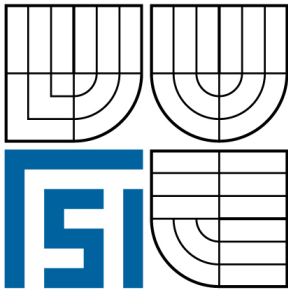


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MODERNÍ METODY ZAKRUŽOVÁNÍ

MODERN METHODS OF ROLL BENDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUBOŠ FIŠAR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. EVA ŠMEHLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Luboš Fišar

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:

Moderní metody zakružování

v anglickém jazyce:

Modern methods of roll bending

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o vytvoření přehledu moderních metod zakružování v oblasti technologie tváření. V práci by měly být uvedeny metody využívající moderních strojů, nástrojů a materiálů. Dále popis těchto metod, moderní výrobní postupy a příklady vyráběných součástí.

Cíle bakalářské práce:

Provedení průzkumu v oblasti tváření a vytvoření přehledu současných výrobních metod. Stručný popis nejnovějších metod a výrobních postupů a uvedení jejich předností.

Seznam odborné literatury:

PROCHÁZKA, Jiří, et al. Technologe slévání, tváření a svařování. 3. vyd. Praha: ČVUT v Praze, 1990. s. 343. ISBN 80-01-00345-0.

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

DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

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 2008/2009.

V Brně, dne 14.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

FIŠAR Luboš: Moderní metody zakružování.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia B2339-00 Strojní inženýrství předkládá přehled moderních metod zakružování. Na základě literární studie problematiky plošného tváření a internetového průzkumu je v práci představena problematika zakružování, stroje a nástroje pro zakružování plechů a profilů, speciální zakružovací stroje a příslušenství. V poslední části práce jsou uvedeny příklady vyráběných součástí.

Klíčová slova: plošné tváření, zakružování, zakružovačka,

ABSTRACT

FIŠAR Luboš: Modern methods of roll bending.

The project elaborated within the frame of bachelor study B2339-00 Mechanical engineering deals with creation of review of modern methods of roll bending. Pursuant to of the literary pursuit a problem of the sheet metal forming and internet research is in the work directress dilemma of roll bending, machines and tools for sheet roll bending and section roll bending, special roll bending machines and equipment. Examples of producing components are last part of project.

Keywords: sheet metal forming, roll bending, roll bending machine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FIŠAR, L. Moderní metody zakružování. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 40 s. 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 Příbyslavi dne 28.5.2009

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
1. ÚVOD	11
2. ZAKRUŽOVÁNÍ	12
2.1 TECHNOLOGIE ZAKRUŽOVÁNÍ	12
2.2. ZAKRUŽOVAČKY	12
2.2.1. Základní typy zakružovaček	13
2.3. ZÁKLADNÍ PARAMETRY ZAKRUŽOVÁNÍ	14
2.3.1. Technologické parametry	14
2.3.2 Silové parametry	16
2.3.3. Rozložení napětí při zakružování	18
3. STROJE A NÁSTROJE PRO ZAKRUŽOVÁNÍ	19
3.1 ZAŘÍZENÍ PRO ZAKRUŽOVÁNÍ PLECHŮ	19
3.1.1 Ruční zakružovačky plechů	19
3.1.2 Elektromotorové zakružovačky plechů	20
3.1.3 Hydraulické zakružovačky plechů	22
3.1.4. Řízení pomocí CNC.....	26
3.2 ZAŘÍZENÍ PRO ZAKRUŽOVÁNÍ PROFILŮ	27
3.2.1 Ruční zakružovačky profilů.....	28
3.2.2 Elektromotorické zakružovačky profilů	28
3.2.3 Hydraulické zakružovačky profilů.....	29
3.2.4 Numerické řízení zakružovaček profilů.....	31
3.3 SPECIÁLNÍ ZAKRUŽOVACÍ STROJE	31
3.4 PŘÍSLUŠENSTVÍ	33
3.4.1 Příslušenství a vybavení zakružovaček plechů.....	33
3.4.2. Příslušenství pro zakružování profilů	34
3.4.3. Přístroje na měření poloměru zakružení	35

4. PŘÍKLADY VYRÁBĚNÝCH SOUČÁSTÍ	36
4.1 SOUČÁSTI VYRÁBĚNÉ Z PLECHU	36
4.2 SOUČÁSTI VYRÁBĚNÉ Z PROFILŮ	36
5. ZÁVĚR	40

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

1. ÚVOD

Technologie zakružování představuje jednu z výrobních metod, která spolu s dalšími metodami využívá principu ohýbání spadající do oblasti plošného tváření. Tyto výrobní procesy patří mezi nejproduktivnější a nejhospodárnější zejména při hromadné či sériové výrobě. Během procesu vzniká minimum odpadu a získané výrobky jsou pevné a lehké.

Zakružování je i v dnešní době nedílnou součástí výrobních procesů firem všech velikostí nejrůznějších odvětví a využívá se jak v hromadné tak kusové výrobě. Jedny z největších dílců vyrobené touto metodou jsou využívány ve stavebnictví, jedná se například o výrobu sloupů větrných elektráren nebo nosných konstrukcí budov. V potravinářském průmyslu jsou to nádoby (zásobníky) na skladování, ale i zpracování tekutin či potravin. Automobilový průmysl využívá zakružování při výrobě ráfků kol a uplatňuje se i v mnoha dalších odvětvích například při výrobě kovového nábytku nebo jako technologie využívaná v moderním umění. Technologie zakružování je jedinečná tím, že v mnoha případech vytváří dílce, které by jinou metodou zhotovit nebylo možné nebo by jejich výroba byla značně složitá a finančně nákladná.

V práci je popsán princip technologie zakružování a především přehled současných výrobních metod využívajících moderních strojů a nástrojů. Dále popis těchto metod, výrobní postupy využívající zakružování. Část je věnována speciálním strojům, příslušenství a jsou zde také uvedeny příklady vyráběných součástí. Na obr. 1 jsou ukázky některých výrobků, které využívají zakružování.



Obr. 1 Příklady výrobků zhotovených pomocí zakružování [22]

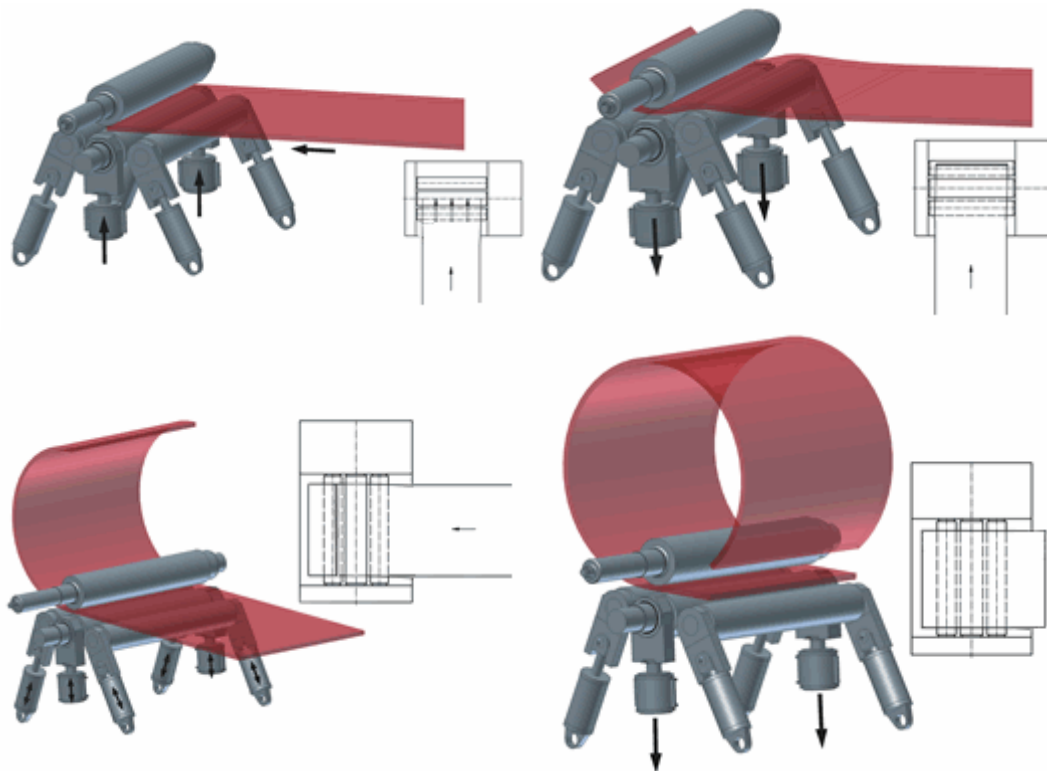
2. ZAKRUŽOVÁNÍ

2.1 TECHNOLOGIE ZAKRUŽOVÁNÍ [1], [2], [3], [6]

Zakružování je technologie, při které dochází k trvalé deformaci materiálu vlivem ohybové síly od ohybového momentu, tím se dosáhne požadovaná změna tvaru bez podstatné změny průřezu. Patří tedy do oblasti plošného tváření.

Při zakružování se z rovinného plechového přístřihu (polotovaru) plynulým a postupným ohýbáním mezi válci získají válcové nebo kuželové výrobky, např. válcové nebo kuželové pláště kotlů, nádrží, tlakových nádob, části potrubí ve vzduchotechnickém zařízení apod. V případě použití profilovaných tvarovacích kotoučů místo hladkých válců, je možné zakružovat i profilové tyčové polotovary do tvarů kruhů, oblouků, šroubovic a spirál. Pomocí těchto tvarovacích kotoučů lze vyrábět např. ráfky kol motocyklů, jízdních kol nebo zakružovat příruby z profilových tyčí apod.

Během zakružování se místo ohybu posouvá plynule po délce původně rozvinutého polotovaru, přičemž zakřivení se zvětšuje postupně na žádanou hodnotu. Ocelové polotovary do tloušťky 40 mm se zakružují za studena, tlustší plechy pouze za tepla. Při zakružování je nutné přihlížet ke směru vláken polotovaru. Průběh zakružování plechového přístřihu na symetrické čtyřválcové zakružovačce je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2 Zakružování plechu na čtyřválcové zakružovačce, upraveno dle [22]

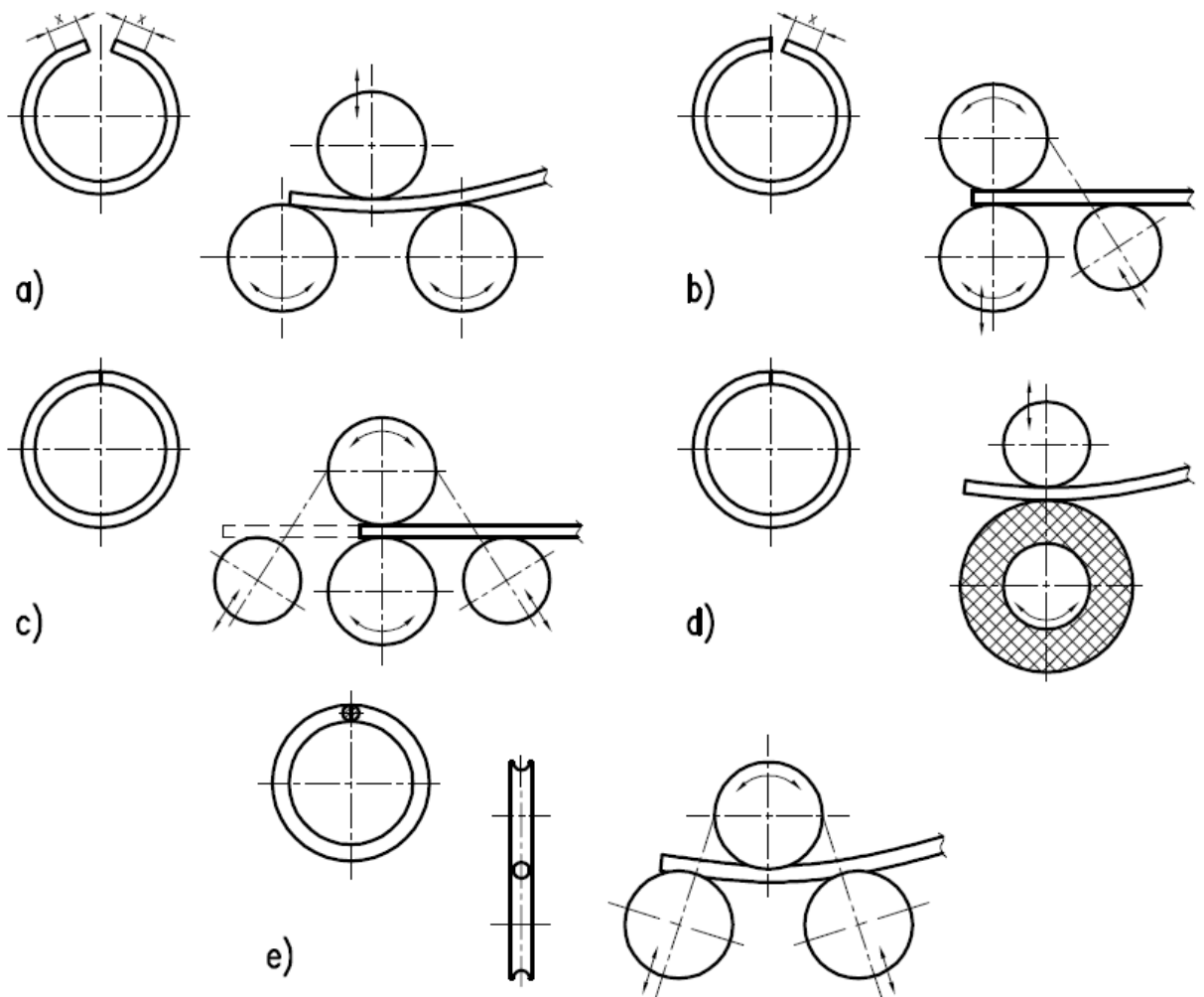
2.2. ZAKRUŽOVAČKY [1], [2], [3], [6]

Stroje na kterých se zakružování provádí se nazývají zakružovačky. Jejich hlavními funkčními nástroji jsou sestavy válců nebo profilových kotoučů. Mohou být strojní nebo ruční. Podle vzájemné polohy přítlačných a podpěrných válců se rozdělují na symetrické a nesymetrické. Další dělení zakružovaček je podle počtů válců. Zakroužení potřebného

poloměru se dosáhne posouváním některého válce, dle typu zakružovačky. Tento postup se opakuje do požadovaného poloměru zakroužení.

2.2.1. Základní typy zakružovaček [1], [2], [4]

Na obr. 3a je znázorněno schéma tříválcové symetrické zakružovačky při zakružování pásu plechu. Nevýhodou tohoto uspořádání válců je, že na začátku a před ukončením zakružování se plech nestýká s pracovním válcem, vzniknou tak nezakroužené části x. Při použití tříválcové avšak nesymetrické zakružovačky vznikne tato nezakroužená část plechu pouze před ukončením operace a nedeformovaná zůstane pouze jedna strana, obr. 3b. Při použití čtyřválcové symetrické zakružovačky dojde k zakroužení celého obvodu, obr. 3c. Dvouválcovou zakružovačkou, kde jeden z válců je potažen plastickým materiálem např. polyuretanem je zakroužen celý obvod obvykle na jednu operaci, obr. 3d. Zakružování profilů se obvykle provádí na tříválcových zakružovačkách, uspořádání válců je stejné jako při zakružování plechu obr. 3a s posuvným horním válcem, kdy vzniknou nezakroužené části. Nebo dle schéma na obr. 3e, kdy dojde k zakroužení celého obvodu profilu. Jednotlivé typy strojů a práce na nich jsou popsány podrobněji v kapitole 3.

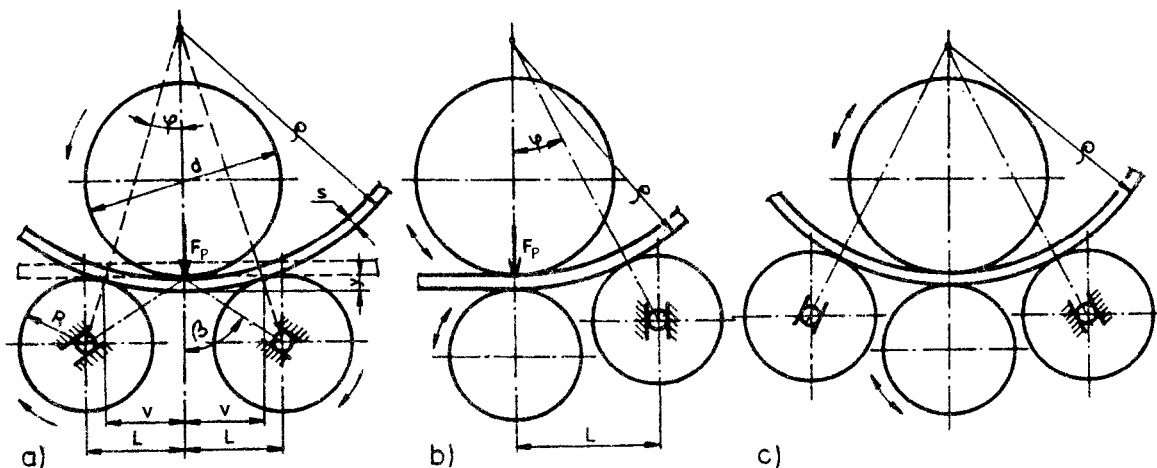


Obr. 3 Schéma základních zakružovaček, upraveno dle [1], [4]

2.3. ZÁKLADNÍ PARAMETRY ZAKRUŽOVÁNÍ

2.3.1. Technologické parametry [3], [6]

Proces zakružování je proveden na příkladu tříválcové symetrické zakružovačky, jejíž geometrie je zobrazena na obr. 4a spolu se znázorněním stejného principu na jiných zařízeních obr. 4b, 4c. V tomto principu zakružování se v podstatě jedná o ohýbání nosníku na dvou podporách, jenž je uprostřed zatěžován silou.



Obr. 4 Geometrie technologických parametrů, upraveno dle [6]

Požadované zakřivení polotovaru můžeme dosáhnout postupně přestavováním horního válce. Pro tuto tříválcovou zakružovačku tudíž vyplývá, že poloměr zakružování ρ (pod zatížením) je dán vztahem:

$$\rho = \frac{L^2 - y^2}{2 \cdot y} - R \quad (2.1)$$

kde: ρ - poloměr zakružování [mm]
 L - vzdálenost os válců [mm]
 R - poloměr spodních válců [mm]
 y - ponoření horního válce mezi válce podpěrné [mm], je dáno vztahem:

$$y = A - \sqrt{A^2 - L^2} \quad (2.2)$$

kde: L - vzdálenost os válců [mm]
 A - poloměr mezi osou spodního válce a osou ohybu [mm], dán vztahem:

$$A = R + \rho \quad (2.3)$$

kde: R - poloměr spodních válců [mm]
 ρ - poloměr zakružování [mm]

Při zakružování platí podobné vztahy pružně - plastické deformace jako u ohýbání, výsledný poloměr zakřivení po odpružení bude roven:

$$\frac{1}{\rho_p} = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_e} \quad (2.4)$$

kde: ρ - poloměr zakřivení daný polohou válců [mm]
 ρ_p – konečný poloměr zakřivení dílce (plastické zakřivení) [mm]
 ρ_e – poloměr pružného (elastického) zakřivení [mm], dle vztahu:

$$\rho_e = \frac{E \cdot s}{2 \cdot R_e} \quad (2.5)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu zakružovaného materiálu [MPa]
 s – tloušťka zakružovaného materiálu [mm]
 R_e – napětí na mezi kluzu zakružovaného materiálu [MPa]

Konečný poloměr zakřivení s přihlédnutím ke zpevnění materiálu lze vypočítat ze vztahu:

$$\rho_p = \frac{\rho}{1 - \frac{3}{2+n} \cdot \frac{C}{E} \cdot \left(\frac{2 \cdot \rho}{s}\right)^{1-n}} \quad (2.6)$$

kde: ρ - poloměr zakřivení daný polohou válců [mm]
 E – modul pružnosti v tahu zakružovaného materiálu [MPa]
 s – tloušťka zakružovaného materiálu [mm]
 n – exponent deformačního zpevnění [-]
 C – materiálová konstanta [-]

Konstanty n , C se dají odvodit ze zkoušek zjišťování deformačního odporu materiálu.

Tyto konstanty n , C jsou potřebné i pro určení ohybového momentu a přítláčné síly ohybového válce.

Ohybový moment M_O :

$$M_O = C \cdot \frac{b \cdot s^{2+n}}{(2+n) \cdot 2^{1+n} \cdot \rho^n} \quad (2.7)$$

kde: M_O – ohybový moment [MPa]
 C – materiálová konstanta [-]
 b – šířka zakružovaného plechu [mm]
 s – tloušťka zakružovaného materiálu [mm]
 n – exponent deformačního zpevnění [-]
 ρ - poloměr zakřivení daný polohou válců [mm]

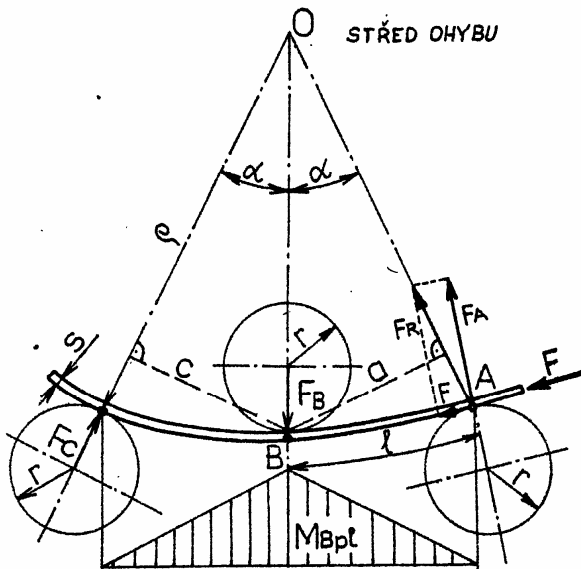
Přítláčná síla ohybového válce F :

$$F_p = \frac{b \cdot s^{2+n}}{(2+n) \cdot L \cdot (2 \cdot \rho)^n} \quad (2.8)$$

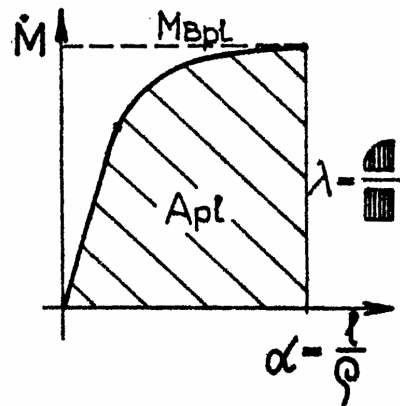
kde: F_p – přítláčná síla ohybového válce [N]
 b – šířka zakružovaného plechu [mm]
 s – tloušťka zakružovaného materiálu [mm]
 n – exponent deformačního zpevnění [-]
 ρ - poloměr zakřivení daný polohou válců [mm]
 L - vzdálenost os válců [mm]

2.3.2 Silové parametry [4]

Vztahy pro výpočty silového působení při zakružování, jsou opět uvedeny pro případ tříválcové symetrické zakružovačky s nepoháněnými válci silou F (obr. 5).



Obr.5 Silové parametry tříválcové zakružovačky [4]



Obr.6 Součinitel plnosti [4]

Čistě plastický ohybový moment širokého pásu v bodě B (obr. 5) je dán vztahem:

$$M_{Bpl} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b \cdot s^2}{4} \cdot \sigma_K \quad (2.9)$$

kde: M_{Bpl} – plastický ohybový moment [Nm]
 b – šířka zakružovaného plechu [mm]
 s – tloušťka zakružovaného materiálu [mm]
 σ_K – okamžitá hodnota meze kluzu [MPa]

Velikost tohoto momentu je také rovna momentu síly F_C a F_R k bodu B. Za předpokladu, že se jedná o symetrickou zakružovačku a tedy:

$$a = c = \rho \cdot \sin \alpha \quad (2.10)$$

kde: a, c – kolmé vzdálenosti k bodu B, viz. obr.5 [mm]
 ρ – poloměr zakřivení daný polohou válců [mm]
 α – poloviční úhel svírající osy válců se středem ohybu, viz. obr.5 [°]

$$F_C = F_R = \frac{M_{Bpl}}{\rho \cdot \sin \alpha} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b \cdot s^2}{4 \cdot \rho \cdot \sin \alpha} \cdot \sigma_K \quad (2.11)$$

kde: F_C – síla na levém spodním válci [N]
 F_R – výslednice sil na pravém spodním válci [N]
 M_{Bpl} – plastický ohybový moment [Nm]
 ρ – poloměr zakřivení daný polohou válců [mm]

α - poloviční úhel svírající osy válců se středem ohybu, viz. obr.5 [°]

b – šířka zakružovaného plechu [mm]

s – tloušťka zakružovaného materiálu [mm]

σ_K – okamžitá hodnota meze kluzu [MPa]

Síla F_B vyplývá z geometrického součtu reakcí F_C a F_R , kdy $F_C = F_R$, pak tedy:

$$F_B = 2 \cdot F_R \cdot \cos \alpha \quad (2.12)$$

kde: F_B – síla na horním válci [N]

F_R – výslednice sil na pravém spodním válci [N]

α - poloviční úhel svírající osy válců se středem ohybu, viz. obr.5 [°]

Z podmínky rovnováhy práce při posunování pásu o délku l (2.13) získáme vztah pro tlačnou sílu F_T (2.14).

$$F \cdot l = A_{pl} = \int_0^\alpha M \cdot d\alpha = \lambda \cdot M_{Bpl} \cdot \hat{\alpha} = \lambda \cdot M_{Bpl} \cdot \frac{l}{\rho} \quad (2.13)$$

kde: F – tlačná síla [N]

l – délka posunu pásu [mm]

A_{pl} – práce určená plochou diagramu, viz. obr.6 [J]

M – ohybový moment [Nm]

α - poloviční úhel svírající osy válců se středem ohybu, viz. obr.5 [°]

λ - součinitel plnosti, obr. 6 [-]

M_{Bpl} – plastický ohybový moment [Nm]

ρ - poloměr zakřivení daný polohou válců [mm]

$$F = \frac{\lambda \cdot M_{Bpl}}{\rho} = \frac{\lambda}{\rho} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b \cdot s^2}{4} \cdot \sigma_K \quad (2.14)$$

kde: F – tlačná síla [N]

λ - součinitel plnosti, obr. 6 [-]

M_{Bpl} – plastický ohybový moment [Nm]

ρ - poloměr zakřivení daný polohou válců [mm]

b – šířka zakružovaného plechu [mm]

s – tloušťka zakružovaného materiálu [mm]

σ_K – okamžitá hodnota meze kluzu [MPa]

Síla vyvolaná pravým spodním válcem vyplývá z geometrické podmínky:

$$F_A = \sqrt{F_R^2 - F^2} \quad (2.15)$$

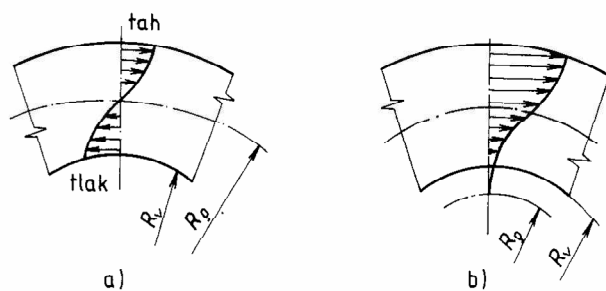
kde: F_A – síla na pravém spodním válci [N]

F_R – výslednice sil na pravém spodním válci [N]

F – tlačná síla [N]

2.3.3. Rozložení napětí při zakružování [5]

V průběhu zakružování vyvolává ohybový moment ve vnějších vláknech ohýbaného průřezu tahové napětí a ve vnitřních tlakové. Tah přechází plynule v tlak (obr.7a). Požadované přetvoření vznikne tak, že vnější vlákna se trvale natáhnou a vnitřní pěchují. Na této pěchované straně nesmí však dojít ke zborcení zakružovaného průřezu, tedy k vychýlení z požadované roviny zakružování. Toto borcení na vnitřním ohybu lze snížit vyloučením vlivu tlakových napětí působením tahového předpětí (obr. 7b).



Obr. 7 Rozložení napětí při zakružování, upraveno dle [5]

3. STROJE A NÁSTROJE PRO ZAKRUŽOVÁNÍ

Základní popis zakružovaček byl proveden v podkapitole 2.2, zde jsou postupně uvedeny jednotlivé zařízení podle zakružovaného polotovaru.

3.1 ZAŘÍZENÍ PRO ZAKRUŽOVÁNÍ PLECHŮ

Strojů pro zakružování plechů je na trhu velké množství od nejmenších ručních zakružovaček, přes nejčastěji využívané elektromotorové stroje až po největší a nejmohutnější zařízení využívajících hydraulických pohonů.

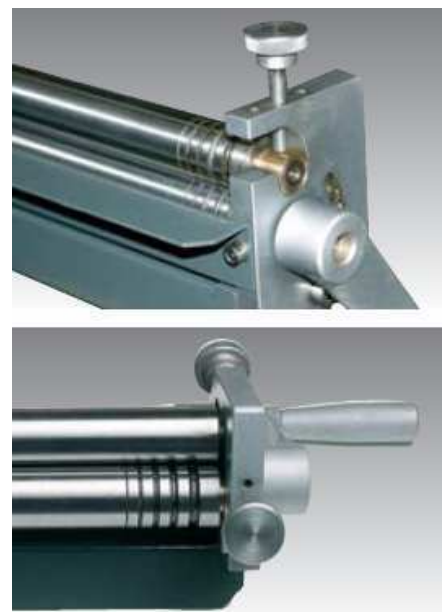
3.1.1 Ruční zakružovačky plechů [10], [18]

Pro malosériovou nebo kusovou výrobu tvarově jednoduchých výlisků ze slabých plechů především v řemeslných dílnách, ale i pro průmyslové využití jsou určeny ruční zakružovačky. Většina ručních zakružovaček je provedena jako tříválcová nesymetrická. Tloušťky tvářených polotovarů jsou zhruba do 2,5mm v závislosti na zakružovaném materiálu, pracovní délky válců od 300mm do 2000mm. Hodnoty minimálních poloměrů zakružení záleží vždy na průměru horního válce jednotlivých zařízení.

Na obr. 8a. je zobrazena jedna z nejmenších zakružovaček, jedná se o jednoduché zařízení, které se umístí do dílenského svěráku. Broušené a tepelně opracované ocelové válce jsou uloženy v samomazných ložiskách obr. 8b. Pomocí drážek na dvou válcích je možné zakružit i dráty (trubky) o průměrech 1 – 2 – 3 – 4 – 5mm, obr. 8b.



Obr. 8a Ruční (svěráková) zakružovačka [18]



Obr. 8b Detaily zakružovačky [18]

Použitím větších zařízení je možné zakružovat širší plechů až do 2000mm. Jedná se o stroje tuhé konstrukce ve většině případů litinové, umístěných na stojanech (obr. 9), v menším provedení jsou nabízeny i bez stojanů (obr. 10).



Obr. 9 Stojanová ruční zakružovačka [10]



Obr. 10 Zakružovačka bez stojanu [18]

V některých případech nabízející výrobci možnost výběru jak tepelně zpracovaných tak i nezpracovaných válců v závislosti na materiálu, který se bude zakružovat. Výroba kuželů je možná vyosením zadního válce. Výklopný horní válec umožňují snadné odebrání hotového dílce (obr. 11).



Obr. 11 Výklopný horní válec [18]

Výhody: jednoduchá konstrukce, snadná údržba, pořizovací náklady, ekonomický provoz
 Nevýhody: omezené parametry, nižší přesnost

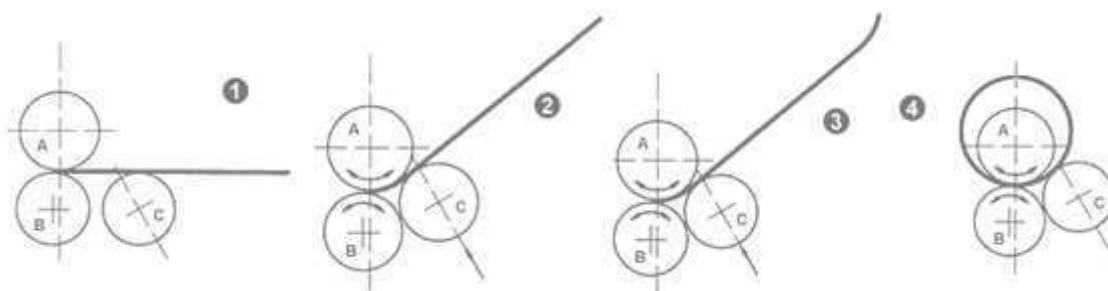
3.1.2 Elektromotorové zakružovačky plechů [7], [10],[15],[20]

Konstrukce strojů, které využívají elektromotorických pohonů vycházejí ze stojanových ručních zakružovaček, kde je lidská síla nahrazena ve většině případů třífázovým motorem. Z pravidla se opět jedná o tříválcové nesymetrické zakružovací stroje. V základním provedení je takto ovládána pouze dvojice rotujících válců, ručně ovládaný zůstává zadní válec (obr. 12a). Zařízení s vyššími parametry využívají elektrického pohonu i pro ovládání zadního válce (obr. 12b). Tento pohon v kombinaci s digitálním ukazatelem nebo mechanickým počítadlem polohy válce vytváří dobré podmínky pro hromadnou či sériovou výrobu.



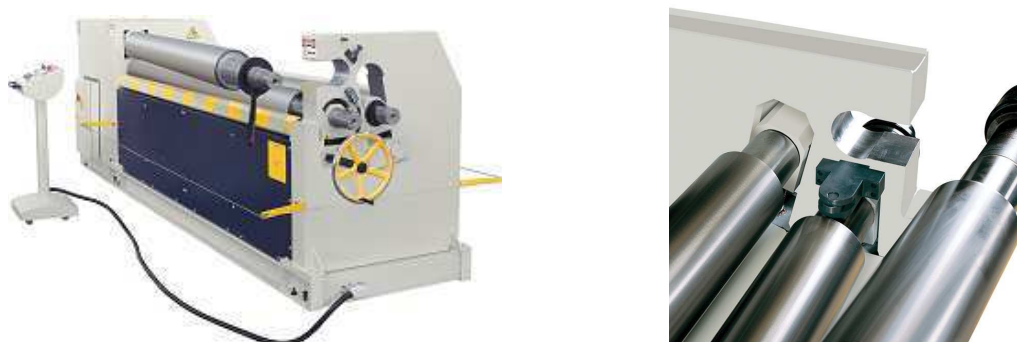
Obr. 12 Motorové zakružovačky s ručně a motoricky ovládaným zadním válcem [10]

Elektromotorický pohon válců se využívá do šíře plechů 3000mm a tloušťky 10mm. Jak bylo uvedeno v kapitole 2.2.1. při asymetrickém uspořádání tří válců nedojde k zakružení plechu před ukončením operace (obr. 3b). Je tedy nutné vytvořit na konci plechu předohyb. Tento ohyb je možné vytvořit na jiném zařízení, např. na lisu, nebo pomocí pohyblivého zadního válce. Po ohnutí konce se plech otočí a dojde tak k zakružení celého průřezu, tento postup je zobrazen na obr. 14.

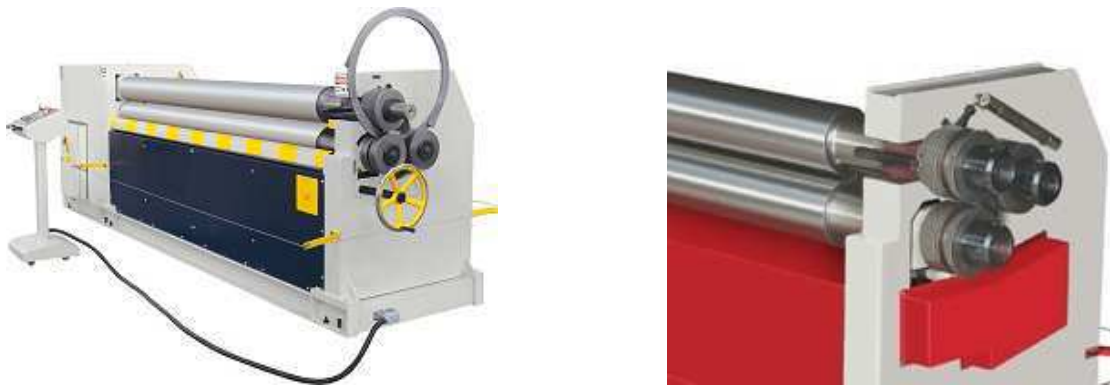


Obr. 14 Vytvoření předohybu na tříválcové asymetrické zakružovačce [20]

Ovládání těchto zařízení je umožněno pomocí nožních pedálů, ruce obsluhy tak zůstanou volné na manipulaci s plechem. Vyjmutí zakruženého plechu umožňuje, stejně jako u ručních zakružovaček, výklopný horní válec uložený v kluzném ložisku (obr. 15). Při výrobě kuželů je nutné počítat s tím, pokud výrobce neuvádí jinak, že parametry stroje, jako je maximální tloušťka materiálu jsou pro kužely přibližně 50%. Jako nadstandardní výbavu nabízejí někteří výrobci umístění profilových kotoučů na konce válců, v případě potřeby tak vznikne vysoce univerzální zakružovací stroj (obr. 16). Nabízeny jsou opět možnosti broušených či tepelně zpracovaných válců.



Obr. 15 Výklopný horní válec [7], [15]



Obr. 16 Přídavné profilové kotouče [7], [15]

Výhody: nenáročná údržba, pořizovací náklady, jednoduché ovládání, sériová výroba
 Nevýhody: nižší parametry v porovnání s hydraulickými

3.1.3 Hydraulické zakružovačky plechů [7], [10], [11], [14], [20], [23]

Ve všech případech, kde svojí konstrukcí nestačí stroje poháněné elektromotorickým pohonem přicházejí na řadu stroje, který mají pohon hydraulický. Jedná se o zakružovačky nejvyšších parametrů o vysoké tuhosti určených pro ty nejtěžší operace. Konstrukce navazuje na nejvýkonnější elektromotorické stroje, avšak v této kategorii se objevují nejen tříválcové, ale i čtyřválcové a dvouválcové zakružovačky. Parametry zařízení jsou od maximální délky plechu 1000mm do 6000mm a tloušťky plechů od 2mm až do 200mm. Ve speciálních případech mohou být parametry ještě vyšší. V případě dvouválcové zakružovačky, která má rozdílnou konstrukci, je hydraulický pohon potřebný i pro plechy nižších parametrů. Tloušťky jsou od 0,2mm přibližně do 12mm a maximální šíře plechů do 2000mm.

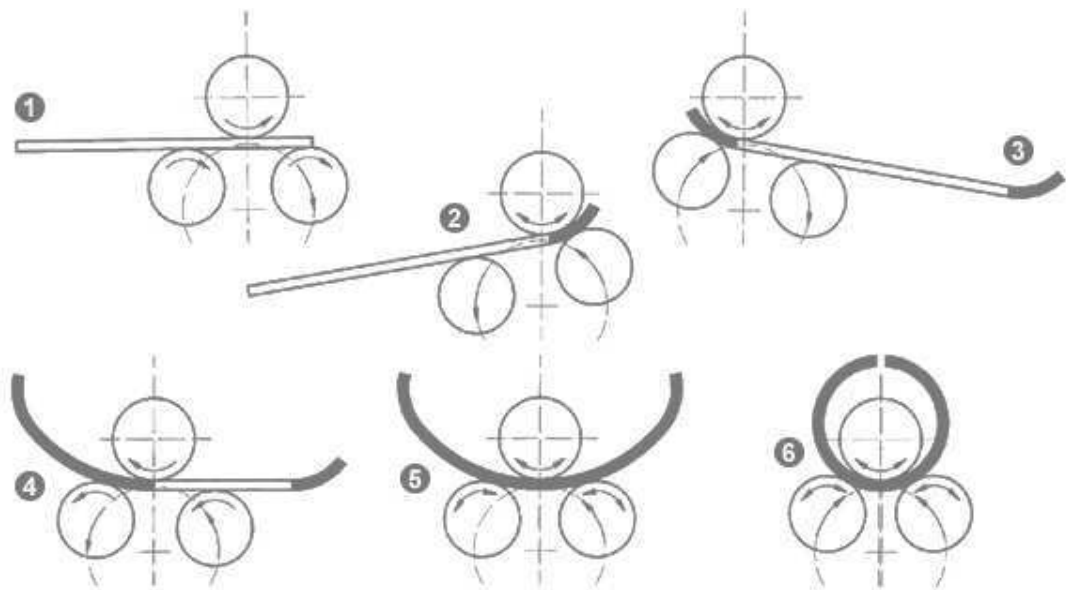
Tříválcové stroje

Princip práce na těchto strojích může být rozdílný vzhledem ke konstrukci stroje. Pro zařízení nižších parametrů a zároveň tedy bližších elektromotorovým pohonům se využívá stejného principu viz. kapitola 3.1.2, obr. 14. Na zakružovačkách, které jsou určeny pro silné, těžké plechy se uplatňuje princip, kde se na rozdíl od předešlého principu nemusí zakružovaný materiál ze stroje vytahovat a otáčet. Konstrukce stroje však vyžaduje stejný ústrojí zadního válce i pro přední válec. Tento princip je znázorněn na obr. 17.

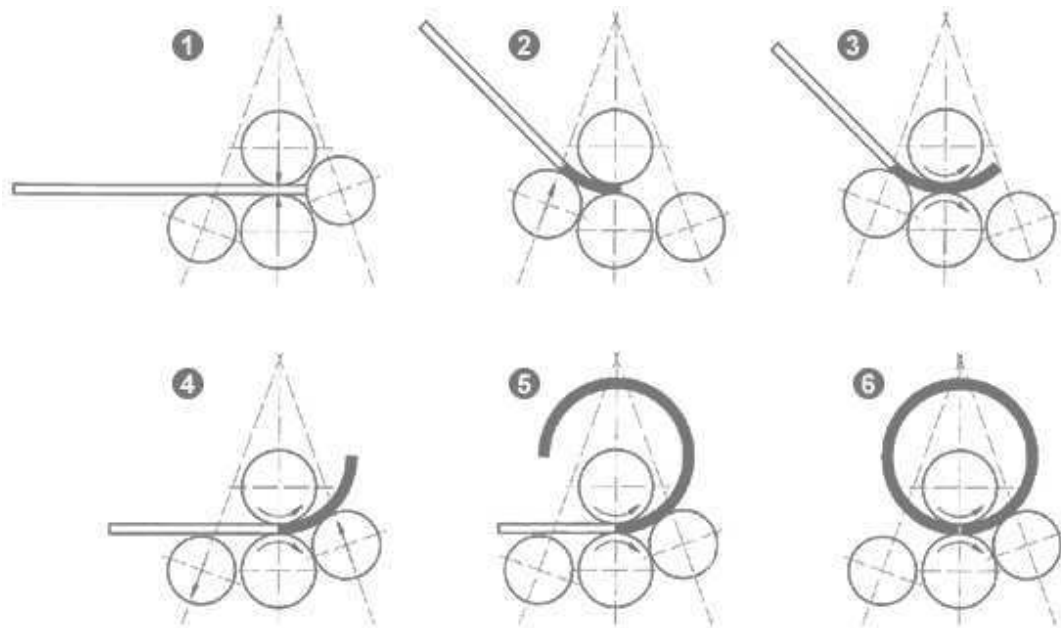
Čtyřválcové stroje

Uložení čtyř válců dovoluje zakroužit celý obvod polotovaru bez nutnosti otáčení či přesunu. Princip je v posouvání předního a zadního válce během práce. Schéma principu je na obr. 18.

Ovládání těchto zařízení je rozdílné, u nejmenších strojů postačuje ovládání, jako u zakružovaček elektromotorických, tedy nožní ovládací pedály a manipulace s plechem je prováděna ručně. U větších strojů, je manipulace s materiálem ručně nemožná a přicházejí tak na řadu různé jeřáby, tratě a další přípravky, viz. kapitola 3.4. Ovládání pak probíhá pomocí ovládacích panelů, obr. 19. U většiny zařízení jsou standardní digitálně řízené polohy minimálně dvou válců, obr. 20.



Obr. 17 Vytvoření předohybu bez nutnosti otáčení polotovaru [20]



Obr. 18 Princip práce na čtyřválcové zakružovačce [20]



Obr. 19 Ovládací panely [11]



Obr. 20 Detail panelu s digitálně řízenou polohou válců [11]

Odebrání hotového výrobku ze stroje umožňuje výklopné uložení a přizvednutí horního válce. Výklopné uložení je ovládáno hydraulicky, samotný válec je pak uložen ve sférickém valivém ložisku, obr. 20. Výroba kuželů není standardně možná, ale výrobci nabízejí tuto možnost jako zvláštní příslušenství. Výroba kuželů na je na těchto strojích poněkud složitější oproti ostatním, polohy jednotlivých válců na čtyřválcovém stroji jsou na schématu obr. 21.



Obr. 20 Výklopné pouzdro válce s ložiskem [11]



Obr. 21 Zakružování kuželů na čtyřválcové zakružovačce [10], [14]

Výhody: vysoké zakružovací parametry strojů, přesnost, podmínky pro sériovou výrobu
Nevýhody: nejnáročnější údržba, pořizovací i provozní náklady, ekologická zátěž

Dvouválcová zakružovačka plechů

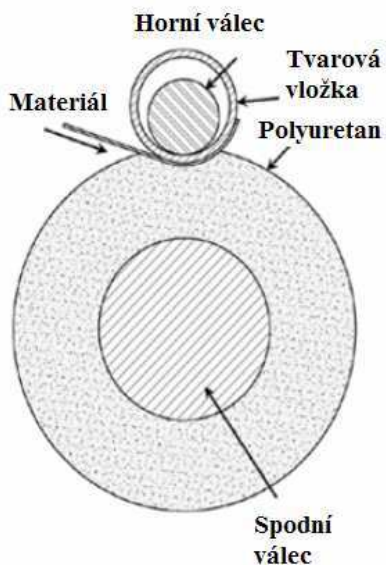
Nejmladší ze všech zařízení pro zakružování plechů je zakružovačka se dvěma válci, obr. 22. V některé literatuře a některými výrobci uváděna také jako rychlo zakružovačka nebo zakružovačka pro tenké plechy.

Povrch spodního válce je potažen plastickým materiálem obr. 24 (nejčastěji polyuretanem), do něj je namáčknut horní válec, který tak způsobí deformaci plechu. Posouvání spodního válce umožňuje hydraulické zařízení, obr. 23. Takto dojde k plynulé deformaci a zakružení na jediný průběh strojem. Polyuretanový válec je velice šetrný k zakružovanému materiálu a nedochází tak k jeho poškrábání či jiným mechanickým poruchám oproti ocelovým válcům. Budoucí tvar se ovlivňuje jednak velikostí přitlačné síly a

také změnou průměru horního válce. Nebo nasouváním tvarových vložek. Použitím vhodných tvarových vložek je možné zakružovat i jiné tvary než kruhové, což je jinou technologií, bez použití počítačového řízení, velmi obtížné. Zakružovačka je ze všech strojů nejvhodnější pro tváření tenkých plechů a to z důvodu, že zde nemůže dojít k tzv. proboření jako např. při zakružování tenkých plechů na tříválcové zakružovačce. Je možné pracovat s tloušťkami plechů již od 0,2mm do 6mm (v některých případech až do 12mm). Maximální šíře plechů je až 2000mm.



Obr. 22 Dvouválcová zakružovačka [20]



Obr. 23 Schéma dvouválcové zakružovačky [23]



Obr. 24 Detail válců [23]

Ovládání dvouválcových zakružovaček je stejné jako u předešlých strojů, vyjmutí výrobku ze stroje opět pomocí výklopného pouzdra horního válce. Tyto zařízení jsou svými

parametry vhodné pro úplnou automatizaci celého výrobního procesu. Na obr. 25 je ukázka takového zařízení, vlevo se pomocí zvedacího zařízení přemístí plechový přístřih ze zásobníku před válce, kam je pomocí pneumatického zařízení přiveden. Po zakružení je zakroužený plech vyveden mimo pracovní válce a pokračuje dále na další zpracování.



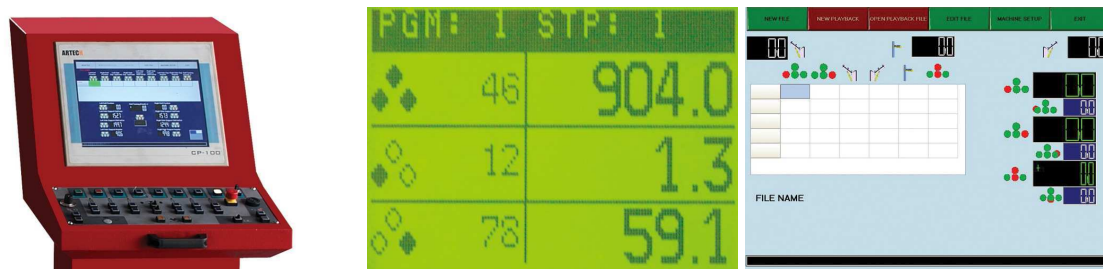
Obr. 25 Automatizované zařízení s dvouválcovou zakružovačkou [23]

Výhody: přesnost a rychlost zakružení, snadné zapojení do automatické výroby
 Nevýhody: vysoké pořizovací náklady, omezené parametry, údržba stroje

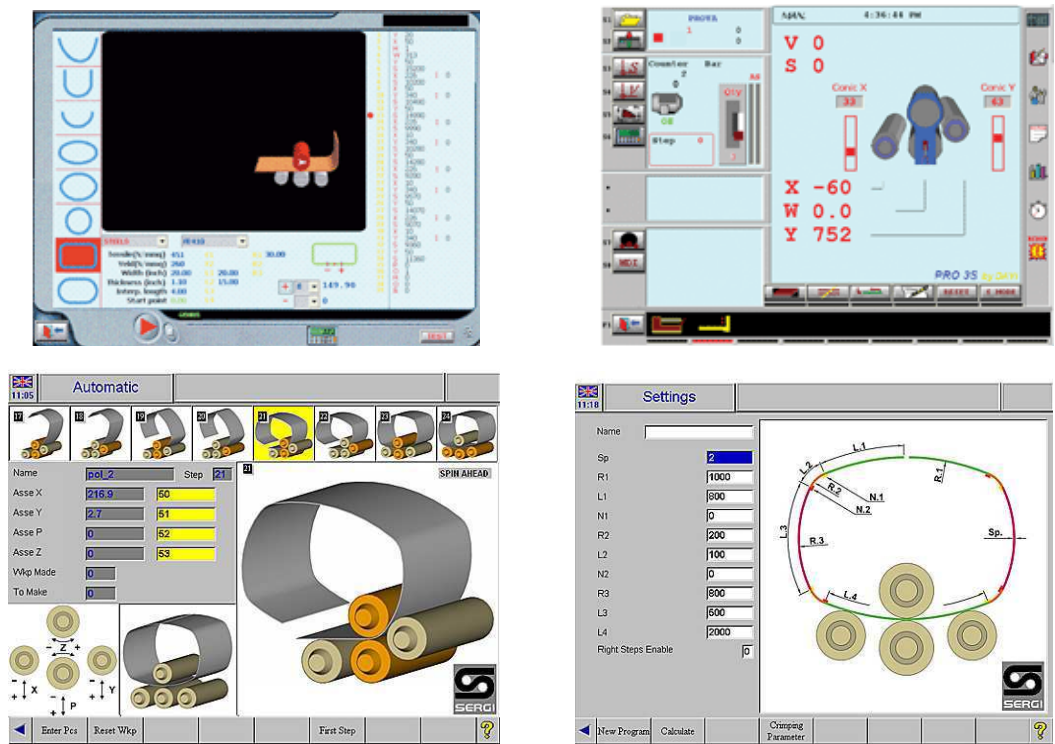
3.1.4. Řízení pomocí CNC [7], [11]

Nástupem informačních technologií do oblasti tváření nemohla uniknout ani oblast zakružování. Počítačové řízení operací dává úplně nový rozměr pro přesnost, ale především pro nové možnosti zakružování jiných tvarů než kruhových. Za nejzákladnější model můžeme považovat řízení poloh válců pomocí ovládacích panelů viz. 3.1.3. obr. 19, 20. Na obr. 26 je ukázka starší i novější verze základního NC řízení umístěném na ovládacích panelech.

Nejnovější systémy využívající systémy CNC umožňující naprogramovat výrobní operace, nasimulovat průběhy a předejít tak chybám. Ukázky z obrazovek těchto systémů jsou na obr. 27. Na obr. 28 potom ukázky tvarů, které je možné zakružovat.



Obr. 26 Řízení zakružování pomocí NC [7]



Obr. 27 CNC řízení zakružování [11]



Obr. 28 Tvary zakroužené pomocí CNC [11]

3.2 ZAŘÍZENÍ PRO ZAKRUŽOVÁNÍ PROFILŮ

Stroje na zakružování profilů jsou rozděleny podobně jako zařízení pro zpracování plechů. Poháněny jsou ručně, elektromotoricky a hydraulicky. Prakticky všechny zařízení

jsou vyráběny jako tříválcové. Vhodným použitím zakružujících válců je možné zakružít v podstatě jakýkoliv profil, viz. kapitola 4.2.

3.2.1 Ruční zakružovačky profilů [10]

V porovnání s ručními zakružovačkami plechů zastávají mnohem menší část na trhu. Uplatňují se především v řemeslných dílnách. Příklad takové tříválcové symetrické zakružovačky je na obr. 29.



Obr. 29 Ruční zakružovačka profilů [10]

Výhody: jednoduchá konstrukce, údržba, pořizovací náklady

Nevýhody: nízké parametry a přesnost

3.2.2 Elektromotorické zakružovačky profilů [10], [17]

Velké silové působení při tváření profilů neumožňuje tak velké zastoupení elektromotorických zakružovaček, jako to je v případě zakružovaček plechů. Konstrukce využívá tři asymetrických válců, kdy pohyblivý je většinou horní válec. Válec se posunuje ručně pomocí šroubu, příklad takové zakružovačky je na obr. 30.


















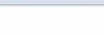





Obr. 30 Zakružovačka profilu s elektromotorickým pohonem [10]

Vzhledem ke konstrukci stroje, viz. kapitola 2.2.1, obr. 3a, nedojde k zakružení celého profilu a proto je nutné oba konce předechnout na jiném zařízení, popřípadě při kusové výrobě

tyto konce odstranit. Výrobci nabízejí velké množství výměnných válců pro standardizované profily, možnost tepelného zpracování či povrchové úpravy. Spouštění hnacích válců je spínačem na kostře stroje nebo nožním pedálem. Některé zařízení je možné přestavět i do horizontální polohy, obr. 30. Parametry profilů z katalogového listu jedné elektromotorové zakružovačky jsou na obr. 31, včetně příkladů zakružování.

Příklady ohybu profilů

Profil	Rozměr	Min. radius	Profil	Rozměr	Min. radius	Profil	Rozměr	Min. radius
	20 × 3	90		30 × 4	1 000		G 3/8"	130
	30 × 6	90					G 3/4"	220
	50 × 8	200					G 5/4"	1500
	30 × 6	90		40 × 40 × 5	400		20 × 1,5	150
	60 × 10	200					42 × 2	400
	10 × 10	90		30 × 4	300		15 × 15 × 1,5	150
	15 × 15	100					20 × 20 × 1,5	200
	20 × 20	200		40 × 20 × 4	300		25 × 25 × 3	300
	Ø 10	90					20 × 10	250
	Ø 16	100		40 × 20 × 4	400		30 × 15	400
	Ø 25	300					40 × 20	800
	35 × 3	200		40 × 20 × 4	400		20 × 10	250
							30 × 15	400
							50 × 20	700

Příklady zakružování



Obr. 31 Parametry profilů na zakružovačce profilů [17]

Výhody: snadná údržba, pořizovací náklady, ukotvení strojů

Nevýhody: omezené parametry

3.2.3 Hydraulické zakružovačky profilů [7], [10]

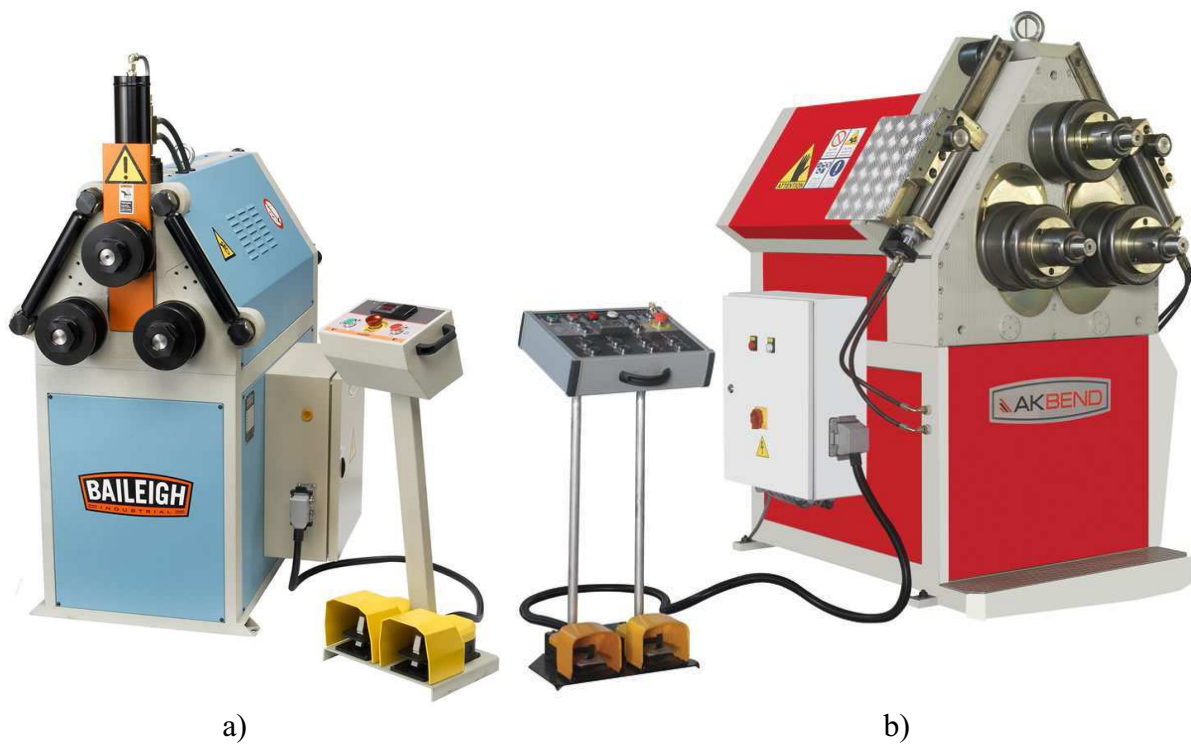
Zařízení s využitím hydraulických pohonů navazuje na nejvýkonnější elektromotorické zařízení, kde již nestačí uchycení horního válce pomocí šroubu. Tento šroub je nahrazen hydraulickým zařízením. Konstrukce i ovládání stroje zůstávají stejné, obr. 32a.

Při zakružování rozměrnějších profilů je vhodnější použít výkonnějšího stroje s rozdílným uchycením válců, které umožňují předohyb obou konců přímo na zakružovacím stroji. Princip je podobný, jako při zakružování plechů, viz. obr. 17. Ovládány jsou tak oba spodní válce, horní může zůstat stabilně upevněný, obr. 32b.

Tváření profilů velkých rozměrů se vzhledem k působení gravitačních sil na stroj využívá horizontálně uložených válců. Takto je možné zakružovat profily prakticky neomezených rozměrů. Příklad takové zakružovačky, která patří mezi největší stroje je na obr. 33.

Výhody: prakticky pro všechny parametry, ovládání, podmínky pro sériovou výrobu

Nevýhody: náročná údržba, nákladnější provoz, pořizovací náklady, ekologická zátěž



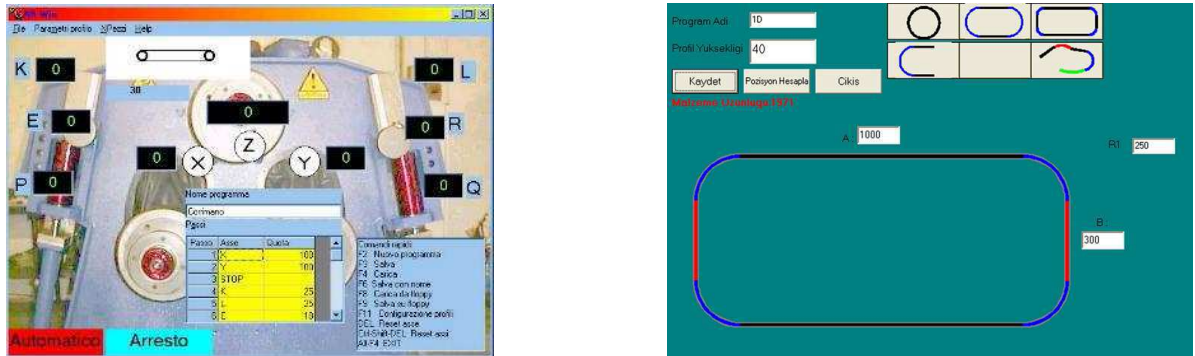
Obr. 32 Zakružovačky profilů s rozdílným hydraulickým ovládním válců [7], [10]



Obr. 33 Zakružovačka profilů s horizontálním uložením [7]

3.2.4 Numerické řízení zakružovaček profilů [12], [18]

Základním avšak stále nepoužívanějším ovládním těchto strojů zůstávají ovládací panely s elektronicky řízeným posunem jednotlivých válců. Na ně navazuje jednoduché NC řízení, obr. 34. Plné CNC řízení je možné, avšak neobjevuje se v této kategorii příliš často.



Obr. 34 Řízení profilových zakružovaček pomocí NC, CNC řízení [7], [14]

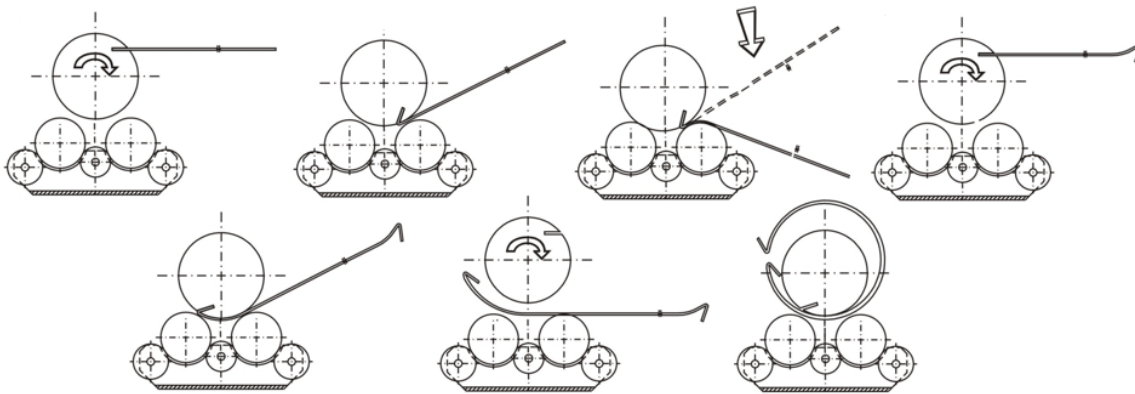
3.3 SPECIÁLNÍ ZAKRUŽOVACÍ STROJE [10], [12], [13], [16], [22]

V případech, kde svou konstrukcí nevyhovují či nepostačují sériově vyráběné stroje nebo jsou pro určitou výrobu málo efektivní, přicházejí na řadu stroje speciální, dle požadavků na které je takový stroj určen. Jsou to většinou jednoúčelové stroje určené pro cílenou výrobu. Často se kombinuje více výrobních operací při průchodu materiálu strojem. Důvodem pro volbu speciálního zařízení mohou také být extrémní požadavky na parametry stroje.

Příkladem takového zařízení je zakružovačka určená do klempířských dílen obr. 35, která umožňuje pomocí speciálních válců a mezioperací tvářet např. žlaby nebo okapové svody, jejichž schéma výroby je znázorněno na obr. 36.



Obr. 35 Klempířský zakružovací stroj [12]



Obr. 36 Schéma výroby okapového svodu, upraveno dle [12]

Vertikální zakružovačka plechů je další ze speciálních strojů, uplatňuje se při tváření plechů velkých poloměrů. Vertikální uložení je tak vhodnější pro manipulaci s výrobky i pro zatížení jednotlivých válců, obr. 37.



Obr. 37 Vertikální zakružovačka plechů [22] Obr. 38 Čtyřválcová zakružovačka profilů [16]

Čtyřválcová zakružovačka profilů využívá všech výhod čtyřválcového uspořádání a nabízí také možnost třírozměrného tváření, obr. 38.

Požadavkem na zakružování nadstandardních velikostí plechů nebo profilů vznikají unikátní obrovské zakružovací stroje. Na obr. 39 je příklad takové zakružovačky profilů.

Vhodným strojem pro malé mechanické dílny může kombinovaný stroj, který umožňuje stříhání, zakružování a ohraňovací operace (obr. 40).



Obr. 39 Zakružovačka nadstandardních profilů [13]



Obr. 40 Kombinovaný stroj [10]

3.4 PŘÍSLUŠENSTVÍ

Výrobci nabízejí velké množství volitelného vybavení, které umožňuje nadstandardní operace, zvyšuje parametry strojů či usnadňuje a zjednodušuje výrobu.

3.4.1 Příslušenství a vybavení zakružovaček plechů [9], [15], [22]

Možnosti, které nabízejí všichni výrobci, jako broušené, tepelně zpracované válce nebo drážky na zpracování drátů byli již uvedeny u jednotlivých strojů. Na úpravy válců navazuje i možnost zasazení profilových kotoučů na konce válců, tato možnost byla také uvedena v kapitole 3.1.2 obr. 16.

Další avšak již zcela zásadní úprava je možnost výměny hladkých válců za válce tvarované, vznikne tak vysoce efektivní nástroj pro tváření plechů během průchodu válci. Na obr. 41 jsou válce zobrazeny, ukázka výrobku pomocí těchto válců pak na obr. 52. Pomocí tvarovaných válců se také dají zakružovat např. vlnité plechy apod.



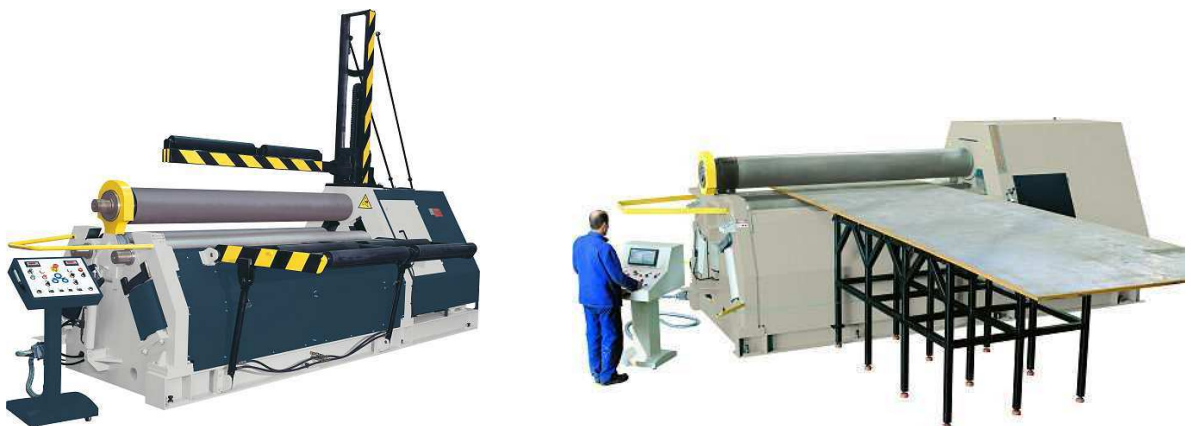
Obr. 41 Výměnné tvarované válce [22]



Obr. 42 Vedení pásu plechu [15]

Pro zakružení malých šířek plechů se používají speciální vodítka, (obr. 42), která umožňují správné vedení plechového pásu a zakružení v kolmé rovině.

Velkou část v příslušenství zabírají prostředky na manipulaci s materiálem. Pro vedení plechu mezi zakružovací válce se využívají podpěry pro vedení umístěné přímo na zakružovačce, popřípadě různé manipulační stoly, válečkové tratě (obr. 43). Pro podporu zakružovaného plechu s velkým rádiusem pak stavitelné horní podpěry materiálu (obr. 43). Vyjmutí zakruženého materiálu pomocí zvedacích zařízení, jeřábů (obr.44).



Obr. 43 Podpěry pro vedení plechu a horní podpěra [15]



Obr. 44 Zařízení pro vyjmutí hotového výrobku [15]

3.4.2. Příslušenství pro zakružování profilů [7], [17], [19]

Výměnné zakružovací profilové kotouče jsou nejčastějším příslušenstvím, které výrobci nabízejí. Nabízeny jsou buď přímo válce určené pro jeden profil, poloměr (obr. 45), nebo pro méně náročné zákazníky nastavitelné kladky, které umožňují nastavení šířky dle zakružovaného materiálu (obr. 45). Pro skladování výměnných kotoučů jsou nabízeny úložné skříně, stojany, pojízdné vozíky atd. (obr. 46).



Obr. 45 Výměnné kladky [7], [17]



Obr. 46 Pojízdný stojan [19]

Speciální příslušenství určené spíše uměleckým kovářům a jiným řemeslníkům je zobrazeno na obr. 47. Jedná se o zkrucovačku materiálu a aplikaci na vytvoření spirálového ohybu.



Obr. 47 Zkrucovačka materiálu a zařízení na spirálový ohyb [7]

3.4.3. Přístroje na měření poloměru zakružení [10], [21], [22]

Důležitou součástí výroby je kontrola rozměrů. Pro kontrolu poloměru zakružení ještě přímo mezi válci slouží několik druhů přístrojů od primitivních šablon s vyříznutým rádiem (obr. 49) přes jednoduché mechanické měřicí přístroje (obr. 48) až po nejvyspělejší elektronické měřiče (obr. 50).



Obr. 48 Mechanické měřiče vnitřního a vnějšího poloměru [10]



Obr. 49 Šablona s poloměrem [22]



Obr. 50 Elektronický měřič poloměru ohybu [21]

4. PŘÍKLADY VYRÁBĚNÝCH SOUČÁSTÍ

4.1 SOUČÁSTI VYRÁBĚNÉ Z PLECHU

Vyráběných plechových součástí je velké množství od nejmenších zakružovaných trubek až po největší poloměry zakružení, které se uplatňují např. při výrobě věží větrných elektráren, nebo různých nádrží či zásobníků vody apod.

Jako příklady jsou uvedeny:

- Bojler pro ohřev vody (obr. 51)
- Nádrž na vodu (obr. 52)
- Zásobovací nádrž (obr. 51)
- Plechové sudy (obr. 52)
- Lopata bagru (obr. 52)
- Sněžný pluh (obr. 53)
- Míchačka na beton (obr. 53)
- Zahradní nábytek (obr. 54)
- Věže větrné elektrárny (obr. 54)
- Nosná konstrukce rozhledny (obr. 54)

4.2 SOUČÁSTI VYRÁBĚNÉ Z PROFILŮ

Součásti vyráběné na profilových zakružovačkách se uplatňují v širokém spektru. Od ráfků motocyklů, jízdních kol přes moderní umění až po nosné části ve stavebnictví.

Vybrané příklady:

- Schodišťové madlo zábradlí (obr. 54)
- Zahradní nábytek (obr. 54)
- Nosná konstrukce stadionu (obr. 55)
- Vstupní přístřešek (obr. 57)
- Předmět moderního umění (obr. 57)
- Konstrukce nadchodu (obr. 58)
- Střecha multifunkční haly (obr. 55)
- Kolejnice horské dráhy (obr. 56)



Obr. 51 Bojler pro ohřev vody a zásobovací nádrž [22]



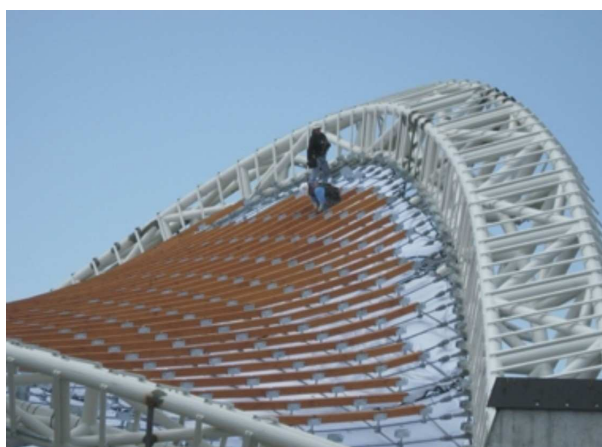
Obr. 52 Nádrž na vodu, plechové sudy a lopata bagru [22]



Obr. 53 Sněžný pluh a míchačka na beton [22]



Obr. 54 Zahradní nábytek, konstrukce větrné elektrárny a rozhledny [8], [22]



Obr. 55 Konstrukce fotbalového stadionu a víceúčelová hala [8]



Obr. 56 Horská dráha [22]



Obr. 57 Umělecký předmět a vstupní přístřešek [8], [22]



Obr. 58 Silniční nadchod [8]

5. ZÁVĚR

Technologie zakružování, jako součást plošného tváření, má velké uplatnění při výrobě součástí rotačních tvarů. Tyto součásti jsou jedinečné tím, že jinou technologií by je nebylo možné zhotovit, nebo by jejich výroba byla značně složitá a nákladná. Vznikají tak součásti o velké pevnosti a nízké hmotnosti. Uplatnění nacházejí ve všech odvětvích průmyslu.

Na trhu existuje mnoho výrobních zařízení umožňujících zakružování plechových přístřihů a také zařízení na zakružování profilů. Základní orientace v nabízených strojích, je dle pohonů, které tyto stroje využívají, dále pak především podle počtu válců a jejich uložení. K dispozici jsou stroje různých parametrů a přesností. Využití jednotlivých strojů je značně individuální dle výrobních možností a zaměření podniků. Malé řemeslné dílny si ve většině případů vystačí s ručními zakružovačkami. Běžné strojírenské podniky využívají zakružovací stroje podle toho na jaké výrobky se zaměřují a jaké operace požadují. Velké podniky, které se zaměřují na výrobu zakružených dílců využívají nejmodernějších strojů, strojů nejvyšších parametrů, přesností, v neposlední řadě využívají číslicové řízení a začleňují zakružovačky do automatizované výroby. Specializované dílny, které se zaměřují na výrobu specifických součástí (např. v práci uvedená výroba okapového žlabu) používají speciálně upravené stroje, které umožňují více operací a zefektivňují celý výrobní proces. Umělecké dílny pak pomocí speciálního příslušenství využívají zakružovaček k vytváření spirál či zkrucování materiálu.

Srovnání jednotlivých strojů mezi sebou je velmi obtížné a u technologie zakružování nelze vyhodnotit ten nejlepší stroj či způsob výroby, protože každý má svůj smysl a uplatnění. Tříválcové symetrické zakružovačky nejsou například vhodné k zakružování slabých plechů či tenkých profilů, vzhledem k uspořádání válců, které má vliv na rozložení ohybového momentu a dochází k prolomení materiálu. Vhodné jsou naopak pro tváření tlustých plechů nebo silných profilů. Pro tenké materiály jsou vhodné stroje s příznivým rozložením ohybového momentu, jako je tříválcová nesymetrická nebo čtyřválcová zakružovačka. Prolomením materiálu jsou nejvíce ohroženy slabé plechy, tenké profily mají větší tuhost danou výhodami profilových materiálů. Nemalý význam u zakružovaček má jejich schopnost nebo naopak neschopnost zakružovat materiál po celém obvodu. Dvouválcové zakružovačky tvoří samostatnou kapitolu v zakružování, jde o nejmladší stroje jejichž konstrukce je rozdílná od ostatních strojů. Uplatnění nacházejí především v tváření tenkých plechů, neboť k již zmíněnému prolomení v tomto případě dojít nemůže. Ze všech strojů se nejvíce hodí do automatizované výroby vzhledem k tomu, že oproti ostatním zařízením, kde je zakružován materiál na několik průchodů mezi válci, je u dvouválcové zakružovačky zakružen pouze na jeden průchod. Patně nejčastěji vyráběným a používaným strojem je tříválcová asymetrická zakružovačka, především pro svoji univerzálnost.

Na příkladech vyráběných součástí je vidět, že zakružování patří v dnešní době mezi často využívané technologie a svojí jedinečností má tato technologie nezastupitelný potenciál do budoucnosti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

LITERATURA

- [1] DOUBRAVSKÝ, Miroslav, et al. Technologie I. 1. vyd. Praha : SNTL, 1982. 246 s.
- [2] DVOŘÁK, Milan, et al. Technologie II. Brno : CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
- [3] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 3. vyd. Brno : CERM, 2003. 169 s. ISBN 80-214-2340-4.
- [4] FOREJT, Milan. Teorie tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [5] KŘÍŽ, Rudolf, VÁVRA, Pavel. Strojírenská příručka 8. svazek: V-tváření, W-Výrobky se sliovaných prášků, X-Výrobky z plastů, Z-Svařování součástí, Z-Protikorozní ochrana materiálu. 1. vyd. Praha : Scientia, 1998. 255 s. ISBN 80-7183-054-2.
- [6] NOVOTNÝ, Karel, MACHÁČEK, Zdeněk. Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : VUT Brno, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.

INTERNET

- [7] Akyapak : Akbend 2008 [online]. 2007 [cit. 2009-04-20]. Katalog. Text anglicky a turecky. Dostupný z WWW: <<http://www.akyapak.com.tr/eng/index.php?main=download>>.
- [8] Albina : Photo Gallery [online]. 2009 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.albinapipebending.com/gallery/?GalleryID=5>>.
- [9] Attl a spol., Továrna na stroje : Tříválcové motorové zakružovačky AZM [online]. 2006-2008 [cit. 2009-04-20]. Katalog. Dostupný z WWW: <http://www.attl.cz/dokumenty/Zakruzovacky_08k_WEB.pdf>.
- [10] Baileigh Industrial : Slip Roll & Plate Roll [online]. 2009 [cit. 2009-04-21]. Text v angličtině. Dostupný z WWW: <<http://www.bii1.com/benders/slip-rolls-plate-rolls.php>>.
- [11] Bertsch : Plate Rolls, Angle rolls [online]. 2008 [cit. 2009-04-20]. Texty v angličtině. Dostupný z WWW: <<http://www.bertschrolls.com/>>.
- [12] Bří Švarcové s.r.o. : Klempířský zakružovací stroj KZ-2 [online]. 2009 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.bri-svarc.cz/stroj01.htm>>.
- [13] Comeq, Inc. : Beam Benders [online]. 2009 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.comeq.com/ROUND/BeamBenders.htm>>.

- [14] E.G. Heller's Son, Inc. : Products and Photo Gallery [online]. 2009 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.hellerson.com/>>.
- [15] Hesse : Hesse Czech Republic [online]. 2009 [cit. 2009-04-20]. Katalog. Texty německy a česky. Dostupný z WWW: <<http://www.hesse-maschinen.com/engl/index.htm>>.
- [16] Intech s.r.o. : Zakružovačky plechů, profilů a rovnačky plechu [online]. 2007 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.intech.cz/strojirenstvi-katalog-produktu/zakruzovacky-plechu-profilu-a-rovnacky-plechu.html>>.
- [17] Metallkraft : Kovoobráběcí a tvářecí stroje 2008-09 [online]. 2005-2009 [cit. 2009-04-20]. Katalog. Dostupný z WWW: <http://www.1bow.cz/ke-stazeni/?group_id=2>.
- [18] Optimum : kovoobráběcí stroje 2008-09 [online]. 2005-2009 [cit. 2009-04-23]. Katalog. Dostupný z WWW: <http://www.1bow.cz/ke-stazeni/?group_id=2>.
- [19] Profilbiegetechnik AG : Professional Bending! [online]. 2007 [cit. 2009-04-20]. Katalog. Text v angličtině. Dostupný z WWW: <http://en.pbt.ch/documents/dokumente/0_Katalog%20small%20E.pdf>.
- [20] Sergi : Products [online]. 2007 [cit. 2009-04-21]. Text v angličtině. Dostupný z WWW: <http://www.sergi.it/en/serie-ser_ci.html>.
- [21] TechnoCoat : Digital Radius Gauge [online]. 1998-2009 [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.technocoat.co.jp/phi.html>>.
- [22] Vyhledávač obrázků Google [online]. 1981- , 2009 [cit. 2009-04-24]. Dostupný z WWW: <<http://images.google.cz>>.
- [23] Weldlogic : Tube Rolling Machines [online]. 1978-2009 [cit. 2009-04-20]. Brochures. Dostupný z WWW: <<http://www.weldlogic.com/TRM.php>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	kolmá vzdálenost místa ohybu a osy pravého spodního válce	[mm]
A	poloměr mezi osou spodního válce a osou ohybu	[mm]
A_{pl}	práce určená plochou diagramu	[J]
b	šířka zakružovaného plechu	[mm]
c	kolmá vzdálenost místa ohybu a osy levého spodního válce	[mm]
C	materiálová konstanta	[-]
d	průměr horního válce	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	tlačná síla	[N]
F_A	síla na pravém spodním válci	[N]
F_B	síla na horním válci	[N]
F_C	síla na levém spodním válci	[N]
F_p	přítlačná síla ohybového válce	[N]
F_R	výslednice sil na pravém spodním válci	[N]
l	délka posunu pásu	[mm]
L	vzdálenost os válců	[mm]
M	ohybový moment	[Nm]
M_{Bpl}	plastický ohybový moment	[Nm]
M_o	ohybový moment	[Nm]
n	exponent deformačního zpevnění	[-]
r	poloměr válců	[mm]
R	poloměr spodních válců	[mm]
R_p	poloměr nulové osy napětí	[mm]
R_e	napětí na mezi kluzu	[MPa]
R_v	vnitřní poloměr zakřivení	[mm]
s	tloušťka materiálu	[mm]
v	vzdálenost míst doteků válců s materiálem	[mm]
x	délka nezakružené části	[mm]
y	ponoření horního válce mezi válce podpěrné	[mm]
α	poloviční úhel svírající osy symetrických válců se středem ohybu	[°]
β	úhel kolmé osy ohybu a osy spodního válce	[°]
φ	úhel svírající osy horního a spodního válce	[°]
λ	součinitel plnosti	[-]
ρ	poloměr zakřivení	[mm]
ρ_e	poloměr pružného zakřivení (elastické zakřivení)	[mm]
ρ_p	konečný poloměr zakřivení (plastické zakřivení)	[mm]
σ_K	okamžitá hodnota meze kluzu	[MPa]