebo nepravidelných tvarů. Zatlačuje-li se tažník do tažnice, posunuje se plech přes tažnou hranu tažnice, která se z celého nástroje nejrychleji opotřebuje. Síla potřebná k tažení se kontroluje

z podmínky pevnosti válcové části nádoby, která se nesmí při tažení přetřhnout. Je nutné uvažovat vliv tření a zpevnění materiálu.

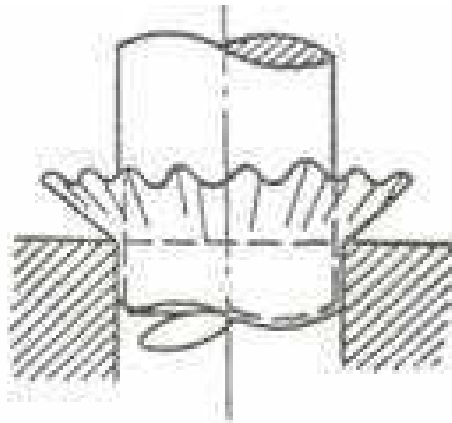
Při tažení se mezikružít přístřihu ($D - d$) změní na válec s průměrem $\varnothing d$ a výškou h z dřívějšího rozměru přístřihu $\varnothing D$. V důsledku platnosti zákona stálosti objemu se objem kovu během procesu nemění a proto výška h bude větší, než šířka mezikružít ($D - d$).



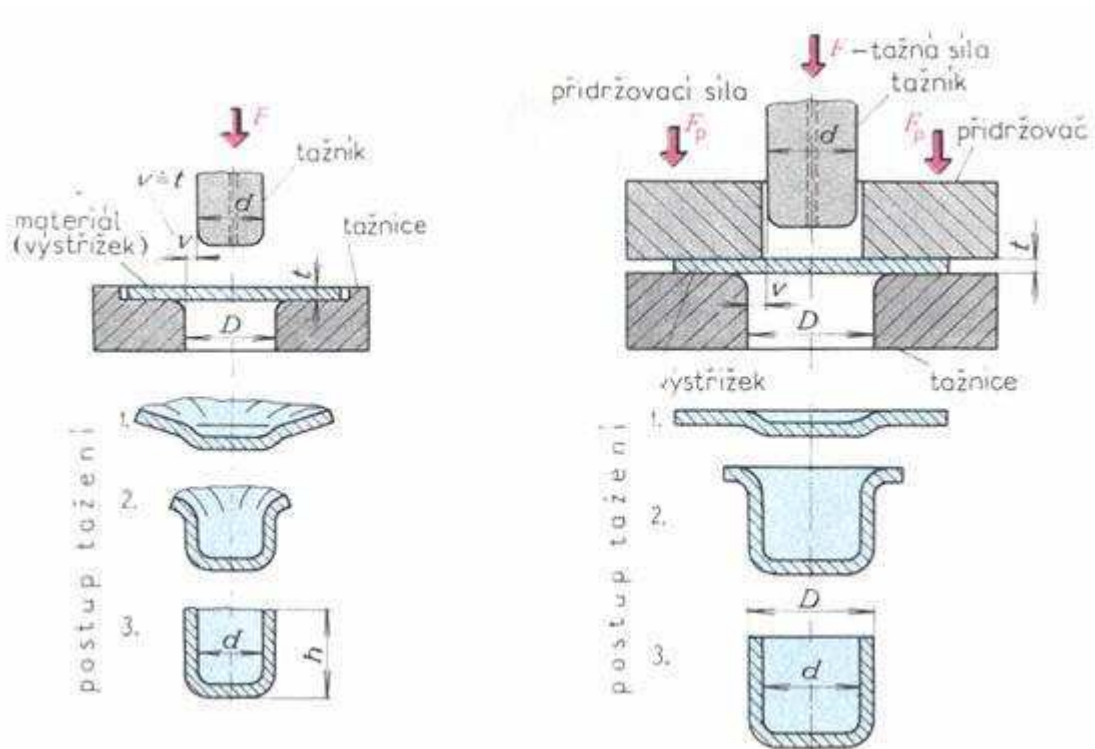
Obr.2.:Princip tažení válcového tvaru[6]

2.2 Vznik vln [6]

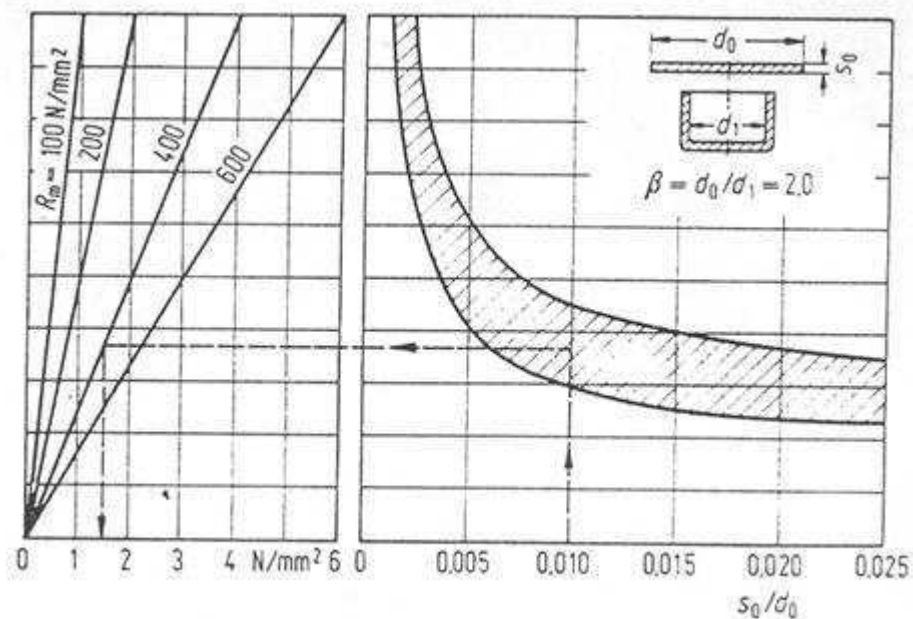
Tažení je technologický proces, při kterém se přesouvá značný objem materiálu. Tento přesunutý objem je schematicky znázorněn na obrázku 2 v podobě vyšrafovaných trojúhelníků. Tento objem materiálu se během tažení vytlačuje, zvětšuje výšku nádoby, mění tloušťku stěny. Je patrné, že vyšrafované plochy (trojúhelníčky) přebývají. Protože při tažení postupuje materiál z příruby do válcové části, má plech v místě příruby snahu se vlnit, a to hlavně při vysokém stupni deformace.(Obr.3.:) Při malém stupni deformace a při velké tloušťce materiálu se vlny netvoří, protože nejsou vysoké a vyhlazují se otvorem tažnice. Zabránit vzniku vln lze přidržovačem, ovšem za cenu pěchování materiálu pod přidržovačem a růstu tloušťky. V případě použití přidržovače je nutné znát velikost měrného tlaku p přidržovače.(Obr.4.:) Měrný tlak přidržovače závisí na tloušťce plechu, poměru výchozí tloušťka plechu ku průměru nádoby, jakosti plechu a součiniteli tažení materiálu. Celková síla přidržovače je součinem měrného tlaku a činné plochy přidržovače. K určení měrného tlaku přidržovače se používá např. grafů.(Obr.5.:)



Obr.3.:Tvorba vln na výtažku a nebezpečí utržení dna[6]

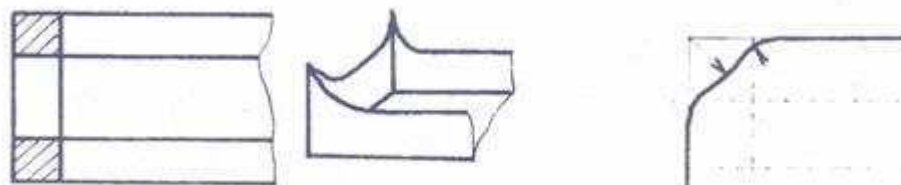


Obr.4.:Tvorba vln u tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo)[6]



Obr.5.:Diagram pro zjišťování měrného tlaku přidržovače pro první tah[6]

Hranaté výtažky se táhnou mělkým tahem. Obrázek 6 vlevo ukazuje, proč není možné pro tažení obdélníkového výtažku použít obdélníkový přístřih - v rozích by vznikly vysoké cípy a vpravo je ukázka osvědčeného tvaru přístřihu pro tažení hranatých výtažků s obdélníkovou základnou.



Obr.6.:Tažení hranatého výtažku (vlevo - cípy, vpravo - optimální nástřih)[6]

2.3 Anizotropie

Anizotropií se rozumí nesejnoměrnost vlastností v různých směrech souřadného systému. Při posuzování anizotropie je materiál považován za homogenní, charakterizovaný třemi ortogonálními osami anizotropie, za materiál ortogonálně anizotropní neboli ortotropní. Osa x se ztotožňuje se směrem válcování, který se označuje jako směr 0. Při posuzování anizotropie plechů se rozlišuje anizotropie plošná (v rovině plechu) a normálová (ve směru tloušťky plechu).

Plošná anizotropie

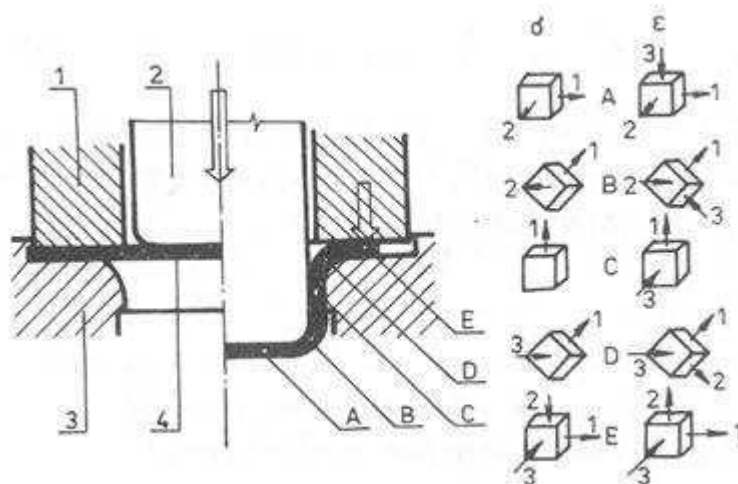
Vyjadřuje nerovnoměrnost mechanických vlastností v rovině pásu, zjištěných v libovolném směru. Mechanické vlastnosti vykazují většinou největší rozdíly ve směru 45° ze směru válcování.

Normálová anizotropie

Vyjadřuje nerovnoměrnost mechanických vlastností v rovině plechu ve směru kolmém na plech. Normálová anizotropie je ukazatelem odolnosti plechu vůči jeho ztenčení v průběhu tažení.

Schémata napjatostí a deformací [6]

Napjatost při tažení je v jednotlivých místech výtažku různá a dochází zde k anizotropii mechanických vlastností plechu. Dno (A) se vytahuje nepatrně a stejnoměrně do dvou směrů. Válcová část (C) je natahována v jednom směru, ale u dna (B) je dvoj- nebo trojosá napjatost. Materiál, který přechází přes tažnou hranu (D) je namáhán ohybem radiálním a tangenciálním tlakem. Materiál pod přidržovačem (E) je namáhán tahem v radiálním směru, tlakem v tangenciálním směru a tlakem kolmo na povrch příruby. Je-li nástroj bez přidržovače, odpadá tlak pod přidržovačem. Nejnevýhodnější podmínky jsou v místě ohybu u dna výtažku, je zde vysoké tahové napětí. Důsledkem toho dochází ke zeslabování tloušťky stěny a to vede k nebezpečí utržení dna.

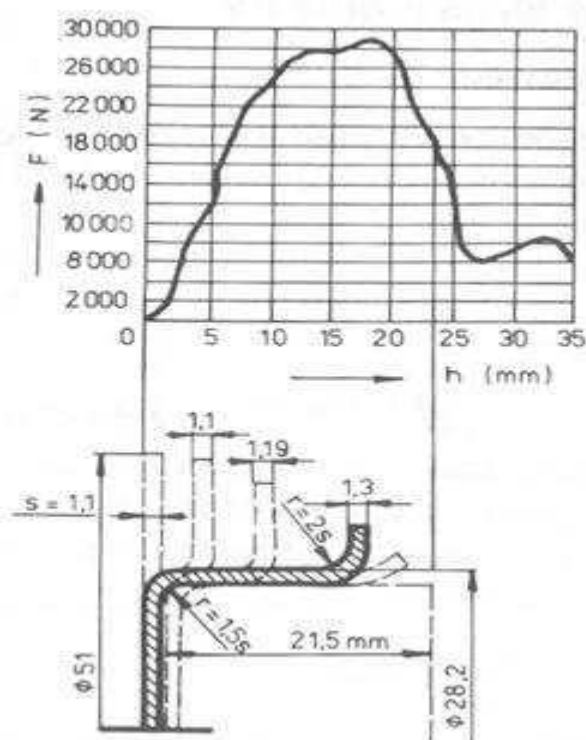


Obr.7.:Schéma napětí a deformací při tažení s přidržovačem[6]

2.4 Výpočet síly a práce [6]

Matematické vztahy pro výpočet síly jsou poměrně komplikované, a proto se zjednodušují. Praktické vzorce vycházejí z toho, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být

menší, než napětí na mezi pevnosti. Tedy největší tažná síla musí být o něco menší, než síla, která způsobí utržení dna výtažku od bočních stěn. Průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení je ukázán na obrázku 8. Z obrázku je patrné, že síla se mění od nuly po maximum asi v polovině tahu a potom opět klesá.



Obr.8.: Průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení [6]

Velikost tažné síly pro rotační tvar výtažku se pro nástroj bez přidržovače, pro první a další tahy zjednodušeně vypočte podle vztahu

$$F = S * R_m \text{ [N]} \quad (1) \quad \text{a pro pryž} \quad F = S_{pr} * q \text{ [N]} \quad (2)$$

kde S ... plocha materiálu, který je namáhán na tah ($S = \pi * d * t$) [mm^2]
 S_{pr} ... celková plocha pryžového polštáře [mm^2]
 R_m ... mez pevnosti materiálu [MPa]
 q ... měrný tlak v pryži [MPa]
 d ... průměr tažníku [mm]
 t ... tloušťka plechu [mm]

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

$$F_C = F_t + F_p = L * t * R_m + S_p * p \text{ [N]} \quad (3)$$

kde L ... délka obvodu polovýrobku [mm]
 S_p ... plocha přidržovače [mm²]

p ... specifický tlak přidržovače (od 0,8 do 3 MPa) [MPa]

Velikost práce při tažení se vypočte:

$$A = F_c * h \text{ [J]} \quad (4) \quad \text{nebo přesněji} \quad A = C * F_c * h \text{ [J]} \quad (5)$$

kde h ... výška výtažku [mm]
C ... koeficient zaplnění plochy [-]

2.5 Určování rozměrů přístřihu, počet tahů [6]

Celkové přetvoření plechu při tažení je značné, celou nádobku nelze zpravidla vytáhnout v jedné tažné operaci. Proto se první tah provádí mělký a o velkém průměru. Tažení pokračuje dalším tahem a to vždy na menší průměr, kdy současně roste výška výtažku. Počet tahů je poměr průměru přístřihu k průměru výtažku. Při vyčerpání plastičnosti je nutné provést mezioperační žihání.

Součinitel tažení[6]

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

$$\frac{d_1}{D} = \frac{1}{K} \text{ [-]} \quad (6)$$

kde d_1 ... průměr výtažku po 1. tahu [mm]
D ... průměr přístřihu [mm]
K ... stupeň tažení

Pro další tahy se součinitel nebo stupeň tažení počítá obdobným způsobem. Celkový součinitel tažení se rovná součinu jednotlivých součinitelů. Hodnoty součinitelů tažení pro válcové nádoby jsou uváděny v tabulkách. Jde-li o tvary jiné, stanovuje se součinitel tažení podle místa, kde zakřivení stěny a poměrná hloubka dosahují maximálních hodnot. Obecně závisí na druhu materiálu, na předchozím zpevnění, poměrné tloušťce, tvaru výtažku, tažné rychlosti, tlaku přidržovače, mazání a hlavně na geometrii tažného nástroje.

Určování velikosti a tvaru přístřihu [6]

Určování velikosti a tvaru přístřihu je velmi důležité, neboť výrazně ovlivňuje kvalitu výtažku. U rotačních těles se používají různé tabulky z odborných knih a nebo grafické metody stanovení průměru přístřihu. U hranatých tvarů se používají různé grafické výpočtové

metody a nebo jejich kombinace. Zásadou bývá, že plocha přístřihu se rovná ploše výtažku s přídatkem na odstřížení (boční strany se však tažením mírně prodlužují).

2.6 Technologické zásady a mazání[6]

Z hlediska technologičnosti konstrukce výtažku je nutné dodržovat určité zásady, mezi které patří:

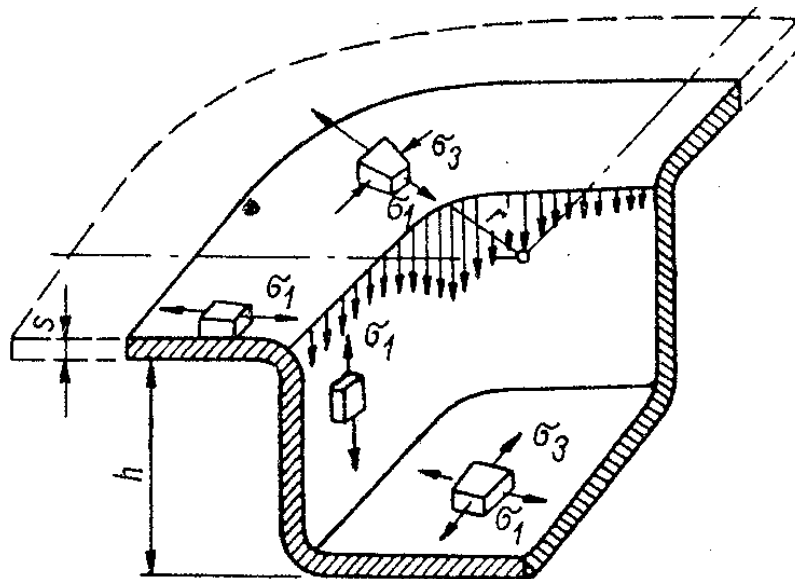
- výška výtažku má být co nejmenší,
- upřednostňovat výtažek rotačního tvaru s rovným dnem,
- rohy hranatých výtažků zaoblit,
- příruby na výtažku používat jen v nevyhnutelných případech,
- tolerovat rozměry tak, aby se výtažky již nemusely kalibrovat,
- volit materiály s dobrými tažnými vlastnostmi.

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

3. Tažení výtažků nerotačních tvarů

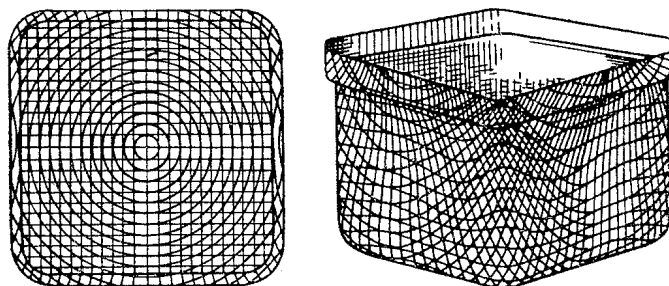
Při tažení čtyřhranných výtažků se předpokládá, že stav napjatosti materiálu v rozích je podobný jako při tažení válcových nádob o průměru odpovídajícím jejich zaoblení a na rovných stěnách je podobný jako při ohybu. Při tomto ohybu je podélné tahové napětí největší v poloměrech zaoblení výtažku, na přímých stěnách nejmenší.

Schéma napjatosti při tažení čtyřhranných výtažků se zaoblenými hranami a o výšce h je zobrazeno na Obr.9.:



Obr.9.:Schéma napjatosti při tažení čtvercových nádob[2]

Složitost napjatosti je dobře charakterizována deformací sítě na výtažku, která byla nanesena na výstřižek.



Obr.:10Deformace sítě při tažení[2]

Z obrázku 10 je vidět, že boční stěny jsou pouze ohýbány. V rozích jsou složitější deformace a napjatosti.

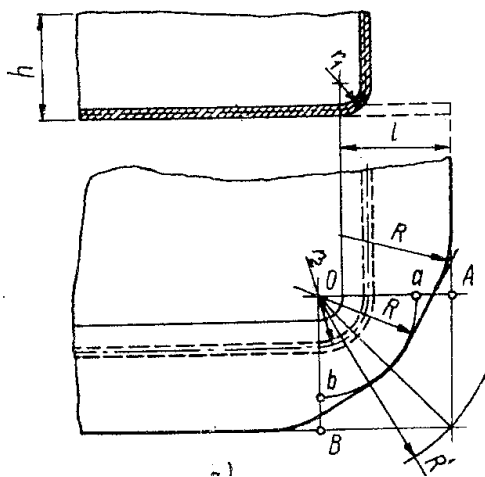
U čtyřhranných nádob je výtažek nejvíce deformován v rozích a proto je potřeba tvar výstřížku v rozích upravit. Používá se několik grafických metod.

Tvar výstřížku se stanoví například takto:[2]

- nakreslí se řez součásti v náryse a k ní příslušný rozvinutý půdorys
- stanoví se délka l části výtažku ohýbané do pravého úhlu
- určí se poloměr polotovaru $R = \frac{D}{2}$ pro válcový výtažek o průměru $d = 2 * r_2$, výšce h a poloměru zaoblení r_1 za předpokladu, že čtvrt tohoto válce odpovídá zaoblení výtažku
- středy úseků a, A a b, B se sestrojí tečny ke kružnici o poloměru R
- sestrojené tvary rohů se zaoblí poloměrem R

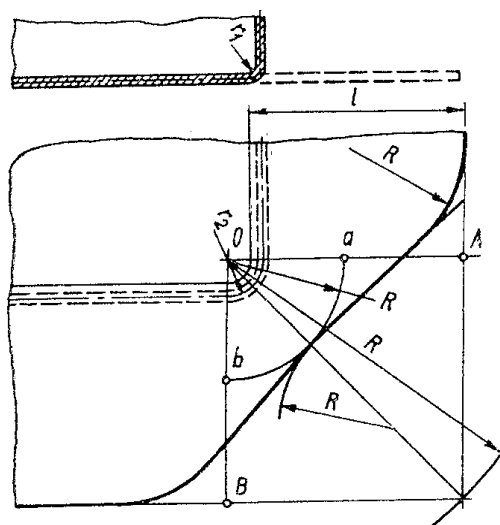
Obrys rohu s vypouklým tvarem

(pro nízké výtažky $\frac{h}{r_2} < 5$)



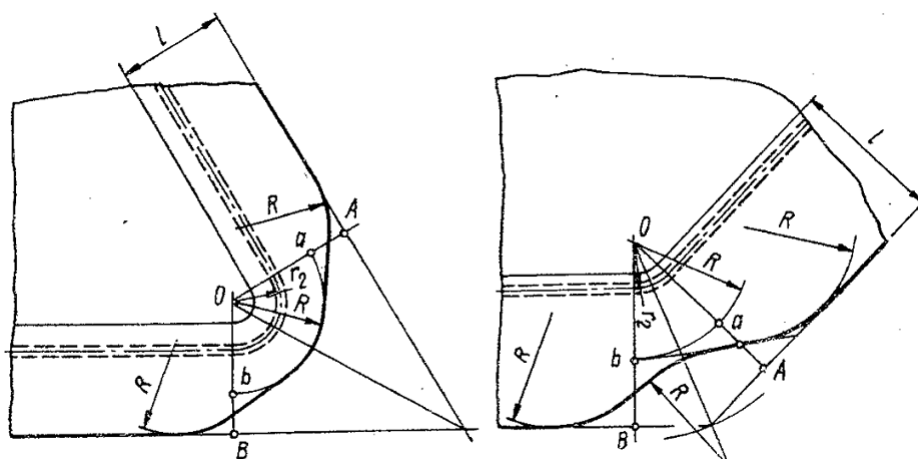
Obrys rohu s vydutým tvarem

(pro hlubší výtažky $\frac{h}{r_2} > 5$)



Obr.11.:Výtažky v rozích s pravým úhlem[2]

Tvar výstřížku u výtažků, u kterých netvoří jejich stěny v rozích pravý úhel je ukázán na Obr.12.:

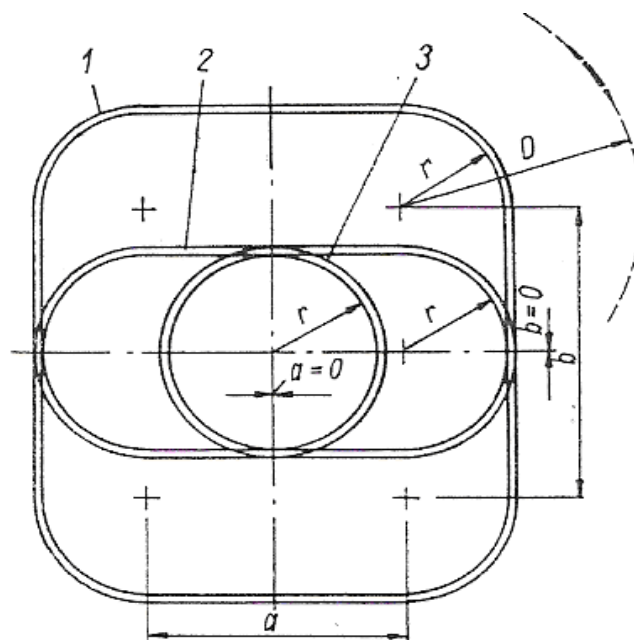


Obr.12.:Výtažky u nichž stěny nesvírají pravý úhel[2]

Vlevo na obrázku je výtažek s ostrým úhlem a obrys výstřížku má vypouklý tvar, zatím co na obrázku vpravo je výtažek s tupým úhlem rohu a obrys výstřížku má vydutý tvar.

3.1 Stanovení součinitele tažení pro první tah

Tažení hranatých nádob je v první operaci podobné jako při tažení nádob válcových, jak je vidět na obrázku 13.



Obr.13.:Schéma pro porovnání tažení kruhové a nekruhové nádoby[2]

1 – čtvercová nádoba $a = b$, 2 – oválná nádoba $b = 0$, 3 – válcová nádoba $a = b = 0$

Na obrázku 13 jsou nakresleny tři půdorysy nádob čtvercové, oválové a válcové, které mají stejný poloměr zaoblění r . V případě, že $b=0$, čtvercová nádoba přechází v oválnou, a při $b = a = 0$ se mění na válcovou. Díky tomuto lze mezi nimi hledat podobnost při stanovení součinitele tažení, u nádob s rohy dochází nejen k ohýbání, ale i ke složitější deformaci. Přítomnost rovných stěn u hranatých výtažků přispívá ke zlepšení podmínek tažení, snižuje se deformace v rozích v porovnání s válcovými nádobami se stejným zaoblěním. To je způsobeno přechodem části deformace z rohu do rovných stěn, tím se snižuje tečné napětí a náchylnost k zvlnění. Proto se může první tah provést s menším součinitelem tažení než u válcových nádob o stejném poloměru zaoblění. Možnost přemísťování materiálu do bočních stěn ovlivní celkovou deformaci výtažku, snižuje součinitel tažení hranatých nádob na hodnotu $M_1=(0,28-0,3)$ i méně. U tvárných materiálů lze zvolit kritický součinitel pro první tah :

$$M_{kr} = \frac{d}{D} = 0,2. \quad [-] \quad (7)$$

Ze vzorce se stanoví průměr polotovaru D , který je potřeba k zhotovení nádoby o žádané výšce:

$$D = \frac{d}{M_{kr}} = \frac{2r}{0,2} = 10r \quad [\text{mm}] \quad (8)$$

Ze vztahů je patrné, že kritický součinitel je použitelný jen v případě, že stěny a nebo b mají délku rovnou nebo větší než $10r$. Při nižších délkách a , b musí být M_1 větší a v závislosti na velikosti stěn tvoří aritmetickou řadu. Součinitel tažení čtvercové nádoby, kdy $a = b$ se mění v závislosti na poloměru r a rovné stěně a . Součinitel tažení obdélníkových nádob je střední hodnotou mezi součinitelem tažení čtvercové nádoby. Označíme-li součinitel tažení obdelníkové nádoby M_0 a součinitel tažení čtverhranné nádoby o rovné straně a - M_a a o straně b - M_b pak dostaneme vztah:

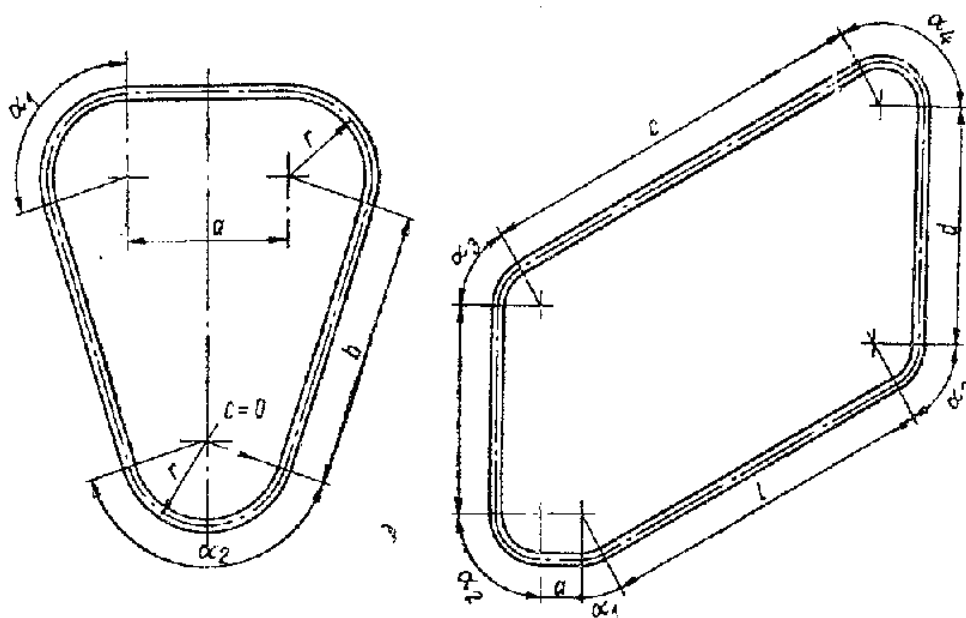
$$M_0 = \frac{M_a + M_b}{2} \quad [-] \quad (9)$$

Pro určení součinitelů M_a a M_b lze použít tabulku:

Tab.1.:Hodnoty součinitelů tažení M_1 pro tažení čtvercových nádob [2]

Délka a	Poměrná tloušťka $\frac{t}{D} * 100$ [%]					
	0,1 až 0,3	0,3 až 0,6	0,6 až 1,0	1,0 až 1,5	1,5 až 2,0	nad 2,0
0	0,6	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50
r	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48
2r	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
3r	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43
4r	0,50	0,48	0,46	0,47	0,42	0,40
5r	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38
6r	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
7r	0,43	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33
8r	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,31
9r	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28
10r	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,26

Zvláště důležité je určení součinitele tažení u výtažků, jejichž rovné stěny nejsou vzájemně kolmé viz. Obr.:14 V tomto případě velikost deformace nelze určit jedním součinitelem tažení. Každý úhel vyžaduje jiný stupeň deformace a proto je mu přiřazena příslušná hodnota součinitele tažení.



Obr.14.:Schéma výtažku s rovnými stěnami, které nesvírají pravé úhly[2]

Velikost součinitele je přímo úměrná velikosti úhlu α a nepřímo úměrná délkám rovných stěn výtažku a, b, c atd. Mezní hodnoty odpovídají úhlu $\alpha = 0^\circ$ a $\alpha = 360^\circ$. Minimální

součinitel tažení je při úhlu $\alpha = 0^\circ$. Úhel $\alpha = 360^\circ$ se objevuje při tažení válcových nádob, součinitel tažení má maximální hodnotu. V praxi se nejčastěji využívají úhly $\alpha = 180^\circ$ až 0° . Součinitel tažení se stanoví v závislosti na rovných stěnách výtažku ležících u příslušného úhlu. Pro úhel $\alpha = 180^\circ$ se stanoví dle tabulky 2. Pokud jsou stěny výtažku příslušící uvažovanému úhlu stejné, bere se hodnota z tabulky přímo. Při rozdílných délkách stran se stanoví součinitel tažení jako střední hodnota mezi součinitelem tažení dvou oválů, u nichž rovné části jsou rovny stranám přilehlým k uvažovanému úhlu.

$$M_{180^\circ} = \frac{M_A + M_B}{2} \quad [-] \quad (10)$$

Kde M_{180° je součinitel pro $\alpha=180^\circ$ s přiléhajícími k němu stranami a a b, M_A - součinitel tažení pro ovál o přímé straně a, M_B - součinitel tažení pro ovál o přímé straně b.

Hodnoty součinitelů tažení pro nádoby s různými úhly o různých délkách rovinných částí a, b jsou uvedeny v tabulce:

Tab.2.: [2]

Délky a, b, c ...		Úhel rohu nádoby α [°]												
menší délka	větší délka	180	165	150	135	120	105	90	75	60	45	30	15	0
r	(1-1,5) r	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48
r	2r	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47
r	3r	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45
r	5r	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,42	0,40
r	8r	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32
r	10r	0,50	0,50	0,49	0,48	0,47	0,45	0,43	0,40	0,37	0,34	0,31	0,27	0,23
2r	(2-3) r	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38
2r	4r	0,53	0,53	0,52	0,52	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37
2r	6r	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38	0,36	0,33
2r	10r	0,49	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,26	0,22
3r	6r	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,37	0,35	0,35	0,32
3r	9r	0,49	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,28	0,22
3r	10r	0,48	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,34	0,30	0,26	0,22	0,17
4r	(4-6) r	0,51	0,51	0,50	0,49	0,48	0,46	0,44	0,41	0,38	0,35	0,32	0,28	0,24
4r	8r	0,49	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,26	0,22
4r	10r	0,48	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,35	0,32	0,28	0,23	0,18	0,13
5r	(5-5,5) r	0,49	0,49	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,36	0,33	0,29	0,24	0,19	0,14
5r	10r	0,48	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38	0,34	0,30	0,26	0,21	0,15	0,09
6r	10r	0,47	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,08
7r	10r	0,46	0,46	0,45	0,43	0,41	0,39	0,36	0,32	0,28	0,24	0,19	0,13	0,07
8r	10r	0,45	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,35	0,31	0,25	0,23	0,18	0,12	0,06
9r	10r	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,36	0,33	0,29	0,24	0,20	0,14	0,08	-
10r	10r	0,44	0,43	0,42	0,40	0,38	0,35	0,32	0,27	0,22	0,17	0,12	0,06	-

V tabulce jsou uvedeny nejdůležitější poměrné tloušťky materiálu t/D.

3.2 Několika operační tažení hranatých výtažků[2]

U hranatých výtažků bývá maximální počet tahů 3 až 4. Díky tomu se může brát jedna střední hodnotu součinitele tažení M_{st} pro všechny tahy rohů výtažku. Pro určení součinitele tažení rohu hranaté nádoby pro vícenásobné tažení se vychází z předpokladu, že poměr součinitelů prvních tahů hranatých nádob M_{h1} (pro roh výtažku o poloměru r) a pro válcové nádoby M_1 (o stejném poloměru) odpovídají poměrům součinitelů tažení při následujících tazích:

$$\frac{M_{h1}}{M_1} = \frac{M_{h2}}{M_2} = \frac{M_{h3}}{M_3} \quad [-] \quad (11)$$

Koeficienty pro další tahy pro tažení čtvercových nádob se mohou stanovit např. dle tab.3.: nebo tak, že se určí střední hodnota mezi M_2 a M_3 :

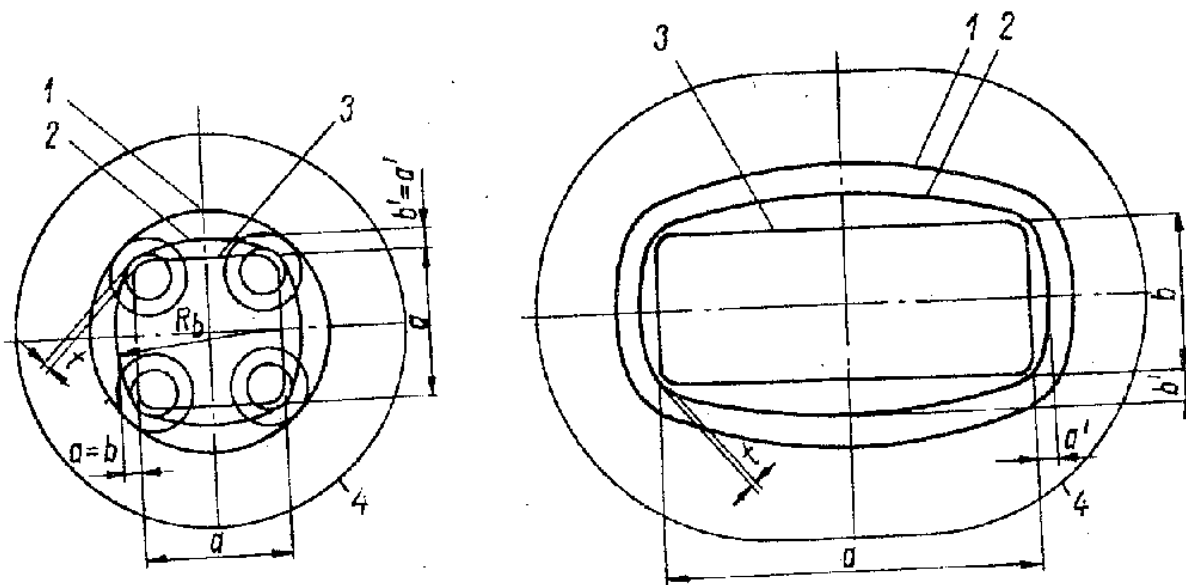
$$M_{st} = \frac{M_2 + M_3}{2} \quad [-] \quad (12)$$

Tab.3.:Koeficienty tažení pro další tahy čtvercových nádob:[2]

Délka a	Poměrná tloušťka $\frac{t}{D} * 100$ [%]					
	0,1 až 0,3	0,3 až 0,6	0,6 až 1,0	1,0 až 1,5	1,5 až 2,0	nad 2,0
0	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77
r	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74
2r	0,73	0,75	0,74	0,72	0,71	0,70
3r	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,66
4r	0,69	0,68	0,67	0,65	0,64	0,63
5r	0,65	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59
6r	0,63	0,62	0,61	0,59	0,57	0,55
7r	0,60	0,59	0,58	0,55	0,54	0,51
8r	0,56	0,5	0,51	0,52	0,50	0,48
9r	0,53	0,52	0,51	0,48	0,47	0,45
10r	0,50	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41
v posledním tahu	0,88	0,87	0,85	0,85	0,84	0,83

3.3 Sestrojení přechodu při tažení symetrických hlubokých výtažků [2]

Při několikanásobném tažení čtvercových nádob se doporučuje nejprve vytáhnout válec a pak tento tvar dokončit na čtverec. U obdelníkové nádoby mají mezitahy tvar oválu.



Obr.15.:Schéma konstrukce mezitahů při tažení kruhových nádob[2]

Konstrukce obrysů tahů vychází z posledního tahu. K tomu se ze středu poloměru zaoblění v rohu nádoby nakreslí kružnice D_1, D_2, \dots , odpovídající průměrům polotovaru, potřebným k zhotovení nádoby o požadované výšce. Tyto průměry se stanoví na základě přípustných součinitelů tažení výtažku o příslušném průměru d_1, d_2, \dots . Obrysy odpovídající mezitahům se sestrojí spojením příslušných průměrů d_1, d_2, \dots . Přitom je potřeba, aby předposlední tah se přibližoval svým tvarem tvaru konečného výtažku. Orientační poměry mezi základními parametry, které je třeba respektovat pro stanovení předposledního tahu, a velikosti poloměrů R_a i R_b jsou uvedeny v tab.4.:

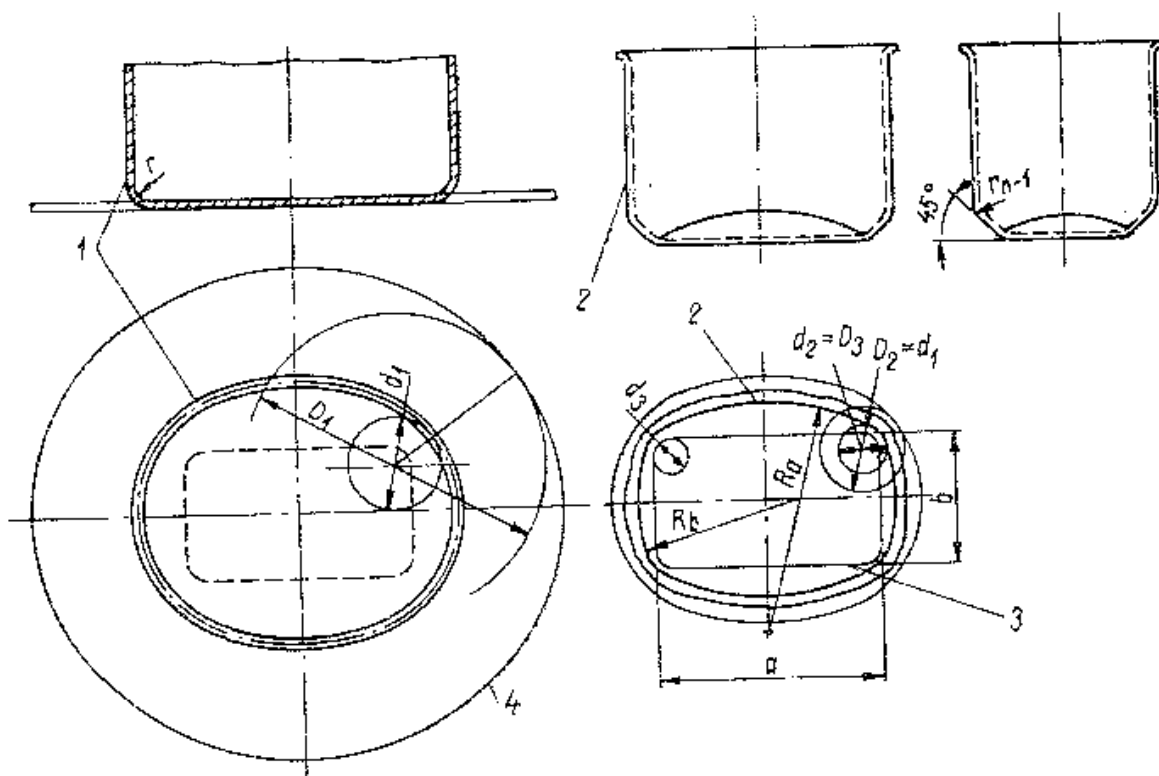
Tab.4.: Orientační hodnoty k sestrojení předposledního tahu u hlubokých čtvercových a obdélníkových nádob

$\frac{a}{b}$	R_a	R_b	a' [%] z a	b' [%] z b
0,20 až 0,25	(1,6 až 1,8)a	0,60b	8	25
0,25 až 0,30	(1,5 až 1,6)a	0,60b	8 až 9	20
0,30 až 0,40	(1,4 až 1,5)a	0,65b	8 až 10	20
0,40 až 0,50	(1,2 až 1,3)a	0,75b	12 až 13	18
0,60 až 0,70	(1,0 až 1,1)a	0,80b	12 až 13	16
1,00	0,85a		14 až 15	14 až 15

Tloušťky stěn přidržovačů $t = 3$ až 40 mm v závislosti na velikosti výtažku a materiálu přidržovače (pro ocel $t = 3$ až 10 mm pro litinu $t = 10$ mm).

Dno je třeba u všech tahů kromě předposledního zaoblit. Poloměr zaoblění r lze volit jako u válcových nádob. U předposledního tahu se doporučuje přechod stěny ve dno upravit pod úhlem 45° obr.16. Poloměr zaoblění r_{n-1} se stanoví podobně jako při tažení válcových nádob

$$r_{n-1} = 0,8 * \sqrt{((d_{n-1} - d_n) * s)}.$$



Obr.16.:Schéma konstrukce trojnásobného tažení pravoúhlé nádoby[2]

1, 2, 3 – tah, 4 – výstřížek, D_1, D_2, D_3 – průměry polotovarů v rozích, d_1, d_2, d_3 – průměry výtažků v rozích

Uvedená konstrukce tvaru značně ulehčuje vzájemné přizpůsobení přidržovače a tažnice. Rozměry rovných částí a a b (Obr.16.:) odpovídají rozměrům konečného výtažku, tedy poslednímu třetímu tahu.

4. Ostatní technologické způsoby tažení [6]

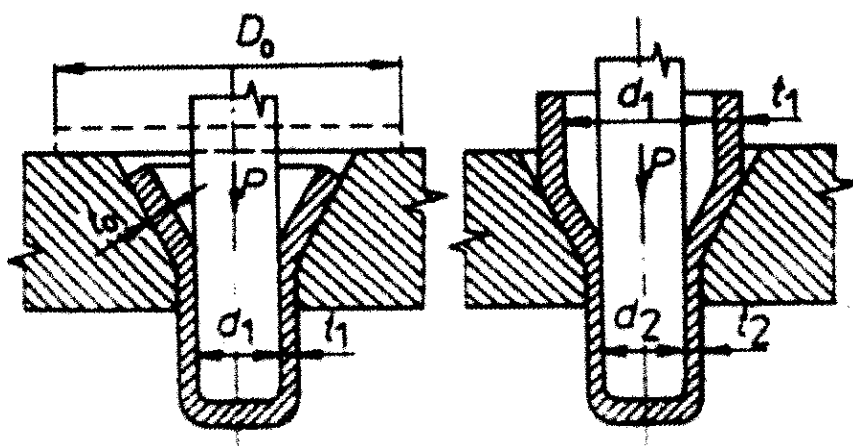
Kromě již uvedeného základního, prostého druhu tažení se používají i jiné způsoby a druhy tažení.

4.1 Tažení bez ztenčení stěny[1]

Jedná se o tažení bez podstatné změny tloušťky materiálu, bývá označováno jako tažení prosté.

4.2 Tažení se ztenčením stěny

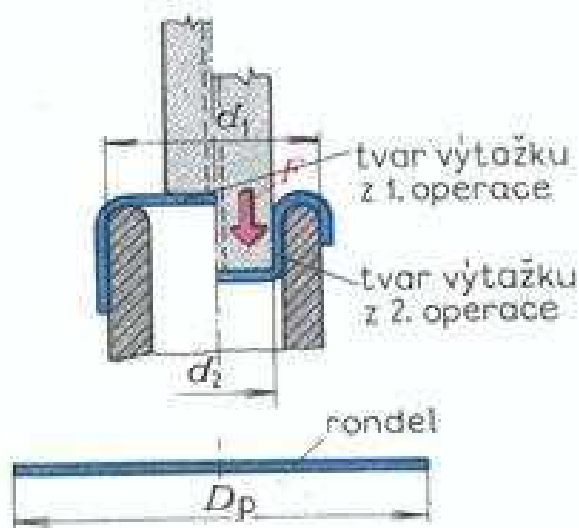
Tažení se ztenčením stěny se obvykle používá u součástí s menší tloušťkou stěny než je tloušťka dna.. Při tomto způsobu se změny rozměry výtahku a původní tloušťka stěny t_1 se změny na t_2 .



Obr.17.:Tažení se ztenčením stěny[1]

4.3 Zpětné tažení

Zpětné tažení se používá tam, kde nemusí být použito přidržovače nebo používat při tažení se zvýšenou tažnou silou. Používá se hlavně pro výrobu kulovitých nebo elipsovitých tvarů. V prvním tahu se vytáhne válcový výtahku a ve druhé operaci se provede tažení v obráceném směru. Materiál při tomto tažení není tolik namáhán – méně se zeslabuje. Okraje výtahků se ve většině případů nezvlíní.



Obr.18.: Ukázka zpětného tažení[6]

4.4 Tažení stupňovitých, kónických, kulovitých, parabolických výtažků[6]

Tažení probíhá na několik tahů, kdy se konečný tvar může ještě dokončit další tvářecí operací, např. lemováním. Tyto výtažky lze vyrábět buď přímo se zvýšeným tlakem přidržovače nebo používat zpětné tažení, nebo postupně po jednotlivých tazích a nebo s předlisováním, kdy se předlisuje v několika tazích stupňovité těleso a teprve v posledním tahu se dokončí konečný tvar.

4.5 Tažení s ohřevem[6]

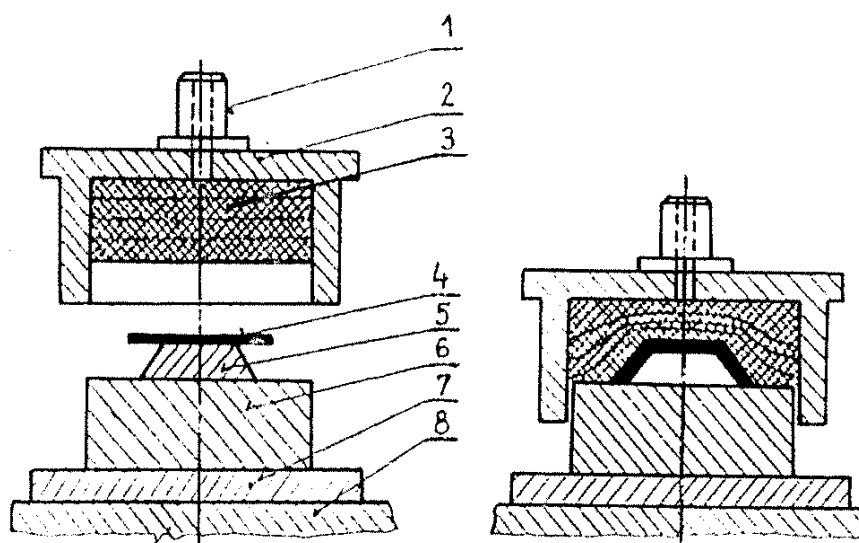
Materiál se ohřívá mezi vyhřívanými plochami tažnice a přidržovače. Používá se pro hořčíkové slitiny, které mají špatnou tvárnost za studena (ale i pro jiné slitiny, např. Ti). Ohřev je na teplotu 300 až 350 °C.

4.6. Speciální způsoby tažení

Speciální způsoby tažení se používají buď pro výrobu specifických tvarů výtažků a nebo se používají způsoby, které využívají jiné prostředí.

4.6.1 Tváření pryží – metoda Guerin[6]

Tato technologie je vhodná pro různé druhy stříhání, ohýbání a jednoduché tažení. Princip metody je založen na elasticitě pryže, která je umístěna v ocelové skříni. Působením tlaku dojde k deformaci přístříhu plechu, který je podepřen tažníkem. Výhodou je, že pryž nezanechává na povrchu žádné stopy. Nevýhodou je potřeba velkých sil, i když velké tlaky působí kladně na zvýšení plasticity. Je možné používat všechny typy lisů. Pryž se používá o různé tvrdosti, pro stříhání je tvrdost vyšší, než pro tažení.

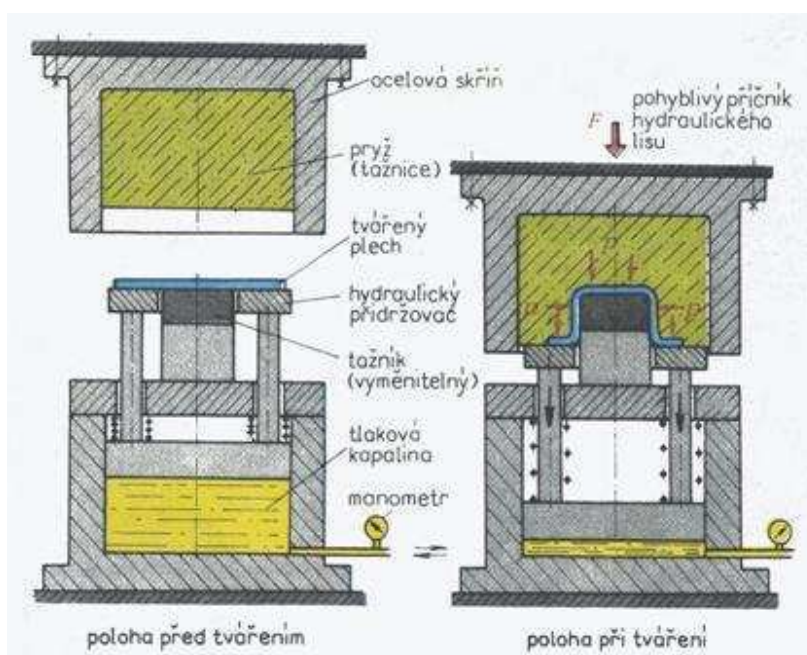


1 – upínací stopka nástroje, 2 – ocelová deska s dutinou pro pryž, 3 – pryžový polštář, 4 – plech, 5 – tažník, 6 – spodní deska, 7 – základová deska, 8 – stůl lisu

Obr.19.:Schéma metody Guerin[1]

4.6.2 Metoda Marform

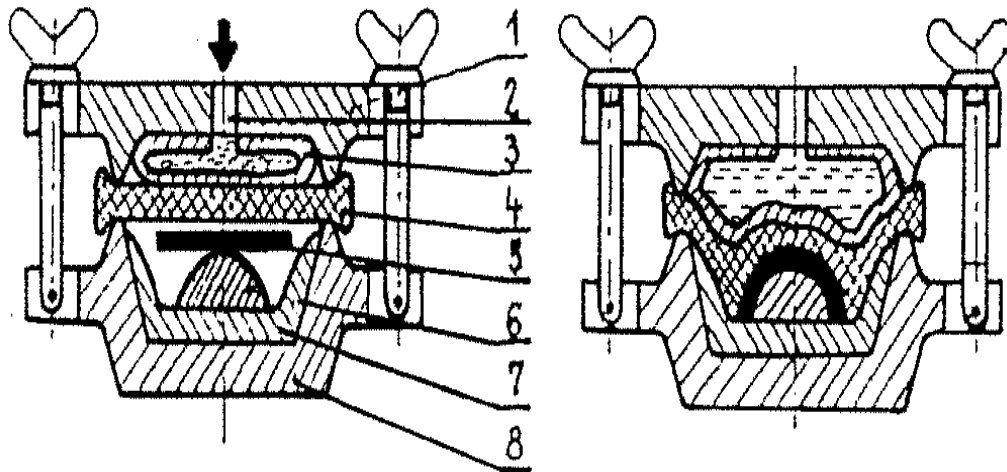
Tato metoda je vhodná i pro hluboké tažení ocelových i nezelezných plechů. Rozdíl je ve vrstvě pryže, která je zde větší. Výška pryže musí být alespoň trojnásobná, než je výška výlisuku, aby nedocházelo k rychlému opotřebování a ztrátě elasticity pryže. Podstatou je nahrazení ocelové tažnice(používá se u konvenčního tváření) pryžovým polštářem, který je umístěn v ocelové skříni. Výhoda je, že výtažky mají takřka stejnou tloušťku materiálu, oproti tomu nevýhodou může být vysoká pořizovací cena lisu.



Obr.20.:Tažení metodou Marform [6]

4.6.3 Tváření kapalinou – metoda Wheelon[6]

Obdoba metody Guerin, kdy se však místo pryže používá kapalina, která je umístěna v pryžovém vaku. Tlak kapaliny je velký. Tato technologie je vhodná pro mělké tažení výtažků. Obě poloviny nástroje jsou od sebe odděleny pryžovou membránou.

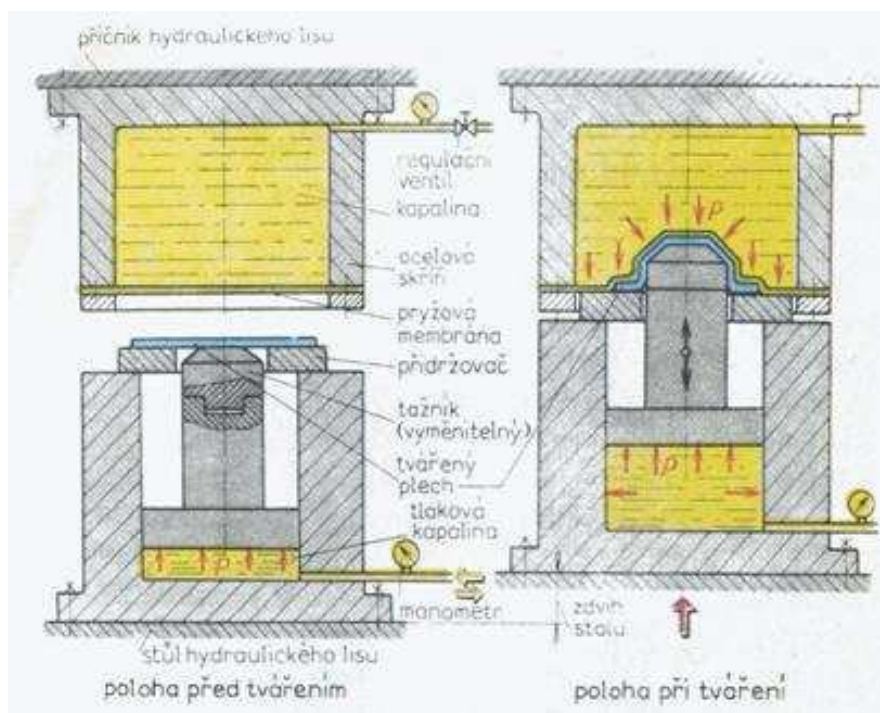


1 – horní díl nástroje, 2 – přívod kapaliny, 3 – pryžový vak, 4 – pryžová membrána, 5 – plech, 6 – tažník, 7 – vložka, 8 – spodní díl nástroje

Obr.21.:Schéma metody Wheelon[1]

4.6.4 Metoda Hydroform[6]

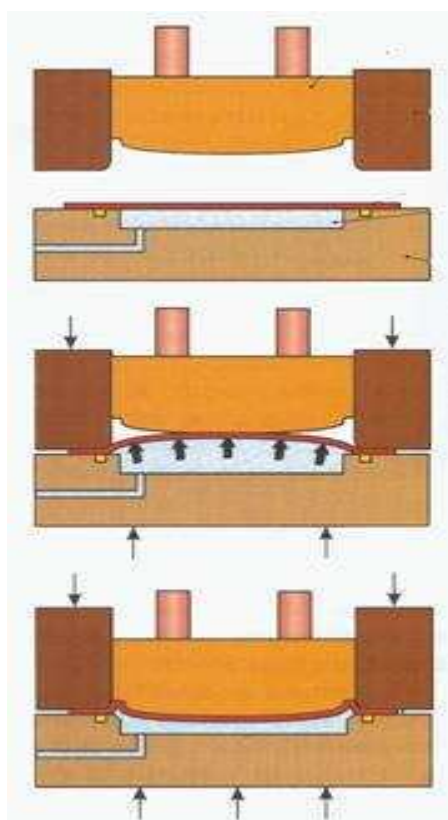
Tato technologie je podobná metodě Marform, také se používá pro hluboké tažení, ale místo pryže se používá nádoba s kapalinou, která je uzavřena poměrně tenkou deskou z gumy. Nejdříve se přitlačí přidržovač k taženému materiálu, aby se nezvlňily okraje, potom se tažník vtlačuje do nádrže naplněné vodou a materiál se tváří. Nadbytek vody se vypouští ventilem. Hydrostatický tlak lze regulovat.



Obr.22.:Tažení metodou Hydroform[6]

4.6.5 Hydromechanické tažení[6]

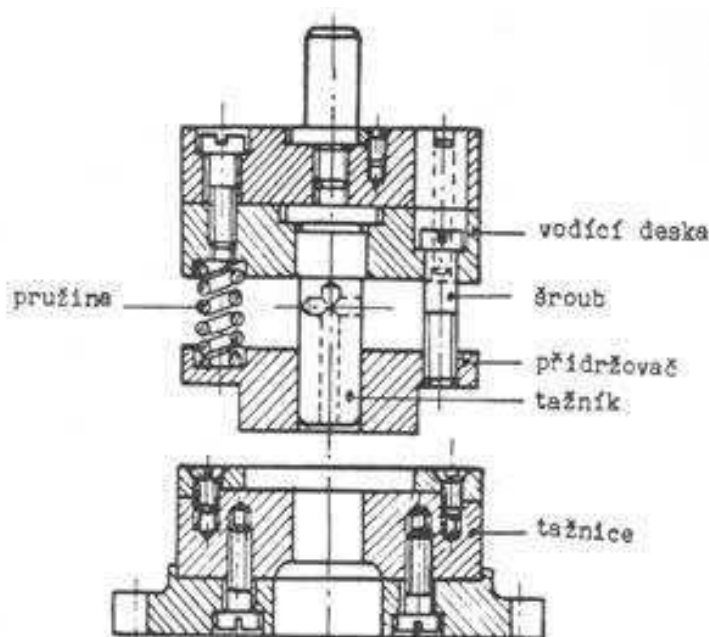
Pro tváření s požadavkem většího zdvihu (např. hlubší tah) je jako pružné prostředí výhodnější tlaková kapalina. Proces bývá často uváděn pod názvem hydromechanické tažení - a lze při něm s úspěchem používat i přidržovače. Princip je založen na tom, že rovinný přístřih plechu je sevřený mezi přidržovačem a tažnicí, může se však pohybovat. Tažník tváří plech do tažné komory, kde je však kapalina. Kapalina působí hydrostatickým tlakem na plech, který se tlačí na celou plochu tažníku. Tlak se řídí speciálním ventilem. Proti úniku kapaliny se používají kvalitní těsnění. Tření a ztenčení je nepatrné.



Obr.23.:Princip hydromechanického tažení plošného výtažku[6]

5. Nástroje pro tažení[6]

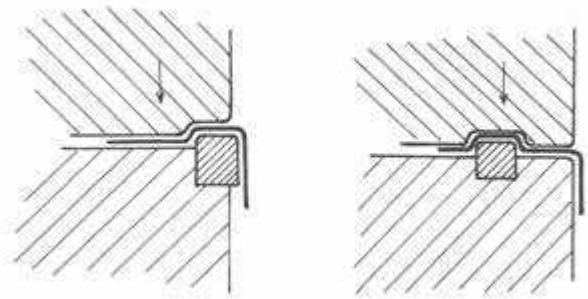
Hlavní funkční části nástroje jsou tažník a tažnice, resp. přidržovač, který zabraňuje zvlnění plechu při tažení. Podle charakteru vykonávané operace můžeme tažné nástroje rozdělit na tažné nástroje pro první tah a na tažné nástroje pro další tahy a v obou dvou skupinách mohou být tažné nástroje jednoduché, sloučené, speciální. Podle druhu lisu mohou být tažné nástroje určené pro jednočinné lisy, dvojčinné a trojčinné lisy a pro postupové lisy. Podle druhu a typu přidržovače se tažné nástroje dělí na nástroje bez přidržovače a nástroje s přidržovačem, a to pružinovým, pryžovým, pneumatickým, hydraulickým.



Obr.24.: Tažný nástroj[6]

V současné době se používá plechových výlisků ne už jen jako krycích dílů, ale jako samostatných konstrukčních prvků, schopných přenášet značná namáhání vyznačujících se vysokou tuhostí při nepatrné vlastní hmotnosti. Tyto díly se táhnou na karosářských vícebodových lisech se značnou rezervou sil - proto se kontrola tvářecích sil ani neprovádí. Nástroje se od obvyklých tažných nástrojů liší v mnoha ohledech:

- tažná hrana bývá vložkována, což umožňuje snadnou výměnu opotřebovaných hran i změnu tvaru
- zvýšení brzdného účinku přidržovače se docílí použitím tzv. brzdících lišt



Obr.21.:Detail zvýšené tažné hrany (vlevo) a brzdící lišty (vpravo)[6]

- oba díly nástroje se liší při dosednutí pouze o tloušťku plechu. Nástroj tedy žádaný tvar nejen táhne, ale po dosednutí i kalibruje.

6.Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provedení literární rešerše zaměřené na technologii tažení nerotačních součástí.

Tažení nerotačních(čtvercových, obdélníkových a nepravidelných) tvarů vychází z teorie tažení rotačních tvarů, avšak u nerotačních tvarů je proces tažení daleko složitější než u rotačních. Při výrobě nového výtažku je nutno provést nové výpočty ke stanovení tvaru a velikosti přístřihu, součinitele tažení, velikost sil potřebné k tažení, atd..

Druhá kapitola se soustřeďuje na základní seznámení s technologií tažení, tedy zvláště s typy tažení. Tato část obsahuje deskripci základního principu tažení a možných vad vzniklých při tažení, ať se jedná o tvorbu vln při tažení, kterým lze zabránit použitím přídržovače, nebo nebezpečí utržení dna výtažku. Srovnání tažení za použití přídržovače a bez něj ilustruje obrázek č.4. Rovněž jsou uvedeny vzorce pro výpočty veličin nutných pro výrobu konkrétních výtažků – pro výpočet tažné síly pro nástroj bez a s přídržovačem, pro výpočet práce při tažení a součinitele tažení. Je zmíněno i určování velikosti a tvaru přístřihu a technologické zásady mazání.

Třetí kapitola se věnuje již přímo tažení výtažků nerotačních tvarů. Těžiště této kapitoly spočívá v popisu postupu tažení – určování součinitele tažení pro první tah a několikaoperační tažení a sestavení přechodů přitažení. Nástin těchto možných kroků postupu tažení je ilustrován schémata a včetně tabulek s hodnotami součinitelů tažení.

Ve čtvrté kapitole jsou popsány další vybrané technologické způsoby tažení - tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, tažení s ohřevem a speciální způsoby (např. metoda Guerin, metoda Marform aj.).

V páté kapitole jsou zmíněny nástroje pro tažení, popis jejich hlavní části včetně grafické ilustrace.

Seznam použitých označení a symbolů

A	[J]	práce při tažení
a,b	[mm]	rozvinuté výšky stěn
C	[-]	koeficient zaplnění plochy
D	[mm]	průměr přístřihu
d	[mm]	průměr tažníku
d ₁	[mm]	průměr výtažku
F	[N]	tažná síla
F _c	[N]	tažná síla s použitím přidržovače
F _p	[N]	přidržovací síla
F _t	[N]	tažná síla
h	[mm]	výška výtažku
K	[-]	stupeň tažení
L	[mm]	délka obvodu
M _a	[-]	součinitel tažení pro ovál o straně a
M _b	[-]	součinitel tažení pro ovál o straně b
M _{h1}	[-]	součinitel tažení hranaté nádoby (první tah)
M _{h2}	[-]	součinitel tažení hranaté nádoby (druhý tah)
M _{h3}	[-]	součinitel tažení hranaté nádoby (třetí tah)
M _{kr}	[-]	kritický součinitel tažení
M _o	[-]	součinitel tažení obdelníkové nádoby
M _{st}	[-]	střední hodnota součinitele tažení
p	[MPa]	specifický tlak přidržovače
q	[MPa]	měrný tlak v pryži
r ₂	[mm]	poloměr zaoblení výtažku
R	[mm]	poloměr přístřihu
R _m	[MPa]	mez pevnosti materiálu
S	[mm ²]	plocha výtažku
S _p	[mm ²]	plocha přidržovače
S _{pr}	[mm ²]	celková plocha pryžového poštáře
t	[mm]	tloušťka plechu

Seznam použité literatury

- [1] TIŠNOVSKÝ, M. a MÁDLE, L. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.
- [2] Kolektiv autorů: Lisování. Nakladatelství technické literatury Praha. 1971. 544 stran. ISBN 04-234-71
- [3] DVORÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. Technologie tváření – plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. 170 s. ISBN 80-214-2340-4.
- [4] FREMUNT, P., KREJCÍK, J. a PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dum techniky. 1994. 230 s.
- [5] BOLJANOVIC, V. Sheet metal forming processes and die design. 1. vyd. New York: Industrial Press, 2004. 220 s. ISBN 0-8311-3182-9.
- [6] LENFELD, P. Technologie II – část I [online] [cit. 2009-4-10]. Dostupné z <
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm >