

OPTIMALIZÁCIA TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY ROTAČNO-SYMETRICKÝCH VÝŤAŽKOV PRE AUTOMOBILOVÝ PRIEMYSEL

¹Jozef Výboch, ²Jozef Kmec, ¹Emil Evin

¹Katedra technológií a materiálov SJF TU v Košiciach, Emil.Evin@tuke.sk

²Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach so sídlom v Prešove, kmec.jozef@fvt.sk

Abstract

In this contribution is presented a suggestion of the typical technological procedure of production of the rotary-symmetric products by the deep drawing and the hydromechanical drawing. The technological parameters of proceeding of the deep drawing and the hydromechanical drawing are analyzed. It has been developed a programme, which enables to determine the constructional technological parameters, the computation of the actual producing expense in the process of the hydromechanical drawing and the deep drawing as well. The typical technological procedure of production of the rotary-symmetric products by the deep drawing and the hydromechanical drawing was arranged for the typical component called the brake cylinder. This drawing is possible to made by the method of the deep drawing with four tractional operations and by the method of the hydromechanical drawing is possible to made it with only one operation.

Key words: steel sheet metals, formability, deep drawing, hydromechanical drawing, cup

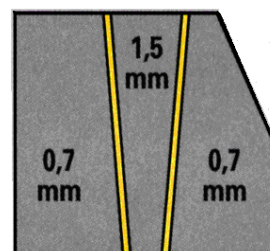
1. ÚVOD

V posledných rokoch rastie tlak na znižovanie hmotnosti automobilov s cieľom dosiahnuť zníženie spotreby surovín a energie pri ich výrobe a prevádzke. Znížením hmotnosti automobilov sa dosiahne aj zníženie spotreby pohonných hmôt a emisií, ktoré sú prirodzeným produktom spaľovania. [1]. Charakteristickým znakom znižovania hmotnosti automobilov je používanie dielcov z hliníka, horčíka, titanu a ich zliatin, plastických hmôt, kompozitných materiálov a vysokopevných ocelí. Nezastupiteľné miesto majú dielce vyrobené z vysokopevných oceľových plechov, a to najmä tam, kde sa pri malej vlastnej hmotnosti požaduje vysoká pevnosť, tvarová a rozmerová stálosť. So zväčšovaním pevnosti oceľových plechov dochádza k poklesu tváriteľnosti.

Pokles tváriteľnosti je možné pri výrobe výliskov z plechov eliminovať hydromechanickým ťahaním – obr.1. Pri tomto spôsobe lisovania mazadlo s aditívami proti korózii a spenieniu zabráňuje priamemu kontaktu (dochádza ku kvapalinovému treniu) medzi výliskom a ťažnou hranou ťažnice. Pri kvapalinovom trení je súčiniteľ trenia $f \approx 0$, čím sa dosiahne zmenšenie

deformačného odporu, zmenšenie opotrebenia, zlepšenie tváriteľnosti, zlepšenie kvality povrchu výliskov v porovnaní s klasickým ťahaním. Počet aplikácii hydromechanického ťahania v automobilovom priemysle, spracovateľskom priemysle i leteckom priemysle sa zväčšuje.

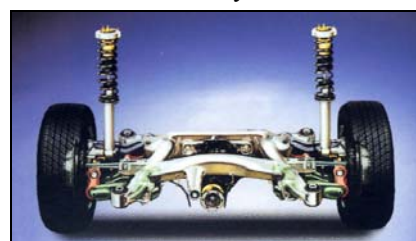
Týmto nekonvenčným spôsobom lisovania je možné vyrobiť výlisky rôznych tvarov (valcových, eliptických, hranatých a pod.) hlbokým ťahaním, vypínaním – obr. 2, ohýbaním, rozširovaním rúr a rôznych profilov – obr. 3.



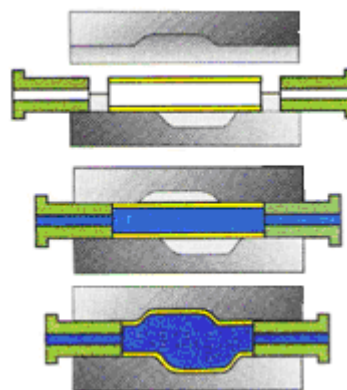
Obr. 2a: Laserom zvarený prístrih na mieru pre kryt kola



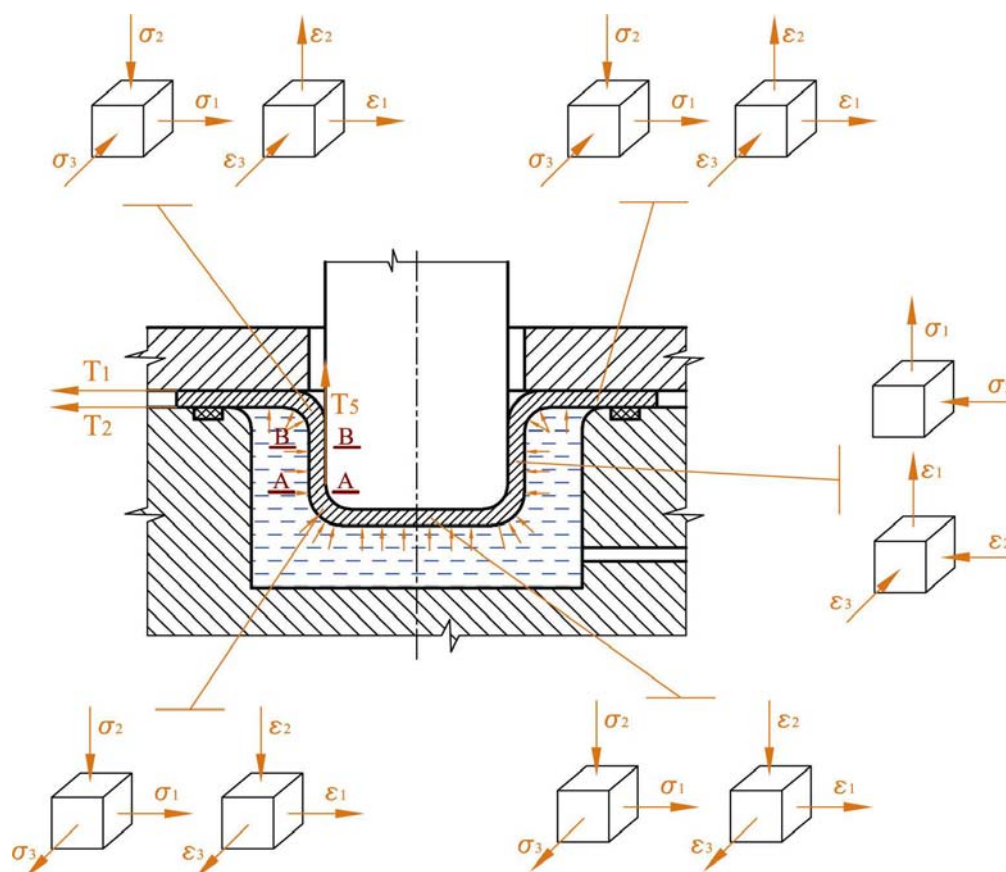
Obr. 2b: Kryt kola



Obr. 3a: Podvozok



Obr. 3b: Hydromechanické tvárnenie profilov



Obr. 1 Schéma hydromechanického ťahania

2. OPTIMALIZÁCIA TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY ROTAČNO-SYMETRICKÝCH VÝLISKOV HYDROMECHANICKÝM ŤAHANÍM

Pri návrhu technologického postupu výroby výťažkov je potrebné stanoviť: rozmery a tvar východiskového polovýrobku, počet potrebných ťažných operácií, ťažnú silu a prácu, tlak pridržiavača, geometriu ťažného nástroja (polomer zaoblenia ťažnej hrany ťažnice a ťažníka, ťažnú medzeru [2].

Z hľadiska optimalizácie vlastných výrobných nákladov je nevyhnutné minimalizovať počet ťažných operácií. Počet ťažných operácií sa určí z podmienky:

$$K_p = \frac{D_0}{d_n} \leq K_{1M} \cdot K_{2M} \dots K_{nM} = \frac{D_{0\max}}{d_1} \cdot \frac{d_1}{d_2} \dots \frac{d_{n-1}}{d_n} \quad (1)$$

kde K_p je požadovaná hodnota stupňa ťahania

vyplývajúca z tvaru, rozmerov výlisku a prístrihu, $K_{1M}, \dots, K_{nM}$ - medzná hodnota odporúčaná pre prvú ťažnú operáciu až n-tú ťažnú operáciu,

D_0 - priemer prístrihu,

$d_1, \dots, d_n$ - priemer ťažníka pre prvú až n-tú ťažnú operáciu.

Medzné hodnoty stupňov ťahania ($K_{1M} \cdot K_{2M} \dots K_{nM}$) v jednotlivých operáciách je možné určiť experimentálne alebo modelovaním procesu hlbokého ťahania. Experimentálne určovanie medzných hodnôt stupňov ťahania je časové a finančne náročné. Na obr. 4 je uvedený upravený hydraulický lis s experimentálnym nástrojom, na ktorom je možné analyzovať proces hydromechanického ťahania [3]. Pre určenie medzných hodnôt stupňov ťahania je vhodnejšie použiť kombináciu metód simulácie a experimentálnych.

Proces hlbokého ťahania je možné numericky simulovať na základe elementárnych metód teórie tvárnenia alebo metódy konečných prvkov. Pre modelovanie medzného stavu procesu hlbokého ťahania je možné použiť podmienku:

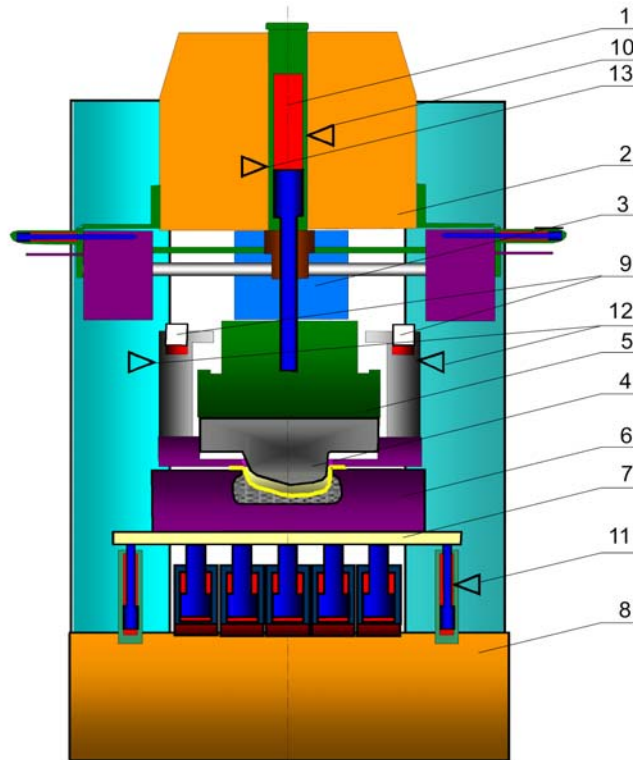
$$F_t \leq F_{OD} \quad \text{alebo} \quad a \geq a_{\min} \quad (2)$$

Kde F_t je ťažná sila potrebná na pretvorenie prístrihu na duté teleso požadovaného tvaru a rozmerov,

F_{OD} - sila potrebná na odtrhnutie dna (porušenie výlisku) v kritickom priereze .

a - hrúbka steny výťažku v kritickom priereze,

$a_{\min}$ - medzná hodnota hrúbky steny výťažku, pri ktorej ešte nedôjde k porušeniu výťažku.



Obr. 4: Hydraulický lis s experimentálnym nástrojom pre hydromechanické ťahania [3]
 1 Hydraulický valec pridržiavača, 2 Horné šmykadlo, 3 Pridržiavač (5), 4 Pridržiavač v priebehu procesu ťahania, 5 Dolné šmykadlo, 6 Spodná časť nástroja, 7 Valec pre uzatvorenie nástroja (5) a (6), 8 Spodná základová doska lisu, 9 Valec pre pridržiavanie plechu, 10 Senzor pridržiavacieho tlaku (4) vo valci (1), 11 Senzor tvárniacej sily vo valci (7), 12 Senzor pridržiavacieho tlaku vo valci (9), 13 Senzor pre meranie dráhy

Hodnotu ťažnej sily potrebnú na vytiahnutie valcového výťazku o priemere d z prstrihu o priemere D_0 je možné vypočítať [1]:

Ťažná sila pre klasické ťahanie:

$$F_{t \max} = F_{id} + F_n + F_o + T_{12} + T_3 \quad (3),$$

F_{id} - ideálna zložka ťažnej sily:

$$F_{i \max} = \pi \cdot d \cdot a_0 \cdot \left(\frac{2 \cdot (1+r)}{2 \cdot r + 1} \right)^{0.5} \cdot C \cdot n^n \cdot \left[\frac{1}{n+1} \ln \left(\frac{D_0}{D_M} \right) \right]^{n+1} \quad (4),$$

T_{12} sila potrebná na prekonanie trenia v oblasti prírubby a výťazku medzi plechom:

$$(T_1 + T_2) = T_{12} = (f_1 + f_2) \cdot F_n = 2 \cdot f_{12} \cdot F_n \quad (5),$$

F_n - pridržiavacia sila:

$$F_n = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d^2) \cdot p \quad (6),$$

p - pridržiavací tlak:

$$p = 0,01 \cdot \left\{ \left(\frac{D_0}{d} - 1 \right)^3 \cdot \frac{d}{200 \cdot a_0} + \frac{\pi [d + 2 \cdot (r_i + m_i) \cdot a_0]}{r_i (D_0 - d - 2 \cdot m_i)} \right\} \quad (7),$$

$$R_{p0.2} \cdot \frac{r_m}{r_m + 1} \cdot e^{n_m (1 - \Delta r)}$$

T_3 zložka trecej sily na ťažnej hrane

ťažnice:

$$T_3 = (F_t - F) = F_{id} \cdot F_o \cdot T_{12} \cdot (e^{\alpha \cdot f_3} - 1) \quad (8),$$

F_o - ohybová zložka ťažnej sily:

$$F_o = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot a_0^2 \cdot R_m}{4 \cdot r_i} \quad (9),$$

Pri hydromechanickom ťahaní je zložka sily $T_3 \approx 0$ (v tejto oblasti dochádza k hydromechanickému treniu) a k pôsobeniu tlaku kvapaliny na výťazok, potom vzťah (3) pre výpočet ťažnej sily bude:

$$F_{t \max} = F_{id} + F_n + F_o + T_{12} + T_3 + p_m \cdot S \quad (10),$$

Na základe podmienky (2) a vyššie uvedených vzťahov bol navrhnutý program, ktorý umožňuje modelovať vplyv zmeny materiálových vlastností, trecích pomerov, geometrie nástroja a výlisku na technologické charakteristiky (ťažnú silu, medzný stupeň ťahania) a vlastné výrobné náklady pri použití klasickej technológie ťahania a technológie hydromechanického ťahania. Navrhnutý program bol overený na nasledujúcich typových tvaroch výliskov:

- brzdový valček,
- upevňovacia miska,
- kryt lôžka uchytania predného tlmiča,
- kryt lôžka uchytania zadného tlmiča,
- puzdro jednotky tlmiča.

Postup analýzy je možné zhrnúť do nasledovných bodov:

- 1.) Výber materiálu z databanky.
- 2.) Výpočet priemeru prístrihu D_0 . Priemer prístrihu D_0 sa vypočíta buď priamo zo zákona zachovania objemu alebo z plochy povrchu resp. hmotnosti CAD modelu výťazku – obr. 5). Napríklad, Catia má knižnicu materiálov (apply material), ktorá obsahuje najčastejšie používané materiály (oceľ, hliník, bronz, chróm, titán a pod.). Z knižnice kovov (Metal) aktualizujeme príslušný materiál. Príkazom Measure Inertia sa určí objem, povrch, hmotnosť, hustota a momenty zotrvačnosti

súčiastky – obr. 5. Povrch výťazku (brzdového valca) je $S_v = 0,271 \text{ m}^2$. CAD systém nám určí povrch vnútorných a vonkajších plôch, preto pri výpočte priemeru prístrihu je potrebné plochu výťazku predeliť dvoma, potom:

$$D_0 = 1,05 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot S_v}{\pi}} = 1,05 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,271}{\pi}} = 335 \text{ mm} \quad (11)$$

a požadovaný stupeň ťahania

$$K_p = \frac{335}{125} = 2,68 \quad (12)$$

kde:

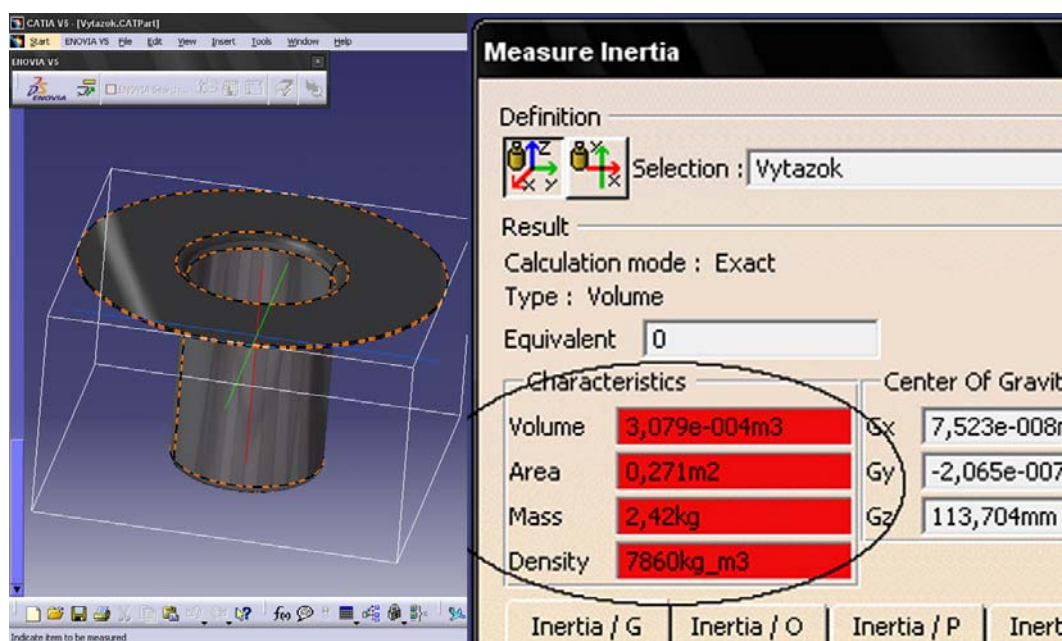
D_0 – priemer polotovaru (335 mm),

d – priemer výťazku (125 h11 mm, $\Delta = 125 \mu\text{m}$,

IT=9),

h – výška budúceho výťazku (175 mm),

prídavok na zarovnanie cípov v prírubе je 5%.



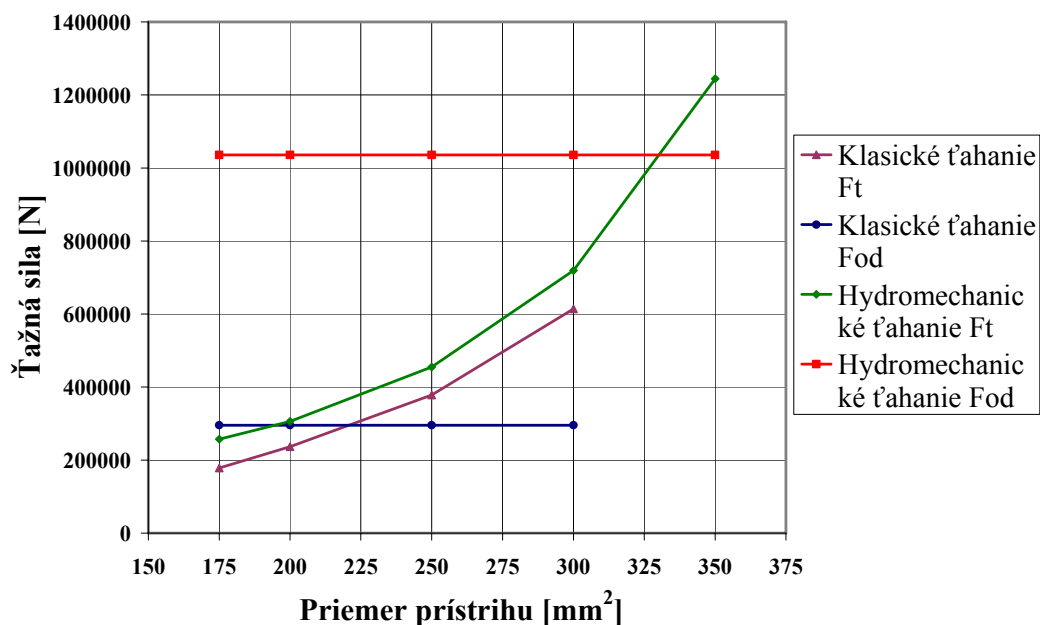
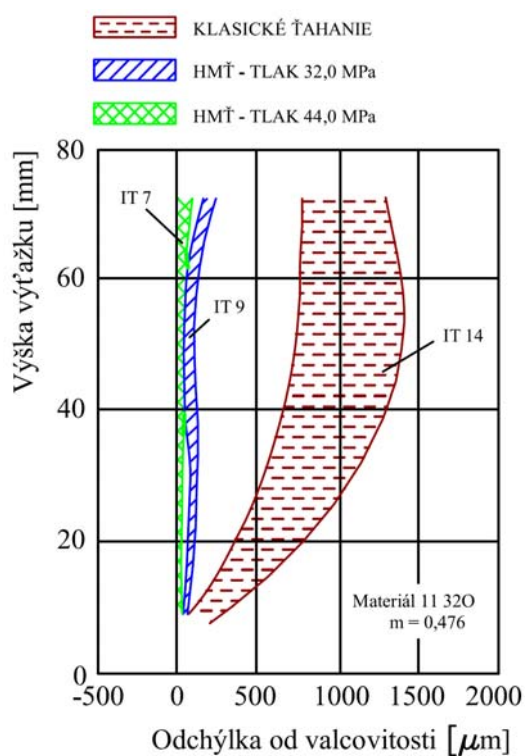
Obr. 5 Výsledok analýzy výťazku

- 3.) Simuláciu sa vypočítajú medzné hodnoty stupňov ťahania pre prvú operáciu pri klasickom ťahaní ($K_{1MK} = 225/125 = 1,8$) a pri hydromechanickom ťahaní ($K_{1MH} = 340/125 = 2,72$) – obr. 6.

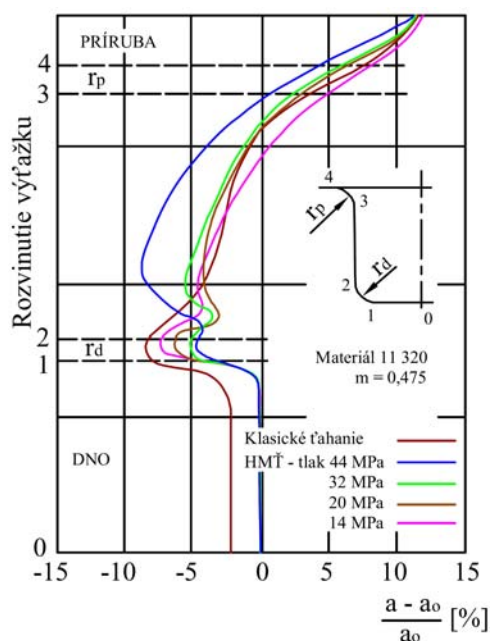
Odstupňovanie ďalších operácií sa určí z podmienky (1) na základe praktických skúseností - $K_{2M} = 1,66 \cdot K_{1M}$, $K_{3M} = 1,23 \cdot K_{1M}$. Z analýzy vyplýva, že hydraulický valec je možné hydromechanickým ťahaním vyrobiť na jednu

operáciu a klasickým hlbokým ťahaním na štyri operácie. Požadovaná tolerancia priemeru

hydraulického valca $d=125 \text{ h11}$ odpovedá triede presnosti IT=9. Z obr.7 vyplýva, že pri použití klasického ťahania bude potrebná kalibrácia (ešte jedna operácia $3+1=4$ operácie). V prípade, aplikácie hydromechanického ťahania jedna operácia. Požadovanú triedu presnosti je možné dosiahnuť tlakom cca 32 MPa.

Obr. 6 Stanovenie maximálneho priemeru prístrihu D_{max} simuláciou

Obr. 7 Odchýlky valcovitosti [5][6]



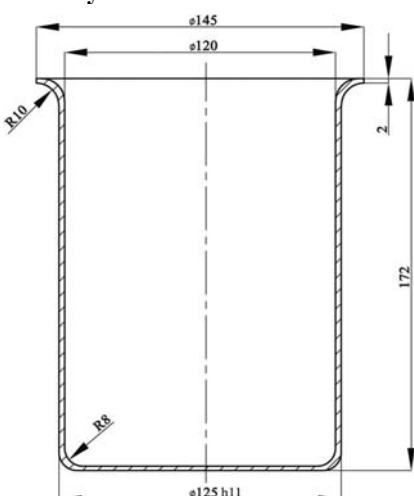
Obr. 8 Odchýlky hrúbky steny výťazku [5][6]

Pri tlaku 32 MPa je výťazok prilačnaný k ťažníku, v mieste kontaktu dochádza k treniu (trečná sila T_5) medzi vnútornou stenou výťazku a ťažníkom. V dôsledku trecej sily T_5 dochádza posuvu kritického prierezu z oblasti A-A do oblasti B-B (obr. 1). V priereze B-B je jednak stena výťazku menej stenčená a viac spevnená ako v priereze A-A (obr. 8). Hrubšia a pevnejšia stena výťazku (prierez

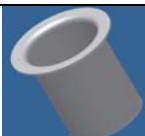
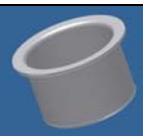
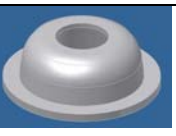
B-B) je schopná preniesť väčšiu silu, čím sa tiež dosiahne zlepšenie tárniteľnosti v porovnaní s klasickým ťahaním.

V tab. 1, tab. 2 a tab. 3 sú uvedené mechanické vlastnosti použitých materiálov, porovnanie odstupňovania ťažných operácií pre jednotlivé typové tvary výťazkov pri klasickom a hydromechanickom ťahaní.

Tab. 1 Vlastnosti použitých materiálov a rozmery brzdového valca

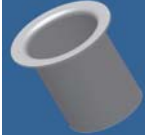
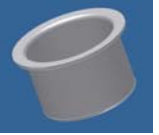
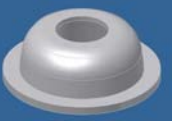
Názov výťazku: Brzdový valec 	Materiál	DC 04	DIN1.304
	Materiálová konštanta C [MPa]	514	1492
	Exponent deformačného spevnenia n	0,23	0,5
	Súčiniteľ normálovej anizotropie	2,2	1,05
Priemer prístrihu	335 mm		

Tab. 2 Odstupňovanie ťažných operácií výroby typových tvarov výťazkov klasickým ťahaním [7]

Brzdový valček	Upevňovacia miska	Kryt lôžka uchytenia predného tlmíča	Kryt lôžka uchytenia zadného tlmíča	Puzdro jednotky tlmíča
				
Výpočet priemeru prístrihu				
$D_0 = 335 \text{ mm}$	$D_0 = 98 \text{ mm}$	$D_0 = 150 \text{ mm}$	$D_0 = 162 \text{ mm}$	$D_0 = 240 \text{ mm}$
Výpočet celkového koeficientu ťahania K_p vypočítaného z rozmerov prístrihu a konečného tvaru				
$K_p = \frac{D_0}{d}$ $K_p = \frac{335}{125}$ $K_p = 2,68$	$K_p = \frac{D_0}{d}$ $K_p = \frac{98}{68}$ $K_p = 1,44$	$K_p = \frac{D_0}{d}$ $K_p = \frac{150}{84}$ $K_p = 1,78$	$K_p = \frac{D_0}{d}$ $K_p = \frac{162}{68}$ $K_p = 2,38$	$K_p = \frac{D_0}{d}$ $K_p = \frac{240}{160}$ $K_p = 1,5$
Výpočet počtu ťažných operácií na základe medzných hodnôt stupňov ťahania odporúčaných pre jednotlivé ťahy [9] $K_p \leq K_{lt} \cdot K_{iM}$ * K_{iM} – medzné hodnoty stupňov ťahania odporúčané pre jednotlivé ťažné operácie [9] $K_{1M} = 1,75$; $K_{2M} = 1,266$; $K_{3M} = 1,235$				
1. ťažná operácia $K_p \leq K_{1M}$ $2,68 > 1,75$ 2. ťažná operácia $K_p \leq K_{1M} \cdot K_{2M}$ $2,68 > 1,75 \cdot 1,26$ $6 = 2,215$ 3. ťažná operácia	$K_p \leq K_{1M}$ $m_1 = \frac{1}{K_p} = \frac{1}{1,44} = 0,69$ $K_p = \frac{1}{m_1} = 1,45$ $K_p \leq K_{lt} \cdot K_{iM} *$ 1. ťažná operácia $1,45 \leq 1,818$	$K_p \leq K_{1M}$ $m_1 = \frac{1}{K_p} = \frac{1}{1,78} = 0,56$ $K_p = \frac{1}{m_1} = 1,78$ $K_p \leq K_{lt} \cdot K_{iM} *$ 1. ťažná operácia $1,78 \leq 1,724 \cdot 1,266$ $= 2,18$ $1,78 \leq 2,18$	$K_p \leq K_{1M}$ $m_1 = \frac{1}{K_p} = \frac{1}{2,38} = 0,42$ $K_p = \frac{1}{m_1} = 2,38$ $K_p \leq K_{lt} \cdot K_{iM} *$ 1. ťažná operácia $2,38 \leq 1,724$ 2. ťažná operácia $2,38 \leq 1,724 \cdot 1,266$ $= 2,18$	$K_p \leq K_{1M}$ $m_1 = \frac{1}{K_p} = \frac{1}{1,5} = 0,66$ $K_p = \frac{1}{m_1} = 1,51$ $K_p \leq K_{lt} \cdot K_{iM} * 1. \text{ť}$ ažná operácia $1,5 \leq 1,818$

2,68 < 1,75.1,26 6.1,235 = 2,736 4.ťažná operácia Kalibrácia na priemer 125 H11		2. ťažná operácia 1,78 ≤ 2,18.1,234 = 2,69 1,78 ≤ 2,69	=2,18 2,38 ≤ 2,18	
Počet ťažných operácií : n=4 Počet kusov na jednu operáciu za minútu: Q=4 Produktivita [ks/min] : $P = \frac{Q}{n} = \frac{4}{4} = 1$	Počet ťažných operácií : n=1 Počet kusov na jednu operáciu za minútu: Q=4 Produktivita [ks/min] : $P = \frac{Q}{n} = \frac{4}{1} = 4$	Počet ťažných operácií : n=2 Počet kusov na jednu operáciu za minútu: Q=4 Produktivita [ks/min] : $P = \frac{Q}{n} = \frac{4}{2} = 2$	Počet ťažných operácií : n=2 Počet kusov na jednu operáciu za minútu: Q=4 Produktivita [ks/min] : $P = \frac{Q}{n} = \frac{4}{2} = 2$	Počet ťažných operácií : n=1 Počet kusov na jednu operáciu za minútu: Q=4 Produktivita [ks/min] : $P = \frac{Q}{n} = \frac{4}{1} = 4$

Tab. 3 Odstupňovanie ťažných operácií výroby typových tvarov výťažkov hydromechanickým ťahaním [7]

Brzdový valček	Upevňovacia miska	Kryt lôžka uchytenia predného tlmiča	Kryt lôžka uchytenia zadného tlmiča	Puzdro jednotky tlmiča
				
Výpočet priemeru prístrihu				
$D_0 = 335 \text{ mm}$	$D_0 = 98 \text{ mm}$	$D_0 = 150 \text{ mm}$	$D_0 = 162 \text{ mm}$	$D_0 = 240 \text{ mm}$
Výpočet koeficientu ťahania				
$K_p = \frac{D_0}{d}$ $K_p = \frac{335}{125}$ $K_p = 2,68$	$K_p = \frac{D_0}{d}$ $K_p = \frac{98}{68}$ $K_p = 1,44$	$K_p = \frac{D_0}{d}$ $K_p = \frac{150}{84}$ $K_p = 1,78$	$K_p = \frac{D_0}{d}$ $K_p = \frac{162}{68}$ $K_p = 2,38$	$K_p = \frac{D_0}{d}$ $K_p = \frac{240}{160}$ $K_p = 1,5$
Výpočet počtu ťažných operácií K_{HTM} – medzná hodnota stupňa ťahania pri hydromechanickom ťahaní je 3,4.				
$K_p \leq K_{HTM}$ $2,68 \leq 3,4$ Počet ťažných operácií : n=1 Počet kusov na jednu operáciu za minútu: Q=3 Produktivita [ks/min] : $P = \frac{Q}{n} = \frac{3}{1} = 3$	$K_p \leq K_{HTM}$ $1,44 \leq 3,4$ Počet ťažných operácií : n=1 Počet kusov za minútu: Q=3 Produktivita [ks/min] $P = \frac{Q}{n} = \frac{3}{1} = 3$	$K_p \leq K_{HTM}$ $1,78 \leq 3,4$ Počet ťažných operácií : n=1 Počet kusov za minútu: Q=3 Produktivita [ks/min] $P = \frac{Q}{n} = \frac{3}{1} = 3$	$K_p \leq K_{HTM}$ $2,38 \leq 3,4$ Počet ťažných operácií : n=1 Počet kusov za minútu: Q=3 Produktivita [ks/min] $P = \frac{Q}{n} = \frac{3}{1} = 3$	$K_p \leq K_{HTM}$ $1,5 \leq 3,4$ Počet ťažných operácií : n=1 Počet kusov za minútu: Q=3 Produktivita [ks/min] $P = \frac{Q}{n} = \frac{3}{1} = 3$
V porovnaní s klasickým ťahaním dôjde k:				
zvýšeniu produktivity o 200 %	Zníženiu produktivity o 25 %	Zvýšeniu produktivity o 50 %	Zvýšeniu produktivity o 50 %	Zníženiu produktivity o 25 %

ZÁVER

Na základe porovnania počtu ťažných operácií klasického a hydromechanického ťahania je možné konštatovať, že klasickým ťahaním je možné vyrobiť brzdový valec na tri ťažné operácie a hydromechanickým ťahaním na jednu operáciu. Zlepšenie tvárniteľnosti pri hydromechanickom ťahaní sa dosiahne znížením tretej sily $T_3 \approx 0$ na ťažnej hrane a presunom kritického prierezu výťažku z oblasti prechodu dna do steny do oblasti steny výťažku. V oblasti B – B je stena výťažku hrubšia a pevnejšia ako v oblasti A – A. Zlepšenie tvárniteľnosti pri hydromechanickom ťahaní je možné využiť pri eliminácii zhoršenia tvárniteľnosti v mieste zvarového spoja pri výrobe výťažkov z pristrohov na mieru – obr. 2.

Ak vychádzame z predpokladu, že klasickým ťahaním na jednu ťažnú operáciu vyrobíme cca 4 výťažky a hydromechanickým ťahaním na jednu operáciu vyrobíme cca 3 výťažky, potom sa pri hydromechanickom ťahaní zvýši produktivita o 200%. Ak požadovaný tvar výťažku je možné klasickým aj hydromechanickým ťahaním vyrobiť na jednu operáciu, potom pri aplikácii hydromechanického ťahania je potrebné predpokladať zníženie produktivity o cca 25%. Avšak, výhodou aplikácie hydromechanického ťahania je lepšia kvalita výťažkov (rovnomernejšia hrúbka steny, trieda presnosti, drsnosť).

LITERATÚRA

- [1] Dostupné na internete: http://sk.wikipedia.org/wiki/Emisie_dopravn%C3%BDch_prostriedkov [cit. 21. februára 2007]
- [2] HRIVŇÁK, Andrej - EVIN, Emil: Lisovateľnosť plechov : Predikcia lisovateľnosti oceľových plechov s vyššími pevnostnými vlastnosťami. 1. vyd. Košice : Elfa, 2004. 11, 15 AH, 223 s. ISBN 80-89066-93-3.
- [3] JURKOVIČ, M., MAMUZIČ, I., KARABEGOVIČ, E.: The Sheet Metal Forming with Hydraulic Fluid Pressure. Metalurgija, 4/43, 2004.
- [4] ŠPAČEK, J. – ŽÁK, L.: Speciální technologie I a II: Návod do cvičení-část: plošné tvárnění. 1. vydanie. Brno: VUT MON, 1991. 109s. ISBN 80-214-0259-8
- [5] ŠPAČEK, J.: Hydromechanické tažení. In: Speciální technologie I a II. Brno: VÚTS, 1990. 78s.
- [6] EVIN, Emil – KMEC, Jozef - TKÁČOVÁ, Jana: Prediction of technological parameters of the deep-drawing and hydromechanical processes. In: Výrobné inženýrstvo. roč. 7, č. 3 (2008). ISSN 1335-7972.
- [7] VÝBOCH, J.: Návrh typových technologických postupov výroby rotačno-symetrických výťažkov klasickým a hydromechanickým ťahaním. [Diplomová práca], Sjf TU, Košice, 2008.

Autori práce ďakujú za finančnú podporu projektov Vedeckej grantovej agentúry Slovenskej republiky (VEGA 2/6206/06) a Agentúre na podporu výskumu a vývoja (APVV-0629-06).