

# Identifikácia elasticko-plastickej deformácie pre rôzne stupne deformácie pri tvárnení plechu otočným ohýbaním

**Borislav Melo, Ing., PhD.**

Viena International, spol. s r. o.,  
Dolné Kráčiny 2, 036 01 Martin.  
E-mail: melo@viena.sk

## Identification of elastic-plastic deformation for different degrees of deformation for forming sheet metal by swivel bending

**Abstract:** The thesis deal with the issue of bending. The practical part is dealing with developing of design of bending tool for bending of metal sheet parts and made technological processes for manufacturing of non-standard components. The part of design is an account of bending strength, bending work, and made cutting plans. The content is also an economic assessment of the design and final evaluation.

**Keywords:** pneumatic flexible shaft coupling, semi-active vibration isolation, patent.

## ÚVOD

Kyvňý (otočňý) ohýbací systém je príkladom flexibility, keď je potrebné vytvárať kvalitné ohýbané diely. Táto technológia dosahuje vysokú produktivitu výroby presne ohýbaných častí. Manipulácia s veľkými plechmi pri práci je oveľa jednoduchšia. Na obrovské spektrum výrobkov zvyčajne stačí len jeden typ nástroja. Plechy sa tvárnia bez poškodenia povrchu a navyše je tento spôsob vhodný pre malé a takisto aj veľké diely.

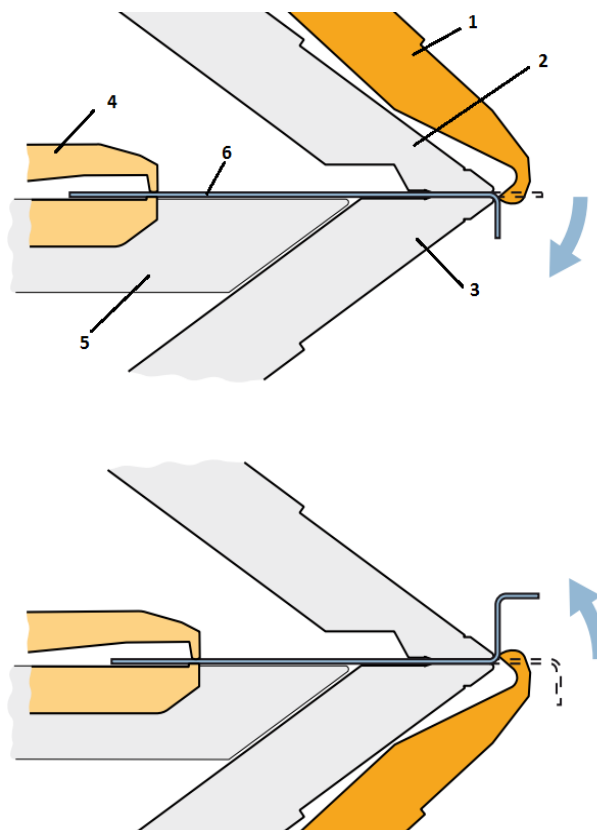
## 1 PRINCÍP

Pri kývavom ohýbaní (*SB*) leží plech na pracovnom stole. Uchytávacia čeľusť zabezpečí plech na ohýbanej línii. Horná a dolná ohýbacia čeľusť napnú ohýbaný plech. Nový tvar ohýbacieho ramena umožňuje ohnutie  $90^\circ \cdot s^{-1}$  a pri automatickom nastavení na hrúbku plechu je to investícia najmä do produktivity a flexibility (obr. 1). Dlhá časť ohýbaného materiálu zostane ležať na pracovnom stole. Priebeh prác hlavne pri veľkých kusoch je podstatne rýchlejší, bezpečnejší a kvalitnejší. Aby sa plechy pri ohýbaní neposúvali, môže byť plech držaný medzi ohýbacími čeľusťami silou až 120 kN.

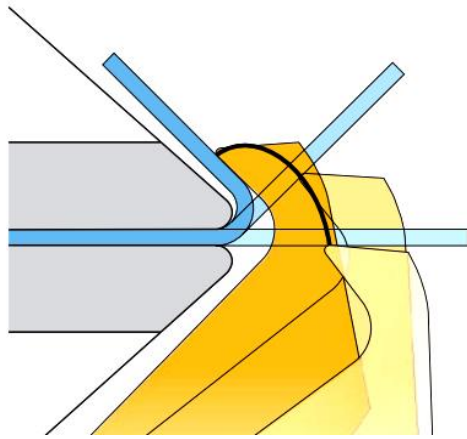
## 2 VÝHODY KYVNEHO OHÝBANIA

Pri presnom *SB* ohýba ohýbacie rameno s presnosťou  $0,1^\circ$ , čím zabezpečuje opakovateľnosť výroby. Rovinnosť ohýbaného dielu je zaistená rovinnosťou stroja. Pri *SB* ohýba používateľ s jediným nástrojom uhlý až do  $150^\circ$  (obr. 2).

Najväčšou výhodou je rýchla zmena programu pre ohýbanie pri malých sériách. Používa sa do hrúbok 6 mm (oceľový plech) alebo 4 mm (plech z antikorošnej ocele).



Obr. 1. Princíp kývavého ohýbania: 1 - ohýbacie rameno, 2 - horná ohýbacia čeľusť, 3 - spodná ohýbacia čeľusť, 4 - uchytávacia čeľusť, 5 - pracovný stôl, 6 - plech



Obr. 2. Ohýbacím ramenom sa ohýbajú uhly až do 150°

Použitie:

- ohýbanie zatvorených profilov, dekoratívnych hliníkových plechov,
- reklamné panely, boxy na nástroje na montážnych vozidlách,
- opláštenia klimatizácií, pecí a kotlov,
- medicínálne prístroje a prevádzky,
- kuchyne a interiéry reštaurácií,
- deliace steny, dopravníky, kovový nábytok a dvere,
- pohyblivé schody, výtahy a iné.

### 3 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH OHÝBACIEHO ZARIADENIA

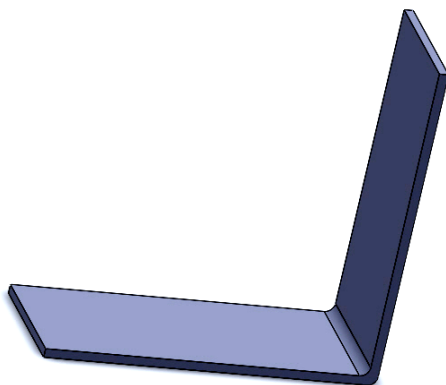
#### 3.1 Výtvarok (výrobok)

Výrobok je vyobrazený na obr. 3.

Materiál: plech s hrúbkou 1,0 mm a 0,8 mm.

Chemické zloženie 0,10 % C, 0,45 % Mn, 0,035 % P, 0,035 % S.

Ďalšími hodnotami sú:  $R_m = 420$  MPa,  $R_e = 235$  MPa,  $A = 26$  %.



Obr. 3. 3D model výrobku

### 3.2 Výpočet ohýbacej sily a práce

#### 3.2.1 Ohýbacia sila

Princíp ohýbania na ohýbacom zariadení je na obr. 6. Ide vlastne o ohýbanie votknutého nosníka. Sila na ohýbanie sa stanoví podľa vzťahu (1):

$$F_o = \frac{b \cdot s^2}{6 \cdot l} \cdot R_m \cdot C \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde  $b$  - šírka ohýbaného pásu [mm],

$C$  - koeficient pri ohýbaní do tvaru V (1,15 až 1,45),

$R_m$  - pevnosť materiálu [MPa],

$l$  - dĺžka ohýbaného ramena [mm],

$s$  - hrúbka materiálu [mm].

Pre  $s = 0,8$  mm je 139,2 N a pre  $s = 1,0$  mm je 217,5 N.

#### 3.2.2 Ohýbacia práca

Ohýbacia práca pri ohýbaní sa vypočíta podľa vzťahu (2):

$$A_o = F_o \cdot h \cdot \psi \quad [\text{J}] \quad (2)$$

kde  $\psi$  - súčiniteľ plnosti diagramu = 0,5 až 0,65,

$h$  - pracovná dráha ohybníka [mm],

$A$  - práca [J],

$F_o$  - ohýbacia sila [N].

Pre  $s = 0,8$  mm je 1201,9 J a pre  $s = 1,0$  mm je 1878,11 J.

### 4 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE OHÝBACIEHO ZARIADENIA

#### 4.1 Princíp

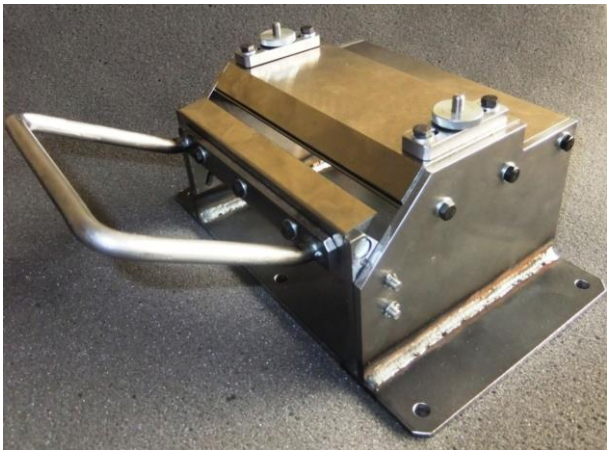
Ohýbacie zariadenie je jednoduchý nástroj na ohýbanie plechu, ktorý je konštruovaný tak, aby s ním bolo možné ohnúť plech s pevnosťou 400 MPa hrúbky 1 mm na dĺžke 15 mm.

Aby sa dal nástroj využiť pre širší rozsah hrúbok, bol upravený podľa nasledujúceho:

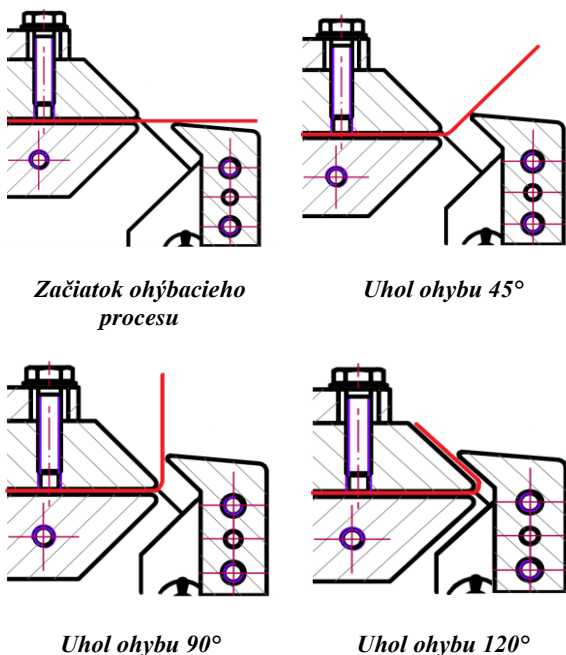
- do prítlačníka a prítlačnej lišty sa vyfrézovali drážky, vďaka ktorým sa zaistí posunutie prítlačníka o príslušnú hodnotu pre danú hrúbku plechu.

Experimentálne ohýbacie zariadenie je na obr. 4.

Pred ohnutím plechu je potrebné vykonať nastavenie ohýbacieho zariadenia pre danú hrúbku plechu. Charakteristickým znakom ohýbacieho zariadenia je kyvný pohyb ohybníka, vďaka ktorému je možné ohýbať materiál do rôznych uhlov ohybu pri relatívne malom zdvihu ohybníka (obr. 5).



Obr. 4. Vyrobené experimentálne ohýbacie zariadenie



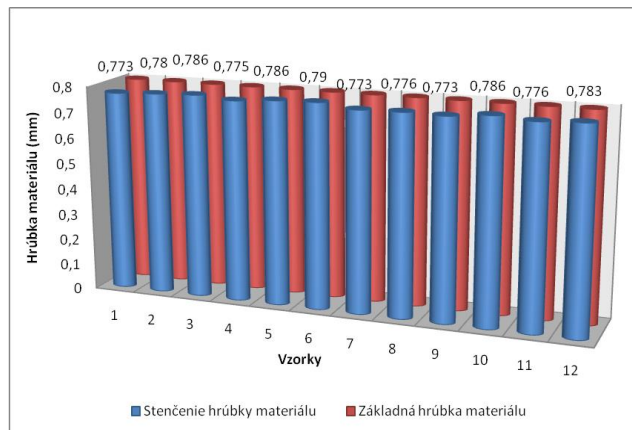
Obr. 5. Rôzne nastavenia uhlov ohybu na experimentálnom ohýbacom zariadení

## 5 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Cieľom experimentálnych skúšok bolo overiť vplyv pretvorenia na presnosť a pevnosť výtvarkov. Skúšobné vzorky boli z plechu hrúbky 0,8 mm a 1,0 mm pri polomere ohybu 1 mm. Ohýbalo sa 12 kusov vzoriek kyvným spôsobom ohýbania na experimentálnom ohýbacom zariadení (obr. 4). Na základe vykonaných experimentov sa vyhodnotil vplyv stupňa pretvorenia na presnosť výtvarkov, vplyv stenčenia hrúbky materiálu na pevnosť výtvarkov.

### 5.1 Stenčenie steny

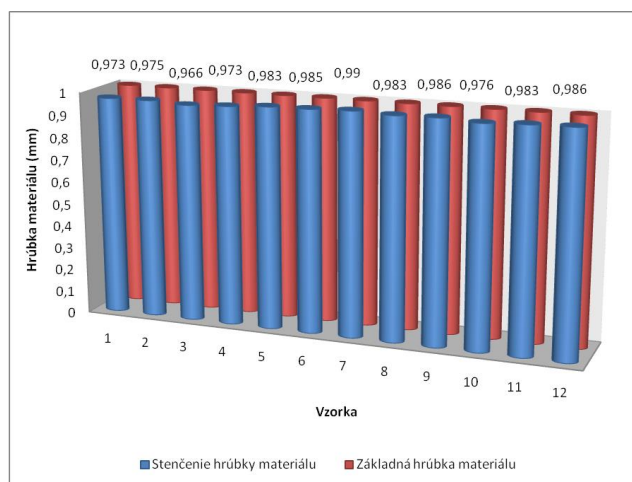
Hodnoty, o ktoré sa materiál stenčí, t. j.  $h_s$ , sú uvedené v tab. 1 a tab. 2. Na obr. 5 a obr. 6 sú uvedené jednotlivé hrúbky po stenčení v porovnaní s východiskovou hrúbkou.



Obr. 6. Graf hodnôt hrúbky materiálu  $s_s$  pre základnú hrúbku materiálu  $s = 0,8$  mm

Tab. 1. Hodnoty stenčenia pre hrúbku materiálu 0,8 mm

Vzorka číslo	$s_s$ [mm]	$h_s$ [mm]	Stenčenie hrúbky [%]
1	0,773	0,027	3,37
2	0,780	0,030	2,50
3	0,786	0,024	1,75
4	0,775	0,035	3,12
5	0,786	0,017	1,75
6	0,79	0,014	1,25
7	0,773	0,027	3,37
8	0,776	0,037	3,00
9	0,773	0,024	3,37
10	0,786	0,037	1,75
11	0,776	0,027	3,00
12	0,783	0,024	2,12



Obr. 7. Graf hodnôt hrúbky plechu  $s_s$  pre základnú hrúbku materiálu  $s = 0,8$  mm

**Tab. 2. Experimentálne namerané hodnoty odpružení pre pretvorenie**

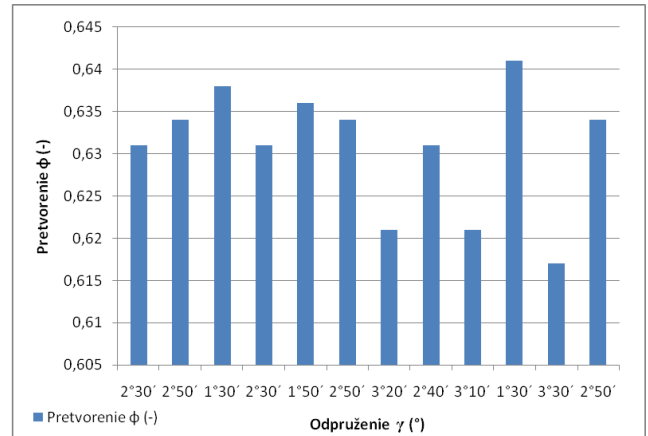
Hrúbka vzorky 1,0 mm	$\varphi$ [-]	Uhol ohybu [°]	Uhol odprużenia [°]
1	0,655	91°10'	1°10'
2	0,667	90°30'	0°30'
3	0,658	91°30'	1°30'
4	0,665	91°10'	1°10'
5	0,675	89°50'	-0°10'
6	0,677	89°30'	-0°30'
7	0,682	88°40'	-1°20'
8	0,675	89°50'	-0°10'
9	0,667	90°30'	0°30'
10	0,658	91°20'	1°20'
11	0,675	89°50'	-0°10'
12	0,678	89°10'	-0°50'

**Tab. 3. Experimentálne namerané hodnoty odpružení pre pretvorenie**

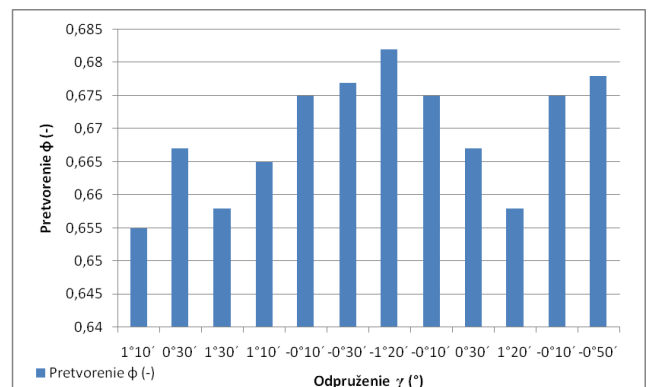
Hrúbka vzorky 0,8 mm	$\varphi$ [-]	Uhol ohybu [°]	Uhol odprużenia [°]
1	0,631	92°30'	2°30'
2	0,634	92°50'	2°50'
3	0,638	91°30'	1°30'
4	0,631	92°30'	2°30'
5	0,636	91°50'	1°50'
6	0,634	92°50'	2°50'
7	0,621	93°20'	3°20'
8	0,631	92°40'	2°40'
9	0,621	93°10'	3°10'
10	0,641	91°30'	1°30'
11	0,617	93°30'	3°30'
12	0,634	92°50'	2°50'

Z výsledkov experimentálnych skúšok zameraných na vplyv stupňa pretvorenia na zvyškové elastické napätia ostávajúce vo výtvarkoch po procese ohýbania, sa dajú vyvodit' nasledovné závery:

- pri  $s = 0,8$  mm a vzniknutom pretvorení  $\varphi = 0,617$  bolo namerané maximálne odpružení 3°30' (obr. 7),
- pri  $s = 1,0$  mm a vzniknutom pretvorení  $\varphi = 0,658$  bolo namerané maximálne odpružení 1°30' (obr. 8).



**Obr. 8. Hodnoty odprużenia a pretvorenia pre základnú hrúbku materiálu  $s = 0,8$  mm**



**Obr. 9. Hodnoty odprużenia a pretvorenia pre základnú hrúbku materiálu  $s = 1,0$  mm**

## 5.2 Pevnosť výtvarkov

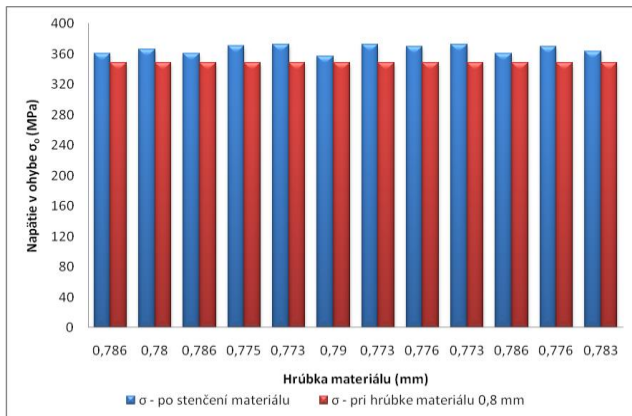
- pri hrúbke 0,8 mm bolo vypočítané maximálne  $\sigma_o = 372,73$  MPa pre stenčenie hrúbky materiálu 0,773 mm (obr. 9).

**Tab. 4. Hodnoty pevnosti v ohybe  $\sigma_o$  pre hrúbky materiálu so stenčením  $s_s$**

Vz. č.	Stenčenie pre 1,0 mm	$\sigma_o$ [MPa]
1	0,973	365,99
2	0,975	364,49
3	0,976	363,75
4	0,973	365,99
5	0,983	358,58
6	0,985	357,13
7	0,990	353,53
8	0,983	358,58
9	0,986	356,40
10	0,976	363,75
11	0,983	358,58
12	0,986	356,4

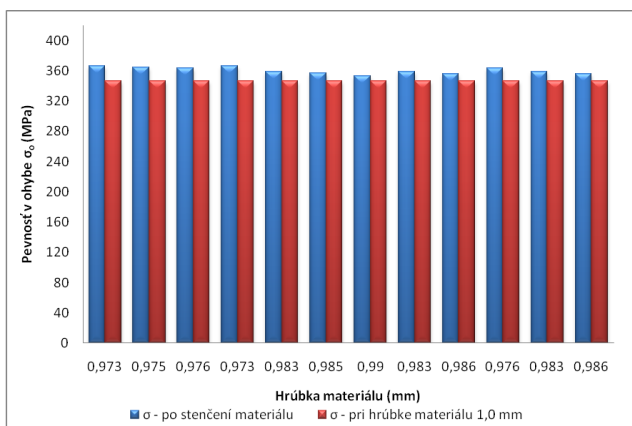
Tab. 5. Hodnoty pevnosti v ohybe  $\sigma_o$  pre hrúbky materiálu so stenčením  $s_s$

Vz. č.	Stenčenie pre 0,8 mm	$\sigma_o$ [MPa]
1	0,786	360,5
2	0,780	366,07
3	0,786	360,50
4	0,775	370,81
5	0,773	372,73
6	0,790	356,86
7	0,773	372,73
8	0,776	369,85
9	0,773	372,73
10	0,786	360,50
11	0,776	369,85
12	0,783	363,27



Obr. 10. Hodnoty pevnosti v ohybe  $\sigma_o$

- pri hrúbke 1,0 mm bolo vypočítané maximálne  $\sigma_o = 365,99$  MPa pre stenčenie hrúbky materiálu 0,973 mm (obr. 10).

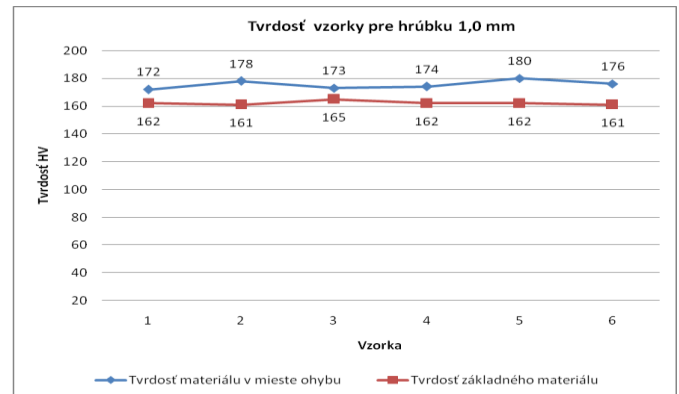


Obr. 11. Hodnoty pevnosti v ohybe  $\sigma_o$

## 6 TVRDOSŤ

Tab. 6. Hodnoty mikrotvrdości pre hrúbku 0,8 mm

Hrúbka vzorky	1,0 mm					
Číslo vzorky	1	2	3	4	5	6
Tvrdosť HV v mieste ohybu	172	178	173	174	180	176
Tvrdosť HV základného materiálu	162	161	165	162	162	161



Obr. 12. Hodnoty mikrotvrdości pre hrúbku 1,0 mm

## 7 DISKUSIA

Ohýbalo sa po dvanásť kusov vzoriek. Na základe vykonaných experimentov sa vyhodnotil vplyv stupňa pretvorenia na presnosť výtvarkov a vplyv stenčenia hrúbky materiálu na pevnosť výtvarkov.

### 7.1 Presnosť výtvarkov

Z výsledkov experimentálnych skúšok zameraných na vplyv stupňa pretvorenia na zvyškové elastické napätia ostávajúce vo výtvarkoch po procese ohýbania, možno vyhodnotiť nasledovné závery:

Stenčenie hrúbky materiálu:

- pri hrúbke vzorky  $s = 0,8$  mm boli namerané nasledovné hodnoty stenčenia hrúbky materiálu  $s_s$ : max: 0,773  $\rightarrow$  3,37 %,
- pri hrúbke vzorky  $s = 1,0$  mm boli namerané nasledovné hodnoty stenčenia hrúbky materiálu  $s_s$ : max: 0,966  $\rightarrow$  3,4 %.

Odpruženie materiálu:

- pri hrúbke vzorky  $s = 0,8$  mm boli namerané nasledovné hodnoty odpruženia  $\gamma$ : pri pretvorení  $\varphi = 0,617 \rightarrow \gamma = 3^\circ 30'$ ,
- pri hrúbke vzorky  $s = 1,0$  mm boli namerané nasledovné hodnoty odpruženia  $\gamma$ : pri pretvorení  $\varphi = 0,658 \rightarrow \gamma = 1^\circ 30'$ .

SB boli dosiahnuté menšie uhly odpruženia materiálu a menšia veľkosť vzniknutého stenčenia v pretvorenej oblasti výtvarku, čím sa dosiahla v niektorých prípadoch väčšia presnosť ohýbanej súčiastky.

## 7.2 Pevnosť výtvarkov

Pevnosť výtvarkov bola zisťovaná na základe pevnosti materiálu v ohybe  $\sigma_o$  vzhľadom na spevnenie vyvolané stenčením vzorky v oblasti ohybu.

- pri hrúbke vzorky  $s = 0,8$  mm boli namerané nasledovné hodnoty odpruženia  $\sigma_o$ .

Pre kyvné ohýbanie:

- pre stenčenie  $s_s = 0,773 \rightarrow \sigma_o = 372,81$  MPa,
- pri hrúbke vzorky  $s = 1,0$  mm boli namerané nasledovné hodnoty odpruženia  $\sigma_o$ .

Pre kyvné ohýbanie:

- pre stenčenie  $s_s = 0,973 \rightarrow \sigma_o = 365,99$  MPa.

Z uvedeného vyplýva, že stenčenie zvýšilo pevnosť výtvarkov v ohýbanej oblasti.

## 7.3 Tvrdosť výtvarkov

Na základe výsledkov zistených pri meraní mikrotvrdości podľa *Vickersa* je možné tvrdiť, že v mieste ohybu vzniklo k zvýšeniu tvrdosti vzorky:

- Pri hrúbke vzorky  $s = 0,8$  mm boli namerané nasledovné hodnoty mikrotvrdości:

pre kyvné ohýbanie: v mieste ohybu: 186 HV a základného materiálu: 165 HV

- Pri hrúbke vzorky  $s = 1,0$  mm boli namerané nasledovné hodnoty mikrotvrdości:

pre kyvné ohýbanie: v mieste ohybu: 180 HV a základného materiálu: HV

Výhodou ohýbacieho zariadenia je možnosť ohýbania plechu do rôznych uhlov ohybu.

Pri ohýbaní súčiastky do uhla napríklad  $60^\circ$  by sa musel pri klasickom ohýbaní vymeniť ohýbník s ohybnicou, čo má za následok zvýšenie nákladov na nástroj.

## ZÁVER

V nadväznosti na svetové tendencie a so zreteľom na špecifickú situáciu treba riešiť problém tvárnenia kovov v celom komplexe - tvárnený materiál, tvárniace nástroje, tvárniace stroje a ich automatizáciu vrátane riadenia. Progresívnu metódou v technológii ohýbania je v súčasnosti bezpochyby aj kyvné ohýbanie, ktorého veľkou výhodou je ohýbanie veľkých dielov až  $4 \times 3,7$  m, automatické programovanie a ďalej sú to výhody samotnej konštrukcie kyvnej ohýbačky, napríklad programovateľná pozícia hornej čeľuste, robustnosť spodnej čeľuste, nedochádza k jej priehybu a rýchlosť ohýbania ohýbacej čeľuste je až  $90^\circ \cdot s^{-1}$ .

## LITERATÚRA

[1] BAČA, J. - BÍLIK, J. (2000): *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 235 p., ISBN 80-2271-3392.

[2] MORAVEC, J. (2011): *Nekonvenčné metódy tvárnenia*. EDIS - vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žiline, ISBN 978-80-554-0389-2.

[3] OKOLICÁNYI, P. (2009): *Kyvná ohýbačka - flexibilita bez hraníc* [online], [cit.28.10.2010]. Dostupné na internete: <http://www.techpark.sk/technika-782009/kyvna-ohybacka-flexibilita-bez-hranic.html>.

[4] MORAVEC, J. (2003): *Ohýbanie a ohýbacie nástroje*. EDIS - vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žiline, 93 p., ISBN 80-8070-040-0.

[5] KYVNÉ OHÝBANIE BODUJE (2006): [online], [cit.01.11.2010]. Dostupné na internete: <http://www.bickelwolf.sk/pdf/ts/kob-SVBrno.pdf>.