

UDK 621.974.823

Problemi pri načrtovanju kovaškega valjanja

KARL KUZMAN

Utopno kovanje je dolgo časa veljalo za tehnologijo, ki se je teoretično ne da dovolj natančno opisati. Zato se je pojasnjevanje do tedaj še neznanih zakonitosti začelo z dveh strani: s postopnim dograjevanjem teorije plastičnosti in s sistematično analizo laboratorijskih preizkusov in uspeh tehnoloških rešitev iz naše industrijske prakse. Takšno stanje, ki je bilo pred dobrimi tridesetimi leti, se lepo vidi iz dveh knjig, ki sta jih napisala Bruhanov in Rebelski [1] ter Lange [2]. Ti dve deli sta bili dolga leta edina pisna vira, ki so ju dobro poznali in uporabljali tudi pri nas.

Od zgodnjih primerov uspešne analize obstoječe izdelave lahko omenimo poročili iz NDR [3, 4], ko so študentje opravili tehnološko anketo v večini njihovih kovačnic ter nato dobili izkustvene podatke o izkoriščenosti materiala in potrebni energiji kladiv. Podobna akcija, ki naj bi anketo ponovila v okviru SFRJ, je zaradi naše ozkosti in zaprtosti propadla. Da pa so takšne analize lahko zelo uspešne, potrjuje kratko poročilo [5], ko smo metodologijo iz NDR uporabili pri ponovni določitvi potrebnega materiala za utopno kovanje skupine podobnih izkovkov. Primer, kako se da uspešno uskladi oboja v začetku navedena načina, pa bomo v pričujočem članku skušali pojasniti na problemu kovaškega valjanja.

Za pomoč in nasvete pri teoretičnem delu se moram zahvaliti rednim profesorjem dr. Prelogu, dr. Čižmanu in dr. Golgrancu. Pri zbiranju podatkov mi je pomagal tovariš Zemljak (Unior Zreče), programe za konstruiranje valjancev pa je izdelal Pirtošek dipl. inž. (Železarna Ravne).

1. Uvod

Kovaško valjanje se že dalj časa uporablja kot metoda vzdolžnega razporejanja materiala za poznejše utopno kovanje podolgovatih izkovkov. S posebnimi gravurami, ki so vrezane v segmentna orodja, obdelovanec postopoma in lokalno tanjšamo, dokler ne pridemo do želenega prečnega prereza. Običajno se to doseže v dveh do šestih operacijah.

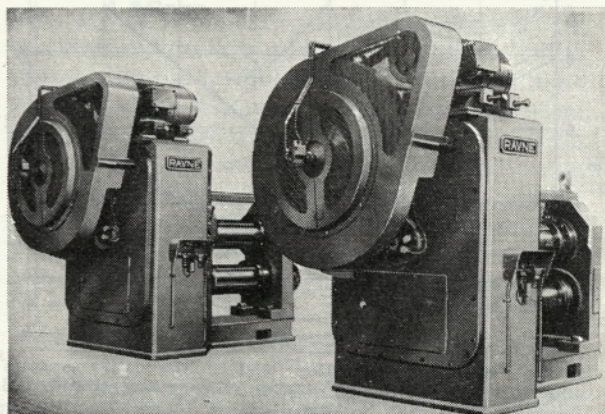
Določanje števila operacij in oblikovanje gravur terja obvladovanje dveh skupin problemov:

— Pri valjanju teče material v dve smeri, v dolžino in širino. Širjenje materiala ni zaželeno, saj zmanjšuje uspešnost tanjšanja, po drugi strani pa pomeni nevarnost, da bi material stekel v rego med obema orodjema in bi tako nastala brada. Od teh deformacij je torej odvisno število operacij, produktivnost.

— Valjalna orodja se vrtijo s konstantno kotno hitrostjo. Ker pa se med valjanjem spreminjajo prerezi obdelovanca, se s tem spreminjajo tudi njegove hitrosti. Zato prihaja do relativnega zaostajanja oz. prehitevanja glede na gibanje valjev. Posledica tega je, da dolžine na orodju niso enake ustreznim dolžinam valjancev.

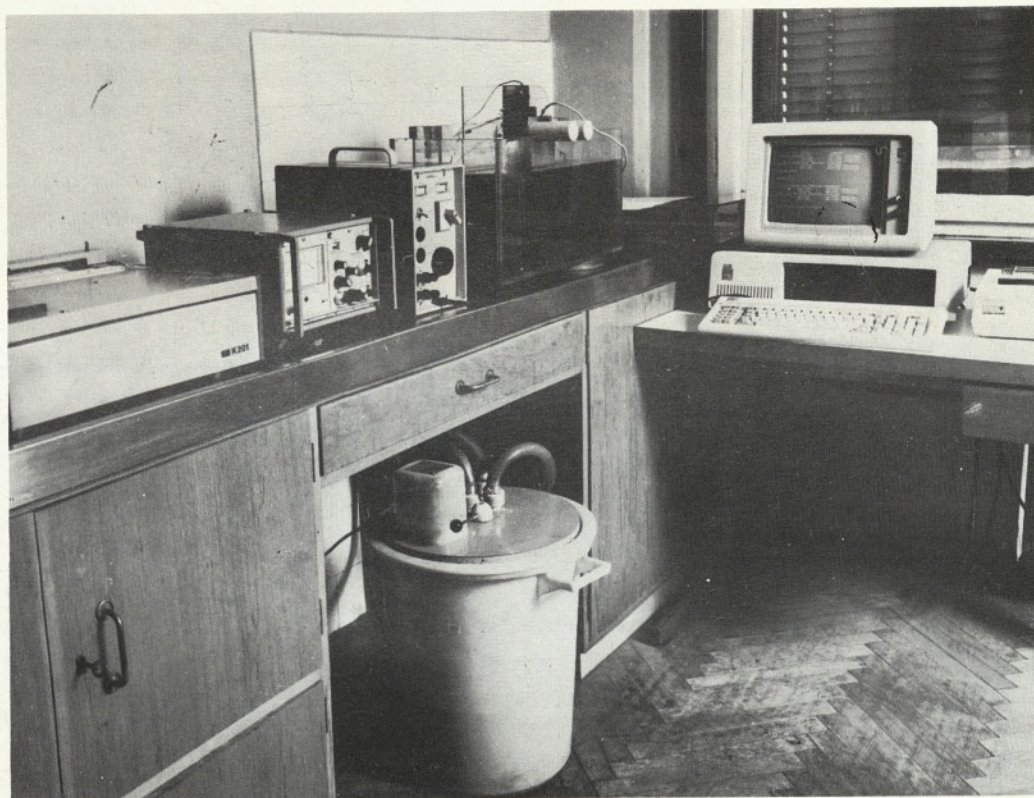
Obe skupini problemov sta takšne narave, da ju je težko reševati brez zadostno trdnih teoretičnih izhodišč. Za prvo skupino je mogoče uporabiti znanja, ki so jih razvili za valjanje poljubno dolgih valjancev s konstantno obliko prečnega prereza. Določanje dolžin orodij oz. valjancev pa je izključno posebnost kovaškega valjanja.

Pri nas smo začeli sistematično delati na področju kovaškega valjanja pred dvajsetimi leti [6], ko se je Kovaška industrija Unior iz Zreč začela usmerjati v zahtevnejše postopke utopnega kovanja. Napore, da bi se čimbolj približali kompleksni pojasnitvi tega procesa, je mogoče razbrati iz več objav [7, 8, 9, 10, 11] in iz dveh del [12, 13]. Zadnje čase se za raziskave kovaškega valjanja zavzema Železarna Ravne, ki je edini jugoslovanski izdelovalec ustreznih strojev (sl. 1) in skupno s stroji ponuja tudi tehnologijo (sl. 2). Zanje je (predvsem z vidika trženja) posebno pomembno, da se da vnaprej dovolj zanesljivo in hitro oceniti število valjalnih operacij.



Sl. 1. Stroja za kovaško valjanje SKV-100, izdelka Železarne Ravne

65 — 40 let
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO, LJUBLJANA



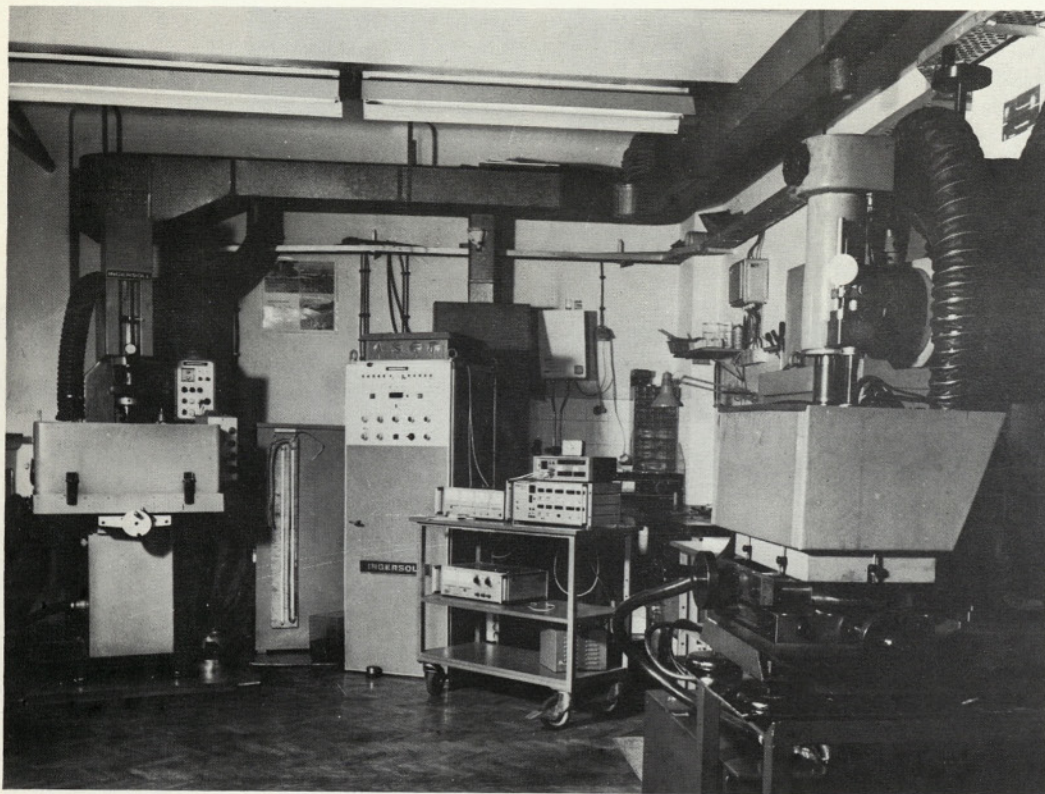
*Merilna veriga
za raziskave
zaostalih napetosti,
razvita v laboratoriju
PRE za tehnologijo
materialov*



*Metalografske raziskave
v laboratoriju PRE
za tehnologijo materialov*

65 — 40 let

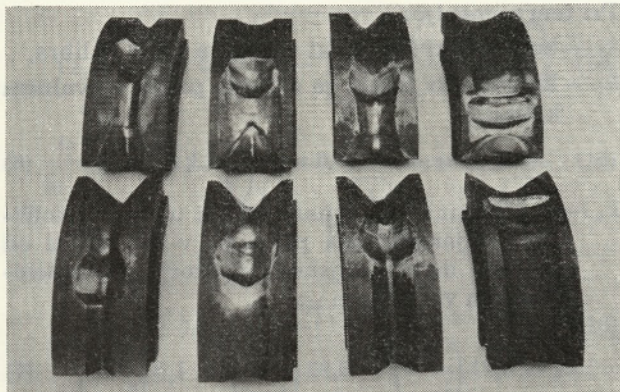
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO, LJUBLJANA



*Del laboratorija
za elektroerozijsko
obdelavo v PRE
za tehnologijo
materialov*

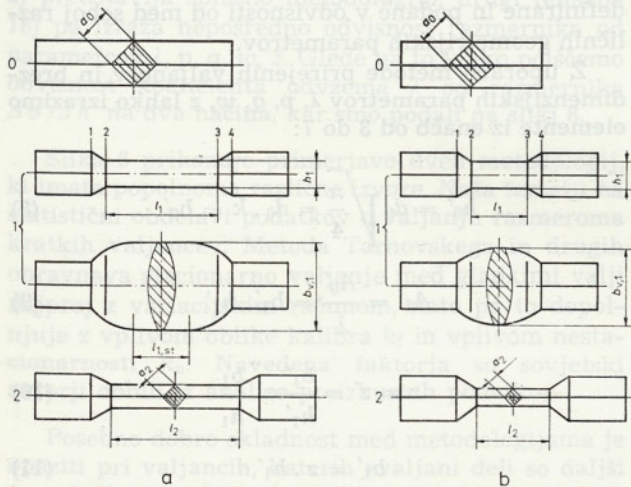


*Laboratorij
za mehansko
obdelavo
v PRE
za obdelovalno
tehniko*



Sl. 2. Komplet orodij za kovaško valjanje na stroju SKV-100 (Železarna Ravne)

Tehnološke posebnosti kovaškega valjanja, določitev valjanca glede na izkovek, zaporedje operacij itd. so nadrobno opisani npr. v objavi iz leta 1969 [7]. Dimenzioniranje procesov valjanja, ki ga lahko najdemo v napotkih zahodnoevropskih izdelovalcev strojev ali v delih Spiesa [14, 15], temelji na zakonitostih, kakršne veljajo za valjanje poljubno dolgih profilov. V SZ pa so po letu 1960 začeli upoštevati tudi dejstvo, da pri valjanju material takoj ne doseže polne širine (sl. 3). Če je valjanec dovolj kratek, je mogoče doseči bistveno večje deformacije in tako zmanjšati število operacij valjanja.



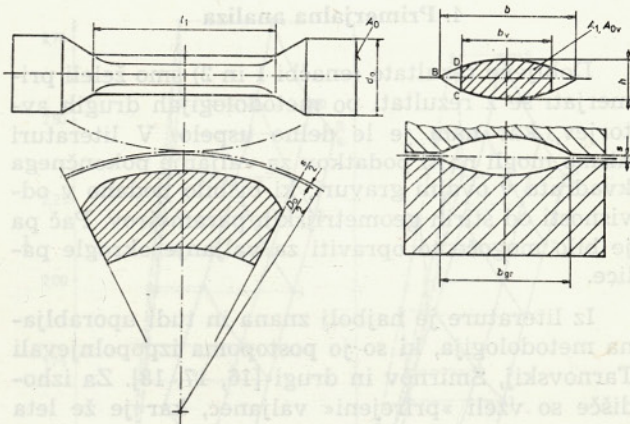
Sl. 3. Valjanje kvadratne palice (0) v sistemu oval (1) — kvadrat (2):

a — valjanec z delom, kjer se pojavlja stacionarno stanje ($l_{1, st}$), b — »kratki« valjanec

2. Vplivni parametri na proces valjanja

Parametre, ki vplivajo na tečenje materiala v valjalni gravuri in s tem tudi na tanjšanje in na število operacij, je mogoče razvrstiti v naslednjo skupino:

- geometrijski parametri — p , q , w , z (sl. 4),
- preoblikovani material,
- parametri valjanja (hitrost, temperatura, trenje).



Sl. 4. Brezdimenzijski geometrijski parametri pri valjanju v ovalni gravuri

$q = D_0/d_0$ — relativni premer valjev, $p = l_1/d_0$ — relativna dolžina valjanca, $z = b/h$ — razmerje osi ovala, $w = b_v/b$ — stopnja zapornitve gravure, $\lambda = A_0/A_1$ — koeficient odvzema

Pri raziskavah [12, 13] smo ugotovili, da so procesi valjanja v naši industrijski praksi dokaj izenačeni glede na material in parametre valjanja, pa jih imamo zato brez velike napake lahko za konstantne. Tudi v tuji literaturi [16] obravnavajo valjanje konstrukcijskih jekel, iz katerih so ojnice, osi, gredi ipd., kot eno tehnološko celoto. Iz tega izhaja, da je za določeno skupino materialov treba obvladati le geometrijske parametre valjanja.

3. Valjanje v ovalni gravuri

Največje koeficiente odvzemov λ (to je razmerje med ploščino prečnega prereza obdelovanca pred valjanjem A_{i-1} in po valjanju A_i) dosegamo v ovalni gravuri, zato moramo to operacijo čim natančneje razčleniti.

Podatke o vplivu brezdimenzijskih geometrijskih parametrov na koeficient odvzema smo dobili iz skoraj desetletnega uvažanja postopkov valjanja v industriji ter iz posebne raziskovalne naloge [12]. Pri njihovi obdelavi se je pokazalo [13], da je to medsebojno odvisnost mogoče opisati s potenčno funkcijo. Tako smo za valjanje okrogle palice v ovalni gravuri dobili:

$$\lambda_{kr} = 1,432 \cdot z^{0,4988} \cdot p_{kr}^{-0,0574} \cdot q_{kr}^{-0,1376} \cdot w^{0,4017}, \quad (1)$$

za valjanje pokončnega kvadrata (prek diagonale) v ovalni gravuri pa:

$$\lambda_{kv} = 1,319 \cdot z^{0,5096} \cdot p_{kv}^{-0,0952} \cdot q_{kv}^{-0,1381} \cdot w^{0,6315}. \quad (2)$$

Posamezne vrednosti so bile znotraj naslednjih intervalov:

$$p = 0,2 \dots 4$$

$$q = 6 \dots 20$$

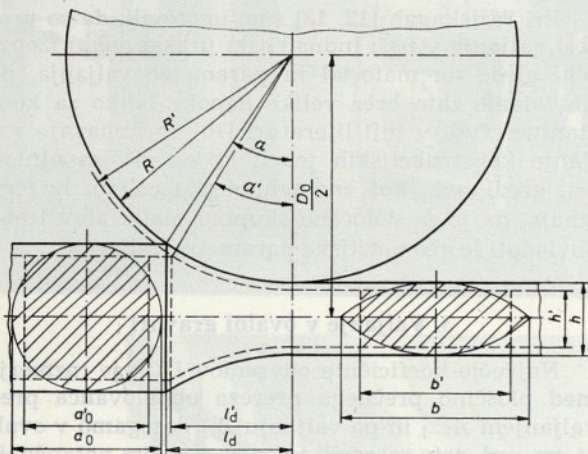
$$w = 0,7 \dots 1$$

$$z = 2 \dots 5$$

4. Primerjalna analiza

Dobljene rezultate (enačbi 1 in 2) smo želeli primerjati še z rezultati po metodologijah drugih avtorjev, kar nam je le delno uspelo. V literaturi nismo mogli najti podatkov za valjanje pokončnega kvadrata v ovalni gravuri, ki bi bilo podano v odvisnosti od štirih geometrijskih parametrov. Pač pa je bilo mogoče to opraviti za valjanje okrogle palice.

Iz literature je najbolj znana in tudi uporabljana metodologija, ki so jo postopoma izpopolnjevali Tarnovskij, Smirnov in drugi [16, 17, 18]. Za izhodišče so vzeli »prirejeni« valjanec, kar je že leta 1936 predlagal Golobin [19]. Po njegovem predlogu vsakemu valjancu, ki ima izbokel profil ploščine A in razmerje osi z , priredimo pravokotnik z enako ploščino A' in enakim razmerjem osi z' , tako da je $A' = A$ in $z' = z$ (sl. 5).



Sl. 5. Valjanje okrogle palice v ovalni gravuri in prirejeni valjanec

Po Tarnovskem in drugih je sprememba prečnih prereзов pri kovaškem valjanju

$$\frac{\Delta b'}{\Delta h'} = \frac{\Delta b}{\Delta h} \cdot k_f \cdot k_n \quad (3)$$

kjer je razmerje med spremembo širine in spremembo višine:

$$\frac{\Delta b}{\Delta h} = \frac{b_0 - b_1}{h_0 - h_1} \quad (4)$$

Pri tem pomenijo:

k_f — korekcijski faktor, ki upošteva vpliv kalibra,

k_n — korekcijski faktor za okroglo palico v ovalnem kalibru;

$$k_f = 1 - 0,6 w(w - 0,1 z) \quad (6)$$

k_n — koeficient nestacionarnosti, ki upošteva dolžino zvaljanega dela palice l_d v odvisnosti od dolžine deformacijskega področja pri stacionarnem valjanju $l_{d, st}$:

$$k_n = 0,21 \left(\frac{l_d}{l_{d, st}} \right)^3 - 0,92 \left(\frac{l_d}{l_{d, st}} \right)^2 + 1,5 \left(\frac{l_d}{l_{d, st}} \right) \quad (7)$$

Valjanje je stacionarno, če je $l_d/l_{d, st} \geq 2$. V tem primeru je koeficient $k_n = 1$.

V zgornjih enačbah pomenijo še:

$$h_m = \frac{h_0 + h_1}{2}, \quad b_m = \frac{b_0 + b_1}{2}$$

$$l_{d, st} = \sqrt{\frac{D_0}{2} (h_0 - h_1)}$$

μ — koeficient trenja med orodji in obdelovancem.

Neposredna primerjava naših ugotovitev (enačba 1) z navedeno metodologijo (enačba 3) ni bila mogoča, kajti spremembe prečnih prereзов so drugače definirane in podane v odvisnosti od med seboj različnih geometrijskih parametrov.

Z uporabo metode prirejenih valjancev in brezdimenzijskih parametrov λ, p, q, w, z lahko izrazimo elemente iz enačb od 3 do 7:

$$h_0' = d_0 \sqrt{\frac{\pi}{4}} = d_0 \cdot k = b_0' \quad (8)$$

$$A_1' = \frac{A_0'}{\lambda} = b_1' \cdot h_1' \quad (9)$$

$$z = z' = \frac{b_1'}{h_1'} = \frac{b_1}{h_1} \quad (10)$$

$$b_1' = z \cdot h_1' \quad (11)$$

$$h_1' = k \cdot d_0 \sqrt{\frac{1}{\lambda z}} \quad (12)$$

$$b_1' = k \cdot d_0 \sqrt{\frac{z}{\lambda}} \quad (13)$$

$$\frac{\Delta b}{\Delta h} = 0,5 \frac{\frac{h_m}{l_d} + 1,12 \mu \left(1 + 0,2 \frac{l_d^2}{b_m^2} \right)}{\frac{h_m}{l_d} + 0,56 \mu \left(1 + 0,2 \frac{l_d^2}{b_m^2} \right) \left(1 + 1,2 \frac{b_m^2}{l_d^2} \right) + 0,1 \frac{b_m^2}{l_d^2} \left(2 + \frac{h_m}{l_d} \right) \frac{h_m}{b_m}} \quad (5)$$

$$l'_{d, st} = \frac{k}{\sqrt{2}} \cdot d_0 \sqrt{\left(1 - \sqrt{\frac{1}{\lambda z}}\right) \left(\frac{q}{k} - \sqrt{\frac{1}{\lambda z}}\right)} \quad (14)$$

$$\frac{l_d}{l_{d, st}} = \frac{\sqrt{2}}{k} \cdot p \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \sqrt{\frac{1}{\lambda z}}\right) \left(\frac{q}{k} - \sqrt{\frac{1}{\lambda z}}\right)}} \quad (15)$$

$$b_m' = \frac{d_0 \cdot k}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{z}{\lambda}}\right) \quad (16)$$

$$h_m' = \frac{d_0 \cdot k}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{1}{\lambda z}}\right) \quad (17)$$

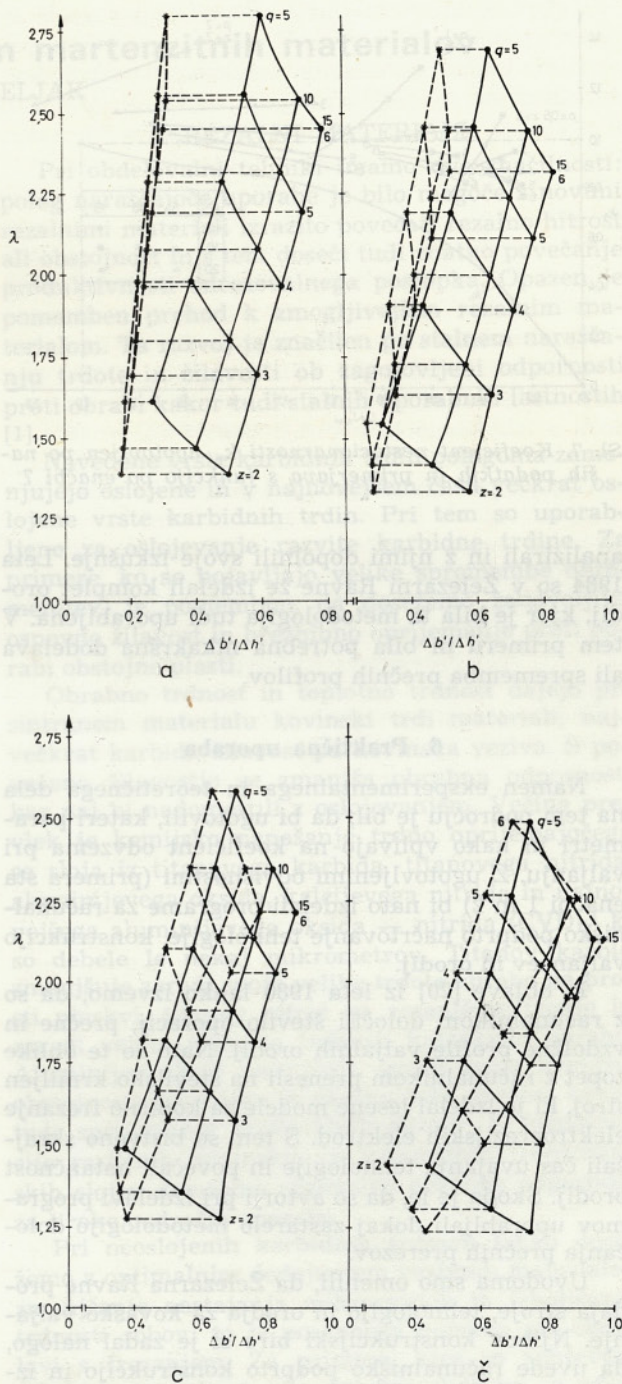
$$\frac{\Delta b'}{\Delta h'} = \frac{\sqrt{\frac{z}{\lambda}} - 1}{1 - \sqrt{\frac{1}{\lambda z}}} = \frac{z - \sqrt{\lambda z}}{\sqrt{\lambda z} - 1} \quad (18)$$

Po opravljenih transformacijah je mogoče razmernik $\Delta b'/\Delta h'$, ki pomeni spremembo veličin prečnih prerezov, izračunati na dva načina: prvi (enačba 3) predstavlja splošno metodologijo, drugi (enačba 18) pa izraža neposredno odvisnost razmernika od parametrov λ , p , q , w , z . Glede na to lahko poiščemo odvisnost koeficienta odvzema λ od razmernika $\Delta b'/\Delta h'$ na dva načina, kar smo podali na sliki 6.

Slika 6 prikazuje primerjavo dveh metodologij, ki imata popolnoma različne izvore. Naša temelji na statistični obdelavi podatkov o valjanju razmeroma kratkih valjancev. Metoda Tarnovskega in drugih obravnava stacionarno valjanje med gladkimi valji najprej z variacijskim računom, nato pa to dopolnjuje z vplivom oblike kalibra k_t in vplivom nestacionarnosti k_n . Navedena faktorja so sovjetski avtorji dobili iz analize preizkusnih podatkov.

Posebno dobro skladnost med metodologijama je opaziti pri valjancih, katerih zvaljani deli so daljši ($p = 2, 4$), pri večjih razmerjih osi ovala ($z = 4, 5, 6$) in pri manjših relativnih premerih valjev ($q = 5$). Nekoliko večja razhajanja je mogoče opaziti pri valjancih z manjšim p , torej pri valjanjih ob izraziti nestacionarnosti.

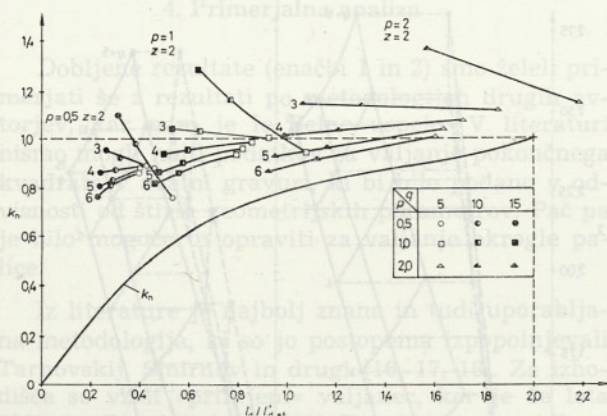
Koeficient nestacionarnosti k_n (enačba 7) opravlja svojo vlogo le tedaj, ko je manjši od ena. Zato smo iz naših podatkov in z enačbama 3 in 6 izračunali, kolikšen naj bi bil ta koeficient. Prišli smo do ugotovitve (sl. 7), da naj bi bil pod določenimi pogoji več od ene, kar nakazuje domnevo, da bo treba koeficient nestacionarnosti natančneje opredeliti.



Sl. 6. Primerjava splošne metodologije valjanja okrogle palice v ovalnem kalibru (B) z našimi rezultati (A)

a — $w = 0,9$, $p = 0,5$; b — $w = 0,9$, $p = 1$; c — $w = 0,9$, $p = 2$;
 ————— $(\Delta b'/\Delta h')_A$, ————— $(\Delta b'/\Delta h')_B$

Kljub navedenim razlikam je mogoče ugotoviti zadovoljivo skladnost med dvema popolnoma različnima načinoma obravnave te problematike. Z našo metodologijo bomo načrtovali nove tehnološke postopke, vse morebitne popravke pa bomo skrbno



Sl. 7. Koeficient nestacionarnosti k_n ugotovljen po naših podatkih in primerjava s funkcijo po enačbi 7

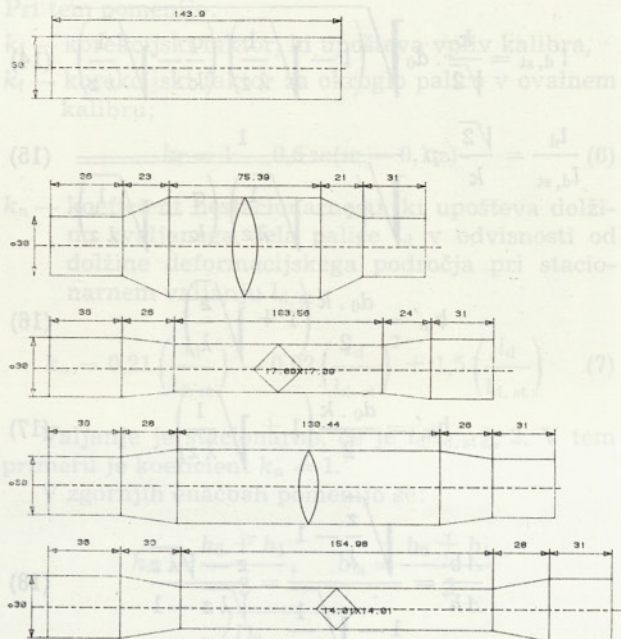
analizirali in z njimi dopolnili svoje izkušnje. Leta 1984 so v Železarni Ravne že izdelali komplet orodij, kjer je bila ta metodologija tudi uporabljena. V tem primeru ni bila potrebna nikakršna dodelava ali sprememba prečnih profilov.

6. Praktična uporaba

Namen eksperimentalnega in teoretičnega dela na tem področju je bil, da bi ugotovili, kateri parametri in kako vplivajo na koeficient odvzema pri valjanju. Z ugotovljenimi odvisnostmi (primera sta enačbi 1 in 2) bi nato izdelali programe za računalniško podprto načrtovanje tehnologije, konstrukcijo valjancev in orodij.

Iz objave [20] iz leta 1980 lahko izvemo, da so z računalnikom določili število operacij, prečne in vzdolžne profile valjalnih orodij. Nato so te oblike zopet z računalnikom prenesli na številsko krmiljen stroj, ki je izdelal lesene modele za kopirno frezanje elektroerozijskih elektrod. S tem so bistveno skrajšali čas uvajanja tehnologije in povečali natančnost orodij. Škoda je le, da so avtorji pri izdelavi programov uporabljali dokaj zastarelo metodologijo določanja prečnih prereзов.

Uvodoma smo omenili, da Železarna Ravne prodaja stroje, tehnologijo in orodja za kovaško valjanje. Njihov konstrukcijski biro si je zadal nalogo, da uvede računalniško podprto konstrukcijo in izdelavo valjalnih orodij. S skupnimi močmi nam je uspelo, da se sedaj z računalnikom izračunavajo in rišejo valjanci (primer na sl. 8) z največ šestimi različnimi geometrijskimi elementi. Valjajo se lahko okrogle in kvadratične palice, in to v dveh do šestih operacijah. Ko bo v prihodnje še matematično opisana odvisnost dolžin na orodju od ustreznih dolžin valjanca, bo mogoča priprava programov za številsko krmiljene obdelovalne stroje, na katerih bi se ta orodja izdelovala. S tem, kar smo do sedaj storili, pa je mogoče izdelovati šablone za kontrolo prečnih prereзов na orodjih.



Sl. 8. Primer računalniško podprtega določanja števila operacij in risanja valjancev (Železarna Ravne)

LITERATURA

- [1] Bruhanov, A., N.; Rebelski, A., V.: Gorjačaja šampovka. Konstruiranje i rasčet šampov. Mašgiz, Moskva 1952.
- [2] Lange, K.: Gesenkschmieden von Stahl. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1958.
- [3] Neuberger, F.; Röt, L.: Werkstoffbedarf beim Gesenkschmieden von Stahl. Fertigungstechnik und Betrieb (1961) 8, 514—516.
- [4] Neuberger, F.; Möckel, L.; Schlowag, E.: Untersuchungen über die Mengenleistung von Fall-, Oberdruck- und Gegen-schlaghämern beim Gesenkschmieden von Stahl. Fertigungs-technik und Betrieb (1961) 8, 510—512.
- [5] Kuzman, K.; Gumzej, F.: Iskanje zakonitosti v tehnološki praksi lahko prinaša velike prihranke. Strojniški vestnik (1971) 6, 206—207.
- [6] Kuzman, K.: Kovaško valjanje. Diplomsko delo št. 1068, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1965.
- [7] Kuzman, K.: Osnovne tehnološke lastnosti kovaškega valjanja. Strojniški vestnik (1969), 4/5, 122—128.
- [8] Kuzman, K.: O nekaterih problemih pri osvajanju tehnologije kovaškega valjanja. VI. savjet. o proizv. strojarstvu, Opatija 1970, 127—135.
- [9] Kuzman, K.: Vloga in prednosti kovaškega valjanja. Strojniški vestnik (1971) 1, 13—14.
- [10] Kuzman, K.: Dimenzioniranje procesov kovaškega valjanja. IX. savet. proizv. mašinstva, Niš 1974, OD 8, 1—13.
- [11] Kuzman, K.: Posebnosti kovaškega valjanja izdelkov z malimi relativnimi dolžinami. XI. savet. za proizv. mašinstvo, Ohrid 1977, 141—149.
- [12] Kuzman, K.: Kovaško valjanje, ocena teoretičnih in eksperimentalnih izsledkov. Diplomaska naloga III. stopnje. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1972.
- [13] Kuzman, K.: Metodika vnaprejšnje določitve vplivnih veličin na proces periodičnega valjanja v ovalnem kalibru. Disertacija. Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1984.
- [14] Spies, K.: Die Zwischenformen beim Gesenkschmieden und ihre Herstellung durch Formwalzen. Diss. T. H. Hannover 1957.
- [15] Spies, K.: Das Walzen von Zwischenformen für Gesenkschmiedestücke. Werkstattstechnik und Maschinenbau (1957), 8, 433.
- [16] Smirnov, V., K.; Litvinov, K., I.; Haritonin, S., V.: Gorjačaja valcovka zagotovok. Mašinostroenie, Moskva 1980.
- [17] Tarnovskij, I. J.; Smirnov, V., Kocar, S., L.: Prodolnaja prokatka profilov peremennogo sečenija. Metallurgizdat, Sverdlovsk 1962.
- [18] Smirnov, V., K.: Valcovka zagotovok pod šampovki. Mašinostroenie, Moskva 1964.
- [19] Golobin, A., F.: Prokatka. Metallurgizdat, Moskva 1936.
- [20] Chan, K., Y.; Mullineux, G.; Knight, W., A.: Computer aided design and manufacture of hot forging dies. Metallurgia (1980) Jan., 24—30.

Avtorjev naslov: doc. dr. mag. Karl Kuzman, dipl. inž.

Fakulteta za strojništvo, Ljubljana