

# Vpliv preoblikovanega materiala na snovanje procesov hladnega masivnega preoblikovanja jekel

UDK: 669.14.018.233  
ASM/SLA: CNg, G5

Karel Kuzman

*Pomembnost uvajanja procesov hladnega masivnega preoblikovanja jekel v našo elektro in kovinsko predelovalno industrijo je nesporno dokazana. Namen pričujočega članka pa je opozoriti na posebnosti, ki jih zahtevamo od preoblikovanih materialov, da bi dosegli tehnološko zanesljivo in rentabilno proizvodnjo.*

## 1. UVOD

Hladno masivno preoblikovanje jekel je industrijsko uporabno le tedaj, če smo v procesu ugodno rešili tri glavne probleme:

- preoblikovalna orodja so tako izdelana, da se ob visokih obremenitvah nenormalno ne trošijo;
- preoblikovani material prenaša velike trajne deformacije, ne da bi se kjerkoli po volumnu, in površini obdelovanca pojavile lokalne porušitve;
- obdelovanci so tako površinsko obdelani, da se mazalni film med orodjem in obdelovancem nikoli ne pretrga.

V zadnjem času so bila razvita posebna hitroreznata jekla, ki lahko prenašajo pritiske od 2300 do 2500 N mm<sup>-2</sup>, pri tem pa ostanejo še dovolj žilava. Prav tako se da z nitriranjem povečati njihovo odpornost proti obrabi. Deli orodij, pri katerih se ne zahteva večja žilavost ali upogibna trdnost in se dajo dovolj togo vgraditi, pa se izdelujejo iz karbidnih trdin, ki dovoljujejo tlačne obremenitve do 3000 in 3500 N mm<sup>-2</sup>, njihova obraba pa je povprečno desetkrat manjša od obrabe jeklenih orodij.

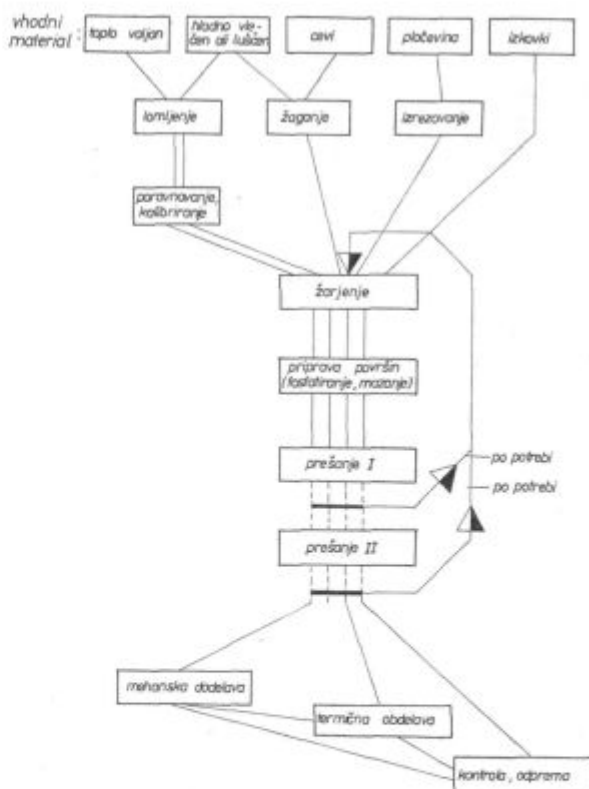
Orodja so kljub visokim trdnostnim kvaliteta zelo močno obremenjena, včasih dosegajo delovne napetosti 90 % njihove zrušilne trdnosti. Zato je razumljivo, da sprememba preoblikovalnega pritiska za okoli 10 % lahko poveča ali zmanjša obstojnost orodij, povečanje obremenitve za 20 do 40 % pa zelo pogostokrat vodi do njihove takojšnje porušitve. Iz tega pridemo do logičnega zaključka, da je rentabilnost hladnega preoblikovanja izredno odvisna od pravilne zasnove postopka ter kasneje med proizvodnjo od dosledne tehnološke discipline. Ker so obremenitve orodij poleg tornih pogojev med orodjem in obdelovancem odvisne tudi od preoblikovalnih odporov materiala, ki jih opisujemo s krivuljo plastičnosti (1), je

dovolj utemeljena zahteva, da je treba za vse obravnavane materiale poznati krivuljo plastičnosti, obenem pa se truditi, da bi ta krivulja ležala čim nižje. Znižanje krivulje le za nekaj odstotkov vnaša v proces večjo varnost ter boljše obstojnosti orodij.

Pri snovanju tehnoloških postopkov moramo poleg obremenitve orodij, dovoljenih deformacij materiala upoštevati še končno stanje izdelka. Čestokrat se namreč za kakšen izdelek zahteva, da mora imeti predpisano trdnost. Tedaj vzamemo mehkejši osnovni material in ga s hladno predelavo spravimo v željeno stanje. Pri tem bo preoblikovanje potekalo ob ugodnejših nižjih pritiskih.

Redkokdaj se končna oblika obdelovanca doseže z eno samo operacijo. Običajno so izdelki

## POTEK PROCESA HLADNEGA PREŠANJA



Slika 1  
Potek procesa hladnega prešanja.  
Fig. 1  
Cold pressing process

Mag. Karl Kuzman, dipl. ing. str., Unior — kovaška industrija Zreče

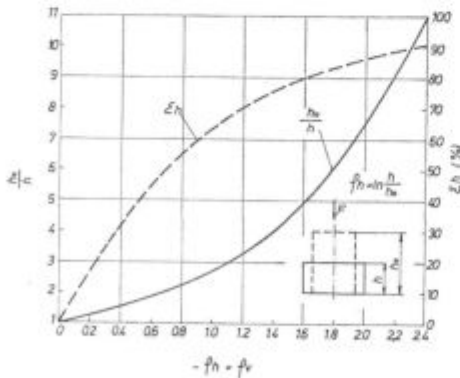
takih oblik, s takimi spremembami presekov, da je treba oblikovanje opravljati postopoma, ker moramo upoštevati obrabo in obremenitve orodij, pogoje mazanja ter končno stanje obdelovanca. Pri takšnem postopnem oblikovanju torej tehnologijo sestavljajo zanke, ki so vedno sestavljene iz najmanj treh operacij: žarjenje (mehko ali napestno), priprava površin ter prešanje, kar je prikazano na sliki 1.

**2. Dopustne deformacije**

Postopki hladnega masivnega preoblikovanja so pogojeni tudi s sposobnostjo obdelovanega materiala, da brez porušitev prenese velike deformacije. Že pri hladnem nakrčevanju glav vijakov se pojavljajo dokajšnje deformacije, saj niso redki primeri, ko je razmerje med višino surovca in višino končne glave vijaka 4:1, kar ustreza okoli 75 % deformaciji. V plastomehaniki se uporablja računanje z logaritmičnimi deformacijami, ker velja, da je zaradi nestisljivosti materiala v plastičnem področju vsota vseh logaritmičnih deformacij enaka  $\phi$ . Za povezavo z ostalimi načini izražanja deformacij je podana slika 2, kaj več pa je mogoče najti v naših učbenikih (2), (3), (4).

Največji delež novejših postopkov preoblikovanja predstavljajo različne kombinacije med protismernim in istosmernim iztiskavanjem. Na slikah 3 in 4 so podani pritiski, ki obremenjujejo pestiče pri iztiskavanju različnih vrst jekel, in to v odvisnosti od stopnje deformacije.

V uvodu smo že omenili, da smo pri snovanju tehnologije čestokrat omejeni s prevelikimi pritiski na orodje, predvsem na pestiče. To je posebno kritično pri protismernem iztiskavanju, kjer pri majhnih in razumljivo večjih deformacijah obremenitve močno naraščajo. Tako pri protismernem iztiskavanju jekla Č. 1431 nikoli ne moremo priti izpod 2400 N/mm<sup>2</sup>, pri Č. 1221 pa ne izpod 1700 N/mm<sup>2</sup>.



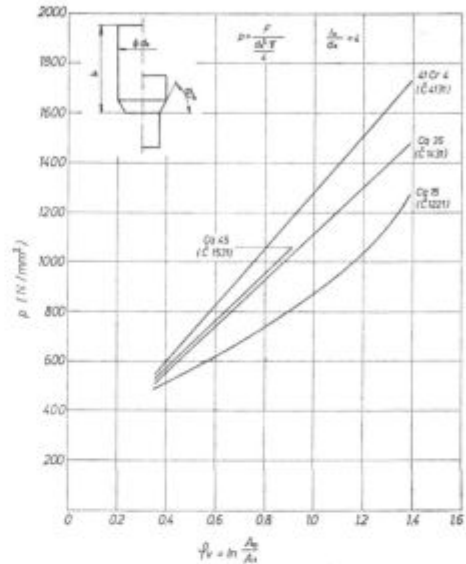
Slika 2

Odvisnost specifične deformacije  $\epsilon_h$  in razmerja višin  $h_0/h$  od logaritmične deformacije višine  $\phi_h$  pri nakrčevanju cilindričnega preizkušanca.

Fig. 2

Relationship between the specific deformation  $\epsilon_h$  and the height ratio  $h_0/h$ , from the logarithmic deformation of height  $\phi_h$  in compression of cylindrical sample.

Popolnoma drugačna stvar pa je pri istosmernem iztiskavanju. Na sliki 3 vidimo, da tudi pri jeklu Č 4131 in deformaciji  $\phi_v = 1,4$  ( $\Sigma_A = 75\%$ ) obremenitev pestiča ne presega 1800 N/mm<sup>2</sup>. V tem primeru je tehnologija omejena samo s sposobnostjo preoblikovanega materiala, z nevarnostjo pojavljanja razpok. Razumljivo je, da mora biti pri tem tudi geometrija matrice ustrezna, površine orodij visokokvalitetno polirane, surovci površinsko obdelani, . . .

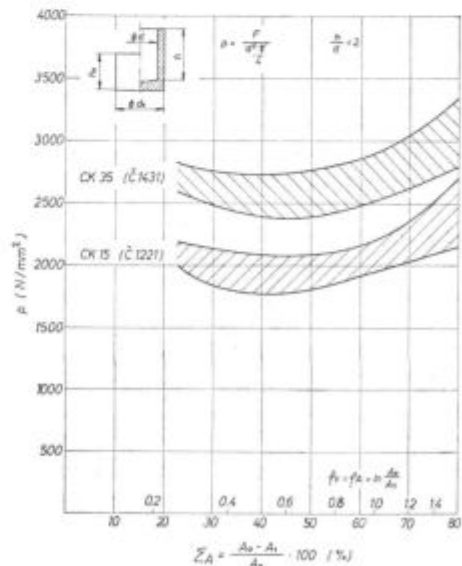


Slika 3

Specifični pritisk na pestič  $p$  pri istosmernem iztiskavanju polnih teles po Kastu (5).

Fig. 3

Specific punch pressure  $p$  in forward extrusion of rods by Kast (5).



Slika 4

Specifični pritisk na pestič  $p$  pri protismernem iztiskavanju dveh vrst jekla po Kastu (6).

Fig. 4

Specific punch pressure  $p$  in backward extrusion of two steels by Kast (6).

Kakšni naj bodo torej kriteriji, po katerih bomo spoznali, ali je jeklo ustrezno za hladno masivno preoblikovanje? Kakšni naj bodo prevzemni preizkusi, na podlagi katerih bomo vnaprej ocenjevali kvaliteto materiala, da ne bomo šele tedaj ugotovili, da material ne ustreza, ko bodo iz preše prihajali defektni izdelki ali pa ko se bo orodje nenadoma porušilo?

Vsekakor se ne moremo sklicevati na tlačni preizkus po JUS C A4 006. Ta predpisuje višino preizkušanca enako njegovemu dvakratnemu premeru, kar zahteva posebno izvedeno orodje, odlično paralelnost, če nečemo, da pride do uklona preizkušanca. Prav tako ta standard ne navaja načina mazanja tlačnih ploskev. Ob pogojih slabega ali celo suhega trenja dobi preizkušavec močno sodčkasto obliko in zelo komplicirano deformacijsko stanje, zato sprememba višine ni ustrezno merilo o preoblikovalnih sposobnostih materiala (7).

Standard niti ne pojasnjuje, kakšne deformacije morajo doseči posamezni materiali, da so sposobni za preoblikovanje v hladnem.

Ustreznejši tlačni preizkusi naj potekajo tako, da je deformacija čim bolj homogena, kar je mogoče doseči le z odličnim mazanjem, z brušenimi kontaktnimi ploskvami orodij in obdelovancev ter z višinami preizkušancev  $h_0 = 1,2 \div 1,5 d_0$ . Kot mazivo lahko uporabljamo 0,05 do 0,20 mm debele teflonske folije (preizkus moramo večkrat prekiniti, ker preizkušavec prestriže folijo, pa jo moramo nadomestiti z novo), lahko uporabljamo razne paste ali prahove na bazi  $MoS_2$  ali pa preizkušance fosfatiramo in namažemo s posebnimi olji, mazivi z  $MoS_2$  ali mili.

Kakšno deformacijo pa moramo doseči pri tlačnem preizkusu, da bomo lahko sklepali, če je jeklo sposobno za hladno predelavo? O tem se po svetu veliko razpravlja, niso še postavljene absolutne meje.

Tudi na seminarju na Institutu za preoblikovanje na tehnični univerzi v Stuttgartu, ki je bil od 26. do 28. 6. 1975 in je bil posvečen problemom hladnega masivnega preoblikovanja kovin (udeležilo se ga je veliko raziskovalcev in uporabnikov), so veliko govorili ravno o takšnih problemih. Končni zaključek diskusij je bil, da je osnovni pogoj za osvajanje novih tehnologij hladnega masivnega preoblikovanja resnično dobro sodelovanje med proizvajalcem in predelovalcem jekla. Ta dva morata na podlagi osnovnih preizkusov in kritične analize proizvodnih rezultatov sestaviti prevzemne pogoje za jeklo. Ti prevzemni pogoji so lahko različni za enako kvaliteto jekla, ker so pač prirejeni različnim pogojem predelave.

Postopki nakrčevanja in istosmernega iztiskavanja n. pr. zahtevajo posebno kvaliteto površino, postopki z visokimi obremenitvami orodij nižjo krivuljo plastičnosti, ki je pogostokrat dosežamo z vsebnostjo ogljika blizu spodnje dovoljene meje; postopki z ozkimi višinskimi tolerancami izdelkov zahtevajo čim manjše razlike med krivuljami plastičnosti znotraj šarže ali med posameznimi

šaržami. Včasih mora biti jeklo posebno čisto, drugič površinsko le minimalno razogljčeno.

Jekla, ki bi ustrezala vsem navedenim zahtevam, je mogoče izdelati, bila bi idealna, toda po mnenju razpravljalcev iz velikih zahodnoevropskih podjetij bi bila odločno predraga in zato industrijsko neuporabna.

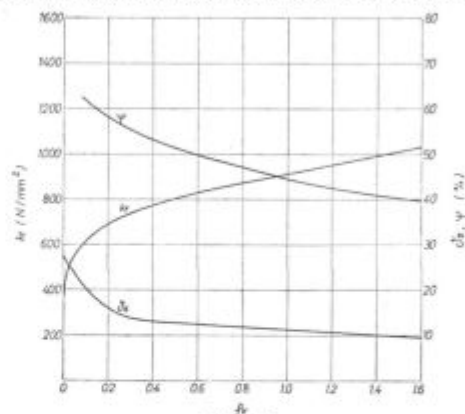
Kljub vsemu, da naj bodo tudi maksimalne deformacije stvar dogovora, pogledimo nekaj splošnih podatkov o tem, kakšne deformacije se dosežajo pri običajnih postopkih preoblikovanja, ki jih morajo obdelovanci brez težav prenesti. Tako podaja tabela 1 podatke po Gentsch-u (8), kjer se jasno vidi, da so največje deformacije zopet odvisne od vrste postopka.

Po DIN 1654 se mora preizkušavec z  $h_0 = 1,5 d_0$  brez razpok nakrčiti na  $h = 0,5 d_0$ , kar ustreza deformaciji  $\varphi_v = 1,1$ . V knjigi (9) pa je navedeno, da je za izdelavo nekaterih glav vijakov potrebno, da osnovni material pri tlačnem preizkusu prenese deformacijo  $\varphi_v = 1,5$ . (temu ustreza  $\Sigma_{\phi} = 77\%$ ). Standard niti ne pojasnjuje, kakšne deformacije morajo doseči posamezni materiali, da so sposobni za preoblikovanje v hladnem.

Prav tako je v knjigi (9) obravnavan tipski preizkus, kjer se preizkušanci  $\varnothing 10 \times 16$  nakrčujejo s silo 20 Mp. Višina pri končni sili je nato merilo preoblikovalnosti materiala. Če se preizkus ustavi (zaradi razpoke ali pa je bila že dosežena maksimalna sila), pri  $h = 8 \div 10$  mm, je material zelo slab; pri  $h = 2 \div 4$  mm ( $\varphi_v = 1,4 \div 2,1$ ) pa zelo dober. Ker je končna višina seveda tudi odvisna od trdnostnih razmer, od krivulje plastičnosti, je ustrezna modifikacija tega preizkusa zaradi svoje enostavnosti zelo primerna za dogovorjeni prevzemni preizkus med proizvajalcem in predelovalcem jekla.

### 3. Mehanske lastnosti

Znano je, da se s hladno deformacijo spremeni tudi mehanske lastnosti kovin. Poveča se nji-



Slika 5

Mehanske lastnosti jekla Cq 45 (C.1531) v odvisnosti od deformacije v hladnem stanju po VDI (10). Jeklo sestave 0,47 % C, 0,69 % Mn, 0,20 % Cr, 0,24 % Mo, 0,026 % P, 0,026 % S je bilo mehko žarjeno pri 690° C.

Fig. 5

Mechanical properties of Cq 45 steel (C.1531) depending on cold deformation according to VDI (10). Steel with 0,47 % C, 0,69 % Mn, 0,20 % Cr, 0,24 % Mo, 0,026 % P, and 0,026 % S was soft annealed at 690° C.

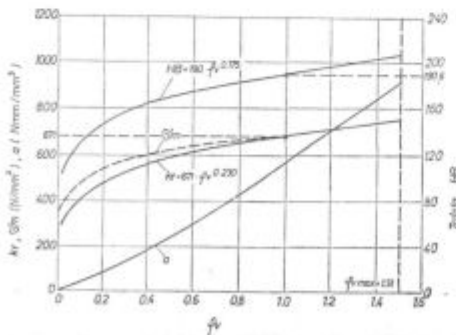
hova trdnost, meja plastičnosti, trdota, zmanjšata pa se razteznost in kontrakcija. Pri hladnem masivnem oblikovanju imamo opravka z velikimi deformacijami, pa so zato tudi spremembe mehanskih lastnosti dokaj velike. Tako je npr. iz slike 5 razvidno, da se deformacijska trdnost  $k_f$ , ki jo lahko imenujemo tudi meja tečenja, s  $360 \text{ N mm}^{-2}$  v začetnem stanju poveča ob deformaciji  $\varphi_v = 1,6$  na  $1030 \text{ N mm}^{-2}$  ali skoraj za trikrat. Pri tem se je kontrakcija zmanjšala za polovico, razteznost pa za dve tretjini.

Prav tako se z naraščajočo deformacijo povečuje tudi trdota preoblikovanega materiala. Na sliki 6 je prikazana sprememba mehanskih in preoblikovalnih lastnosti domačega jekla, ki so bile ugotovljene s pomočjo diskontinuirnega tlačnega preizkusa, opisanega v (1). Ker postaja material vedno manj žilav, se krivulja zrušilne trdnosti  $\sigma_m$  vedno bolj približuje krivulji tečenja  $k_f$  in pravimo, da ima jeklo vedno manj plastične rezerve.

V uvodu je bilo tudi že omenjeno, da je krivulja plastičnosti  $k_f = k_f(\varphi_v)$  osnova za računanje preoblikovalnih sil in s tem za dimenzioniranje preoblikovalnih postopkov. Prav tako je krivulja plastičnosti najnatančnejša osnova za sklepanje o preoblikovalnih lastnostih materialov. Če imamo namreč za material, ki je v redni proizvodnji pokazal dobre rezultate, ki smo ga na primer šele dobili, iz njegove krivulje vnaprej zelo zanesljivo sklepamo o njegovem obnašanju v kasnejši predelavi.

Določanje krivulje plastičnosti je zvezano z nekaj posebne opreme in tehniko vrednotenja, kar razumljivo ni dosegljivo v vsakem podjetju. Zato smo pri naših preizkusih istočasno z zbiranjem podatkov za krivuljo plastičnosti merili trdoto preizkušancev in dobili odvisnost trdote od deformacije. Takšna krivulja se dobi zelo enostavno, saj je poleg merjenja trdote potrebno meriti le trenutne višine preizkušancev in iz njih izračunati primerjalno deformacijo. Ker pri tem ni potrebno poznati velikosti preoblikovalne sile, lahko za nakrčevanje vzamemo kateri koli preoblikovalni stroj.

Slabost krivulje trdote je, da je merjenje trdot zvezano s precejšnjim trosenjem. Med našimi pre-

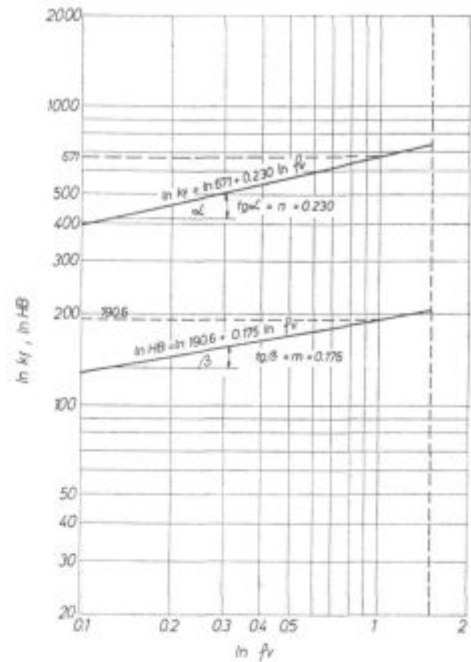


Slika 6

Preoblikovalne in mehanske lastnosti mehkožarjenega jekla C.0146 v odvisnosti od deformacije v hladnem stanju.

Fig. 6

Formability and mechanical properties of soft annealed C.0146 steel depending on cold deformation.

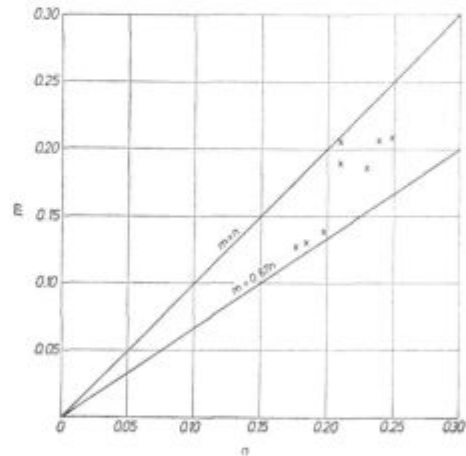


Slika 7

Krivulja plastičnosti in krivulja trdot za jeklo C.0146 v dvojnolgaritemskem diagramu.

Fig. 7

Plasticity and hardness curves of C.0146 steel in double logarithmic scale.



Slika 8

Odvisnost eksponenta krivulje trdot  $m$  od eksponenta krivulje plastičnosti  $n$ .

Fig. 8

Relationship between the exponent  $m$  of the hardness curves and the exponents  $n$  of the plasticity curves.

izkusi smo obdelovali veliko število vzorcev različnih vrst jekel. Nato smo za te podatke iskali, katera funkcija bi najboljše aproksimirala krivuljo plastičnosti, oziroma krivuljo trdot. Ugotovili smo, kar se tudi po svetu najpogosteje uporablja, da so za aproksimacijo najustreznejše potenčne funkcije. Te funkcije v dvojnolgaritemskem diagramu preidejo v premice, zato je statistično vrednotenje dokaj poenostavljeno (slika 7). Ko smo testirali jakost teh odvisnosti, smo za vse krivulje plastičnosti

nosti dobili korelacijske koeficiente, večje od  $R = 0,95$ , za krivulje trdot pa večje od  $R = 0,85$ .

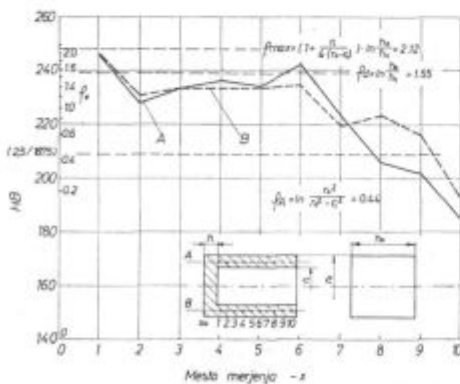
EkspONENT potenčne funkcije, ki aproksimira krivuljo plastičnosti in ki je v dvojno logaritemskem diagramu enak tangensu naklonskega kota premice, postaja zadnje čase vedno bolj pomemben kot merilo za preoblikovalne lastnosti materialov. Tako je iz plastomehanike poznano, da je **ekspONENT potenčne funkcije, pogosto imenovan tudi eksponent utrjevanja -n-** točno enak primerjalni logaritmični deformaciji tedaj, ko pri nateznem preizkusu sila doseže največjo vrednost.

Pri vseh preizkusih, ki smo jih opravili, smo ugotovili, da krivulja trdot manj strmo narašča kot krivulja plastičnosti, torej, da je eksponent  $-m-$  vedno manjši od eksponenta  $-n-$  (slika 8). To zanimivo odvisnost bomo v naših nadaljnjih raziskavah skušali podrobneje obdelati.

#### 4. Uporaba krivulj trdote

Skoraj vsi hladno oblikovani kovinski izdelki, ki jih srečujemo v vsakodnevni praksi, so takih oblik, da bi zanje tudi z najmodernejšimi metodami plastomehanike ne mogli teoretično določiti deformacijskega stanja po njihovem celem volumnu. Zato moramo uporabljati različne eksperimentalne metode, od katerih je najenostavnejše, a žal tudi manj natančno, merjenje trdot (11). S to metodo ob znani krivulji odvisnosti trdote od deformacije nato na obdelovancih izmerjenim trdotam določimo deformacijo.

Natančno poznavanje deformacijskega stanja je zelo pomembno za preverjanje zanesljivosti izbranega tehnološkega postopka. Če imamo na primer izdelek iz jekla Č 0146 (slika 6), za katerega smo pri tlačnem preizkusu brez razpok dosegli  $\varphi_v = 1,51$ , nato pa smo pri merjenju trdot po celem preseku izdelka našli največ  $HB = 200$ , tedaj vemo, da smo material deformirali največ do  $\varphi_v = 1,30$  in da imamo zato še precej rezerve. Pri trdotah nad  $HB = 220$  pa že obstaja nevarnost prvih razpok.

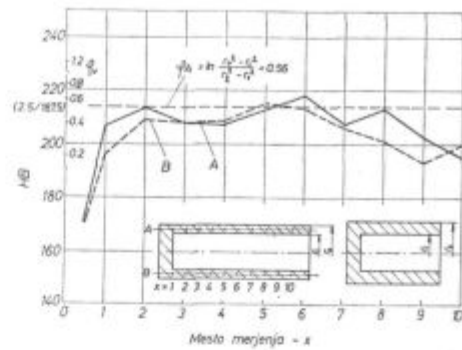


Slika 9

Potek trdote po preseku preizkušanca, izdelanega s postopkom protismernega iztiskavanja.

Fig. 9

Variation of hardness on the cross section of slug made by backward extrusion.



Slika 10

Potek trdote po preseku preizkušanca, izdelanega z vlekrom z redukcijo stene.

Fig. 10

Variation of hardness on the cross section of slug made by draw wipe operation (reduction of the wall).

Čeprav se zdi protismerno iztiskavanje lončka s stališča deformacijskega stanja dokaj enostavno, vidimo iz slike 9, da to ni res. Največje deformacije dosežemo pri prehodu iz dna v steno lončka, potem pa se proti vrhu lončka vedno bolj zmanjšujejo. Takšno sliko nam daje tudi merjenje trdot. S pomočjo znane odvisnosti med trdoto in deformacijo, ki je na sliki tudi pokazana, lahko sedaj določimo dosežene deformacije.

Največja deformacija je po Dipperju (12)  $\varphi_{max} = 2,12$ , ki smo jo na navedenem mestu tudi dosegli. Prav tako se izračunana deformacija dna dokaj dobro ujema z izmerjeno. Deformacija prečnega preseka  $\varphi_A$  je s stališča merjenja trdot najslabše definirana vrednost. Obravnavanje podanega primera lahko zaključimo s podatkom, da smo pri tlačnem preizkusu osnovnega materiala dosegli  $\varphi_{v,max} = 2,4$ , kar pove, da so preoblikovalne sposobnosti že dokaj izčrpane, uporaba slabšega materiala pa bi bila problematična.

Pri postopkih, kjer so deformacije po volumnu obdelovanca bolj enakomerne, kot je to pri vlečenju žice, izdelavi vijakov in matic, vleku z redukcijo stene (slika 10), pa z znano krivuljo trdot lahko teoretično dokaj natančno vnaprej določimo, kakšno trdoto, oziroma trdnost bomo dobili po preoblikovanju. Če cevki na sliki 10 odstružimo dno in poravnamo vrhnji del, dobimo celoten volumen z zrušilno trdnostjo  $\sigma_m = 700 + 800 \text{ N mm}^{-2}$ , ki smo jo dosegli po deformaciji preseka  $\varphi_A = 0,56$  iz materiala, ki je v mehko žarjenem stanju imel

$$\sigma_v = 370 \text{ N mm}^{-2}, \text{ in}$$

$$\sigma_m = 520 \text{ N mm}^{-2}.$$

#### 5. Krivulje plastičnosti in toplotna obdelava

Omenili smo že, da krivulja plastičnosti služi za računanje preoblikovalnih sil, obenem pa opisuje preoblikovalne sposobnosti materiala, kajti konča se pri deformacijah, kjer se pojavijo prve razpoke, torej tam, kjer je plastičnost materiala popolnoma izčrpana. Ker pa so preoblikovalne spo-

sobnosti precej odvisne tudi od toplotne obdelave preoblikovanega jekla, se zadnje čase s krivuljami plastičnosti ocenjujejo tudi načini toplotne obdelave.

Osnovni problem jekel za hladno masivno preoblikovanje je v tem, da naj bi vsebovala čim več

perlita v kroglasti obliki, torej da bi jekla imela čim višjo stopnjo sferoidizacije. Toda stopnja sferoidizacije narašča z daljšimi časi žarjenja, kar pa predstavlja večje stroške.

S tega stališča zato ni absolutnega merila, kakšna mora biti toplotna obdelava jekel za hladno

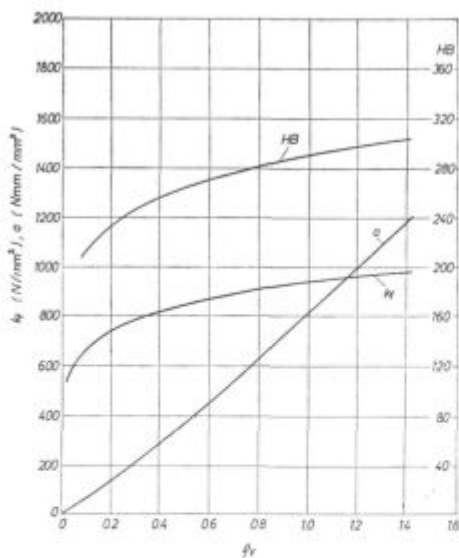
Tabela 1 — Približno rentabilno dosegljive specifične in logaritmične deformacije pri hladnem iztiskavanju različnih kovin

material	istosmerno iztiskavanje			protismerno iztiskavanje		
	$\epsilon_A$ [%]	$\epsilon_s$ [%]	$\varphi_g$	$\epsilon_A$ [%]	$\epsilon_s$ [%]	$\varphi_g$
Č. 1120, Č. 1121, Č. 1220, Č. 1221	85	75	2,4	75	55	1,4
Č. 4320, Č. 4321, Č. 4120	80	65	1,7	70	45	1,2
Č. 1330, Č. 1331, Č. 4730						
Č. 1531, Č. 1431, Č. 4130	75	55	1,4	65	40	1,1
Č. 4731, Č. 4131						
Pb, Sn, Al 99,99, Al 99,5	99	97	4,6	99	97	4,6
Al Mg1 Si1, Al Mn1	95	85	2,5	90	70	1,8
Al Cu5 Mg1, Zn	80	65	1,7	70	45	1,2

specifična deformacija prereza  $\epsilon_A = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100$  [%]

specifična deformacija stene  $\epsilon_s = \frac{s_0 - s_1}{s_0} \cdot 100$  [%]

glavna logaritmična deformacija  $\varphi_g = \ln \frac{A_1}{A_0}$

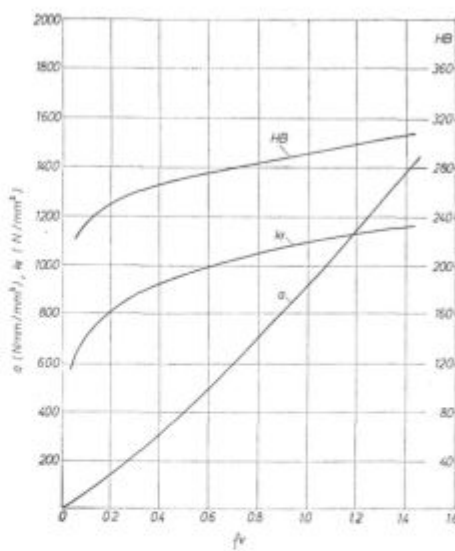


Slika 11

Trdota HB, deformacijska trdnost  $k_f$  in specifično deformacijsko delo  $a$  v odvisnosti od primerjalne logaritmične deformacije  $\varphi$ , za mehkožarjeno jeklo Č.4320.

Fig. 11

HB hardness, flow stress  $k_f$  and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation  $\varphi$ , for soft annealed Č.4320 steel.



Slika 12

Trdota HB, deformacijska trdnost  $k_f$  in specifično deformacijsko delo  $a$  v odvisnosti od primerjalne logaritmične deformacije  $\varphi$ , za mehkožarjeno jeklo Č.4721.

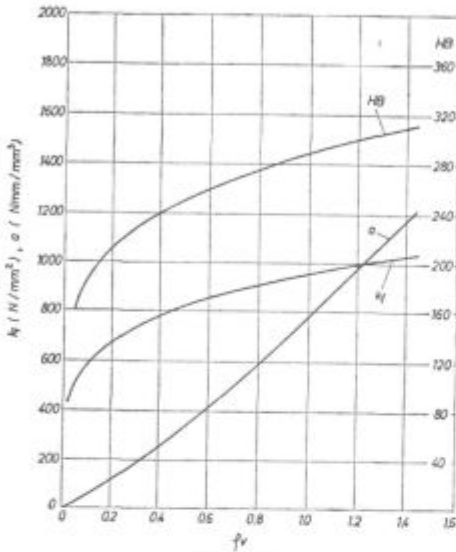
Fig. 12

HB hardness, flow stress  $k_f$  and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation  $\varphi$ , for soft annealed Č.4721 steel.

preoblikovanje. Billigmann in Feldmann navajata (9), da je za običajne primere hladnega preoblikovanja zadovoljiva 70 % sferoidizacija, ki dopušča približno naslednje maksimalne deformacije:

jeklo

	Č. 1331 Ck 22	Č. 1431 Cq 35	Č. 1531 Cq 45	Č. 3830 42 Mn V 7
$\varphi_{\text{max}}$	2,0	1,8	1,9	1,8

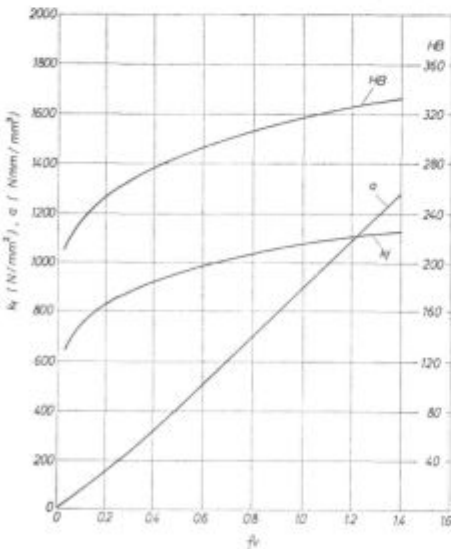


Slika 13

Trdota HB, deformacijska trdnost  $k_f$  in specifično deformacijsko delo  $a$  v odvisnosti od primerjalne logaritmčne deformacije  $\varphi_v$  za mehkožarjeno jeklo Cq 35 (Č.1431).

Fig. 13

HB hardness, flow stress  $k_f$  and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation  $\varphi_v$  for soft annealed Cq 35 steel (C.1431).



Slika 14

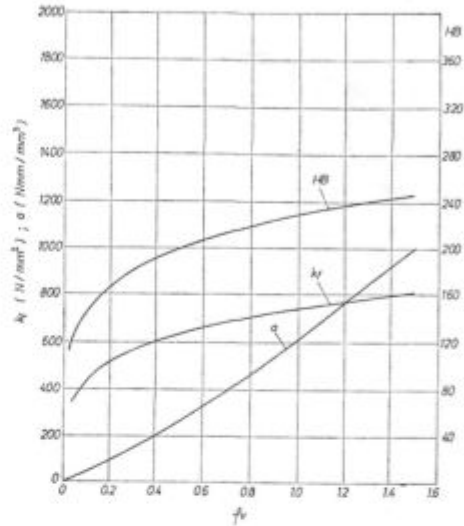
Trdota HB, deformacijska trdnost  $k_f$  in specifično deformacijsko delo  $a$  v odvisnosti od primerjalne logaritmčne deformacije  $\varphi_v$  za mehkožarjeno jeklo C.4731.

Fig. 14

HB hardness, flow stress  $k_f$  and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation  $\varphi_v$  for soft annealed C.4731 steel.

Za preoblikovanje z večjimi deformacijami moramo stopnjo sferoidizacije bistveno dvigniti in podaljšati čase žarjenja.

Trajanje žarjenja se kaže tudi na legi krivulje plastičnosti. Tako navaja Jonck (13) (tabela 2), kako se deformacijska trdnost znižuje s podaljševanjem časov žarjenja. Iz podatkov se lepo vidi, da podaljšanje časa s 16 na 32 ur prinese znižanje

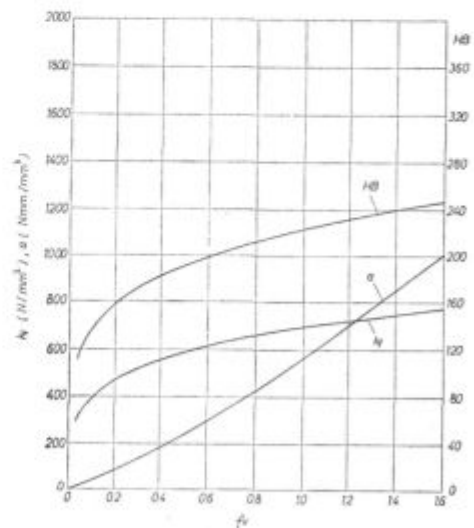


Slika 15

Trdota HB, deformacijska trdnost  $k_f$  in specifično deformacijsko delo  $a$  v odvisnosti od primerjalne logaritmčne deformacije  $\varphi_v$  za mehkožarjeno jeklo JMP-15 (C.1221).

Fig. 15

HB hardness, flow stress  $k_f$  and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation  $\varphi_v$  for soft annealed JMP-15 steel (C.1221).

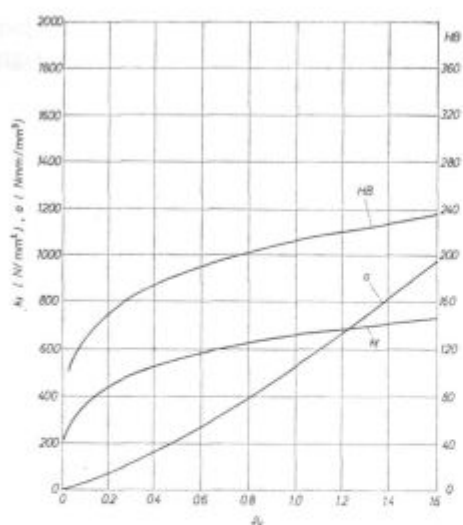


Slika 16

Trdota HB, deformacijska trdnost  $k_f$  in specifično deformacijsko delo  $a$  v odvisnosti od primerjalne logaritmčne deformacije  $\varphi_v$  za mehkožarjeno jeklo KONJAKI.

Fig. 16

HB hardness, flow stress  $k_f$  and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation  $\varphi_v$  for soft annealed KONJAKI steel.



Slika 17

Trdota HB, deformacijska trdnost  $k_1$  in specifično deformacijsko delo  $\sigma$  v odvisnosti od primerjalne logaritmčne deformacije  $\phi_v$  za mehkožarjeno jeklo KV 10.

Fig. 17

HB hardness, flow stress  $k_1$  and specific deformation energy related to the comparative logarithmic deformation  $\phi_v$  for soft annealed KV 10 steel.

trdnosti le za en odstotek. Žal Jonck ni podal, kako se pri tem poveča stopnja sferoidizacije, oziroma maksimalna dopustna deformacija.

Zaključek tega kratkega razmišljanja je nedvoumen. Za dolge čase žarjenja se odločamo le tedaj, ko imamo opraviti z izrednimi deformacijami, bolj redko pa zato, da bi z njimi zmanjševali preoblikovalno silo. Prav tako je koristno kritično pregledati obstoječe postopke hladnega masivnega prenjimi je gotovo neka jtakšnih, ki bi brez posledic oblikovanja, ki že tečejo v naših tovarnah, med

Tabela 2 — Vpliv trajanja žarjenja pri  $700^\circ\text{C}$  na deformacijsko trdnost  $k_1$  pri  $\phi_v = 0,5$  za jeklo 16 Mn Cr 5 (C. 4120) po Joncku (13)

začetno stanje	čas žarjenja (h)	$k_1$ ( $\text{N mm}^{-2}$ )	indeks (%)
ferit + perlit	0	760	107,5
ferit + perlit	4	737	104
ferit + perlit	8	724	102,5
ferit + perlit	16	711	101
ferit + perlit	32	706	100
martenzit	4	800	113
martenzit	8	794	112,5
martenzit	16	764	108
martenzit	32	756	107

prenesli skrajšanje relativno zelo dragega žarjenja. Tudi tukaj je nesebično sodelovanje med proizvajalcem in predelovalcem jekla zelo zaželeno.

## 6. Sklep

S tem je bilo podano nekaj najvažnejših vplivov preoblikovanega materiala na procese hladnega masivnega preoblikovanja jekel. Zavedati se moramo, da so na tem področju tehnološki faktorji zelo močno med seboj povezani. Zato moramo vedno preveriti možnost, kakšne posledice, oziroma prihranke ima sprememba enega faktorja na ostale. Kot smo videli, je obraba orodij močno povezana s preoblikovalnimi lastnostmi materiala in s tem, kako smo dimenzionirali tehnološke zanke, opisane v sliki 1, torej, kolike so deformacije in pritiski v posameznih operacijah. Prav tako ni potrebno posebej poudarjati pomembnosti pravilnega oblikovanja orodij, njihove geometrijske natančnosti, upoštevanja elastičnih deformacij orodij in obdelovancev, priprave fosfatnega sloja ipd.

Tabela 3 — Mehanske in preoblikovalne lastnosti preizkušanih jekel

material	mehanske lastnosti v mehkožarjenem in nedeformiranem stanju				preoblikovalne lastnosti					
	$\sigma_r$ [ $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ]	$\sigma_m$ [ $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ]	$\delta_s$ [%]	$\psi$ [%]	HB	$k_{10}$ [ $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ]	n	HB <sub>0</sub>	m	$\phi_{v \text{ max}}$
Č. 4120	374	524	30,0	69,4	132	850	0,214	—	—	1,23
Č. 4320	398	568	26,0	74,2	158	948	0,197	288,5	0,138	1,41
Č. 4721	510	650	23,7	67,2	187	1092	0,177	311,5	0,127	1,43
Č. 5420	510	615	21,4	68,9	187	994	0,147	—	—	1,11
Č. 1431	375	595	25,0	60,0	146	934	0,210	285,0	0,206	1,45
Č. 4731	506	671	25,0	67,2	173	1076	0,185	316,0	0,130	1,28
Č. 4582	417	637	40,0	68,5	179	1615	0,424	—	—	0,84
JMP-15	336	426	32,0	75,2	117	739	0,210	226,5	0,189	1,50
Č. 0146	279	349	40,0	71,6	106	671	0,230	190,6	0,175	1,51
KONJAKI	253	306	32,0	73,5	—	689	0,239	220,0	0,205	1,64
KV 10	275	393	32,0	67,5	111	660	0,248	212,5	0,208	1,68
KV 35	388	592	31,1	59,0	125	1023	0,203	—	—	1,32



Tabela 4. — Kemična sestava in čistoča preizkušanih jekel (ugotovljeno v raziskovalnem oddelku Zelezarne Jesenice)

material	kemična sestava [%]										čistoča			
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Sn	sulf	A + C	B + D	skupaj
Č. 4120	0,18	0,25	0,52	0,025	0,016	0,63	0,12	0,31	0,048	—	<0,02	0,60	1,84	2,44
Č. 4320	0,16	0,25	1,16	0,019	0,008	0,92	0,12	0,56	0,042	—	<0,05	0,44	2,52	2,96
Č. 4721	0,22	0,28	1,10	0,024	0,057	1,32	0,12	0,24	0,010	—	0,05	0,64	1,84	2,48
Č. 5420	0,16	0,29	0,45	0,011	0,010	1,57	1,40	0,21	0,026	0,022	<0,10	0,24	2,12	2,36
Č. 1431	0,34	0,29	0,58	0,024	0,012	0,10	0,07	0,21	0,032	—	<0,05	0,64	1,72	2,36
Č. 4731	0,30	0,29	0,68	0,016	0,012	1,12	0,17	0,24	0,061	—	<0,10	0,48	1,80	2,28
Č. 4582	0,05	0,75	1,78	0,035	0,010	18,10	10,80	0,15	0,050	—	<0,10	0,52	1,76	2,28
JMP-15	0,15	0,09	0,35	0,013	0,018	0,09	0,05	0,20	0,045	—	<0,05	0,72	1,64	2,36
Č. 0146	0,05	0,03	0,34	0,013	0,055	0,05	0,05	0,14	0,002	0,018	<0,05	2,56	1,64	4,20
KONJAKI	0,02	0,02	0,25	0,015	0,032	0,07	0,08	0,20	—	—	<0,10	1,40	2,64	4,04
KV 10	0,01	0,02	0,74	0,008	0,016	0,05	0,06	0,29	—	—	<0,10	0,40	2,88	3,32
KV 35	0,35	0,35	0,64	0,012	0,026	0,43	0,07	0,16	0,034	0,022	<0,10	0,72	2,08	2,80

To razmišljanje je lahko tudi opozorilo, da postanejo tehnološki problemi zelo zamotani, ko uvajamo neko tehnologijo, licenco ali pa samo idejo, potem pa brez dovolj znanja, razmišljanja in podatkov začnemo uvajati različne spremembe na orodjih, materialih ali postopkih.

Na koncu so podane še mehanske in preoblikovalne lastnosti nekaterih jekel Zelezarne Jesenice, njihova kemična sestava in čistoča ter narisane krivulje trdot, deformacijske trdnosti in specifičnega deformacijskega dela v odvisnosti od primerjalne deformacije (slike 6, 11 do 17). Podatki so dobljeni s pomočjo diskontinuirnega tlačnega preizkusa, opisanega v literaturi (1).

Največje deformacije,  $\phi_{v, \max}$ , ki smo jih dosegli pri preizkusih, žal še niso tiste, pri katerih bi se pojavile razpoke. Poizkuse smo morali prej prekiniti, ker nismo imeli dovolj močnega stroja ali pa je obstajala nevarnost (npr. pri Č. 4582), da bi se zaradi prevelikih pritiskov porušilo eksperimentalno orodje. Toda na podlagi kasnejših tehnoloških preizkusov smo večkrat ugotovili, da je z obravnavanimi materiali mogoče doseči deformacije, kot so podane v tabeli 1.

Navedeni podatki bodo prav tako dobra osnova za teoretično preverjanje obstoječih tehnoloških postopkov in za snovanje novih, članek pa naj bi bil potrdilo zahteve, da so uspehi hladnega masivnega preoblikovanja jekel mogoči le tedaj, ko dobro sodelujeta proizvajalec in predelovalec jekla. V tem primeru je bilo to med raziskovalnim oddel-

kom Zelezarne Jesenice, Uniorjem, kovaško industrijo Zreče in ob sodelovanju s fakulteto za strojništvo iz Ljubljane.

#### Literatura

1. Kuzman, K., Razinger, A.: Ocena sposobnosti domačih jekel za masivno preoblikovanje v hladnem. ZE ZB 7 (1973) št. 4
2. Gologranc, F.: Tehnika preoblikovanja. Univerzitetna založba, Ljubljana 1964
3. Prelog, E.: Elasto — in plastomehanika v strojništvu. Univerzitetna založba, Ljubljana 1966
4. Čizman, V.: Osnove teorije plastičnosti in preoblikovanja kovin. Univerzitetna založba, Ljubljana 1972
5. Kast, D.: Berechnung des Kraft — und Arbeitsbedarfs mit Hilfe des Umformwirkungsgrades beim Voll — Vorwärtsfliesspressen von Stahl. Ind. — Anz. HGF 69/17
6. Kast, D.: Modelgesetzmäßigkeiten beim Rückwärtsfliesspressen geometrisch ähnlicher Nöpfe. Ind. — Anz. HGF 70/46
7. Kuzman, K.: Uporabnost tlačnega preizkusa za ugotavljanje nekaterih preoblikovanih lastnosti jekel. VII Savj. proizv. maš. Novi Sad 1971
8. Gentzsch, G.: Kaltstauchen, Fliesspressen, Massivprägen. VDI Düsseldorf 1968
9. Billigmann, Feldmann: Stauchen und Pressen. Carl Hanser, München 1973
10. Fliesskurven metallischer Werkstoffe VDI 5-3201, Bl. A3, Düsseldorf 1957
11. Wilhelm, H.: Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Vickershärte und Vergleichsformänderung bei Kaltumformvorgängen. Bericht aus dem Institut für Umformtechnik, Universität Stuttgart 1969 No. 9
12. Dipper, M.: Das Fliesspressen von Hülsen in Rechnung und Versuch. Archiv für das Eisenhüttenwesen. 20 (1949) 275/286
13. Jonck, R.: Eigenschaften kaltumgeformter Werkstücke. Seminar Kaltmassivumformung, Institut für Umformtechnik TU Stuttgart 1975

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die Wirtschaftlichkeit der Kaltmassivumformung ist von dem richtigen Entwurf des Verfahrens abhängig, wobei die Wahl der richtigen Stahlsorte von ausschlaggebender Bedeutung ist. Der Stahlverbraucher und Stahlherzeuger müssen bei der Auswahl der richtigen Stahlsorte eng zusammen arbeiten und die Abnahmebedingungen für

den Stahl gemeinsam zusammenstellen. Diese Bedingungen müssen den Anforderungen der Umformungstechnologie eines bestimmten Artikels angepasst werden und können deshalb für dieselbe Stahlsorte verschieden sein.

Die Kriterien für die Bewertung der Fähigkeit der Stähle für die Kaltmassivumformung sind noch nicht voll-

kommen geklärt, weil dazu eine genaue Kenntnis des Deformationszustandes im ganzen Volumen des Umformlings nötig wäre.

Trotzdem gibt uns die Fließkurve, welche wir mit dem einseitigen Stauchversuch erhalten, genügend Daten auch für die Bewertung der Stahlqualität, sowohl vom Standpunkt der chemischen Zusammensetzung wie auch der Form des Stahlegefüges.

Es sind noch die Verformungseigenschaften der Stähle vom Erzeugungsprogramm des Hüttenwerkes Jesenice angegeben, erhalten mit Hilfe des diskontinuierlichen Stauchversuches. Die technologischen Versuche bestätigten die Ergebnisse der laboratorischen Untersuchungen und zeigten, dass mit den einheimischen Materialien möglich ist die verlangten Umformungen nach internationalen Vorschriften zu erreichen.

## SUMMARY

Profitableness of masive cold forging process depends on correct process design where the correct steel choice is essential.

Manufacturer and user of steel must closely cooperate in choosing the steel quality and they must together compose the surveying conditions for steel. These conditions must be adjusted to the demands of the forming technology for single products and therefore they can vary for the same steel.

Criteria for cold workability of steel are not completely clear since more detailed knowledge of deformation state through the whole worked piece should be necessary.

Nevertheless, yield curves obtained by compression test give enough data also for estimation of steel quality either according to the chemical composition or according to the microstructure of steel.

Workability properties of steel from the production program of Jesenice Ironworks are presented. They were obtained by discontinuous compression tests. Technological tests confirmed the laboratory investigations and they showed that own materials can achieve the demanded deformations according to the international criteria.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рентабельность холодной массивной деформации зависит от правильно подготовленного плана выполнения способа, причем решающее значение представляет выбор качества стали. Потребитель и производитель стали должны вместе, при тесном сотрудничестве, приготовить условия приема стали. Эти условия должны согласоваться технологией формирования определенного изделия и, поэтому, могут различаться при одном и том же сорте стали. Критерии для оценки способности стали к объемному преобразованию в холодном состоянии пока еще недостаточно исследованы, для этого необходимо познание точного деформационного состояния по целой емкости изделия.

Несмотря на это, кривые полученные односторонним испытанием на сжатие не дают достаточно данных для оценки качества стали, также с позиции что касается химического состава и формы микроструктуры стали. Кроме этого поданы способы свойств преобразования стали Metallургического завода Есенице полученные при помощи непрерывного испытание на сжатие. Технологические испытания подтвердили лабораторные исследования и показали, что с домашними материалами можно получить деформацию, которая отвечает международным критериям.