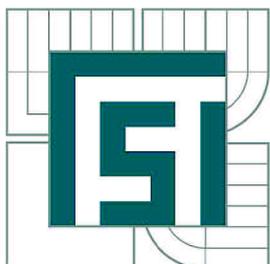


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# TECHNOLOGIE SMYKOVÉHO TLAČENÍ

SHEAR SPINNING TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Tomáš Povalač

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Povalač

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 smykového tlačení**

v anglickém jazyce:

### **Shear spinning technology**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o vytvoření obecného přehledu a popisu principu technologie smykového tlačení. V práci by měl být uveden popis daných metod, používané nástroje a stroje, výhody a nevýhody uvedených metod a dle možností i příklady moderních výrobních postupů a vyráběných součástí.

Cíle bakalářské práce:

Provedení průzkumu v oblasti tváření a vytvoření obecného náhledu na technologii smykového tlačení. Princip dané metody a konfrontace s metodou konvenčního tažení rotačních nádob. Uvedení základních metod tlačení, jejich záporů a kladů. Dílčím cílem je vytvoření přehledu užívaných nástrojů a strojů a dle možností i uvedení příkladů moderních výrobních postupů a vyráběných součástí. Vše by mělo být doplněné obrázkovou dokumentací.

Seznam odborné literatury:

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

ŽÁK, Jan, SAMEK, Radko, BUMBÁLEK, Bohumil. Speciální letecké technologie I. 1. vyd. Ediční středisko VUT Brno. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. ISBN 80-214-0128-1. s. 220.

NOVOTNÝ, Karel, MACHÁČEK, Zdeněk. Speciální technologie I : Plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1992. s. 171. ISBN 80-214-0404-3.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 17.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

POVALAČ Tomáš: Technologie smykového tlačení.

---

Předložená práce vypracovaná v rámci bakalářského studia B-STI Strojní inženýrství je zaměřena na technologii smykového tlačení. Na základě studie a vlastních zkušeností je v práci představena problematika tlačení, technologie využívající procesu tlačení, stroje a nástroje pro smykové tlačení.

Klíčová slova: Smykové tlačení, tváření, tlačení

## **ABSTRACT**

POVALAČ Tomáš: Shear spinning technology.

---

Submitted work fully fashioned within the frame of bachelor study B-STI Mechanical engineering, is specialized for shear spinning technology. On the basis of study and own experiences are presented problems spinning, technologies exploited the process of spinning, machines and tools for shear spinning.

Keywords: Shear spinning, Moulding, Spinning

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

POVALAČ, Tomáš. *Technologie smykového tlačení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 33 s.,CD. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně ..... dne 18.5.2011

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Evě Šmehlíkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

## **OBSAH**

**Zadání**

**Abstrakt**

**Bibliografická citace**

**Čestné prohlášení**

**Poděkování**

**Obsah**

<b>1. ÚVOD</b>	<b>9</b>
<b>2. SMYKOVÉ TLAČENÍ</b>	<b>10</b>
<b>2.1. SMYKOVÉ TLAČENÍ BEZ ZTENČENÍ STĚNY</b>	<b>10</b>
2.1.1. Deformace	12
<b>2.2. SMYKOVÉ TLAČENÍ SE ZTENČENÍM STĚNY</b>	<b>12</b>
2.2.1. Princip metody smykového tlačení se ztenčením stěny	14
2.2.2. Činitelé procesu	15
2.2.3. Působící síly	16
<b>2.3. SMYKOVÉ TLAČENÍ KUŽELE</b>	<b>17</b>
2.3.1. Činitelé procesu	18
2.3.2. Působící síly	19
<b>2.4. TLAČENÍ SFÉRICKÝCH A PARABOLICKÝCH DÍLCŮ</b>	<b>20</b>
<b>2.5. TLAČENÍ TRUBEK</b>	<b>21</b>
2.5.1. Souběžné (dopředné) tlačení trubek	21
2.5.2. Protiběžné (zpětné) tlačení trubek	21
<b>2.6. SMYKOVÉ TLAČENÍ JAKO DOKONČOVACÍ OPERACE</b>	<b>22</b>
<b>2.7. UŽITÍ OHŘEVU</b>	<b>23</b>
<b>2.8. NÁSTROJE</b>	<b>23</b>
2.8.1. Kladky	24
2.8.2. Formy	25
<b>2.9. STROJE PRO SMYKOVÉ TLAČENÍ</b>	<b>26</b>
2.9.1. Firma DENN	28
2.9.2. Firma ZANI PRESE	28
2.9.3. Firma LEIFELD	29
<b>2.10. VYRÁBĚNÉ DÍLCE</b>	<b>31</b>
2.10.1. Průmyslové dílce	31
2.10.2. Dekorativní dílce	32
<b>3. ZÁVĚR</b>	<b>33</b>

**Seznam použitých zdrojů**

**Seznam obrázků**

**Seznam použitých symbolů a zkratek**

# 1. ÚVOD

Smykové tlačené se řadí k technologii beztržkového tváření. Při této technologii dostávají polotovary konkrétní navržený tvar působením vnějších sil, aniž by došlo k porušení tvářeného dílce. Technologie je omezena pouze na výrobu symetrických tvarů s kruhovým průřezem. Dílce vyráběné technologií smykového tlačené nemají v současné době tak dominantní postavení na trhu jako součásti tvářené ohýbáním, případně tažením. Ovšem technologie smykového tlačené zažívá v posledních letech obrovský vzestup z důvodů zkrácení strojních časů, efektivnosti a především snížení nákladů. Rozkvět celé technologie je dán vývojem CNC strojů, které výrazně usnadňují pracovní cyklus.

Dílce tvářené smykovým tlačením se vyskytují v různých průmyslových odvětvích jako letectví, automobilový a potravinářský průmysl. V automobilovém průmyslu to jsou především plechové ráfky kol nebo pístní kroužky, v letectví přední část (nosové) letadel nebo špička turbíny motoru. Dále se smykovým tlačením vyrábí víka a dna tlakových nádob, stínítka světel a lamp, konce trumpet a také různé ozdobné předměty. Některé příklady tlačených dílců jsou uvedeny na obr. 1.



Obr. 1 Příklady tlačených dílců [30], [31]

## 2. SMYKOVÉ TLAČENÍ [1], [3], [9]

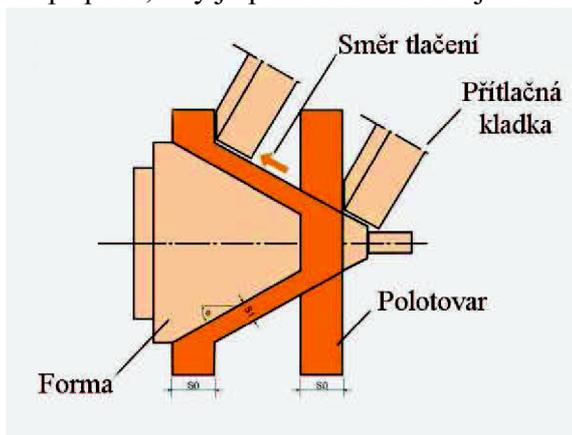
Smykové tlačení, někdy též nazýváno kovotlačení či rotační tlačení, se dá obecně definovat jako rotační proces tvarování polotovaru podle povrchu formy s využitím tlačného nástroje. Smykovým tlačením se zhotovují rotační součásti prostorových dutých tvarů převážně z přístřihů plechů, ale i z trub či tlustostěnných výtažků. Obecně smykové tlačení rozdělujeme do dvou základních skupin:

- smykové tlačení bez změny tloušťky stěny (obr. 3)
- smykové tlačení se změnou tloušťky stěny (obr. 2)

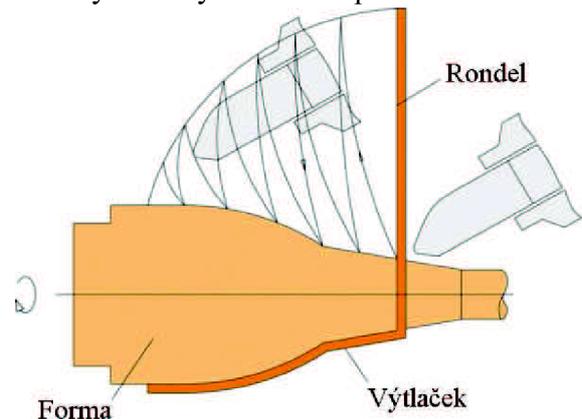
Dle tvaru vyráběného dílce se smykové tlačení dále dělí na:

- tlačení kuželů
- tlačení dílců válcového tvaru
- tlačení trubek
- tlačení sférických, parabolických a podobných dílců

Smykové tlačení v řadě případů konkuruje hlubokému tažení. S výhodou se používá zejména při výrobě vypuklých a vydutých tvarů, jejichž výroba hlubokým tažením by byla obtížná. Dále se využívá v malosériové výrobě, kdy je výroba tažného nástroje neekonomická a v případě, kdy je požadována nesterátná tloušťka stěny v různých částech pláště duté součásti.



Obr. 2 Smykové tlačení se změnou tloušťky stěny [9]



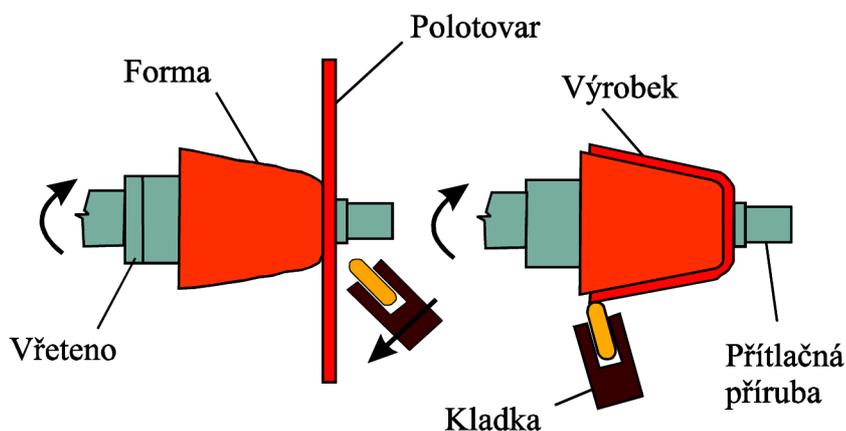
Obr. 3 Smykové tlačení bez změny tloušťky stěny [9]

### 2.1. SMYKOVÉ TLAČENÍ BEZ ZTENČENÍ STĚNY [1], [3], [5], [7]

Na obr. 4 je naznačen způsob výroby nádob smykovým tlačením na jednoduchém kovotlačitelském soustruhu. Na vřeteníku je pomocí lícní desky resp. přírubby upnuta forma (tvárnice na kovotlačení). Její tvar odpovídá konečnému tvaru součásti. Polotovar (přístřih plechu, tlustostěnný výtažek) je přitlačován k čelu formy příložkou pomocí pinoly koníku. Tvarování výtlačku se omezuje jen na místo působení tlačného nástroje, který se pohybuje ručně nebo strojně podél povrchu formy. V případě sériové výroby na automatizovaných kovotlačitelských strojích vybavených veškerými speciálními nástroji se vykoná několik

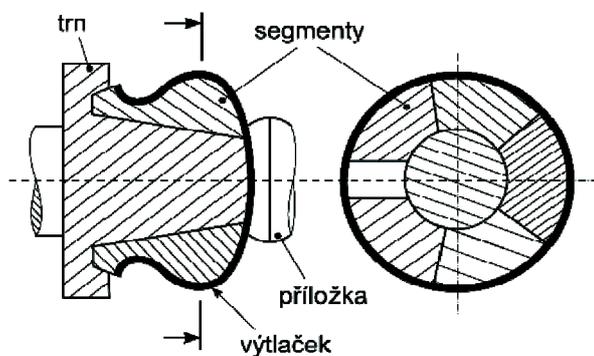
základních operací na jedno upnutí. Jedná se např. o přehlazování polotovaru, ostříhování, lemování, rozšiřování, zužování a spojování dílců. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena automatizovaného kovotlačitelského stroje a možnost vyrábět pouze rotační výlisky.

V procesu rotačního tlačením se používají maziva jako jsou lůj, jádrové mýdlo, rostlinný olej nebo speciální grafitové pasty.



Obr. 4 Smykové tlačení dutých těles [5]

K výrobě dílců komplikovaného tvaru např. se zúženým hrdlem se používá dělená forma (obr. 5). Forma je rozebiratelná a skládá se z několika segmentů daného tvaru nasazených na kuželový trn. Po zhotovení dílce se trn vysune a jednotlivé segmenty se vyjmou z nádoby.



Obr. 5 Dělená forma [2]

Hotové dílce vyrobené smykovým tlačením bez ztenčení stěny mají stejnou tloušťku stěny pláště jako dna, při tváření nedochází k toku materiálu ve stěně dílce, a to v osovém směru. Plocha polotovaru je rovna ploše hotové součásti.

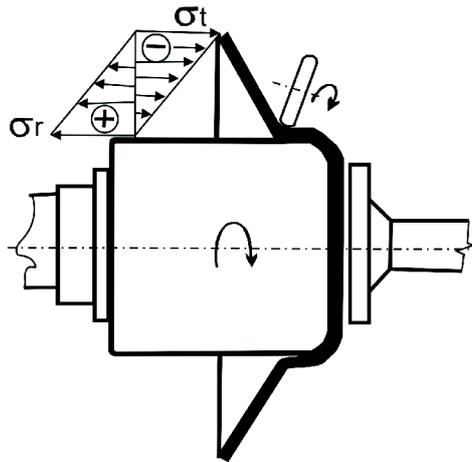
Technologií smykovým tlačením bez ztenčení stěny se vyrábějí např. kuželové trysky, spalovací komory, kopulovité a prstencové kryty, nosové a ocasní části trupu letadel apod.

### 2.1.1. Deformace [1], [3]

Stupeň deformace je při tlačení daný buď tzv.  $K_{rt}$ , což je poměr průměru polotovaru  $D$  ku vnitřnímu průměru výlisku  $d$  a nebo opačným poměrem  $d/D$ , který je nazýván součinitelem tlačení  $m_{rt}$ .

$$K_{rt} = \frac{D}{d}, m_{rt} = \frac{d}{D} \quad (2.1)$$

Plastická deformace je při tlačení omezená na místo působení tlačného nástroje. Působením nástroje zde existuje obecně rovinná napjatost s radiálním tahovým napětím  $\sigma_r$  a tangenciálním tlakovým napětím  $\sigma_t$ , viz. obr. 6.



Obr. 6 Rozložení napětí ve výtlačku [3]

Maximální dosažitelná hodnota stupně tlačení je omezena:

- Nebezpečím vzniku vln v přírubě v důsledku tangenciálního napětí.
- Možností vzniku tangenciálních trhlin v přechodu mezi přírubou a válcovou částí v důsledku napětí, které může vzniknout v přírubě pod vlivem axiální posuvné síly tlačného nástroje.
- Nebezpečí vzniku trhlin na okraji příruby v důsledku ohybového napětí, které vzniká při přesouvání zvlnění k okraji v procesu tlačení.

Při tlačení mělkých dílců s malým stupněm deformace je možno uskutečnit proces nepřerušným zdvihem tlačné kladky v jedné operaci. Při výrobě hlubokých detailů s velkým poměrem  $D/d$  je třeba deformaci provádět vratným, postupným pohybem tlačné kladky na jednotlivých částech polotovaru.

Při tlačení dochází v porovnání s tažením plechu k intenzivnějšímu zpevnování, proto jsou součásti zhotovené ve více operacích zpravidla po každé operaci žíhány.

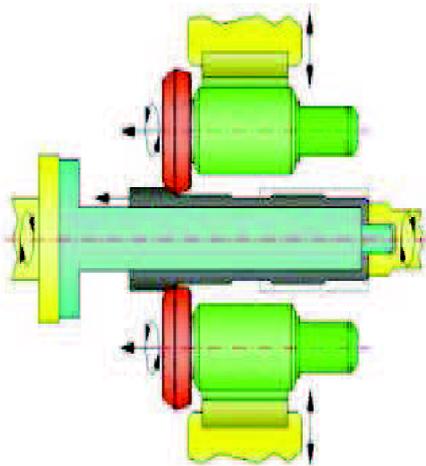
### 2.2. SMYKOVÉ TLAČENÍ SE ZTENČENÍM STĚNY [1], [3], [8], [10]

Jak již vyplývá z názvu při tlačení se ztenčením tloušťky stěny výtlačku, dochází zde na rozdíl od prostého tlačení k záměrnému ztenčení stěny, přičemž původní tloušťku výchozího polotovaru si zachovává pouze dno výtlačku.

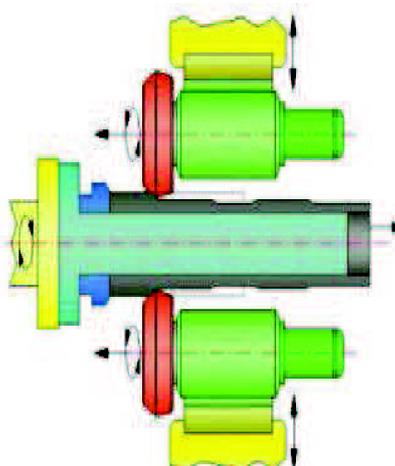
Technologie tlačení se ztenčením stěny je technologie progresivnější než technologie bez ztenčení stěny. Tloušťka stěny konečného výrobku závisí na úhlu tvořící křivky v místě kontaktu tvářecí kladky. Výchozí polotovár má několikanásobně větší tloušťku než je tloušťka stěny hotové rotační součásti. Technologie tlačení se ztenčením stěny přináší i vysokou úsporu materiálu, v některých případech až 95%. Kvalita povrchu vnitřních tvarů prakticky kopíruje parametry struktury povrchu použitého trnu (formy). Struktura povrchu vnějších tvarů součásti je dána geometrií tvaru a povrchu použité kladky a technologickými parametry.

Výchozí polotovár pro tuto technologii nemusí mít vždy plechový kruhový tvar. Je možno vycházet ze čtvercového přístřihu plechu, svařeného polotovaru, trubky, předlisovaného kalíšku, hrubého obrobku atd. Za studena lze zpracovávat materiály o tloušťce až 25 mm, při ohřevu až 140 mm, maximální průměry dílců mohou dosahovat až 4000 mm.

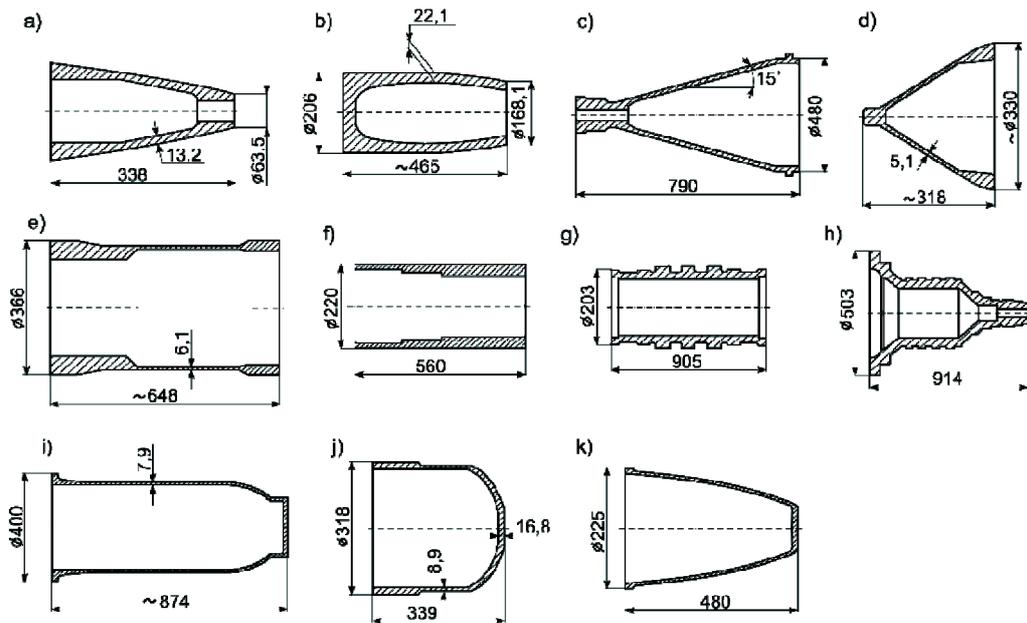
Klasickým příkladem smykového tlačení se ztenčením stěny je tzv. souběžné (obr. 7) a protiběžné (obr. 8) tlačení dílců válcového tvaru (tlustostěnných výtlačků či trubek). Lze zde zařadit i tlačení kuželových nádob či dílců sférických nebo parabolických tvarů s proměnlivou tloušťkou stěny. Tyto dílce mohou být kromě zesíleného dna opatřeny osazením nebo lemy u otevřených konců. Příklady typických finálních dílců uvádí obr. 9.



Obr. 7 Souběžné tlačení [10]



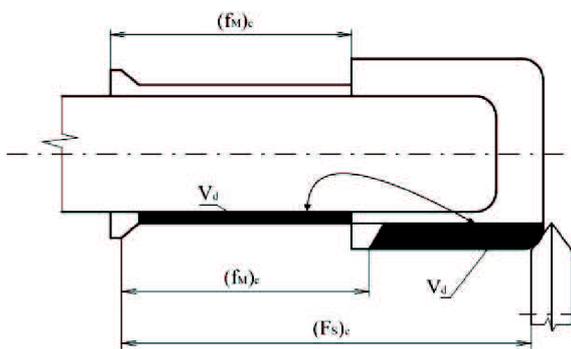
Obr. 8 Protiběžné tlačení [10]



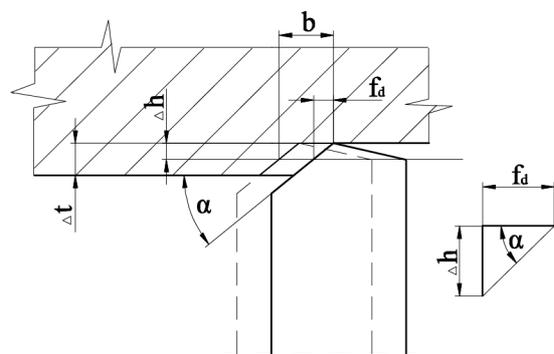
Obr. 9 Tvary dílců vyrobených smykovým tlačením [1]

### 2.2.1. Princip metody smykového tlačení se ztenčením stěny [1]

Princip metody smykového tlačení se ztenčením stěny je zde vysvětlen na případě souběžného tlačení dílce válcového tvaru. Polotovar, jímž je v tomto případě tlustostěnný válcový výtažek, je umístěn na rotující formě. Lokální úsek jeho obvodu je „natlačován“ na přiléhající nástroj – kladku, jak ukazuje obr. 10. K redukci stěny dochází v tomto případě tlakem kladky, její činnou část tvoří náběhový úhel  $\alpha$ , viz. obr. 11. Kladka se pohybuje v axiálním směru v konstantní vzdálenosti od povrchu formy. Ohnisko deformace představuje malý objem materiálu, jemu odpovídá i malá styková plocha kladky a polotovaru. Důsledkem této lokální deformace je, že umožňuje dosažení větších redukcí na jeden průchod (zdvih) nástroje. Spotřeba práce je zde menší ve srovnání např. s redukcí stěny stejného dílce tažením, u kterého je ohnisko deformace rozloženo kolem celého obvodu.



Obr. 10 Redukce tloušťky stěny [1]



Obr. 11 Geometrické vztahy činitelů v deformační zóně [1]

Jak vyplývá z náčrtu (obr. 10), celkové přemístění kladky  $(f_s)_c$  u souběžného principu je větší než činí přírůstek délky  $(f_M)_c$  redukovaného polotovaru. Tento přírůstek je „deformačním“ přesunem  $f_d$  odebraného objemu  $V_d$  do prostoru přírůstku délky dílce  $(f_M)_c$ .

Kladka se tedy přesouvá rychleji než průběh přesouvání materiálu, který je nutno přes ohnisko deformace přemístit do prostoru tvorby přírůstku délky. Jednotkou posuvu kladky je strojní posuv  $f_s$  [mm/ot], při čemž hrot kladky vytváří v principu „smykovou“ šroubovici, jejímž stoupáním je právě  $f_s$ . Intenzita smykového tlačení závisí na změně tloušťky (poměru  $t_1/t_0$ ), a velikost strojního posuvu  $f_s$ .

Nové poloze kladky dle obr. 11 odpovídá určitý „elementární úběr tloušťky  $\Delta h$ “. Geometrie znázorněného trojúhelníku naznačuje elementární plošku, kterou je nutno transformovat do místa přírůstku  $t_1$ . Hodnota  $\Delta h$  závisí na náběhovém úhlu kladky a aktuálním „deformačním“ přesunu materiálu  $f_d$  tedy:

Deformační přesun:

$$\Delta h = f_d \cdot \tan \alpha \quad (2.2)$$

$$f_d = f_s \cdot \frac{t_1}{t_0} \quad (2.3)$$

Absolutní úběr:

$$\Delta t = \frac{b}{\cot \alpha} \quad (2.4)$$

kde	$\Delta h$ .....elementární úběr tloušťky	[mm]
	$f_d$ .....aktuální deformační přesun materiálu	[mm/ot]
	$f_s$ .....strojní posuv	[mm/ot]
	$t_1$ .....tloušťka materiálu po přetvoření	[mm]
	$t_0$ .....výchozí tloušťka materiálu	[mm]
	$\Delta t$ .....výška	[mm]
	$\alpha$ .....náběhový úhel	[°]

### 2.2.2. Činitelé procesu [1]

- *Záběrový oblouk  $l_d$*

Zohledňuje stykovou plochu v ohnisku deformace.

- *Poloměr zaoblení nástroje  $\rho$*

Hodnota  $\rho$  se volí dle druhu materiálu a tloušťky plechu pro:

$$t_0 < 5 \text{ mm} \dots \rho = (1 \text{ až } 2)t_0$$

$$t_0 > 5 \text{ mm} \dots \rho = 0,5t_0$$

Zmenšování hodnoty  $\rho \rightarrow$  snížení radiální složky sil  $F_R \rightarrow$  menší tlaková síla suportu.

Zvětšování hodnoty  $\rho \rightarrow$  zhoršení kvality povrchu dílce.

• *Strojní posuv  $f_s$*

Strojní posuv ovlivňuje přesnost dílce, respektive jeho průměru, kvalitu povrchu a možnost vzniku defektů. Doporučené hodnoty strojního posuvu jsou  $f_s=(0,075 \text{ až } 2,0)\text{mm/ot}$ .

Vyšší hodnoty (0,6 až 0,7)mm/ot → hrubší povrch, ale přesnější rozměr dílce z hlediska sesouhlasení vnitřních průměrů dílce a formy.

Nízké hodnoty (0,125 až 0,25)mm/ot zlepšují kvalitu povrchu.

### 2.2.3. Působící síly [1]

Výslednou sílu působící od nástroje na dílec válcového charakteru lze dle obr. 11 stanovit jako:

$$F = \sqrt{F_R^2 + F_A^2 + F_T^2} \quad (2.5)$$

přičemž dle 1 je:

Radiální síla:

$$F_R = \Delta t \cdot \cot \alpha \cdot \sqrt{r_m \cdot f_d \cdot \tan \alpha} \cdot \frac{(\sigma_p)_s}{\eta_F} \quad (2.6)$$

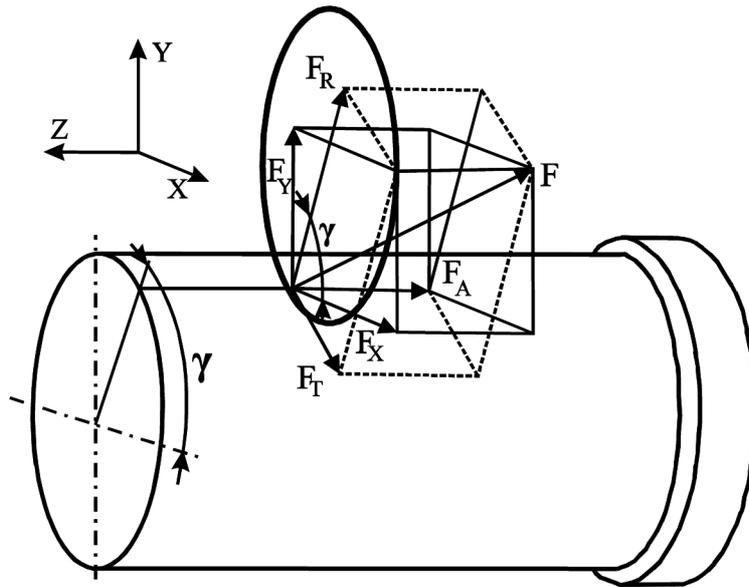
Axiální síla:

$$F_A = \Delta t \cdot \sqrt{r_m \cdot f_d \cdot \tan \alpha} \cdot \frac{(\sigma_p)_s}{\eta_F} \quad (2.7)$$

Tangenciální síla:

$$F_T = \Delta t \cdot f_d \cdot \frac{(\sigma_p)_s}{\eta_F} \quad (2.8)$$

kde	F.....celková tvářecí síla	[N]
	$F_R$ .....radiální síla	[N]
	$F_A$ .....axiální síla	[N]
	$F_T$ .....tangenciální síla	[N]
	$\Delta t$ .....celkový úběr	[mm]
	$\alpha$ .....náběhový úhel	[°]
	$r_m$ .....poloměr dílce	[mm]
	$f_d$ .....deformační přesun materiálu	[mm/ot]
	$(\sigma_p)_s$ .....materiálový faktor	[MPa]
	$\eta_F$ .....účinnost procesu	[%]

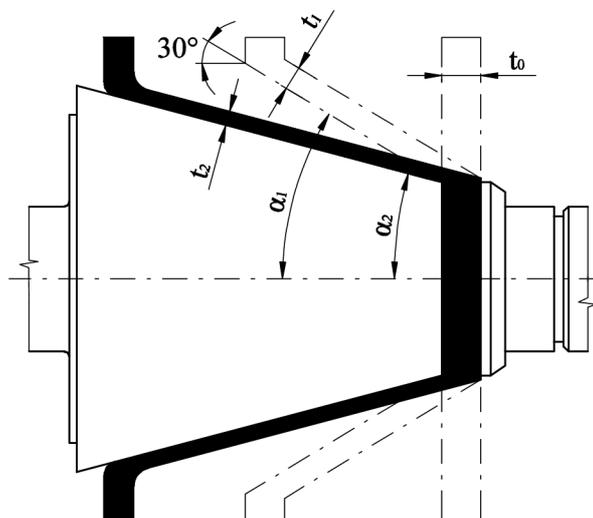


Obr. 12 Prostorové uspořádání složek výslednice  $F$  [1]

### 2.3. SMYKOVÉ TLAČENÍ KUŽELE [1], [2], [3], [4]

Princip smykového tlačení kužele je uveden na obr. 13. Přetvoření je realizováno tlakem kladek, které se musí pohybovat stále ve stejné vzdálenosti od povrchu formy, což je směr strojního posuvu. Kladky jsou ovládány hydraulickým systémem nebo ručně. Na obr. 13 jde o dvou operační postup. Zákonitost procesu je dána tím, že tloušťka dílce, měřená v rovnoběžném směru s osou systému – osová tloušťka, je shodná s výchozí tloušťkou polotovaru ( $t_0$ ). Vnější průměr polotovaru a výtlačku je rovněž shodný. Příruba zůstává kolmá na osu rotace.

Objem jednotkového elementu stěny výtlačku ( $v_1$ ), jehož střed je ve vzdálenosti  $R$  od osy formy, je shodný s objemem elementu výchozího polotovaru ( $v_0$ ) v téže vzdálenosti  $R$  (viz. obr. 14).



Obr. 13 Princip smykového tlačení kužele [4]

Dle schématu na obr. 14 je možno uvést rovnost objemů:

$$V_0 = R \cdot d\varphi \cdot t_0 = V_1 = R \cdot d\varphi \cdot \frac{t_1}{\sin \alpha} \quad (2.9)$$

ze kterého plyne, že skutečná tloušťka stěny se mění dle závislosti:

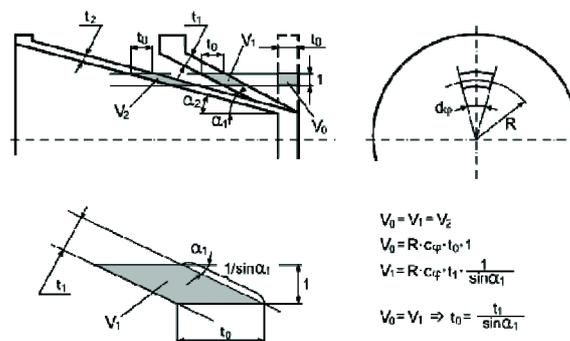
$$t_1 = t_0 \cdot \sin \alpha \quad (2.10)$$

Proměnná změna tloušťky:

$$\varepsilon = \frac{t_0 - t_1}{t_0} = 1 - \sin \alpha \quad (2.11)$$

kde	$V_0=V_1$ .....objem elementu	[mm <sup>3</sup> ]
	R.....vzdálenost středu elementu stěny výtlačku od osy formy	[mm]
	$t_1$ .....tloušťka materiálu po přetvoření	[mm]
	$t_0$ .....výchozí tloušťka materiálu	[mm]
	$\varepsilon$ .....poměrná změna tloušťky	[%]

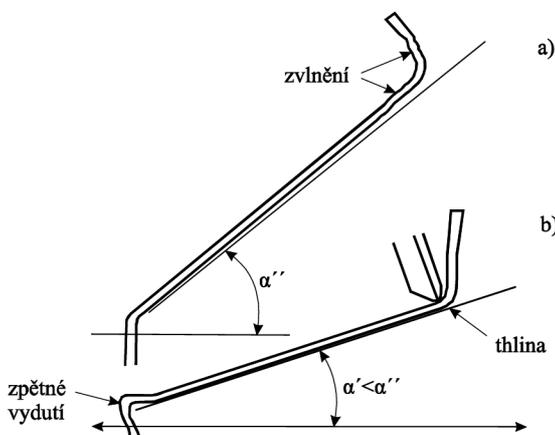
Redukce tloušťky na jednu operaci má svou mezní hodnotu ( $\varepsilon$ ) mez zohledňující tvar dílce a tvářitelnost materiálu.



Obr. 14 Znárodnění osového přesunu materiálu kuželového dílce [1]

### 2.3.1. Činitelé procesu [1]

- Hodnota mezní redukce ( $\varepsilon$ )<sub>mez</sub>



Obr. 15 Defekty kuželového dílce [1]

Z rovnice (2.11) vyplývá, že největším redukciím na jeden průchod odpovídá úhel kladky  $\alpha = 15^\circ$  až  $17^\circ$ .

Nízké hodnoty ( $\varepsilon$ )<sub>mez</sub> odpovídají úhlu  $\alpha = 40^\circ$  až  $50^\circ$  a vedou k pod-redukování. Nezpracovaná část polotovaru se zvedá od formy, naklápí se proti směru posuvu. Tím může dojít ke zvlnění příruby a uvolněné stěny dílce, viz. obr. 15a).

Vysoké hodnoty ( $\varepsilon$ )<sub>mez</sub>, odpovídají malým úhlům, znamenají prudký vzestup složek tvářecí síly. Příruba se naklápí vpřed. Mezi přírubou a stěnou výtlačku mohou

vznikat praskliny. Jde o pře-redukování, v oblasti dna dílce pak vznikne hrana, viz. obr. 15b).

• *Strojní posuv  $f_s$*

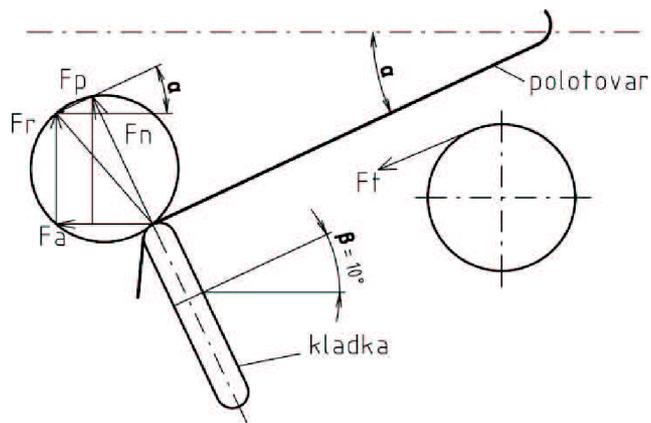
Strojní posuv má vliv na kvalitu povrchu výtlačku a přesnost jeho rozměrů. Má být takový, aby nezpracovaná část svírala s osou rotace úhel  $90^\circ$ .

• *Otáčky*

Velikost otáček má vliv na velikost tangenciální síly, neboť zvýšení otáček ( $n$ ) představuje i zvýšení obvodové rychlosti. Zvýšení  $f_s$  a ponechání otáček je také doprovázeno větším přírůstkem síly.

**2.3.2. Působící síly [1]**

Při tlačení kuželového dílce se kladka pohybuje podél jeho površky, v ideálním případě je osa kladky rovnoběžná s površkou. Silový mechanismus kladky vytváří posuvovou sílu ( $F_p$ ) a přítlačnou sílu ( $F_n$ ), jenž je kolmicí k površke, viz. obr. 16. Třícestným dynamometrem lze změřit hodnoty ( $F_p$ ), ( $F_n$ ) a tangenciální sílu ( $F_T$ ), jenž je společně se silami ( $F_A$ ) a ( $F_R$ ) složkou celkové tvářecí síly ( $F$ ).



Obr. 16 Složky sil při tlačení kužele [1]

Radiální síla:

$$F_R = F_n \cdot \cos \alpha - F_p \cdot \cos \alpha = \Delta t \cdot \cot \alpha \cdot \sqrt{r_m \cdot f_d \cdot \tan \alpha} \cdot \frac{(\sigma_p)_s}{\eta_F} \quad (2.12)$$

Axiální síla:

$$F_A = F_n \cdot \sin \alpha - F_p \cdot \sin \alpha = \Delta t \cdot \sqrt{r_m \cdot f_d \cdot \tan \alpha} \cdot \frac{(\sigma_p)_s}{\eta_F} \quad (2.13)$$

Výsledná síla:

$$F = \sqrt{F_R^2 + F_A^2 + F_T^2} \quad (2.14)$$

kde	$F$ .....celková tvářecí síla	[N]
	$F_R$ .....radiální síla	[N]
	$F_A$ .....axiální síla	[N]
	$F_T$ .....tangenciální síla	[N]
	$F_p$ .....posuvová síla	[N]
	$F_n$ .....přítlačná síla	[N]

$\Delta t$ .....celkový úběr	[mm]
$\alpha$ .....náběhový úhel	[°]
$r_m$ .....poloměr dílce	[mm]
$f_d$ .....deformační přesun materiálu	[mm]
$(\sigma_p)_s$ .....materiálový faktor	[MPa]

## 2.4. TLAČENÍ SFÉRICKÝCH A PARABOLICKÝCH DÍLCŮ [1]

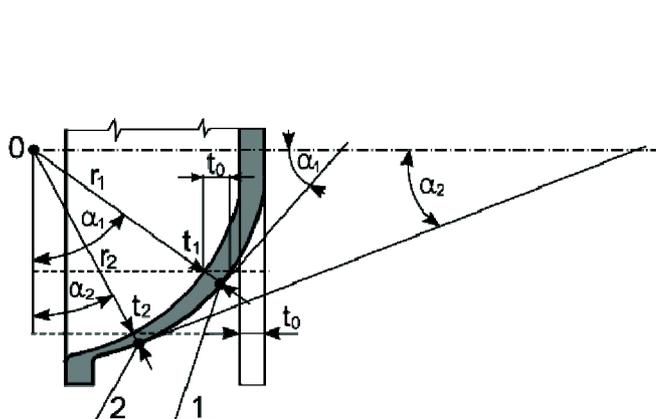
Na obr. 18 je příklad sférického dílce, kde je úhel ( $\alpha$ ) mezi osou a tečnou v bodech 1 a 2 proměnný. Tečny v bodech 1 a 2 představují povrchy „náhradních kuželů“. Pokud je výchozí tloušťka polotovaru ( $t_0$ ) konstantní, pak v souladu se sinusovým pravidlem dle rovnice (2.10) každé změně hodnoty ( $\alpha$ ) odpovídá i změna konečné tloušťky hotového dílce.

Pokud má mít hotový dílec tloušťku stěny konstantní, musí se upravit tloušťku výchozího polotovaru a to například obráběním (obr. 19). Přepočítání tloušťky výchozího polotovaru se provádí pomocí „sinusového“ pravidla, a to pro body nalézající se na poloměrech ( $r_i$ ), jenž jsou definovány počátečními úhly ( $\alpha_i$ ). Platí, že:  $r_i = R \cdot \cos \alpha_i$ .

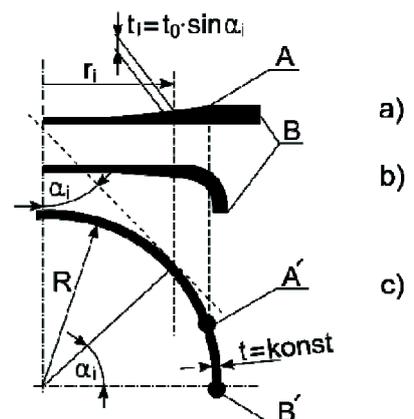
Touhle metodou se vyrábějí například součásti svítidel, stínítka, součásti raket, různé přijímače signálu (satelity), víka a dna tlakových nádob a další viz. obr. 17.



Obr. 17 Příklady parabolických dílců [23]



Obr. 18 Smykové tlačení sférického dílce s proměnnou tloušťkou stěny [1]



Obr. 19 Postup výroby sférického dílce s konstantní tloušťkou [1]

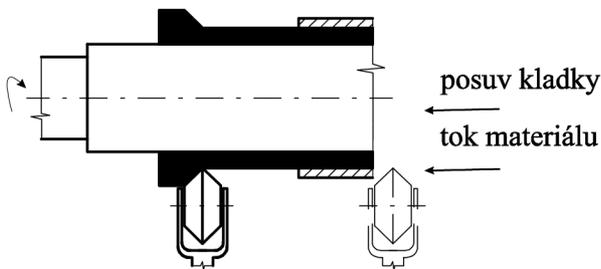
## 2.5. TLAČENÍ TRUBEK [1]

U tlačení trubek se využívají dvě metody. První a více využívanou je metoda souběžného (dopředného) tlačení a druhá je metoda protiběžného (zpětného) tlačení trubek.

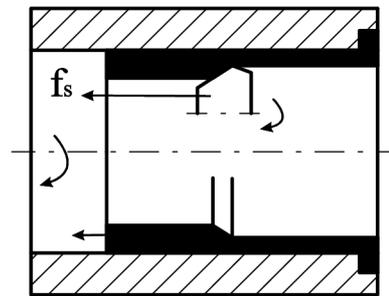
Většinou jde o trubky svařené, tlustostěnné bezešvé či odstředivě lité.

### 2.5.1. Souběžné (dopředné) tlačení trubek [1], [3]

U souběžného tlačení dochází ke zvětšení délky dílce, oproti rozměru polotovaru. S výhodou je užívána pro výrobu dílců s osazeným vnějším povrchem. Lze zpracovávat polotovary o průměru 2 až 3 mm při tloušťce stěny 0,1 mm, nebo větší průměry 600 až 800 mm s tloušťkou 15 mm, kterou je možno redukovat na 2 až 3 mm. Polotovary musí být opatřeny osazením pro uchycení. Princip souběžného tlačení trubek na vnějším průměru je znázorněn na obr. 20 a na vnitřním obr. 21.



Obr. 20 Princip redukování vnějšího průměru [1]



Obr. 21 Princip redukování vnitřního průměru [1]

Výhody:

- možnost tvarování vnějšího osazení, drážek, přírub atd.
- možnost redukovat tlustostěnné výtahy, výkovky ve tvaru talířů s osovými čepy
- rozptyl rozměrů výchozí trubky, není závadou, přebytek materiálu se nachází před kladkou, je tedy možnost jej odříznout

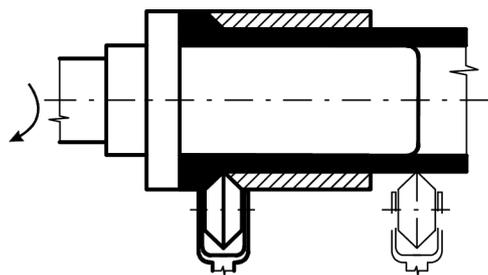
Nevýhody:

- pracnější upnutí ve formě, ta musí mít vnitřní osazení
- posuv nástroje odpovídá délce hotového dílce, je tedy delší než byla výchozí délka polotovaru

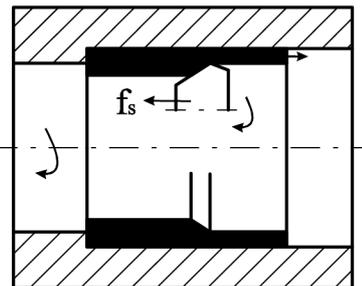
### 2.5.2. Protiběžné (zpětné) tlačení trubek [1], [3]

Kladka před sebou „tlačí“ materiál, jehož smysl toku se mění prostřednictvím osazení trnu či formy v opačný. Užívá se především pro výrobu dílců s hladkým vnějším průměrem. Stejně jako u souběžného tlačení, tak i u protiběžného rozlišujeme dva způsoby, a to tlačení na vnějším průměru obr. 22 a tlačení na vnitřním průměru obr. 23.

posuv kladky  
 ←  
 tok materiálu  
 →



Obr. 22 Princip redukovaní vnějšího průměru [1]



Obr. 23 Princip redukovaní vnitřního průměru [1]

Výhody:

- velmi kvalitní povrch a rovnoměrná struktura
- možnost získat tenkostěnné trubky přesného průměru
- jednoduché upnutí dílce
- kratší posuv nástroje v porovnání se souběžným tlačáním
- převládající tlaková napjatostv ohnisku deformace umožňuje zpracovávat materiály s horší plastičností

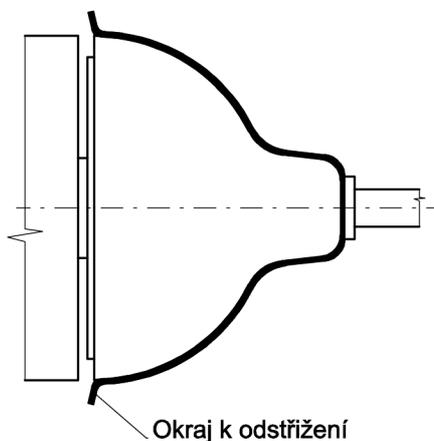
Nevýhody:

- nelze tvarovat vnější osazení
- rozptyl tloušťek trubky vede k podélné ohybové deformaci dílce

## 2.6. SMYKOVÉ TLAČENÍ JAKO DOKONČOVACÍ OPERACE

Smykovým tlačáním se dílce pouze nevyrábějí. Smykové tlačení se může využít, také jako dokončovací operace. A to především při hlazení povrchu po protlačování nebo tažení.

Dokončovací operace následují po samotném procesu smykového tlačení. Většinou není hned po tlačení povrch dílce dokonale hladký, a z toho důvodu se provádí smirkování. K smirkování postačí smirkové papíry různých hrubostí dle požadované potřeby. Další dokončovací operací po smykovém tlačení je odstříhávání. Odstříhávají se okraje a hrany, které jsou na dílci nevyhovující viz. obr. 24. Mezi další dokončovací operace patří také pískování nebo černění.



Obr. 24 Odstřížení okraje

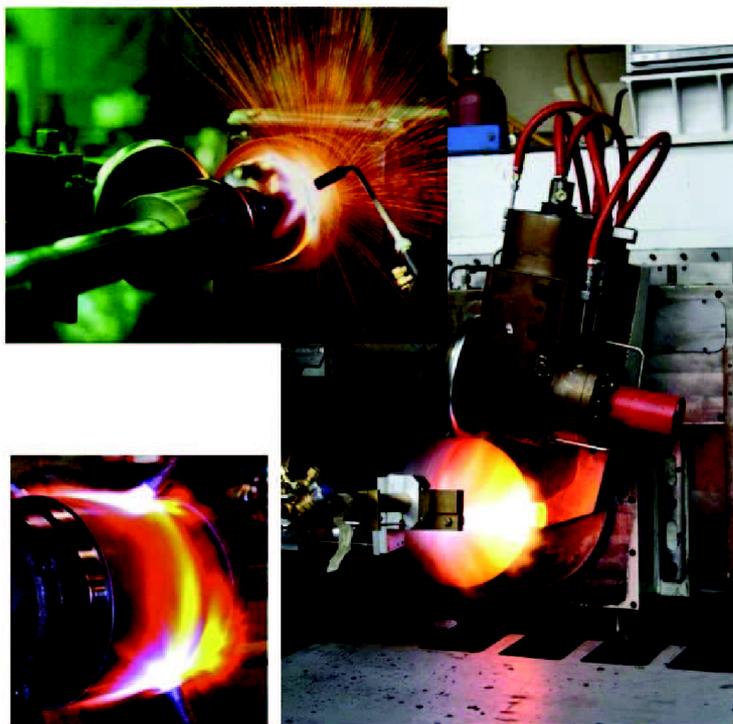
## 2.7. UŽITÍ OHŘEVU [1], [13], [14], [15]

Smykové tlačení se neprovádí jen za studena, ale naopak je při smykovém tlačení hojně využíván lokální ohřev součástí. Lokální ohřev je užíván u součástí, které jsou vyráběné z vysoko pevnostních materiálů, žárovevných, různých slitin nebo mají problematické tvary. Ohřev přináší:

- snížení deformačních odporů
- zvýšení hodnot tažnosti (A) a kontrakce (Z)
- snížení počtu operací

Předností lokálního ohřevu je, že součást ohříváme před kladkou, přímo v oblasti ohniska deformace, přičemž pohyb hořáku je vázán na posuv kladky. Nejčastěji se užívají plynové hořáky, avšak v poslední době je vytlačuje laserový ohřev, u trubek a válcových dílců jsou užívány též vysokofrekvenční indukční cívky.

U smykového tlačení neohříváme pouze tlačenu součást, ale můžeme ohřívát i formu, zde jde např. o aplikaci sálavého ohřevu, možné jsou i zabudované odporové články. Ohřev u forem přináší také problémy, a to např. s mazáním – užívány jsou pevné filmy (grafitové, molykotové apod.). Příklady smykového tlačení s užitím ohřevu můžeme vidět na obr. 25.



Obr. 25 Smykové tlačení s ohřevem [13], [14], [15]

## 2.8. NÁSTROJE

K smykovému tlačení se využívají jako nástroje formy a kladky. Formy mají vždy tvar konečného dílce, mohou být vyrobeny z jednoho nebo více kusů tzv. dělené formy. Kladky slouží k tlačení materiálu podél formy.

### 2.8.1. Kladky [1], [16], [17], [18]

Je vhodné používat 2 až 3 kladky, a to z důvodů abychom alespoň částečně zamezili průhybu formy. V nejběžnějších situacích se tyto kladky nacházejí v protilehlé poloze a často bývají v osové směru formy přesazeny proti sobě o 1 až 3 mm. Tlak kladky na tvářený materiál je vyvolán pomocí hydraulického zařízení, které je součástí kovotlačitelských strojů.

Volba rozměru a tvaru kladky je závislá na průměru polotovaru a typu zařízení. Dalším faktorem, jenž ovlivňuje volbu kladky je velikost úběru a zpracováváný materiál. Běžně se používají kladky o průměrech 250 až 500 mm, a to zejména u kladek jejichž tvar představuje prstavec viz. obr. 26. Prstence se vyrábějí především z kalených ocelí. V dnešní době se, ale do popředí dostávají modernější materiály jako je nylon, duraspin nebo fenolické materiály.



Obr. 26 Prstencová kladka [16]

Další příklady kladek jsou uvedeny na obr. 27.

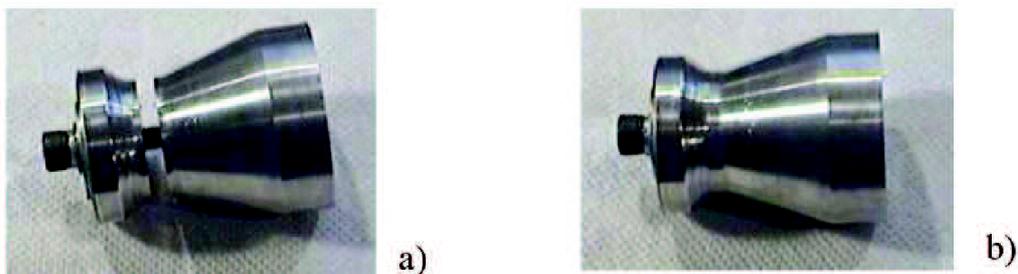


Obr. 27 Příklady kladek [17], [18]

## 2.8.2. Formy [1], [19], [20], [21], [22]

Trny (formy) se upínají do sklíčidla kovotlačitelských strojů. Pomocí sklíčidla je na ně přenášen kroučící moment.

Dělené formy slouží k výrobě složitějších tvarů. Především takových tvarů, kde dochází k zúžení z většího průměru na menší a k opětovnému zvětšení průměru. Pokud by byla forma pro výrobu takovéto součásti vyrobena z jednoho kusu, tak bychom nebyli schopni výtlaček z formy sejmout. Z toho důvodu se vyrábějí dělené formy jenž jsou rozebíratelné (obr. 28a). Na obr. 28b můžeme vidět formu ve smontovaném stavu a připravenou k použití.



Obr. 28 Dělená forma [19]

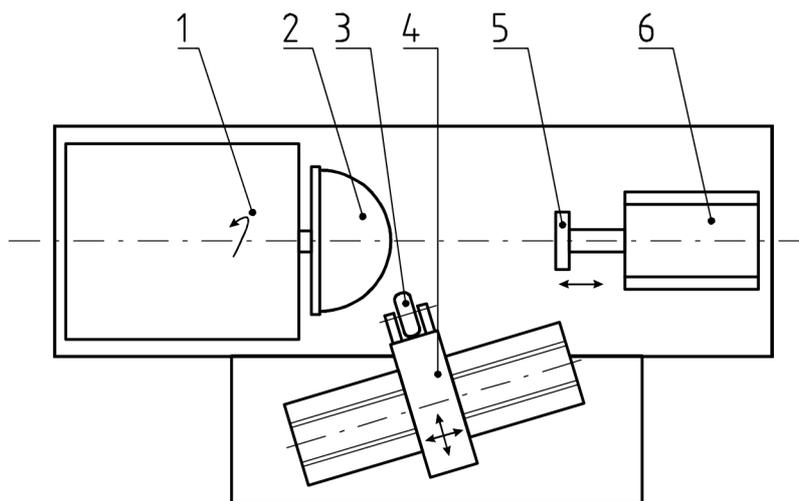
Formy se vyrábějí z různých materiálů a vždy záleží na počtu vyráběných dílců. Pro kusovou výrobu jsou dostačující formy ze dřeva. Pro větší počty 10 až 100 ks se používají většinou formy ze šedé litiny, pro sériovou výrobu je vhodné zvolit ocel povrchově upravenou kalením. Různé příklady forem můžeme vidět na obr. 29.



Obr. 29 Příklady forem [20], [21], [22]

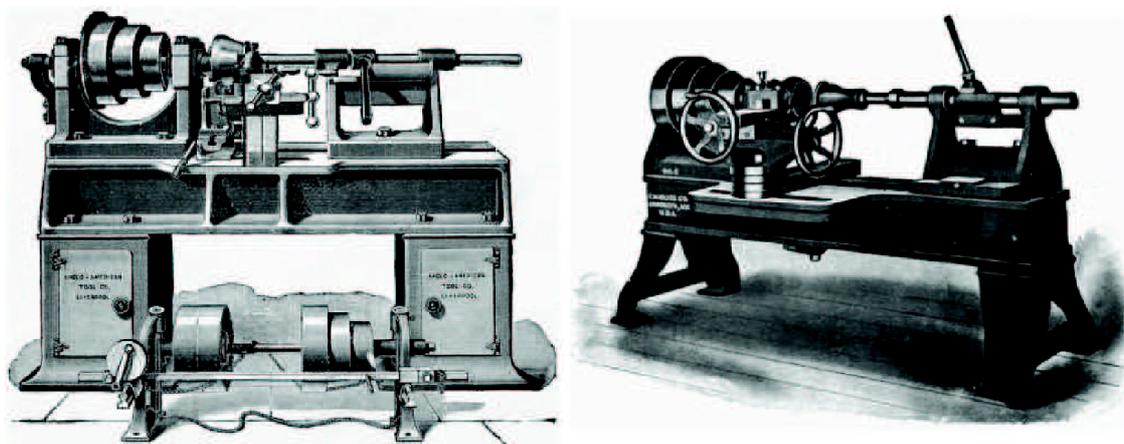
## 2.9. STROJE PRO SMYKOVÉ TLAČENÍ [3]

Smykové tlačení se uskutečňuje na kovotlačitelských strojích, které jsou svojí konstrukcí podobné soustruhům. Schéma jednoduchého kovotlačitelského stroje je znázorněno na obr. 30. Na obrázku jsou vidět jednotlivé části stroje, kde forma (2) se upíná do vřeteníku (1), který bývá vybaven variátorem pro zajištění průběžné změny otáček. Polotovar se k trnu přitlačí přitlačnou deskou (5), jenž je umístěná v posuvné pinole koníku (6). Otočná pracovní kladka (3) je upevněna v držáku suportu (4). Pracovní kladka je schopna díky suportu vykonávat podélný a příčný pohyb.



Obr. 30 Schéma kovotlačitelského stroje [3]

Technologie smykového tlačení není žádnou novinkou na trhu. Samotná technologie je na světě již několik desítek let. A samozřejmě postupem času se technologie rozvíjela a snížily také kovotlačitelské stroje. V úplných začátcích se pro smykové tlačení upravovaly soustruhy, kde se místo nožové hlavy připevňovaly kovotlačitelské kladky, které byly ovládány ručně obsluhou stroje. Příklady dnes již historických kovotlačitelských soustruhů můžeme vidět na obr. 31. Samozřejmě v dnešní době se stále používají kovotlačitelské soustruhy ruční viz. obr. 32a) a to především v menší malosériové nebo domácí výrobě.



Obr. 31 Historické kovotlačitelské soustruhy [24]

Vzhledem k nízké produktivitě práce na kovotlačitelských strojích, má velký význam automatizace celého procesu. V dnešní technice velmi pokročilé době jsou zpracovávány různé systémy automatizace, kdy je pohyb kladky řízen např. pomocí kopírovacího zařízení nebo programem. Kovotlačitelské stroje jsou v současné době již vybaveny NC (obr. 32b) a CNC (obr. 32c) řízením. V procesu tlačení jsou řízeny a v případě potřeby korigovány: otáčky vřetene, stejně jako dráha, rychlost posuvu a tlak kladky. Stroje jsou vyráběny jako univerzální a to proto, aby se mohly využívat jak pro tlačení bez změny tloušťky polotovaru, tak i pro smykové tlačení.



Obr. 32 Příklady kovotlačitelských soustruhů [25], [26]

Pohon tlačných kladek je u kovotlačitelských NC nebo CNC strojů hydraulický (viz. obr. 33). Osa vřetene je u strojů, pro velké vyráběné součásti svislá. Běžné horizontálně uspořádané stroje jsou vyráběny pro dílce s průměrem do 1140 mm a délkou až 1800 mm. Stroje s vertikálním provedením umožňují tlačení rozměrných dílců s průměrem až 1900 mm. Speciální karuselové koncepce však umožňují zhotovení dílců s průměrem až



Obr. 33 Hydraulický pohon kladek [27]

4000 mm a tloušťkou 25 mm při tváření za studena a 140 mm při tlačením za tepla, Stroje pro tlačením trubek jsou vyráběny pro průměry trubky až 680 mm a tloušťku 0,4 až 38 mm. Ocelové trubky mohou být vytlačovány na délku až 17,5 m a hliníkové až na 45 m.

S nástupem CNC strojů došlo k poměrně velkému rozvoji kovotlačitelství. Do této doby byla technologie smykového tlačením velmi opomíjená a používala se spíše v kusové, malosériové výrobě. S nástupem CNC strojů do kovotlačitelství se výrazně zvýšila produktivita výroby. Flexibilita těchto CNC strojů umožňuje jejich neomezené použití. Díky číslicovému řízení jsou schopny vyrobit různé složité tvary, které by nešlo vyrobit ručním smykovým tlačením (kvůli vysokým nákladům a nedostatku kvalifikovaných pracovních sil). Opomíjená technologie se začala rychle rozvíjet a v současné době je velmi využívána zejména pro výrobu dutých, parabolických a dalších dílců.

### 2.9.1. Firma DENN [28]

Na trhu je celá řada výrobců CNC strojů určených pro technologii smykového tlačením. Na obr. 34 je znázorněn stroj od Španělské firmy DENN, která se věnuje výrobě a vývoji CNC strojů pro smykové tlačením. Jedná se o model ZENN-160, který je schopný tlačit rondule do tloušťek až 20 mm a o průměru od 10 do 4000 mm. Pracovní kladka je ovládána hydraulicky a součástí je zásobník až pro šest výměnných kladek. Stroj může být osazen mechanismem pro ohřev tvářeného materiálu. ZENN-160 je vybaven programem od německé firmy SIEMENS.



Obr. 34 CNC stroj ZENN-160 [28]

### 2.9.2. Firma ZANI PRESE [25]

Další světovou firmou zabývající se konstrukcí kovotlačitelských strojů je Italská značka ZANI PRESE. Firma vyvíjí kovotlačitelské soustruhy pomocí nejnovějších technologií. Velkou výhodou strojů téhle značky je, že jsou schopny provádět více operací, jako například obrubování, ostříhávání, řezání závitů a další. Stroje firmy ZANI PRESE využívají k programování svůj software. Programování lze snadno provádět ručně a nebo pomocí CAD-CAM, zde je možnost ověření správnosti pracovního cyklu simulací. Díky programovému vybavení strojů se dá přecházet s jednoho druhu výroby na druhý např. ze smykového tlačením k ostříhávání. ZANI PRESE má ve své nabídce hned několik strojů TAL

450CN-60, TAL 200/CNC-10, TAL 1050/CNC-100, TAL 650/CNC-60, TAL 850/CNC-60 a TAL 850/CNC-100. Jednotlivé modely se od sebe liší např. velikostí otáček vřetene, velikostí přítlaku koníku, průměrem rondelů, které jsou schopny tvářet. Na obr. 35 je znázorněn model TAL 650/CNC-60 jehož maximální rychlost vřetene je 2000 ot/min, přítlak koníku 40 kN, průměr tlačенého rondelu až 1200 mm. Maximální tloušťky tlačенých materiálů jsou u nerezové oceli 4 mm, u mědi 6 mm a u hliníku až 12 mm. Také je vybaven zásobníkem až pro 8 nástrojů.



Obr. 35 TAL 650/CNC-60 [25]

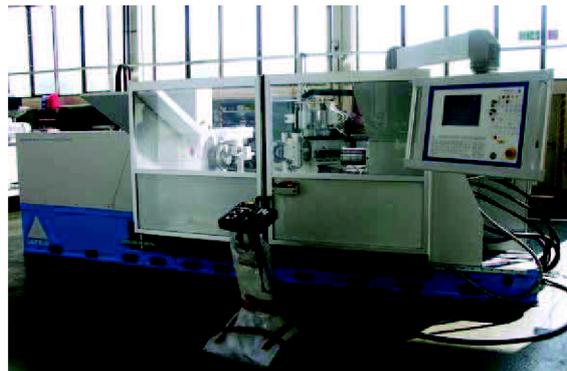
### 2.9.3. Firma LEIFELD [29]

Celosvětovým gigantem ve výrobě obráběcích center a především strojů určených pro smykové tlačení je německá firma Leifeld se sídlem v městečku Ahlen poblíž Dortmundu. Tým více než 120 motivovaných a zkušených zaměstnanců zaručuje vysokou kvalitu produktů. Více než 6000 strojů ve více jak 60 zemích světa je dokladem jedinečné a odborné znalosti a know-how firmy Leifeld. Firma má ve své nabídce celou řadu strojů pro smykové tlačení. Například modelová řada KSA je určena pro výrobu pístních kroužků, řada SC pro hluboké tlačení, řada ST pro tlačení trubek a řada WSC pro výrobu disků kol osobních automobilů. Stroje řady WSC pracují ve vertikální rovině.

Na obr. 36 je vidět stroj PCN 206, který patří do modelové řady SC. Kovotlačitelský soustruh PCN 206 disponuje velmi vysokým výkonem. Je stabilní, flexibilní a uživatelsky jednoduchý. Jeho pevná konstrukce při vysokých rychlostech nepřenáší vibrace do okolí. Součástí stroje je zásobník pro 16 nástrojů a možnost ohřevu tvářeného dílce. PCN 206 dokáže tláčit z rondelů o maximálním průměru 700 mm a tloušťce 8 mm, rychlost vřetene se pohybuje od 300 až do 3800 min<sup>-1</sup>. Například PCN 216 (obr. 37) dokáže tláčit průměry až 1600 mm.



Obr. 36 PCN 206 [29]

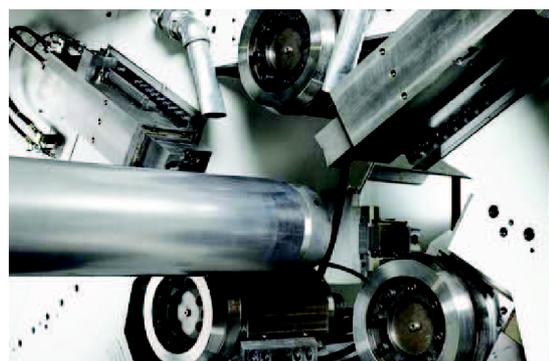


Obr. 37 PCN 216 [29]

Stroj ST 560 H 2100 (obr. 38) slouží k tlačení trubek. Minimální vnější průměr tvářené trubky je 55 mm, maximální otáčky vřetene jsou  $800 \text{ min}^{-1}$  a délky trubek, které lze tímto strojem vyrobit jsou při dopředném tlačení 2 m a při protiběžném 4 m (při 50% ztenčení tloušťky polotovaru). Celý stroj je poměrně velkých rozměrů, kdy na délku měří 13 metrů a na šířku 5,5 metru. Pracovní část tvoří tři kladky a je opatřena chladicím zařízením viz. obr. 39.



Obr. 38 ST 560 H 2100 [29]



Obr. 39 Pracovní část ST 560 H 2100 [29]

Firma Leifeld v současné době vyrábí největší CNC soustruh pro tlačení trubek na světě. Jde o typ ST 650 H 9100 viz. obr. 40. Tento stroj dokáže tlačit dopředným způsobem trubky do délky 9 m, protiběžným až do 13 m (při 30% snížení tloušťky polotovaru) a o průměrech od 60 mm do 680 mm.



Obr. 40 ST 650 H 9100 [29]

Modelová řada WSC se zaměřuje na výrobu ráfků kol osobních automobilů. Firma Leifeld nabízí hned tři typy CNC strojů WSC 600/4, WSC 700/6 C a WSC 700 H. Typ WSC 700/6 C (obr. 41) je schopen vyrábět disky o minimálním vnějším průměru 410 mm, maximálním až 720 mm a šířce ráfku 14". Otáčky vřetena se pohybují v rozmezí 120 až 800 ot/min<sup>-1</sup>.



Obr. 41 WSC 700/6 C [29]

## 2.10. VYRÁBĚNÉ DÍLCE

Dílců vyráběných smykovým tlačením je celá řada. Dělíme je na dvě skupiny, první skupina je skupina průmyslová a druhé patří dílce určené pro dekorativní až umělecké účely.

### 2.10.1. Průmyslové dílce [30], [31]

Strojírenský průmysl je rozdělen na spoustu oborů jako je automobilový, letecký, potravinářský, chemický atd. Ve všech zde zmíněných oborech se nalézají dílce vyráběné smykovým tlačením např. v automobilovém průmyslu to jsou ráfky kol nebo pístní kroužky v motorech. V letectví jsou na letadlech přední části (čumáky) nebo špičky turbín motorů, v potravinářství se vyrábějí smykovým tlačením např. hrnce a různé nádoby rotačního charakteru a v chemickém průmyslu to mohou být různé tlakové nádoby. Příklady dílců viz. obr. 42.



Obr. 42 Průmyslové dílce [30], [31]

### 2.10.2. Dekorativní dílce [30], [31]

Do téhle kategorie patří dílce, které plní spíše funkci estetickou. Jsou to např. stínítka lampiček a světel nebo pouličního osvětlení. Dále pak různé ozdobné vázy pro květiny, misky vah, konce trumpet, části vodních dýmek atd. Příklady několika dílců je možno vidět na obr. 43.



Obr. 43 Příklady dílců [30], [31]

### 3. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo obecné seznámení s technologií smykového tlačení, která se používá ke zhotovení dutých rotačních dílců a dále vytvořit přehled používaných nástrojů a strojů až po současnost.

V minulosti byla technologie smykového tlačení využívána především v kusové či malosériové výrobě. Výroba byla málo produktivní z důvodu ručního ovládání nástrojů a zdoluhavé manipulace s materiálem, jako upínání, výměna nástrojů i samotného výrobního procesu, z větší části prováděného na několik operací. Tento náhled na tuto technologii se natolik zažil do podvědomí nezasvěcené veřejnosti, že si drtivá většina stále myslí, že kovotlačitelství není vhodné pro velkosériovou výrobu. Je to základní omyl, neboť s nástupem CNC strojů do kovotlačitelství se výrazně zvýšila produktivita výroby. Flexibilita těchto CNC strojů umožňuje jejich neomezené použití. Díky číslicovému řízení jsou schopny vyrobit různé složité tvary, které by nešlo vyrobit ručním smykovým tlačením (kvůli vysokým nákladům a nedostatku kvalifikovaných pracovních sil). Opomíjená technologie se rychle rozvíjí a v současné době je velmi využívána zejména pro výrobu dutých, parabolických a dalších dílců. Na trhu je celá řada výrobců CNC strojů určených pro technologii smykového tlačení například to jsou firmy Denn, Zani prese nebo Leifeld.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SAMEK, Radko a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření: část I.* první. [s.l.]: Akademické nakladatelství cerm, 2010. 134 s. ISBN 978-80-214-4220-7.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření.* čtvrté. [s.l.]: Akademické nakladatelství cerm, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I.* první. Brno: [s.n.], 2008. 112 s. ISBN 978-80-7231-579-6.
4. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání: objemové tváření zatepla, nekonvenční způsoby tváření, plasty.* 1. vydání. Ostrava: [s.n.], 2010. 80 s. ISBN 978-80-248-2273-0.
5. LENFELD, Petr. *Technologie II. část 1.: Tváření kovů.* Vyd. 2. Liberec: [s.n.], 2009. 110 s. ISBN 978-80-7372-466-5.
6. DVOŘÁK, Milan, et al. *Technologie II.* 3. doplněné vydání. [s.l.]: Akademické nakladatelství cerm, 2004. 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
7. LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. 2003 [cit. 2011-02-28]. technologické způsoby výroby dutých těles . Dostupné z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/10.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/10.htm)>.
8. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001 [cit. 2011-02-28]. Rotační tlačené plechu s povrchovou úpravou. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/rotacni-tlaceni-plechu-s-povrchovou-upravou>>.
9. *SMF* [online]. 2005 [cit. 2011-03-23]. Spinning/Shear forming. Dostupné z WWW: <<http://www.s-m-f.de/en/startseite/spinning.html>>.
10. *Firearmsid* [online]. c2010 [cit. 2011-03-24]. Introduction of flow forming. Dostupné z WWW: <<http://firearmsid.com/Feature%20Articles/FlowForming/riflingbyflowforming.htm>>.
11. *Global Metal Spinning Solution* [online]. 31.12.2010 [cit. 2011-03-24]. Sheet Metal Parts Fabrication. Dostupné z WWW: <[http://www.dennusametalforming.com/sheet\\_metal\\_fabrication/sheet\\_metal\\_fabrication.htm](http://www.dennusametalforming.com/sheet_metal_fabrication/sheet_metal_fabrication.htm)>.
12. *Makeitmetal.com* [online]. c2005 [cit. 2011-03-29]. Chapter 9 - Metal Spinning. Dostupné z WWW: <[http://www.makeitmetal.com/resources/CH9\\_spin.htm](http://www.makeitmetal.com/resources/CH9_spin.htm)>.
13. *Dynamic specialty metal* [online]. c2011 [cit. 2011-03-29]. Capabilities. Dostupné z WWW: <<http://www.dynamicspecialtymetal.com/capabilities/index.htm>>.
14. *Sapphire Spinning Ltd.* [online]. c2011 [cit. 2011-03-29]. We spin. Dostupné z WWW: <<http://www.sapphirespinningltd.co.uk/about.html>>.

15. *Repkon: Setting flow forming free* [online]. c2010 [cit. 2011-03-29]. Hot spinning. Dostupné z WWW: <<http://www.repkon.com.tr/machines/detail.aspx?SectionID=ODNq8frRQm6yPPmzOdibwA%3D%3D&ContentId=cKEuUJY2Eg8%2BKgPaFbRfrg%3D%3D>>.
16. *Duraspi : Plastic roller tools* [online]. c2010 [cit. 2011-04-04]. Product details. Dostupné z WWW: <<http://www.metalspinningstore.com/product-details.php>>.
17. *Bazz shop: Metal work* [online]. c2007 [cit. 2011-04-04]. Welcome in to my shop. Dostupné z WWW: <<http://www.bazzshop.com/>>.
18. *Industrial Arts* [online]. 28.11.2010 [cit. 2011-04-04]. New Metal Spinning Tools received from May Tool Inc. Dostupné z WWW: <[http://earlgpowell.blogspot.com/2010\\_11\\_01\\_archive.html](http://earlgpowell.blogspot.com/2010_11_01_archive.html)>.
19. *Aardvar* [online]. 13.2.2002 [cit. 2011-04-11]. My Metal-spinning Lathe. Dostupné z WWW: <<http://www.aardvark.co.nz/pjet/spinning1.shtml>>.
20. *Metalcraft: Spinning and stamping* [online]. c2009 [cit. 2011-04-11]. Metal spinning. Dostupné z WWW: <<http://www.metalcraftspinning.com/spinning.php>>.
21. *MyLargescale* [online]. 2.11.2009 [cit. 2011-04-11]. Headlight Reflectors (Metal Spinning). Dostupné z WWW: <<http://www.mylargescale.com/Community/Forums/tabid/56/aff/11/aft/112930/afv/topic/Default.aspx>>.
22. *Ebay* [online]. c2011 [cit. 2011-04-11]. Manufacturing & Metalworking. Dostupné z WWW: <[http://cgi.ebay.com/Collection-5-Wood-Metal-Spinning-Molds-Forms-/110662407015#ht\\_852wt\\_905](http://cgi.ebay.com/Collection-5-Wood-Metal-Spinning-Molds-Forms-/110662407015#ht_852wt_905)>.
23. *Haeberle-schwimme : The Float Manufacturer* [online]. c2007 [cit. 2011-05-12]. Pressing and deep-drawing of sheet metal. Dostupné z WWW: <<http://www.haeberle-schwimmer.de/en/pressing-deep-drawing.html>>.
24. *Chestofbooks* [online]. c2009 [cit. 2011-05-12]. 206. Steps In Shaping Articles From Sheet Metals. Dostupné z WWW: <<http://chestofbooks.com/crafts/mechanics/Mechanical-Processes/206-Steps-In-Shaping-Articles-From-Sheet-Metals.html>>.
25. *Zanital: Spinning lathes* [online]. c2010 [cit. 2011-05-13]. Production. Dostupné z WWW: <[http://www.zanital.it/produzione\\_eng.htm?>](http://www.zanital.it/produzione_eng.htm?>)>.
26. RISER, James P. *Jamesriser* [online]. c2002 [cit. 2011-05-13]. An Assortment of Lathes Modified for Metal Spinning. Dostupné z WWW: <<http://www.jamesriser.com/MyLathesSm/ForSpinning.html>>.
27. *Cncsheetmetal* [online]. c2008 [cit. 2011-05-13]. Metal spinning. Dostupné z WWW: <[http://www.cncsheetmetal.com.au/services\\_mspin.html](http://www.cncsheetmetal.com.au/services_mspin.html)>.
28. *Denn* [online]. c2011 [cit. 2011-05-13]. Productos - Spinning Lathes. Dostupné z WWW: <[http://www.denn.es/eng/spinning\\_lathes.php](http://www.denn.es/eng/spinning_lathes.php)>.
29. *Leifeldms* [online]. c2011 [cit. 2011-05-14]. Neumaschinen. Dostupné z WWW: <<http://www.leifeldms.de/maschinen-technik/neumaschinen.html>>.

30. *Hoodone* [online]. c2011 [cit. 2011-05-18]. Products. Dostupné z WWW:  
<[http://www.hoodone.com/e\\_products/](http://www.hoodone.com/e_products/)>.
31. *Google* [online]. c2011 [cit. 2011-05-18]. Google Česká republika. Dostupné z WWW:  
<<http://www.google.cz/>>.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady tlačných dílců .....	9
Obr. 2 Smykové tlačení se změnou tloušťky stěny .....	10
Obr. 3 Smykové tlačení bez změny tloušťky stěny .....	10
Obr. 4 Smykové tlačení dutých těles .....	11
Obr. 5 Dělená forma .....	11
Obr. 6 Rozložení napětí ve výtlaku .....	12
Obr. 7 Souběžné tlačení .....	13
Obr. 8 Protiběžné tlačení .....	13
Obr. 9 Tvary dílců vyrobených smykovým tlačáním .....	14
Obr. 10 Redukce tloušťky stěny .....	14
Obr. 11 Geometrické vztahy činitelů v deformační zóně .....	14
Obr. 12 Prostorové uspořádání složek výslednice F .....	17
Obr. 13 Princip smykového tlačení kužele .....	17
Obr. 14 Znárodnění osového přesunu materiálu kuželového dílce .....	18
Obr. 15 Defekty kuželového dílce .....	18
Obr. 16 Složky sil při tlačení kužele .....	19
Obr. 17 Příklady parabolických dílců .....	20
Obr. 18 Smykové tlačení sférického dílce s proměnnou tloušťkou stěny .....	20
Obr. 19 Postup výroby sférického dílce s konstantní tloušťkou .....	20
Obr. 20 Princip redukování vnějšího průměru .....	21
Obr. 21 Princip redukování vnitřního průměru .....	21
Obr. 22 Princip redukování vnějšího průměru .....	22
Obr. 23 Princip redukování vnitřního průměru .....	22
Obr. 24 Odstřižení okraje .....	22
Obr. 25 Smykové tlačení s ohřevem .....	23
Obr. 26 Prstencová kladka .....	24
Obr. 27 Příklady kladek .....	24
Obr. 28 Dělená forma .....	25
Obr. 29 Příklady forem .....	25
Obr. 30 Schéma kovotlačitelského stroje .....	26
Obr. 31 Historické kovotlačitelské soustruhy .....	26
Obr. 32 Příklady kovotlačitelských soustruhů .....	27

Obr. 33	Hydraulický pohon kladek .....	27
Obr. 34	CNC stroj ZENN-160 .....	28
Obr. 35	TAL 650/CNC-60 .....	29
Obr. 36	PCN 206 .....	30
Obr. 37	PCN 216 .....	30
Obr. 38	ST 560 H 2100 .....	30
Obr. 39	Pracovní část ST 560 H 2100 .....	30
Obr. 40	ST 650 H 9100 .....	30
Obr. 41	WSC 700/6 C .....	31
Obr. 42	Průmyslové dílce .....	31
Obr. 43	Příklady dílců .....	32

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
D	Průměr polotovaru	[mm]
d	Vnitřní průměr výlisku	[mm]
F	Celková tvářecí síla	[N]
$F_R$	Radiální síla	[N]
$F_A$	Axiální síla	[N]
$F_T$	Tangenciální síla	[N]
$F_p$	Posuvová síla	[N]
$F_n$	Přítlačná síla	[N]
$f_d$	Aktuální deformační přesun materiálu	[mm]
$f_s$	Strojní posuv	[mm/ot]
$K_{rt}$	Stupeň deformace	[-]
$l_d$	Záběrový oblouk	[mm]
$m_{rt}$	Součinitel tlačení	[-]
$r_m$	Poloměr dílce	[mm]
R	Vzdálenost středu elementu stěny od osy formy	[mm]
$t_1$	Tloušťka materiálu po přetvoření	[mm]
$t_0$	Výchozí tloušťka materiálu	[mm]
$V_d$	Přemístěný objem	[mm <sup>3</sup> ]
$V_0=V_1$	Objem elementu	[mm <sup>3</sup> ]
$\alpha$	Náběhový úhel	[°]
$\varepsilon$	Poměrná změna tloušťky	[%]
$(\varepsilon)_{mez}$	Hodnota mezní redukce	[%]
$(f_s)_c$	Celkové přemístění kladky	[mm/ot]
$(f_M)_c$	Přírůstek délky	[mm/ot]
$\sigma_r$	Radiální tlakové napětí	[MPa]
$\sigma_t$	Tangenciální tlakové napětí	[MPa]
$(\sigma_p)_s$	Materiálový faktor	[MPa]
$\Delta h$	Elementární úběr tloušťky	[mm]
$\Delta t$	Výška	[mm]
$\rho$	Poloměr zaoblení nástroje	[mm]
$\eta_F$	Účinnost procesu	[%]