

Uzatváranie koncov rúr v tvarovej lisovnici

Ján Moravec, doc. Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,

Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2764, Fax.: + 421 41 525 2541

Closing the ends of the pipes in a shaped press

Abstract: The paper describes the issue of closing pipe ends in a pressing tool specially designed for this work. Theoretical relations from the theory of forming form the necessary basis for the subsequent design of the tool. production process. A simple tool with the application and consideration of theoretical knowledge usually brings a significant effect expressed not only financially, but also qualitatively, which was also confirmed in this case.

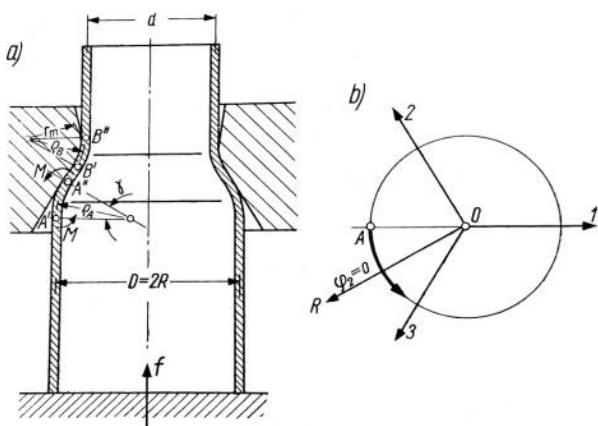
Keywords: pipe, forming tool, die, technological process.

ÚVOD

Uzatváranie koncov rúrok je práca, ktorá vo viacerých ohľadoch špecifická. Problematike sa venovali príspevky [1-6]. V nich bola pozornosť venovaná možnosti využitia obrábacieho stroja pri uzatváraní koncov oceľových rúrok. Poznatky, ktoré sú v nich zhrnuté nie je potrebné na tomto mieste opakovať, pretože text príspevkov je ľahko prístupný a záujemca ich nájde bez námahy. V nasledujúcom texte je zhrnutá teoretická aj praktická stránka problému, kde je pozornosť venovaná zužovaniu koncov medených rúrok v tvarovej lisovnici.

1 TEORETICKÉ POZNATKY

Na obr. 1 je schematicky zobrazený pochod zužovania koncov rúrok v ťažnici s kužeľovitou dutinou [7-10].



Obr. 1 Zužovanie rúrky v kužeľovitej ťažnici

V počiatočnej fáze procesu sa okraj rúrky, ktorá je pritlačovaná v ťažnici sa ohýba do stredu. Takisto sa materiál posúva po kužeľovitom povrchu ťažnice, čo je sprevádzané zmenšovaním vnútorného priemeru

rúrky. Počas tohto pochodu je materiál vystavený len pôsobeniu tlakových obvodových napätí pretože na koniec rúrky nepôsobí žiadna pozdĺžna sila. Takáto napätosť vyvoláva deformáciu konca rúrky podľa vzťahu $-\varphi_1 = 2 \cdot \varphi_2 = 2 \cdot \varphi_3$, ktorému zodpovedá čiara OA v schéme deformácií na obr. 1b. Keď bude priemer otvoru zodpovedať priemeru d_2 , bude hrúbka

materiálu v tomto mieste $s' = s^0 \cdot \sqrt{\frac{d_1}{d_2}}$.

Sila potrebná pre túto časť tvárniaceho pochodu sa označí F' . Pri ďalšom vtláčovaní rúrky do otvoru ťažnice sa na konci začne vytvárať valcovitá časť s priemerom d_2 , pričom hrúbka materiálu v priereze B-B a jeho medza klzu bude ešte nejakú dobu vzrastať, až sa pochod úplne stabilizuje a zmení sa na stacionárny. Hrúbka plechu s dosiahne hodnotu $s \approx s^0 d_1/d_2$, priebeh deformácie zodpovedá priamke OR na obr. 1b. Takisto sa ustáli hodnota sily F . Pretože sila F' zodpovedajúca úkonu čiastočného uzavierania rúrky je o minimálnu hodnotu menšia než sila F zodpovedajúca úplnej stabilizácii procesu (obr. 2 vpravo) [13-16].

Na obr. 3 je schematicky znázornený proces uzatvárania konca rúrky v ťažnici, ktorej obrys tvorí kruhový oblúk s polomerom R .

Potrebná sila pri predpoklade, že ide o stacionárny proces sa určí:

$$\varphi_{\text{icelk.}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\ln \frac{d_1}{d_2} + \frac{s}{4 \cdot R} \right),$$

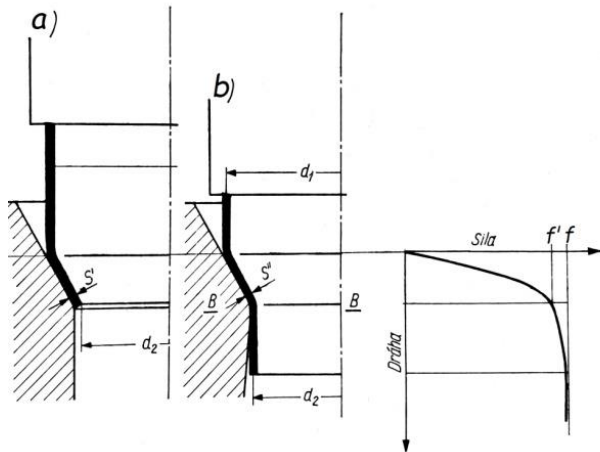
$$F = \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot \frac{\lambda}{\eta} \cdot \sigma_n \cdot \varphi_{\text{icelk.}} \quad (1)$$

Pri uvažovaní, že maximálna sila je obmedzená nebezpečenstvom deformácie stláčaného úseku rúrky, bude $F_{\max} = \pi \cdot d_1 \cdot s \cdot \sigma_K$.

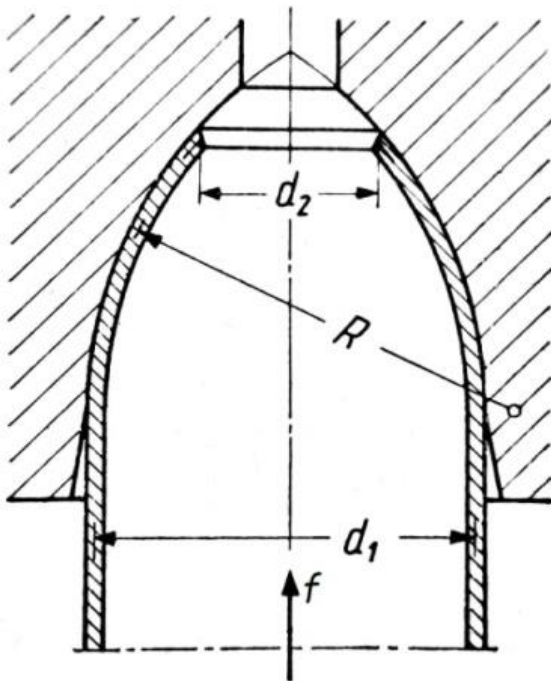
Maximálna deformácia, ktorú je možné dosiahnuť v tomto procese, sa určí z podmienky

$$\varphi_{\text{icelk.}} < \frac{\eta}{\eta \cdot \lambda} \cdot \frac{\sigma_K^0}{\sigma_K}, \text{ kde } n \text{ je technologický súčiniteľ}$$

bezpečnosti.



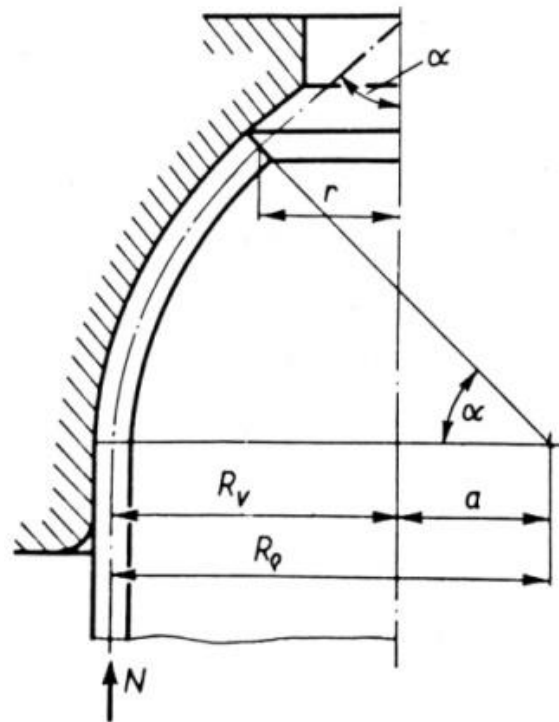
Obr. 2. Uzatváranie konca rúrky ako východisková fáza stacionárneho pochodu zužovania



Obr. 3. Ťažnica s obrysom kruhového oblúka

1.1 Zužovanie valcovitého výtvarku

V tomto odseku je opísaná problematika zužovania valcovitého tenkostenného výtvarku v lisovnici, ktorá má konštantný polomer krivosti tvoriacej pracovnej dutiny (obr. 2) [5, 6].



Obr. 4. Ťažnica s konštantným polomerom krivosti

Ohnisko plastickej deformácie je v tomto prípade rozložené v oblasti s konštantným polomerom krivosti strednej plochy R_0 v pozdĺžnom reze. V tvárniacom procese na kraji výtvarku sa zmení polomer z východiskovej hodnoty R na požadovanú hodnotu r . Súčasne rastie aj uhol α_0 medzi dotyčnicou v strednej ploche v pozdĺžnom reze na kraji výtvarku a osou symetrie od $\alpha_0 = 0$ až do hodnoty, ktorá sa dá

$$\text{vyjadriť pomocou } R, a, r, \cos \alpha_0 = \frac{a+R}{R_0} + \frac{a+r}{R+a}.$$

Súčasne sa v tvárniacom procese polomer ρ ľubovoľnej časti výtvarku v dôsledku posuvu voči pracovnému povrchu lisovnice znižuje, čo znamená, že deformácia v dotyčnicovom smere je záporná (skrátene).

Pretože výtvarok sa v tvárniacom procese vtláča do lisovnice silou F_N budú pôsobiť v stenách východiskového polotovaru tlakové napätia $\sigma_{\rho \max}$, ktoré sa v ohnisku plastickej deformácie v dôsledku znižovania ľubovoľného polomeru ρ skúmanej časti znižujú až na nulu pre prípad, že $\rho = r_0$. Za predpokladu, že radiálne napätie je tlakové a dotyčnicová deformácia záporná, môžeme považovať aj dotyčnicové napätie za tlakové [6].

Pre pomer $R_0/s > 10$ sa môže považovať stav napätosti v ohnisku plastickej deformácie s dostatočnou presnosťou za rovinný. Ak sa napätie σ_ρ v ohnisku plastickej deformácie mení od 0 až do hodnoty $\sigma_{\rho \max}$, krajnými hlavnými normálovými napätiami budú σ_θ a σ_N , pričom $\sigma_N \approx 0$. Podmienka plasticity podľa

hypotézy maximálneho šmykového napätia pre takýto prípad bude $\sigma_\theta = -\sigma_K$.

Rozloženie napätí σ_θ v ohnisku plastickej deformácie pri zužovaní v lisovnici s tvoriacou plochou $R_p = \text{konšt.}$ sa dá získať pomocou súčasného riešenia rovnice rovnováhy (2):

$$\begin{aligned}\sigma_1 - \sigma_2 &= \pm \sigma_K \\ \sigma_2 - \sigma_3 &= \pm \sigma_K \\ \sigma_3 - \sigma_1 &= \pm \sigma_K\end{aligned}\quad (2)$$

a rovnice (3):

$$\rho \cdot \frac{d\sigma_p}{d\rho} + \sigma_\varepsilon - \sigma_\theta - \frac{f \cdot \rho}{\sin \alpha} \cdot \left(\frac{\sigma_p}{R_p} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} \right) = 0. \quad (3)$$

2 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Pre experimentálne overenie teoretických poznatkov bol zvolený nasledujúci postup. Lisovnica s kruhovým oblúkom bola vyrobená pre rúrky Ø15 mm s dĺžkou 18 mm. Rúrka má vnútorný priemer 13 mm. Rúrka je z medi vyžihanej na potrebnú tvrdosť, teda aby sa dal dobre v lisovnici tvárniť. Ako tvárniaci stroj bol použitý jednoduchý pákový lis, ktorý bol k dispozícii v laboratóriu tvárniacej techniky. Samotná lisovnica nebola tepelne spracovaná, pretože pre malú sériu siedmich vzoriek nebolo potrebné nijako tepelne spracovať teleso lisovnice. Postupne sa podrobili tvárneniu všetky rúrkové vzorky. Ako masivo bol použitý olej. Ukázalo sa, že aplikácia oleja bola nevyhnutná, pretože medená rúrka vykazovala značný odpor voči pretvárneniu, keď nebolo použité masivo. Na obr. 5 je detail konca rúrky po tvárnení v kruhovej lisovnici za studena. Experiment možno hodnotiť ako úspešný, pretože uzatváranie koncov rúrok potvrdilo vhodnosť aplikácie a zohľadnenie teoretických poznatkov spolu s konštrukčným vyhotovením lisovnice.



Obr. 5. Koniec rúrky po tvárnení

3 VÝSLEDKY

Po vykonaní experimentov sa potvrdil predpoklad o vhodnosti použitia uvedeného postupu pre danú prácu. Opísaným spôsobom sa dajú tvárniť konce

rúrok a tieto efektívne uzavierať. V prípade úplného uzavretia rúrky musí riešenie byť doplnené uzavretím diery na čele rúrky. Úplné uzavretie sa ale požaduje v minimálnom počte prípadov, väčšinou sa cez čelo vedú rôzne nátrubky a vyústenia so závitmi.

4 DISKUSIA

Zohľadnime možnosť aplikácie ohrevu pri uzavieraní koncov ocelových rúrok. Hlavným cieľom ohrevu pri tvárnení je zníženie pretvárneho odporu pri súbežnom zvýšení tváriteľnosti ocele. Vysoké teploty podporujú čiastočnú homogenizáciu chemickej a štruktúrnej nerovnorodosti, čiastočné alebo úplné rozpustenie precipitátov - karbidov, nitridov, karbonitridov. Zlepšuje sa aj kvalita hraníc zŕn obmedzením výskytu mriežkových porúch a čiastočným rozpustením nečistôt. Parametre ohrevu je nevyhnutné voliť tak, aby sa zamedzilo nebezpečnému zhrubnutiu zrna, nadmerným stratám opalom a oduhliččením, alebo opačne nauhliččením povrchu a vzniku trhlín z tepelného pnutia [4, 5]. Mechanické vlastnosti materiálu majú značný vplyv na prípustnú rýchlosť ohrevu a odolnosť ohrievanej ocele voči vzniku tepelných trhlín. Dôležité sú najmä v oblasti teplôt do 500 °C až 550 °C, kedy oceľ prechádza z pružného do plastickeho stavu. Rozhodujúcimi podmienkami ohrevu sú: výška teploty ohrevu, rýchlosť ohrevu, celkový čas ohrevu. So zvyšujúcou teplotou sa deformačný odpor trvalo znižuje a pri teplotách nad 1250 °C klesá pri väčšine ocelí pod 50 MPa. Hrubozrnná prehriata oceľ má zníženú plasticnosť a preto ju treba spracúvať opatrne. Celková doba ohrevu má byť minimálna pre dosiahnutie rovnomerného prehriatia materiálu.

ZÁVER

Príspevok svoj stanovený cieľ naplnil v tom zmysle, že jednoznačne potvrdil vhodnosť overeného riešenia a poukázal na veľké možnosti pri prelínaní technológií vo výrobnom procese. Opísané riešenie je vhodné pre rozličné firmy, pretože kvalita a ostatné požiadavky na produkciu výrobkov sa dajú realizovať jednoduchším spôsobom. Jednoduchý nástroj s aplikáciou a zohľadnením teoretických poznatkov spravidla prináša značný efekt vyjadrený nielen finančne, ale aj kvalitatívne, čo sa potvrdilo aj v tomto prípade.

LITERATÚRA

- [1] MARCINIAK, Z. (1984): *Theorie der Blechformung*. SNTL Prague.
- [2] MARCINIAK, Z. - DUINCE, J.L. - HU, S.J. (2004): *Sheet Metal Forming*. Bittenworth – Heinman, ISBN 0-7506-5300-0.
- [3] STOROŽEV, M.V. - POPOV, J. A. (1981): *Teória tvárnenia kovov*. Alfa Bratislava.

- [4] MORAVEC, J. (2017): *Unconventional forming of Tube Ends*. Hutník, Wiadomości hutnicze, Tom. LXXXIV (84) Sierpień 2017, Nr. 8 str. 377-379, ISSN 1230-3534, eISSN 2449-8997.
- [5] MORAVEC, J. (2007): *Nekonvenčné využitie obrábacieho stroja v tvárnení*. NT 07, Žilina 21.6.2007, CD s. 37-41, ISBN 978-80-8070-714-9.
- [6] KUMAR, S. (2008): *Technology of Metall Forming Processes*. New Delhi, India, p. 358, ISBN 978-81-208-3425-0.
- [7] MORAVEC, J. (2015): *Theory of metals forming*. EDIS ZU Zilina, 332 str. ISBN 978-80-554-1095-1.
- [8] *Metal Forming Handbook*. Springer Verlag Berlin, ISBN 3-540-61185-1.
- [9] NIKEL, Z. (1990): *Theory of forming*. FMML, VSB – TU Ostrava.
- [10] POLAK, K. (1985): *Forming theory and tools*. SVST Bratislava.
- [11] JOHNSON, W. - MAMALIS, A. G. (1998): *Plasticity and metal forming*. Cambridge.
- [12] KUNDAR, S. (2004): *Technology of Metal Forming Processes*. ISBN 978-81-203-3425-0.
- [13] BOLJANOVIC, V. (2005): *Sheet Metal forming processes and die Design*. ISBN 0-8311-3182-9.
- [14] PEARCE, R. (2010): *Sheet Metal forming*. ISBN 0-7503-0101-5.
- [15] *Metal Forming Handbook*. Springer Verlag Berlin, ISBN 3-540-61185-1.
- [16] HOSFORD, W.F. - CADDEL, R.M. (2011): *Metal Forming, Mechanics and Metallurgy*. Cambridge Uni.Press, ISBN 978-1-107-00452-8.