



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# POSTUP VÝROBY SOUČÁSTI S ŠIROKOU PŘÍRUBOU

PRODUCTION OF COMPONENTS DEEP FORMING

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Mojmír Stloukal

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2024

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Mojmír Stloukal**  
Studijní program: Základy strojírenského inženýrství  
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24

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

## Postup výroby součásti s širokou přírubou

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování aktuální literární studie zaměřené na problematiku tažení výtažků s širokou přírubou za použití plechu jako polotovaru. Zhodnocení současné technologie výroby součástí obdobných tvarů.

### Cíle bakalářské práce:

Vypracování literární studie na téma tažení výtažků s přírubou, doplněná příklady součástí obdobného tvaru a jejich využití v praxi. Součástí práce bude popis technologického postupu výroby součásti, technologické a kontrolní výpočty, zhodnocení a problémy související s její výrobou včetně obrázků a vlastní závěry.

### 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 tváření: plošné a objemové tváření. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

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

TSCHÄETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. 404 s. ISBN 3-540-33216-2.

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

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Cílem práce je vytvořit rešeršní studii zabývající se problematikou tažení výtažků s širokou přírubou. V práci je zpracován postup a technologické výpočty pro tažení rotační součásti bez příruby, rozdílnost technologického postupu při výrobě součásti s širokou přírubou. Dále je shrnuto využití součástí s širokou přírubou v praxi.

### **Klíčová slova**

hluboké tažení, široká příruba, plošné tváření, výtažek, plech

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to create a research study addressing the issues of deep drawing parts with wide flanges. This work includes the process and technological calculations for drawing rotational parts without flanges and the differences in the technological process for producing parts with wide flanges. Furthermore, the utilization of parts with wide flanges in practical applications is summarized.

### **Keywords**

deep drawing, wide flange, sheet forming, drawn part, sheet metal

---

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STLOUKAL, Mojmir. *Postup výroby součásti s širokou přírubou* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/154192>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci na téma Postup výroby součásti s širokou přírubou vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

-----  
Boskovice, 21. 5. 2023

-----  
Mojmír Stloukal

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto paní Ing. Michaele Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady ohledně vypracování bakalářské práce. Dále také děkuji své rodině a svým blízkým za veškerou podporu během studia.

---

---

## OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	9
1 technologie tažení .....	10
1.1 Napětí a deformace výtažku při tažení .....	11
1.2 Tažná síla.....	12
1.3 Technologické parametry tažení .....	13
1.3.1 Velikost přístřihu plechu .....	13
1.3.2 Použití přidržovače .....	14
1.3.3 Poloměr zaoblení funkčních částí tažnice a tažníku .....	15
1.3.4 Tažná mezera.....	16
1.3.5 Stanovení počtu tažných operací, součinitel tažení .....	16
1.4 Mazání .....	18
1.5 Nástroje pro jednooperační tažení.....	18
1.6 Nástroje pro víceoperační tažení .....	19
2 tažení součástí s širokou přírubou .....	21
2.1 Zvlnění příruby.....	21
2.2 Postup tažení.....	21
2.3 Součinitel tažení .....	22
3 Součásti s širokou přírubou v praxi .....	24
3.1 Použití součástí v automobilovém a leteckém průmyslu .....	24
3.2 Použití součástí v potravinářském průmyslu.....	25
3.3 Použití součástí v lékařském průmyslu .....	26
ZÁVĚR.....	28

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů

---

## ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Technologie tažení plechu je jednou z technologií plošného tváření. Při tažení se z rovinného polotovaru, označovaného jako přístřih, v jedné nebo více operacích vyrábí výtažky. Výtažky jsou prostorová dutá tělesa rotačního, hranatého nebo i nesymetrického tvaru. Příklad některých výtažků je zobrazen na obrázku 1.

Tvary i velikosti výtažků jsou velmi rozmanité. Tažením se vyrábějí např. miniaturní součásti pro elektrotechniku i rozměrné součásti pro automobilový průmysl. Pomocí tažení se dají vyrobit pevné a lehké součásti takového tvaru, který by byl obtížně vyrobitelný jinými metodami.

Tažení se v zásadě dělí na tažení se zeslabením stěny a bez zeslabení stěny. Při tažení se ztenčením stěny je výsledná tloušťka stěny menší než tloušťka dna.

Dále se dělí podle hloubky a složitosti výtažku. Pokud je výtažek mělký a není tvarově složitý, dá se vytáhnout na jednu operaci, jedná se tedy o jednooperační tažení. V případě, kdy je zapotřebí dvě a více operací, jedná se o víceoperační tažení.

Z pohledu tvaru výtažku se rozlišuje tažení rotačních symetrických součástí, symetrických nerotačních součástí a nesymetrických součástí.

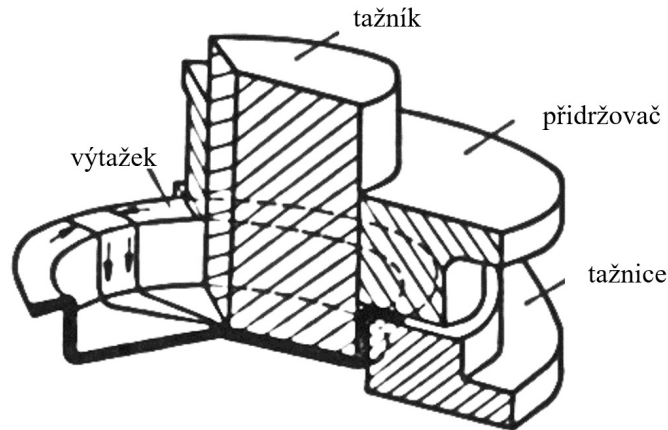
Tato bakalářská práce je zaměřena na technologický postup výroby součástí tažením, technologické a kontrolní výpočty. Dále pak na specifické postupy a výpočty při výrobě součástí s širokou přírubou a dále pak na příklady využití výtažků s širokou přírubou v praxi.



Obr. 1 Příklad výtažků [11]

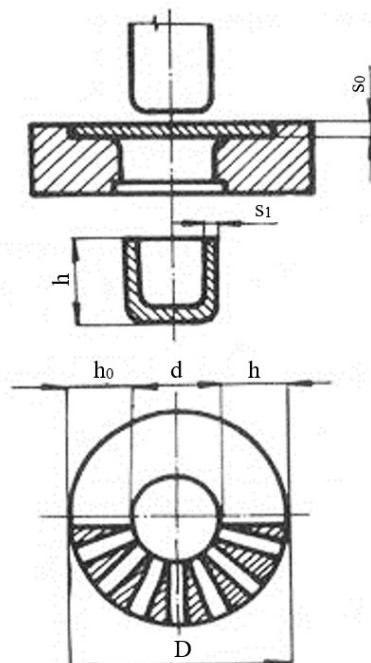
## 1 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [1], [2], [5], 6]

Rotačně symetrické součásti jsou nejjednodušší na výrobu tažením. Vztahy pro výpočet výroby rotačně symetrických součástí jsou základem pro výpočet součástí složitějších tvarů, jako jsou například i výtažky s širokou přírubou.



Obr. 2 Řez tažidlem a výtažkem [1]

Změna tvaru plochého přístříhu se dosahuje tlakem tažníku na přístřih, který se tím vtahuje do otvoru tažnice, a tak nabývá miskovitěho tvaru. Na obrázku 2 je naznačen řez tažidlem při tažení plochého přístříhu v prvním tahu. Přístřih se při tažení na tažnici vystředí a přidrží přidržovačem, potom začne sestupovat tažník, který dosedne na tažený materiál a dalším pohybem jej vtahuje do otvoru tažnice. V zakreslené poloze je část přístříhu již tažena, zatímco mezi přidržovačem a tažnicí zůstává ještě tažením zmenšený prstencovitý zbytek plochého přístříhu.



Obr. 3 Princip tažení válcovité součásti [5]

Jak je zobrazeno na obrázku 3, při tažení se mezikruží přístříhu ( $D - d$ ) změní na válec s průměrem  $d$  a výškou  $h$  z dřívějšího rozměru přístříhu  $D$ . V důsledku platnosti zákona stálosti objemu se objem kovu během procesu nemění, a proto výška  $h$  bude větší, než šířka mezikruží  $D - d$ .

Tažení je tedy plastická deformace, při které se přesune značný objem kovu. Tento přesunutý objem je na obrázku 3 schematicky znázorněn vyšrafovanými trojúhelníky. Stupeň deformace  $\varepsilon$  při tažení je možno vyjádřit poměrem přesunutého objemu  $V_p$  k objemu deformovanému  $V_d$ :

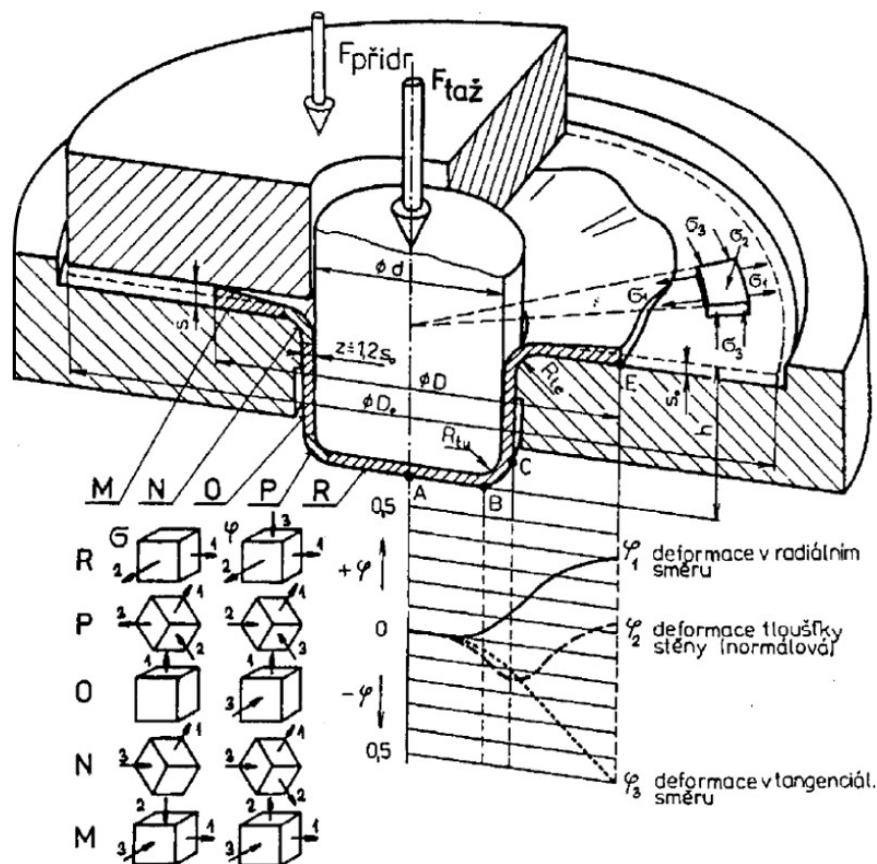
$$\varepsilon = \frac{V_p}{V_d} = \frac{(D_0 - d)^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot s_0}{(D_0^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot s_0} = \frac{D_0 - d}{D_0 + d}, \quad (1.1)$$

kde:  $\varepsilon$  – stupeň deformace [-],  
 $V_p$  – přesunutý objem [mm<sup>3</sup>],  
 $V_d$  – deformovaný objem [mm<sup>3</sup>],  
 $D_0$  – průměr přístříhu [mm],  
 $d$  – střední průměr výtažku [mm],  
 $s_0$  – tloušťka plechu [mm].

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. 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.

### 1.1 Napětí a deformace výtažku při tažení [4], [6]

Ze schémat hlavních napětí ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ) a průběhu logaritmických deformací ( $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ ) na obrázku 4 je zřejmé, že se mění v různých částech výtažku, přičemž se současně mění i jejich velikost.



Obr. 4 Schéma hlavních napětí a logaritmických deformací při tažení s přidržovačem [6]

V přírubě polotovaru (oblast M) vzniká vlivem tlaku přidržovače prostorová napjatost i deformace. V ploše příruby vznikají radiální tahová napětí  $\sigma_1$  a tangenciální tlaková napětí  $\sigma_3$  a k nim v kolmém směru osová tlaková napětí  $\sigma_2$ . Při tažení bez přidržovače se ovšem mění schéma napětí v přírubě se zřetelem na nepřítomnost napětí  $\sigma_2$ .

Na poloměru tažnice  $R_{te}$  (oblast N) vzniká složitá deformace, způsobená prostorovým ohybem za současného působení největšího radiálního tahového napětí  $\sigma_1$  a malého tangenciálního tlakového napětí  $\sigma_3$ .

Válcová část výtažku (část O) je podrobena jednoosé tahové napjatosti  $\sigma_1$  a rovinné deformaci. V části výtažku, nacházející se v zaoblení, kterým přechází válcová část ve dno (oblast P), je prostorová nestejnorodá napjatost, jenž způsobuje značné prodloužení a ztenčení tloušťky stěny v tomto místě. V důsledku toho je tato oblast výtažku nejchoulostivějším místem, ve kterém nejčastěji dochází k utržení dna.

Ve dně výtažku (oblast R) vzniká během tažení rovinná tahová napjatost a prostorová deformace. Při jednooperačním tažení je zeslabení dna zanedbatelné. Při víceoperačním postupovém tažení však dochází k jeho postupnému zeslabení.

Tažná síla  $F_t$  vyvolává v plášti výtažku tahové napětí. Výsledné tahové napětí je složeno z:

- radiálního tahového napětí  $\sigma_1$ , které vzniká v oblasti příruby výtažku,
- třecího napětí  $\sigma_{tř}$ , vyvolané třením od tlaku přidržovače na zesilující se okraj přístřihu,
- napětí vyvolaného třením po zaoblené hraně tažnice,
- ohybového napětí  $\sigma_o$ , vyvolané ohybem přístřihu na zaoblené hraně tažnice.

Výsledné tahové napětí  $\sigma_v$  je dáno vztahem:

$$\sigma_v = (\sigma_1 + \sigma_{tř} + 2 \cdot \sigma_o) \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \cdot \sin \alpha, \quad (1.2)$$

kde:  $\sigma_v$  – výsledné tahové napětí [MPa],  
 $\sigma_1$  – radiální tahové napětí [MPa],  
 $\sigma_{tř}$  – třecí napětí [MPa],  
 $\sigma_o$  – ohybové napětí [MPa],  
 $e^{\mu \cdot \alpha}$  – součinitel vyjadřující vliv tření na zaoblené hraně tažnice [-],  
 $\mu$  – součinitel tření [-]  
 $\alpha$  – úhel opásání plechu na tažné hraně [rad].

## 1.2 Tažná síla [1], [4]

Tažnou sílu lze vypočítat pomocí velikosti výsledného tahového napětí  $\sigma_v$  jako:

$$F_t = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot \sigma_v, \quad (1.3)$$

kde:  $F_t$  – tažná síla [N].

Protože se výsledné tahové napětí v průběhu tažení mění, mění se i tažná síla. V praxi se používá výpočet pro maximální tažnou sílu, při které dochází k utržení dna:

$$F_{max} = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m, \quad (1.4)$$

kde:  $F_{max}$  – maximální tažná síla [N],  
 $R_m$  – pevnost taženého materiálu v tahu [MPa].

Skutečná tažná síla bývá obvykle nižší, než síla maximální a závisí na redukci průměru přístřihu. S dostatečnou přesností se dá určit pomocí empirického vzorce:

$$F_t = F_{max} \cdot \left( \frac{D_0}{d} - 0,7 \right). \quad (1.5)$$

### 1.3 Technologické parametry tažení [6]

K dosažení kvalitního výtažku s požadovanou přesností je nutné dodržet optimální technologicko – konstrukční parametry v procesu tažení.

#### 1.3.1 Velikost přístřihu plechu [2], [3], [4],

Pro stanovení velikosti přístřihu plechu se vychází z předpokladu, že objem přístřihu je roven objemu výtažku. Pokud se při tažení nemění tloušťka plechu, nemění se ani jeho celkový povrch. Rozměry přístřihu se tedy dají určit z povrchu přístřihu a z povrchu výtažku:

$$S_0 = S_v, \quad (1.6)$$

kde:  $S_0$  – povrch přístřihu [mm<sup>2</sup>],  
 $S_v$  – povrch výtažku [mm<sup>2</sup>].

Výtažek na obrázku 5a) může být rozdělen na jednotlivé části, které jsou na obrázku 5b). Povrch jednotlivých částí je pak možné snadněji vypočítat. U tenkých plechů se při výpočtech uvažují vnější rozměry, u tlustých plechů je výpočet proveden ke střednímu rozměru tloušťky plechu. Celkový povrch výtažku je pak součtem povrchů všech částí:

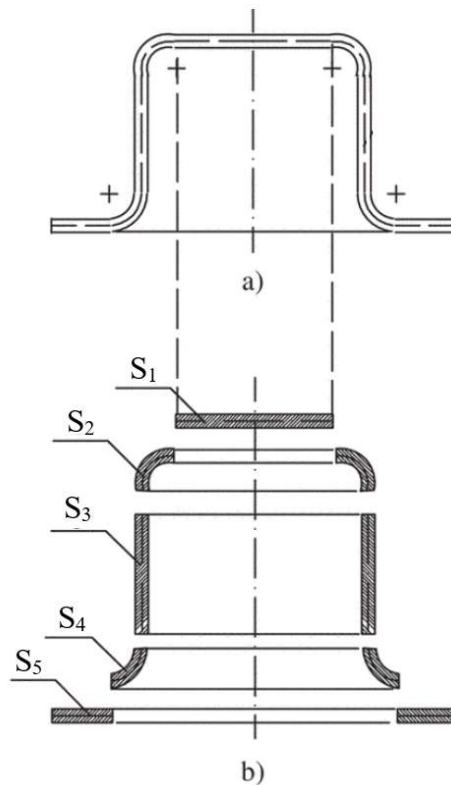
$$S_v = \sum_{i=1}^n S_i = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n, \quad (1.7)$$

kde:  $S_1$  až  $S_n$  – povrch jednotlivých částí výtažku [mm<sup>2</sup>].

Průměr přístřihu se pak vypočítá:

$$D_0 = 0,13 \cdot \sqrt{S_v}. \quad (1.8)$$

S ohledem na cípatost výtažku se teoreticky vypočtený průměr zvětšuje při jednooperačním tažení o 3 % a při každé další operaci o 1 %.



Obr. 5 Výpočet přístřihu: a) výtažek b) jednotlivé části výtažku [3]

### 1.3.2 Použití přidržovače [4], [7]

Optimální síla přidržovače zamezuje tvoření vln a záhybů na výtažku. Kromě toho u druhého a dalších tahů přidržovač ustředuje výtažek proti tažnici. Síla přidržovače musí být tak velká, aby zamezila tvoření vln na výtažku, ale nesmí přitom dojít k utržení dna výtažku.

Rozhodnutí, zda je možno táhnout s přidržovačem nebo bez něj vyplývá z empirických vztahů ověřených praxí. Často používaný vztah uvádí norma ČSN 22 7301. Podle této normy se součinitel, který určuje nutnost použití přidržovače, vypočítá ze vztahu:

$$k_p = 50 \cdot \left( z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right), \quad (1.9)$$

kde:  $k_p$  – součinitel určující nutnost použití přidržovače [-],  
 $Z$  – materiálová konstanta [-].

Hodnota materiálové konstanty  $Z$  pro vybrané materiály je uvedena v tabulce 1.

Tab. 1 Hodnota materiálové konstanty pro vybrané materiály [4]

Materiál	$Z$ [-]
Ocelový hlubokotažný plech	1,9
Mosazný plech	1,95
Hliníkový plech	2,0

Při tažení je nutné použít přidržovač, pokud pro hodnotu  $k_p$  platí:

$$k_p \geq \frac{100 \cdot d}{D_0}, \quad (1.10)$$

Pokud vztah (1.10) neplatí, je možno při první tažné operaci táhnout bez použití přidržovače. Při druhé a každé další operaci se přidržovač již používá. Hlubokotažné plechy o tloušťce do 0,5 mm se táhnou vždy s přidržovačem.

Síla přidržovače se stanoví ze vztahu:

$$F_p = S_c \cdot p, \quad (1.11)$$

kde:  $F_p$  – síla přidržovače [N],  
 $S_c$  – činná plocha pod přidržovačem [mm<sup>2</sup>],  
 $p$  – měrný přidržovací tlak (viz tab. 2) [MPa].

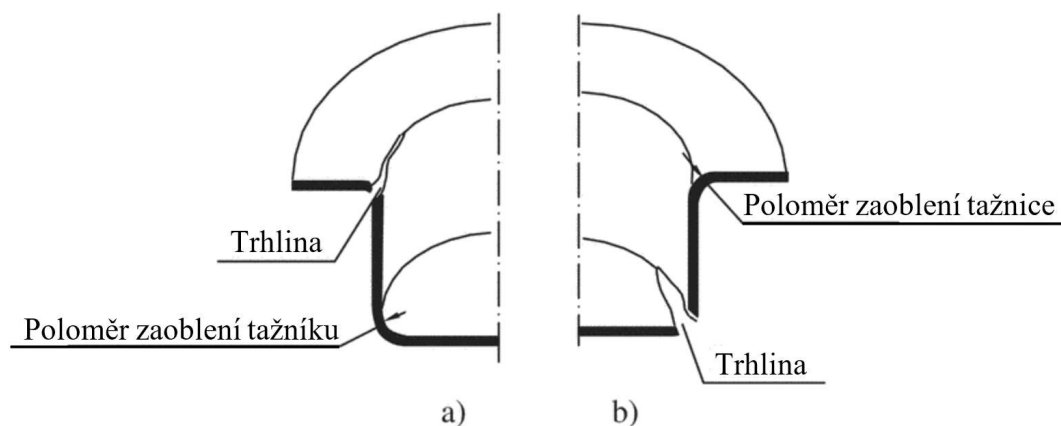
Tab. 2 Doporučené hodnoty měrných tlaků přidržovače pro vybrané materiály [4]

Materiál	p [MPa]
Ocelový hlubokotažný plech	2,0 až 3,0
Nerezový plech	2,0 až 5,0
Měděný plech	1,2 až 1,8
Mosazný plech	1,5 až 2,0
Hliníkový plech	0,8 až 1,2

V praxi se skutečný tlak přidržovače nastaví tak, aby se nevytvořily vrásky následkem zvlnění přístřihu nebo trhliny ve výlisku. Při tažení na dvojčinných lisech s přidržovačem není důležitý přidržovací tlak, nýbrž nastavení nejmenší potřebné mezery pro danou tloušťku plechu, aby se přístřih pod přidržovačem nezadíral, přitom však nevznikly přeložky.

### 1.3.3 Poloměr zaoblení funkčních částí tažnice a tažníku [2], [3], [4], [6], [7]

Poloměry zaoblení tažnice a tažníku mají na průběh tažení velký vliv, závisí na nich napětí v taženém materiálu, a tedy i eventuální přetržení výtažku. Na obrázku 6a) je zobrazen vznik trhlín z důvodu příliš malého poloměru zaoblení tažnice, na obrázku 6b) je vznik trhlín z důvodu příliš malého poloměru zaoblení tažníku.



Obr. 6 Trhliny způsobené příliš malým poloměrem a) tažnice b) tažníku [3]

Poloměr zaoblení funkčních hran tažnice  $R_{te}$  se pro první tah vypočte podle vzorce:

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d) \cdot s_0}, \quad (1.12)$$

kde:  $R_{te}$  – poloměr zaoblení tažnice [mm].

Pro další tahy výtažku s průměrem do 60 mm se poloměr zaoblení tažnice určí jako:

$$R_{te} = \frac{d_{n-1} - d_n}{2} \cdot s_0, \quad (1.13)$$

kde:  $d_{n-1}$  – střední průměr výtažku předešlého tahu [mm],  
 $d_n$  – střední průměr výtažku počítaného tahu [mm].

Pro další tahy výtažku s průměrem nad 60 mm se poloměr zaoblení tažnice zjistí přibližně podle vztahu:

$$R_{te} = k \cdot s_0, \quad (1.14)$$

kde:  $k$  – součinitel, z rozmezí 6 až 8 [-].

Poloměr zaoblení funkčních hran tažníku  $R_{tu}$  se v praxi rovná velikosti zaoblení hran tažnice, tedy:

$$R_{tu} = R_{te}, \quad (1.15)$$

kde:  $R_{tu}$  – poloměr zaoblení tažníku [mm].

Pro druhé a další tažné operace se obvykle hrany tažníku upravují zkosením o úhel  $35^\circ$  až  $45^\circ$  [3]. Minimální poloměr zaoblení tažníku u posledního tahu se řídí velikostí výtažku, vztah pro jeho výpočet v závislosti na průměru výtažku je uveden v tabulce 3.

Tab. 3 Minimální hodnota  $R_{tu}$  pro poslední tah [4]

Průměr výtažku [mm]	Minimální hodnota $R_{tu}$ [mm]
10 až 100	$(3 \text{ až } 4) \cdot s_0$
100 až 200	$(4 \text{ až } 5) \cdot s_0$
200 a více	$(5 \text{ až } 7) \cdot s_0$

Pokud je vyžadován výtažek s menším poloměrem zaoblení tažníku, než je uvádí tabulka 3, je nutné zařadit další kalibrační operaci. Při této operaci bude zmenšován  $R_{tu}$  na požadovanou hodnotu, přičemž již nebude měněn průměr výtažku.

### 1.3.4 Tažná mezera [2], [6]

Při tažení bez zeslabení stěny, což je nejčastěji užívaný způsob v praxi, se volí tažná mezera  $z$  větší, než je tloušťka plechu s ohledem na snížení tažné síly s přihlédnutím k tolerancím tloušťky plechu. Je dána vztahem:

$$z = \frac{D_0 - d}{2}, \quad (1.16)$$

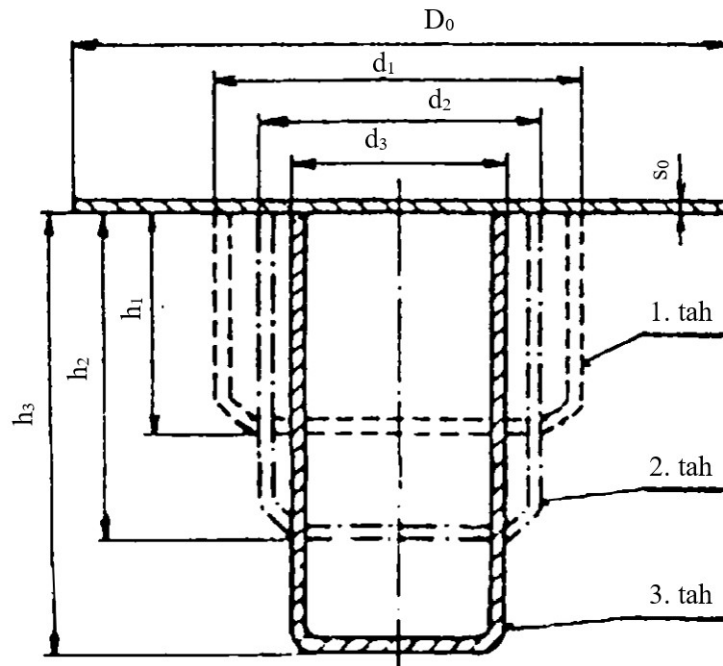
kde:  $z$  – tažná mezera [mm].

Norma ČSN 22 7301 doporučuje hodnotu tažné mezery v první operaci jako 1,2 až 1,3 násobek tloušťky plechu a pro další tažné operace 1,1 až 1,2 násobek tloušťky plechu.

### 1.3.5 Stanovení počtu tažných operací, součinitel tažení [2], [4], [6]

Z přístřihu plechu o určitém průměru lze v jedné tažné operaci zhotovit výtažek o určitém minimálním průměru. Je-li třeba zhotovit výtažek s menším průměrem, je třeba víceoperačního tažení, jehož schéma je zobrazeno na obrázku 7. Po 3. operaci tažení je nutno zařadit

rekrytalizační žíhání, aby se obnovila tvárnost materiálu. Tlak přidržovače, tažná síla a ostatní parametry se počítají obdobně, jako u tažení jednooperačního.



Obr. 7 Schéma víceoperačního tažení [4]

Toto omezení dosažitelného průměru v jednom tahu vyjadřuje součinitel tažení  $m$ . Vypočítá se jako:

$$m = \frac{d}{D_0}, \quad (1.17)$$

kde:  $m$  – součinitel tažení [-].

Při jeho překročení dojde k poškození výtažku následkem vyčerpání tvárných vlastností materiálu. Doporučené hodnoty  $m$  pro první tažnou operaci válcového výtažku jsou v rozmezí od 0,48 do 0,60. ČSN 22 7301 doporučuje volit součinitel tažení pro první tah v rozmezí  $m_{1min}$  a  $m_{1max}$ . Ty se vypočítají jako:

$$m_{1min} = \frac{50 + 0,01 \cdot D_0}{100}, \quad (1.18)$$

kde:  $m_{1min}$  – minimální součinitel tažení pro první operaci [-].

$$m_{1max} = \frac{60 + 0,01 \cdot D_0}{100}, \quad (1.19)$$

kde:  $m_{1max}$  – maximální součinitel tažení pro první operaci [-].

Pokud pro konkrétní výtažek vyjde součinitel tažení menší než doporučený součinitel tažení, je nutné táhnout na více operací. Průměr dosažený po prvním tažení  $d_1$  se vypočítá:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0, \quad (1.20)$$

kde:  $d_1$  – střední průměr výtažku po první operaci [mm],  
 $m_1$  – součinitel tažení pro první operaci [-].

Podobně jako pro první tah, doporučuje ČSN 22 7301 pro druhou a další operaci volit součinitel tažení v rozmezí mezi  $m_{nmin}$  a  $m_{nmax}$ , které se vypočítají:

$$m_{nmin} = \frac{70 + 0,01 \cdot d_{n-1}}{100}, \quad (1.21)$$

kde:  $m_{nmin}$  – minimální součinitel tažení pro n-tou operaci [-],  
 $d_{n-1}$  – střední průměr výtažku po předchozí operaci [mm].

$$m_{nmax} = \frac{80 + 0,01 \cdot d_{n-1}}{100}, \quad (1.22)$$

kde:  $m_{nmax}$  – maximální součinitel tažení pro n-tou operaci [-],  
 $d_{n-1}$  – střední průměr výtažku po předchozí operaci [mm].

Průměr dosažený po n-té operaci se vypočítá:

$$d_n = m_n \cdot d_{n-1}, \quad (1.23)$$

kde:  $d_n$  – střední průměr výtažku po n-té operaci [mm],  
 $m_n$  – součinitel tažení pro n-tou operaci [-].

Výpočet dosaženého průměru se provádí postupně do té chvíle, kdy je dosažený průměr menší nebo roven tomu, který je třeba vyrobit. Pořadí operace, při kterém je tohoto dosaženo, určuje minimální počet tažných operací.

V praxi se používají různé diagramy a tabulky pro rychlé určení součinitelů tažení. Uspořádání tažných operací je takové, aby se průměr výtažku v základní operaci rovnal průměru výtažku v následující operaci. Součinitele tažení je třeba volit tak, aby se v každé operaci co nejvíce využilo tvárných vlastností plechu a aby operací bylo co nejméně.

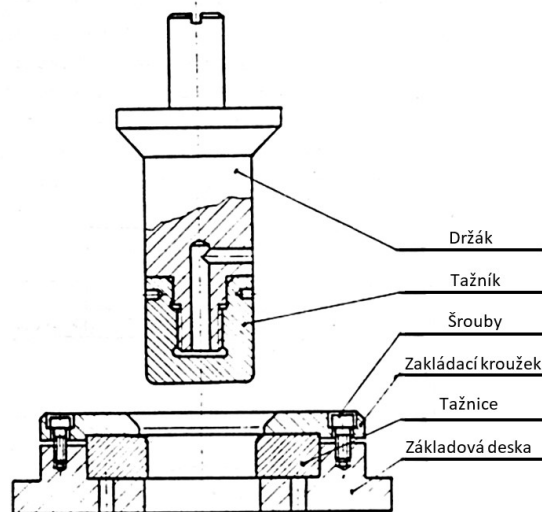
#### 1.4 Mazání [3], [8]

Mazání je při tažení důležité, protože snižuje síly potřebné k tažení, zvyšuje tažnost, zmenšuje opotřebení nástrojů a také zmenšuje vady na výtažku. Během tažení se vyskytuje několik režimů mazání, od hydrodynamického mazání u přidržovače po mezní mazání u hrany tažnice. Výběr maziva záleží na složitosti a druhu tažné operace a také na materiálu, který je při tažení použit.

Mazivo by mělo vytvářet nevysychající rovnoměrnou vrstvu, která je schopna vydržet velké tlaky. Nesmí mechanicky ani chemicky poškozovat povrch nástroje nebo výtažku.

#### 1.5 Nástroje pro jednooperační tažení [2], [7]

Schéma tažidla je zobrazeno na obrázku 8. Skládá se ze základové litinové desky, tažnice, zakládacího kroužku, který je přitažen šrouby, složeného tažníku a držáku se stopkou. Funkční část tažníku je středěná středícím průměrem na držáku. Průměr držáku bývá o 0,2 až 0,5 mm menší než funkční průměr tažníku.



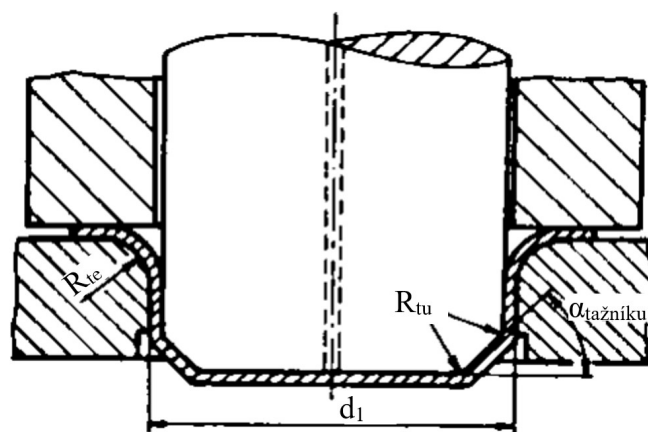
Obr. 8 Schéma tažidla [7]

Tažnice pro kruhové výtažky bývají celistvé, prstencového tvaru s funkčním otvorem, který může být proveden různým způsobem. Jejich tvar a úprava hran funkčních otvorů závisí na druhu tažených výtažků i na způsobu jejich odstraňování z tažnice. Při výrobě nepravidelných a zvláště velkých výtažků se používá různých způsobů úpravy tažnic, aby se zabránilo tvoření vln, jako například vestavěním jednoho nebo více brzdných žebér.

Tažníky jsou funkční elementy, jejichž přímými funkčními částmi je čelo, poloměr zaoblení a válcová část. Jejich vnější průměr je současně vnitřním průměrem výtažku. Všechny tažníky musí být opatřeny odvzdušňovacím otvorem pro snazší stírání výtažků z tažníku.

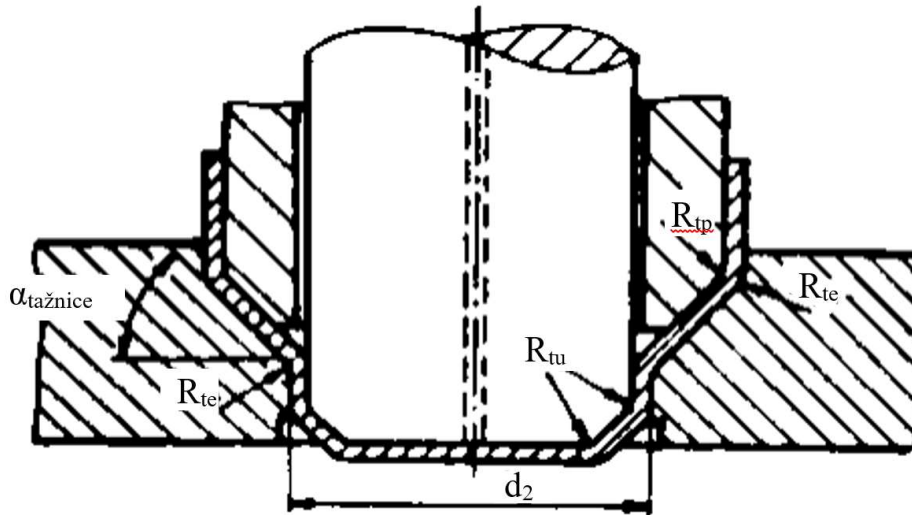
## 1.6 Nástroje pro víceoperační tažení [2], [6]

Pokud nejde součást vytáhnout jedním tahem, dochází v operacích, které následují po prvním tahu ke zmenšování průměru výtažku a zvětšování jeho výšky. Schéma tohoto postupu je zobrazeno na obrázku 6. Pro víceoperační tažení jsou používány nástroje podobné, jako při jednooperačním tažení, liší se ale do jisté míry svým tvarem.



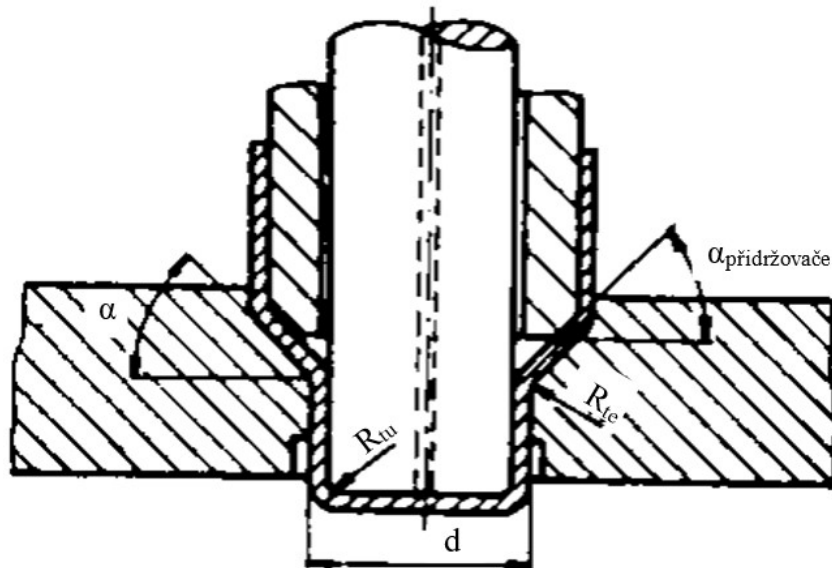
Obr. 9 Schéma 1. tahu víceoperačního tažení [6]

První tažná operace víceoperačního tažení je znázorněna na obrázku 9 a liší se od jednooperačního tažení především úpravou tažníku. Díky této úpravě pak po první operaci přechází dno výtažku kuželovitě do pláště pod úhlem, který umožňuje středění výtažku v následující tažné operaci.



Obr. 10 Schéma 2. a následujícího tahu víceoperačního tažení [6]

Druhá a další následující tažná operace je zobrazena na obrázku 10. V této operaci jsou kromě tažníku již upraveny i tažnice a přídržovač. Tažnice se liší od tažnice pro první tah kuželovitou funkční plochou pod úhlem, který má v praxi velikost v rozmezí od  $30^\circ$  do  $45^\circ$ . Poloměry  $R_{te}$  se užívají menší než u první tažné operace, jejich výpočet byl uveden ve vzorcích 1.13 a 1.14. Tažník je upraven podobně, jako tažnice. Přídržovač má funkční část zakončenou kuželovitě s přechodovými poloměry zaoblení jako tažnice. Vnější průměr přídržovače se rovná vnitřnímu průměru výtahku z předchozí operace. Vnitřní průměr je o příslušnou vůli větší než průměr tažníku pro probíhající operaci.



Obr. 11 Schéma posledního tahu víceoperačního tažení [6]

Pro poslední operaci, která je zobrazena na obrázku 11, se používá podobná úprava nástrojů, jako při operacích mezi prvním a posledním tahem. V poslední operaci už ale má tažník tvar a rozměr, který odpovídá vnitřním rozměrům výtahku.

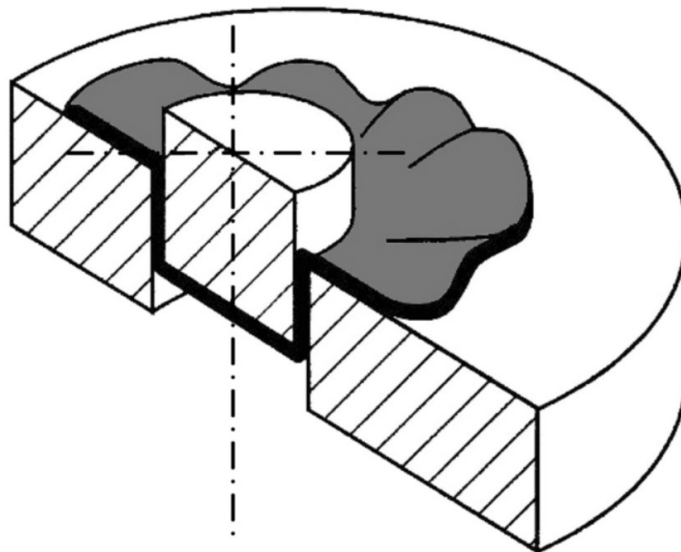
Tažná mezera se u víceoperačního tažení postupně zmenšuje a v poslední operaci se doporučuje jako 1,1 až 1,2násobek tloušťky plechu. V případě kalibrování výtahku k získání přesných rozměrů se tažná vůle pohybuje v rozsahu 1 až 1,1násobek tloušťky plechu.

## 2 TAŽENÍ SOUČÁSTÍ S ŠIROKOU PŘÍRUBOU [1], [2], [9]

Výroba součástí s širokou přírubou je technologicky náročnější, než výroba součástí bez příruby nebo s úzkou přírubou. Základní principy a výpočty při výrobě součástí s širokou přírubou zůstávají stejné jako při výrobě běžných tažených součástí. Přítomnost příruby ale přináší do výrobního procesu určité problémy, a tedy i rozdíly ve výrobním procesu, které budou v této kapitole popsány.

### 2.1 Zvlnění příruby [10]

Kromě problémů, které jsou velmi důležité i při tažení součástí bez příruby, jako například vznik trhlin, je velkým problémem také zvlnění příruby. Tento problém nastává, pokud během tažení není materiál rovnoměrně přidržován a dochází k nerovnoměrnému rozložení napětí, které je zobrazeno na obrázku 4 v oblasti příruby M. V důsledku toho dochází k deformaci materiálu v oblasti příruby do vlnitého tvaru, který je znázorněn na obrázku 12.



Obr. 12 Zvrásnění příruby [12]

Zvlnění v oblasti příruby se dá předejít použitím přidržovače. Příruba je při výrobě součástí s širokou přírubou důležitou součástí výsledného výtažku, proto se při jejich výrobě téměř vždy přidržovač používá. Tenké plechy jsou na zvlnění více náchylné, proto vyžadují větší měrný přidržovací tlak  $p$  než plechy tlusté.

### 2.2 Postup tažení [4]

Nejčastější způsob tažení rotačních symetrických výtažků s širokou přírubou spočívá v tom, že se v prvním tahu vytvoří požadovaný průměr příruby  $d_p$ . Tento průměr je poté v průběhu dalších tažných operací zachován. Během dalších tažných operací dochází ke zvětšování šířky příruby a výšky výtažku na úkor zmenšování průměru válcové části výtažku, jak je zobrazeno na obrázku 7.

Výška výtažku stanovená z podmínky rovnosti ploch povrchu polotovaru a výtažku po první operaci je:

$$h_1 = \frac{D_0^2 - d_p^2}{4 \cdot d_1} + 0,86 \cdot R_1, \quad (2.1)$$

kde:  $h_1$  – výška výtažku po první operaci [mm],  
 $d_p$  – průměr příruby [mm],  
 $d_1$  – střední průměr výtažku po první operaci [mm],  
 $R_1$  – poloměr přechodu příruby do tažené části v první operaci [mm].

Výška výtažku pro n-tou operaci tažení je dána vztahem:

$$h_n = (h_{n-1} - 0,86 \cdot R_{n-1}) \cdot m_n + 0,86 \cdot R_n, \quad (2.2)$$

kde:  $h_n$  – výška výtažku po n-té operaci [mm],  
 $h_{n-1}$  – výška výtažku po předchozí operaci [mm],  
 $R_{n-1}$  – poloměr přechodu příruby do tažené části v předchozí operaci [mm],  
 $R_n$  – poloměr přechodu příruby do tažené části v n-té operaci [mm].

### 2.3 Součinitel tažení [1], [4], [9]

Pro první tažnou operaci při výrobě součásti s širokou přírubou se součinitel tažení volí obvykle menší než při výrobě součásti bez příruby. Součinitel tažení pro první tažnou operaci závisí na třech relativních rozměrech součásti:

- relativní průměr příruby  $d_p/d$ ,
- relativní výška výtažku  $h/d$ ,
- relativní poloměr zaoblení  $R/d$ .

Součinitel tažení pro první tažnou operaci při výrobě součásti s širokou přírubou se pak vypočítá jako:

$$m_p = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{d_p}{d}\right)^2 + 4 \cdot \frac{h}{d} - 3,44 \cdot \frac{R}{d}}}, \quad (2.3)$$

kde:  $m_p$  – součinitel tažení při výrobě součásti s širokou přírubou [mm],  
 $R$  – poloměr přechodu příruby do tažené části [mm].

Po vypočítání součinitele tažení při výrobě součásti s širokou přírubou se jeho hodnota porovná s jeho maximální doporučenou hodnotou. Tato maximální doporučená hodnota se zjistí pomocí relativní šířky příruby a relativní tloušťky přístříhu a je zobrazena v tabulce 4.

Tab. 4 Maximální doporučená hodnota  $m_{pmax}$  pro první tah [9]

$\frac{d_p}{d}$ [-]	$\frac{s_0}{D_0} \cdot 100$ [-]				
	0,06 až 0,2	0,2 až 0,5	0,5 až 1	1 až 1,5	1,5 a víc
1,1	0,59	0,57	0,55	0,53	0,50
1,1 až 1,3	0,55	0,53	0,53	0,51	0,49
1,3 až 1,5	0,52	0,50	0,50	0,49	0,47
1,5 až 1,8	0,48	0,47	0,47	0,46	0,45
1,8 až 2,0	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42
2,0 až 2,2	0,42	0,42	0,42	0,41	0,40
2,2 až 2,5	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37
2,5 až 2,8	0,35	0,34	0,34	0,34	0,33
2,8 až 3,0	0,33	0,32	0,32	0,32	0,31

Pokud je hodnota součinitele tažení  $m_p$  menší než maximální doporučená hodnota  $m_{pmax}$ , může být součást vyrobena jednou tažnou operací. Pokud je vyšší, musí se táhnout na více operací. Během druhého a dalšího tahu již neprobíhá změna průměru příruby, takže je pro výpočet součinitele tažení a celkového počtu tahů možné použít stejné výpočty, jako při výrobě součásti bez příruby.

### 3 SOUČÁSTI S ŠIROKOU PŘÍRUBOU V PRAXI [1], [2]

Výtažky vyrobené hlubokým tažením jsou dutá tělesa, která jsou velmi tuhá. V praxi se tak vyrábí mělké i hluboké nádoby rozličných tvarů, různá víka, kryty, součásti karoserie a další součásti. Široká příruba součásti pak umožňuje různé způsoby uchycení součásti k dalším součástkám sestavy. Umožňuje tak přesné a těsné uchycení jednotlivých součástí.

Po výrobě součásti tažením často následují další operace, aby se zajistily funkce, které má součást splňovat. Mezi nejčastější patří:

- Stříhání – odstrižením přebytečné části příruby se dosáhne konečného tvaru součásti. Výrobou součásti s větší přírubou a následným odstrižením se také zabrání problémům s cípatostí výtažků a s nepravidelností příruby při výrobě nerotačních výtažků.
- Tepelné zpracování – některé výtažky, které se táhnou na více tažných operací, podstoupí rekrytalizační žíhání s cílem navrátit materiálu tvárnost už před poslední tažnou operací. S ohledem na materiál výtažku a na jeho potřebné mechanické vlastnosti pak mohou součásti podstoupit další tepelné zpracování, jako například žíhání nebo kalení.
- Obrábění – obráběcí operace jako vrtání, frézování nebo soustružení dokážou na součásti vyrobit prvky, kterých se nedá dosáhnout tažením. Mezi takové prvky patří například různé otvory nebo drážky.
- Svařování – pokud je součást vyrobená tažením součástí větší sestavy, je třeba ji spojit s dalšími díly. Případně se na součást přivařují drobnější prvky, které nejdou vyrobit tažením.
- Povrchové úpravy – pro zajištění dostatečné odolnosti proti korozi a opotřebení nebo celkového vzhledu může výtažek podstoupit povrchové úpravy, jako například pokovování, lakování nebo malování. Pro součásti používané v potravinářském nebo lékařském průmyslu mohou být aplikovány speciální povlaky, aby se zajistila bezpečnost.

Takto upravené součásti s širokou přírubou jsou pak používány v mnoha různých odvětvích.

#### 3.1 Použití součástí v automobilovém a leteckém průmyslu [1]

Kvůli svému tvaru a možnosti pevného utěsnění pomocí široké příruby jsou součásti vyrobené tažením často používány v automobilovém a leteckém průmyslu.

Jedním z nejběžnějších příkladů použití součástí s širokou přírubou vyrobených hlubokým tažením jsou olejové vany. Na obrázku 13 je olejová vana pro diesellový motor. Pomocí široké příruby se zajistí rovnoměrné a těsné spojení s motorovým blokem, což zabraňuje úniku oleje. Podobně se součásti s širokou přírubou používají například jako vany na převodovou kapalinu nebo hydraulickou kapalinu.



Obr. 13 Olejová vana [13]

Palivové nádrže jsou dalším příkladem požití součástí s širokou přírubou. Na obrázku 14 je palivová nádrž z auta Ford Mustang. Široká příruba umožňuje dobré připojení druhé části nádrže, stejně jako zajištění celé nádrže k rámu vozidla.



Obr. 14 Palivová nádrž [14]

Dále se využívají jako kryty motorů, baterií a kompresorů.

### 3.2 Použití součástí v potravinářském průmyslu [1]

V potravinářském průmyslu se součásti s širokou přírubou používají například jako různé varné kotle, skladovací nádoby pro sypké i tekuté materiály, nádoby na kvašení nebo na míchání těsta a nápojů. Na obrázku 15 je zobrazen detail přírubby nádoby na míchání nápojů. Široká příruba zabezpečuje dobré těsnění.



Obr. 15 Příruba nádoby na míchání nápojů [15]

Dál se běžně používají jako různé tácy a podnosy pro přenos a skladování potravin, jako je zobrazeno na obrázku 16. Příruba umožňuje jednoduchý přenos a také snadné uložení tácu do vozíků.



Obr. 16 Táč na skladování potravin [16]

### 3.3 Použití součástí v lékařském průmyslu [1]

Podobně jako v potravinářském průmyslu, i zde najdeme použití součástí s širokou přírubou jako tácu a kontejnerů, které jsou používány pro přenos a skladování lékařských nástrojů a jiných pomůcek, dále také nádoby pro skladování krve, moče a dalších lidských tekutin. Kontejner pro uchování sterilizovaných nástrojů je zobrazen na obrázku 17. Příruba je důležitá pro dokonalé uzavření nádoby.



Obr. 17 Kontejner na sterilizované nástroje [17]

Dalším příkladem jsou autoklávy, přístroje pro parní sterilizaci nástrojů. Autokláv je zobrazen na obrázku 18. Příruba je důležitá pro těsné uzavření nádoby, aby byl uvnitř udržen dostatečný tlak pro sterilizaci.



Obr. 18 Autokláv [17]

## ZÁVĚR

Tato literární studie se věnuje hlubokému tažení součástí s širokou přírubou. V první části byly shrnuty technologické postupy, konstrukční a kontrolní výpočty při výrobě rotační součásti hlubokým tažením. Také byl shrnut postup výroby součásti jednou tažnou operací a následně i pro více tažných operací.

Druhá část se věnuje specifickým problémům a rozdílům v postupu výroby při tažení součástí s širokou přírubou. Jedním z hlavních problémů při výrobě součásti s širokou přírubou je tendence příruby se vlnit, je proto potřeba tomuto problému předejít použitím přídržovače. Dále je třeba při víceoperačním tažení dbát na to, aby se při první tažné operaci vytáhnul konečný rozměr příruby a aby se při dalších tažných operacích tento rozměr již neměnil. Velkým rozdílem je také způsob výpočtu součinitele tažení při první tažné operaci, který se kvůli specifickému způsobu tažení součástí s širokou přírubou liší od výpočtu pro součást bez příruby.

Součásti s širokou přírubou pak nacházejí rozmanité uplatnění v praxi. Používají se v různých odvětvích průmyslu jako různé nádoby, víka a kryty. Široká příruba nabízí způsob uchycení výtažku k jiným součástem, který dokáže odolat velkému namáhání a dobře těsní.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a MÁDLE, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00221-4.
  2. TSCHÄTSCHE, Heinz. *Metal forming practise: processes, machines, tools*. Berlin: Springer, 2006. ISBN 3-540-33216-2.
  3. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design (2nd Edition)*. I. Second Edition edition. New York: Industrial Press, 2014. ISBN 9780831134921.
  4. DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
  5. TECHNICKÁ UNIVERZITA LIBEREC. *Technologie plošného tváření - tažení*. Online. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm). [cit. 2024-05-22].
  6. NOVOTNÝ, Karel a MACHÁČEK, Zdeněk. *Speciální technologie I. Plošné a objemové tváření*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0404-3.
  7. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
  8. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
  9. KLEIN, Sean. *The Ultimate Guide to Metal Deep Drawing*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/metal-stamping-and-die-design-deep-drawing/>. [cit. 2024-05-22].
  10. LANGE KURT. *Handbook of Metal Forming*. Society of Manufacturing Engineers (SME), 1985. ISBN 0872634574.
  11. *Deep drawn cups*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.nationaldieco.com/deep-drawn-parts/cups/>. [cit. 2024-05-21].
  12. *Schematic illustration of wrinkling generation in deep drawing*. Online. In: . Dostupné z: <https://cjme.springeropen.com/articles/10.1186/s10033-021-00556-5>. [cit. 2024-05-21].
  13. *Diesel Engine Oil Pan Assembly*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.twstamping.com/gallery/deep-drawn-stamping>. [cit. 2024-05-21].
  14. *1969-70 Ford Mustang Fuel Injection Tank*. Online. In: . Dostupné z: [https://www.tanksinc.com/index.cfm/page/ptype=product/product\\_id=489/category\\_id=135/mode=prod/prd489.htm](https://www.tanksinc.com/index.cfm/page/ptype=product/product_id=489/category_id=135/mode=prod/prd489.htm). [cit. 2024-05-21].
  15. *EZmix-5*. Online. In: . Dostupné z: <https://cedarstoneindustry.com/mixing-tanks-for-the-beverage-industry/>. [cit. 2024-05-21].
  16. *Full Size 24 Gauge Stainless Steel Steam Table Pan*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.hubert.com/product/63848/HUBERT-Full-Size-24-Gauge-Stainless-Steel-Steam-Table-Pan---2-12D>. [cit. 2024-05-21].
  17. *Instrument Sterilizer*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.ascomedical.com/product/instrument-sterilizer-stainless-steel-electric-with-thermostat-tray-lifting-arrangement/>. [cit. 2024-05-21].
  18. *24L Portable Pressure Steam Autoclave Sterilizer YX-24LM*. Online. In: . Dostupné z: <https://www.oxyaider.co.za/product/24l-portable-pressure-steam-autoclave-sterilizer-yx-24lm/>. [cit. 2024-05-21].
-

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
$D_0$	průměr přístřihu	[mm]
$d$	střední průměr výtažku	[mm]
$d_1$	střední průměr výtažku po první operaci	[mm]
$d_n$	střední průměr výtažku po danou operaci	[mm]
$d_{n-1}$	střední průměr výtažku po předchozí operaci	[mm]
$d_p$	průměr příruby	[mm]
$e^{\mu \cdot \alpha}$	součinitel vyjadřující vliv tření na zaoblené hraně tažnice	[-]
$F_{max}$	maximální tažná síla	[N]
$F_p$	přítlačná síla	[N]
$F_t$	tažná síla	[mm]
$h$	výška výtažku	[mm]
$k$	součinitel	[-]
$k_p$	součinitel určující nutnost použití přidržovače	[-]
$m$	součinitel tažení	[-]
$m_1$	součinitel tažení pro první operaci	[-]
$m_{1max}$	maximální součinitel tažení pro první operaci	[-]
$m_{1min}$	minimální součinitel tažení pro první operaci	[-]
$m_n$	součinitel tažení pro n-tou operaci	[-]
$m_{nmax}$	maximální součinitel tažení pro n-tou operaci	[-]
$m_{nmin}$	minimální součinitel tažení pro n-tou operaci	[-]
$m_p$	součinitel tažení pro první operaci s širokou přírubou	[-]
$p$	tlak	[MPa]
$R$	poloměr přechodu příruby do tažené části	[mm]
$R_m$	pevnost taženého materiálu v tahu	[MPa]
$R_{te}$	poloměr tažnice	[mm]
$R_{tu}$	poloměr tažníku	[mm]
$S_0$	povrch přístřihu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_c$	činná plocha pod přidržovačem	[mm <sup>2</sup> ]
$S_n$	povrch jednotlivých částí výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	povrch výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
$s_0$	tloušťka plechu	[mm]
$V_d$	deformovaný objem	[mm <sup>3</sup> ]
$V_p$	přesunutý objem	[mm <sup>3</sup> ]
$Z$	materiálová konstanta	[-]
$z$	tažná mezera	[mm]
$\alpha$	úhel opásání plechu na tažné hraně	[°]
$\varepsilon$	stupeň deformace	[-]
$\mu$	součinitel tření	[-]
$\sigma_1$	radiální tahové napětí	[MPa]
$\sigma_o$	ohybové napětí	[MPa]
$\sigma_{tř}$	třecí napětí	[MPa]
$\sigma_v$	výsledné tahové napětí	[MPa]

### Zkratky