

Združené voľné a zápustkové kovanie

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

Combined open and drop forging

Abstract: The article deals with the issue of metal processing by hot forming, in this case by forging. The text points out the supporting facts that influence the possibility of applying combined open and drop forging. This technology will become a good way to achieve optimal results. The theoretical and practical aspects of the analysed process are pointed out. One solution to produce a forging by combined open and drop forging is presented.

Keywords: forging, die, press, hammer, technology.

ÚVOD

Kvalita výkovkov kovaných na bucharoch závisí najmä od zručnosti kováča. Výkovky majú spravidla veľké a nerovnomerné prídavky na trieskové obrábanie. Tento nedostatok sa dá nahradiť technológiou kovania výkovkov na kľukových lisoch združeným voľným a zápustkovým kovaním. Hlavnou výhodou združeného kovania na kľukových lisoch pred kovaním na bucharoch sú nasledujúce:

1. Pri vybavení lisu nástrojmi jednoduchej konštrukcie pre jednotlivé operácie, sú takto súčasne ustálené a zaistené rozmery výkovkov, ktoré sú pri každom kuse. Presnosť sa dosahuje kinematikou a konštrukčnými danosťami kľukového lisu.
2. Spotreba materiálu, počet ohrevov, spotreba energie na ohrev kovu a energia pri kovaní sú až dvakrát nižšie.
3. Pracovník môže mať nižšiu kvalifikáciu.
4. Zvýši sa produktivita práce.
5. Kováč sa menej unaví.
6. Práca sa dá veľmi ľahko mechanizovať.

1 KOVANIE

Kovaním sa vyrábajú diely požadovaného tvaru a rozmeru tvárnou deformáciou východiskového polovýrobku na určitom kovacom zariadení. Kovaním sa dosiahne nielen stanovený tvar, ale zlepšia sa takisto aj mechanické vlastnosti kovu [1-5].

1.1 Spojenie voľného a zápustkového kovania

Združené kovanie na kľukových lisoch, ktoré je zakončené operáciami zápustkového kovania sa aplikuje pri výrobe súčastí zložitého geometrického tvaru, kde je potrebné zabezpečiť presné rozmery

výkovku. Okrem uvedených predností má združené kovanie ešte jednu výhodu, ktorá určuje rentabilitu využitia použitého náradia, a to možnosť rýchlej výmeny jednotlivých dutín skladaných nástrojov pri ich opotrebovaní alebo pri predčasnom poškodení [6-8].

1.1.1 Združené voľné kovanie a zápustkové kovanie jadra čerpadlového piesta

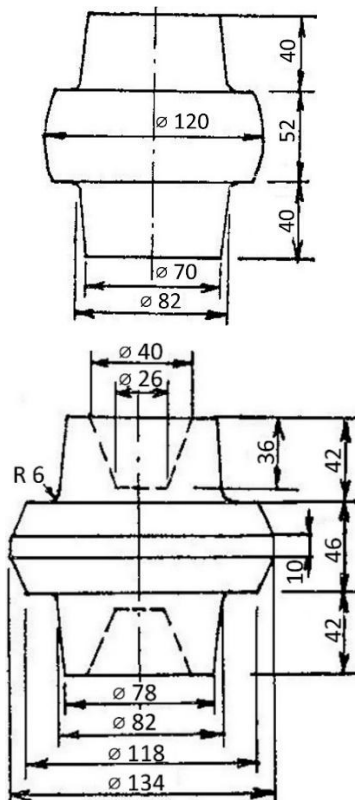
Výkovok tohto dielca sa vyrába z polovýrobku z polovýrobku s priemerom 80mm a dĺžke 195 mm na jeden ohrev a na dva zdvihy šmýkadla lisu. Operačné úseky voľného a zápustkového kovania sú na obr. 1. Prvá operácia, t.j. nadelenie dávky presných polovýrobkov za studena sa robí špeciálnym nástrojom, na 600 t lise. V druhej operácii sa po ohreve polovýrobku na teplotu kovania 1 150°C polovýrobok predbežne čelne ubíja pre tvárnenie a súčasne sa odstraňujú okoviny. Napokon v tretej operácii sa dielec tvárni v zápustkovej dutine. Operácie tohto postupu sa robia vo zvláštnom nástroji, a to v združenej dvoj dutinovej zápustke skonštruovanej pre kovanie štyroch zhodných kusov, ktoré sa vzájomne líšia hlavnými rozmermi. Nástroj je na obr. 2.

2 NÁSTROJE A ICH TRIEDENIE

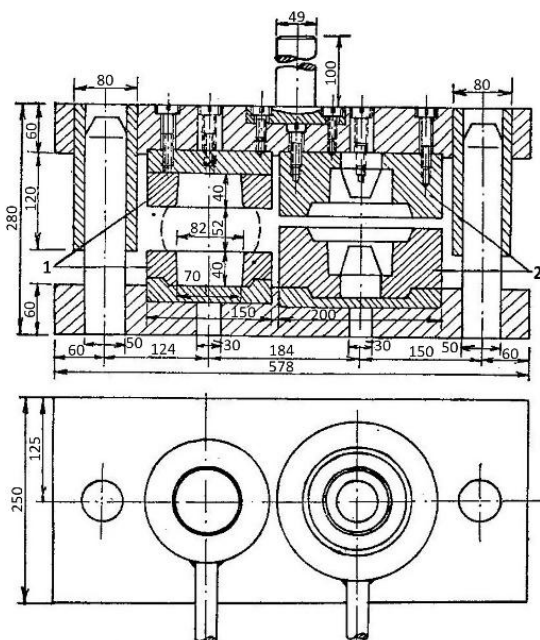
Nástroje, ktoré sa používajú pri kovaní na kľukových lisoch sa dajú rozdeliť do takýchto kategórií:

1. Nástroje jednoduchého profilu pre voľné kovanie.
2. Nástroje tvarového profilu pre voľné kovanie.
3. Nástroje pre kovanie v zápustkách s výronkom.
4. Nástroje pre kovanie v zápustkách bez výronku.
5. Nástroje pre razenie.

6. Držiaky pre upevnenie skladaných nástrojov.
7. Podložky pre upnutie podložných zápustkových výronkov.



Obr. 1. Výrobné úseky pri kovaní jadra piestu čerpadla: a- predbežné ubijanie polovýrobku v zásuvnej kruhovej tvárnici; b- dokončenie tvárnenia súčiastky v zásuvnej tvárnici zápustkovej dutiny



Obr. 2. Združená dvoj dutinová zápustka pre kovanie jadra čerpadla

3 KLUKOVÉ LISY

Združené voľné a zápustkové kovanie sa dá vykonávať na obyčajných kľukových lisoch. Hlavnými časťami takéhoto lisu sú: stojan, kľukový

mechanizmus, hnacie ústrojenstvo a šmýkadlá. Kľukový hriadeľ sa otáča v oporách, umiestnených na stojane lisu. Šmýkadlo sa vratne pohybuje vo vedení, ktoré je takisto na stojane lisu. Jedna časť nástroja sa upína do šmýkadla a druhá časť nástroja na stôl lisu. Kovaný materiál leží na stole lisu a tvárni sa pritlačením šmýkadla. Sily vznikajúce pri tvárnení preberá stojan lisu. Hlavnou zvláštnosťou kľukového lisu je stálosť pohybu pracovného šmýkadla nezávisle od odporu výkovku (pretvárneho odporu). Výpočty sa odlišujú podľa druhu lisu a sústavy pohonu. Kľukové lisy s jednou ojnicou sa triedia takto: podľa uloženia hlavného hriadeľa v oporách sa kľukové lisy delia na dva druhy:

- a) na dvoj stojanové, ak sú opory hriadeľa na oboch stranách ojnice,
- b) na lisy jedno stojanové, ak ležia opory na jednej strane ojnice [9, 10]

3.1 Kinematika kľukového lisu

V nasledujúcom texte je použité nasledujúce označenie:

R je polomer kľuky, čiže vzdialenosť medzi osou hriadeľa v oporách a osou kľukovej hlavy ojnice [cm],

L je dĺžka ojnice, teda vzdialenosť medzi stredmi kľukovej a piestnej hlavy ojnice [cm],

$\frac{R}{L}$ je polomer kľuky k dĺžke ojnice [-],

S je dráha šmýkadla [cm].

Pri kľukových lisoch je najdôležitejšia poloha šmýkadla na konci zdvihu, teda v tom úseku, kde sa vykonáva výrobná operácia. Z toho dôvodu sa dráha šmýkadla stanovuje od dolnej krajnej polohy. Uhly natočenia kľuky sa odpočítajú od dolnej polohy stredy kľukového času v opačnom smere, než ako sa otáča hriadeľ (obr. 3). Dráha šmýkadla S sa určí v závislosti od uhla natočenia kľuky podľa vzťahu:

$$S = R \cdot \left[(1 - \cos \alpha) + \frac{1}{K} \cdot (1 - \sqrt{1 - k^2 \cdot \sin^2 \alpha}) \right], \quad (1)$$

približne:

$$S = R \cdot \left[(1 - \cos \alpha) + \frac{K}{2} \cdot \sin^2 \alpha \right]. \quad (2)$$

Ak je známa dráha šmýkadla, môže sa určiť uhol natočenia kľuky α :

$$\cos \alpha = \frac{2 \cdot \left(1 - \frac{S}{R}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{K}\right) + \left(\frac{S}{R}\right)^2}{2 \cdot \left(1 - \frac{S}{R} + \frac{1}{K}\right)}. \quad (3)$$

Rýchlosť šmýkadla v závislosti od uhla natočenia kľuky v závislosti od uhla natočenia kľuky, dá sa vyjsť z približného vzťahu pre dráhu bude:

$$v = \omega \cdot R \cdot \left[\sin \alpha + \frac{K}{2} \cdot \sin(2 \cdot \alpha) \right]. \quad (4)$$

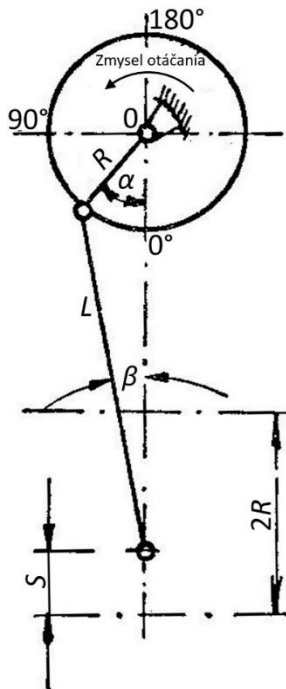
Zrýchlenie šmýkadla:

$$I = -\omega^2 \cdot R \cdot (\cos \alpha + K \cdot \cos \alpha), \quad (5)$$

kde ω je uhlová rýchlosť otáčania hriadeľa [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$],

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}.$$

Ako je z predošlých vzťahov zrejmé, závisí rýchlosť v a zrýchlenie I šmýkadla od uhla natočenia kľuky. Rýchlosť v má maximálnu hodnotu pri $\alpha = 90^\circ$ a nulovú hodnotu pri $\alpha = 0^\circ$ a tiež ak $\alpha = 180^\circ$. Maximálna hodnota zrýchlenia bude naopak pri $\alpha = 0^\circ$ a $\alpha = 180^\circ$, kdežto nulová hodnota pri $\alpha = 90^\circ$ a $\alpha = 270^\circ$.



Obr. 3. Kinematická schéma kľukového mechanizmu

3.2 Výpočet potrebnej sily lisu a deformačnej práce

Sila lisu sa vypočíta pre voľné kovanie zo vzorca:

$$F = k \cdot S, \quad (6)$$

pre kovanie v zápustke podľa vzorca:

$$F = k \cdot S + k_y \cdot S_y, \quad (7)$$

Vo vzťahu značí:

k - merný tlak klzu materiálu výkovku [MPa],

S plocha priemetu zápustkového výkovku v deliacej rovine [mm^2],

k_y - merný tlak klzu materiálu výronku [MPa],

S_y - plocha výronku v deliacej rovine pri zápustkovom kovaní [mm^2].

Ak sú známe zmeny plochy S , jej dĺžkové rozmery a zákonitosti zmeny teploty pri deformácii, dá sa

stanoviť potrebná sila lisu [t] v ľubovoľnom úseku ubíjaného výkovku. Zmena plochy S sa dá určiť aplikovaním zákona stálosti objemu. Pre približný výpočet sa predpokladá, že vplyvom deformácie zachová plocha svoj geometrický tvar, čo zvyšuje hodnotu súčiniteľa vplyvu trenia na čelách a zväčšuje zásobu výkonu lisu pri porovnaní s potrebným výkonom. Plocha pri voľnom ubíjaní sa určí podľa vzorca:

$$S_x = \frac{V}{h_x}, \quad (8)$$

kde S je plocha deformovaného polovýrobku v danom okamihu ubíjania [mm^2],

V je objem ubíjaného kovu [mm^3],

h_x výška polovýrobku v danom okamihu ubíjania [mm].

Dĺžkové rozmery čelnej plochy, ktoré je potrebné poznať pre výpočet vplyvu síl trenia, sa stanovujú podľa vzorcov:

- pre kruhovú základňu je:

$$d = 1,13 \cdot \sqrt{S_x}, \quad (9)$$

- pre štvorcovú základňu:

$$a_x = b_x = a_0 \cdot \sqrt{y}, \quad (10)$$

Vo vzťahoch sú:

a hľadané dĺžkové rozmery [mm], ktoré sa dosiahnu pri ubíjaní,

a_0 rozmery strany štvorca pred ubíjaním,

y je stupeň prekovania rovnajúci sa $\frac{S_x}{S_0}$,

S_0 je plocha východiskového polovýrobku [mm^2].

ZÁVER

V predloženom texte bolo poukázané na nosné fakty, ktoré vplyvajú na možnosť aplikovania združeného voľného a zápustkového kovania. Táto technológia je istotne dobrou cestou po ktorej sa dá prísť k optimálnym výsledkom. Budúcnosť ukáže, či sa aj tzv. nie veľmi používané postupy dočkajú svojej renesancie.

DODATOK

Kovanie plochého hranola so štvorcovou základňou

V nasledujúcom riešení sa s prihliadnutím k výsledkom pokusov predpokladá stálosť napätia σ_x pozdĺž úsečky AB (obr. 4) a jeho nezávislosť od súradnice z , takže v trojuholníku COD sú napätia σ_x iba funkciou súradnice x . Zo symetrie je zrejmé, že vo zvyšných trojuholníkoch na ktoré je základňa rozdelená je napätosť rovnaká ako v trojuholníku

COD. Podmienka rovnováhy síl pôsobiacich na vyšrafovaný element na obr. 4 v smere osi x . Vyplýva:

$$\sigma_x \cdot 2 \cdot x \cdot h \cdot \tan \alpha - (\sigma_x + d \cdot \sigma_x) \cdot 2 \cdot (x + dx) \cdot h \cdot \tan \alpha + \sigma_y \cdot 2 \cdot \frac{dx}{\cos \alpha} \cdot h \cdot \sin \alpha - 4 \cdot \bar{\tau}_z \cdot \tan \alpha \cdot dx = 0 \quad (11)$$

pričom $\bar{\tau}_z$ označuje veľkosť šmykového napätia v styčnej ploche. Tretí člen na ľavej strane (11) udáva zložky síl pôsobiacich v smere osi x v plôškach AA' a BB' a nemôžu sa zanedbať.

Pretože je $\alpha = \frac{\pi}{4}$, dá sa rovnica (11) po zvyčajnom zanedbaní nekonečne malých veličín druhého rádu upraviť na tvar:

$$d\sigma_x = -\frac{2}{h} \cdot \bar{\tau}_z \cdot dx, \quad (12)$$

Pri aplikovaní podmienky plasticity $d\sigma_x = d\sigma_y$, a zavedení predpokladu, že šmykové napätie v styčnej ploche je stále dané vzťahom:

$$\bar{\tau}_z = -f \cdot \sigma_x, \quad (13)$$

kde f je súčiniteľ trenia, vyplynie z rovnice (12):

$$d\sigma_y = \frac{2 \cdot f \cdot \sigma_k}{h} \cdot dx, \quad (14)$$

teda:

$$\bar{\sigma}_y = \frac{2 \cdot f \cdot \sigma_k}{h} \cdot \alpha + C. \quad (15)$$

Integračná konštanta C sa určí z podmienky:

$$\bar{\sigma}_y = \left(\frac{a}{2}\right) = -\sigma_k, \quad (16)$$

vyjde:

$$C = -\frac{f \cdot \alpha \cdot \sigma_k}{h} \cdot \sigma_k, \quad (17)$$

teda platí:

$$\bar{\sigma}_k = -\sigma_k \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot f}{h} \cdot \left(\frac{a}{2} - x\right)\right]. \quad (18)$$

Tvárnica sila F je daná výrazom:

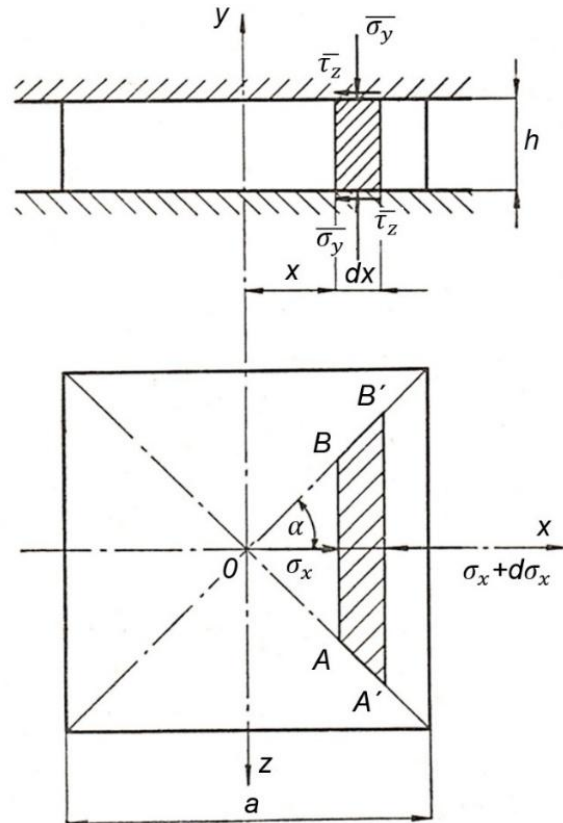
$$F = 4 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} |\bar{\sigma}_y| \cdot 2x \cdot \tan \alpha \cdot dx, \quad (19)$$

z ktorého po dosadení, integrovaní a úprave vyplýva:

$$F = \sigma_k \cdot \left[1 + \frac{f_a}{3 \cdot h}\right] \cdot a^2. \quad (20)$$

Napokon stredný kovací tlak bude:

$$p_{strk} = \frac{F}{a^2} = \sigma_k \cdot \left[1 + \frac{f_a}{3 \cdot h}\right]. \quad (21)$$



Obr. 4. Kovanie plochého výkovku so štvorcovou základňou

LITERATÚRA

- [1] JOHNSON, W. - MAMALIS, A. G. (1998): *Plasticity and metal forming*. Cambridge.
- [2] KUMAR, S. (2008): *Technology of Metall Forming Processes*. New Delhi, India, pp. 358, ISBN 978-81-208-3425-0.
- [3] MORAVEC, J. - STROKA, R. (2009): *Vybrané kapitoly z technológie tvárnenia*. EDIS - vyd. ŽU v Žiline, ISBN 978-80-8070-980-8.
- [4] BAČA, J. - BÍLIK, J. - TITTEL, V. (2010): *Technológia tvárnenia*. STU v Bratislave, ISBN 978-80-227-3242-0.
- [5] BÍLIK, J. - KAPUSTOVÁ, M. - RIDZOŇ, M. (2015): *Teória tvárnenia*. Trnava, Alumni Press, ISBN 978-80-8096-9.
- [6] MIELNIK, M. E. (1991): *Mechanical Metallurgy*. Mc Graw - Hill Book Company, NY.
- [7] ŽÍDEK, M. - DĚDEK, V. - SOMMER, B. (1988): *Tváření oceli*. SNTL ALFA Praha.
- [8] BLAŠČÍK, F. - POLÁK, K. (1985): *Teória tvárnenia*. ALFA SNTL, Bratislava.
- [9] MORAVEC, J. (2015): *Teória tvárnenia kovov*. EDIS vyd. UNIZA, ISBN 978-80-554-1095-1.
- [10] MORAVEC, J. (2024): *Vybrané kapitoly z technickej plasticity a teórie tvárnenia*. EDIS vyd. UNIZA, ISBN 978-80-554-2093-6.