

Ocena sposobnosti domačih jekel za masivno preoblikovanje v hladnem

S pomočjo kontinuirnega tlačnega preizkusa dobimo odvisnost preoblikovalne sile od spremembe višine preizkušanca in od hitrosti deformacije. Iz tako dobljenih podatkov se izračuna deformacijska trdnost pri dani deformaciji. Kontinuirni tlačni preizkus kot preiskovalna metoda se je pokazal zelo primeren za oceno obnašanja različnih vrst jekel v pogojih masivnega preoblikovanja. Preizkus je zadosti selektiven in omogoča študij različnih pogojev izdelave jekel, vsebnosti elementov, oblike mikrostrukture jekla ter ostalih metalurških vplivov na plastičnost jekla v hladnem. Vse to pa je zelo pomembno za hitrejši razvoj kvalitete jekel za hladno preoblikovanje, kar je osnova za hitrejšo uvajanje tehnologije masivnega preoblikovanja v praksi.

UVOD

Ideja, da bi s preoblikovanjem v hladnem stanju dali jeklu željeno obliko, je dolgo obsedala misli tehnologov po vsem svetu. V industrijskem merilu so ta proces razvili pred začetkom druge svetovne vojne v Nemčiji, od koder se je po vojni razširil v industrijsko najrazvitejših državah, in to v masovni proizvodnji vojne industrije, industrije prevoznih sredstev, gospodinskih strojev in elektrotehnike.

V zadnjem času se gleda na hladno preoblikovanje jekel kot na najbolj perspektivno tehnologijo procesov preoblikovanja. Z ozirom na letni porast proizvodnje in investicij spada v sam vrh kovinsko predelovalne industrije.

Zelo lahko je razumeti naraščajočo popularnost hladnega preoblikovanja:

- postopek nudi čisto alternativo odrezavanju v dirki, da se poveča izkoristek materiala in zmanjšajo materialne izgube;

- postopek nudi pot k večji produktivnosti, posebno pri oblikovanju strojnih delov, ki imajo velik volumen,

- postopek daje dele z ozkimi tolerancami in eliminira ali pa zmanjšuje sekundarne operacije,

- med hladnim preoblikovanjem se poveča trdnost kovine, zaradi česar lahko zmanjšamo velikost posameznih delov ali pa uporabimo jekla nižje kvalitete.

V Jugoslaviji je na tem področju še veliko mrtvilo. V novejšem času pa je ta perspektivna tehnologija oblikovanja jekla le pričela prodirati tudi v nekatera naša podjetja predelovalne industrije. Že takoj ob začetku se tako pri potrošniku kot pri proizvajalcu jekel pojavi kup vprašanj, ki jih je potrebno rešiti, če hočemo takšno tehnologijo zasnovati in jo uporabljati na domači surovinski bazi za normalno in rentabilno industrijsko proizvodnjo.

Med najpomembnejše faktorje tehnologije hladnega masivnega preoblikovanja jekel spada pravilna priprava in izbira jekel. Najprej so to jekla, ki jih želimo preoblikovati. Jekla morajo biti sposobna za velike plastične deformacije in med deformacijo nuditi čim manjši preoblikovalni odpor.

V drugo skupino spadajo jekla, iz katerih so izdelana orodja. Med procesom hladnega preoblikovanja so namreč orodja izredno močno obremenjena. Orodja morajo biti odporna proti obrabi, kajti od obrabe je zelo odvisna rentabilnost celotne tehnologije.

Iz stališča jekel za hladno preoblikovanje je za projektiranje preoblikovalnih procesov potrebno poznati:

- trdnostne lastnosti jekla pred hladnim preoblikovanjem,

- obnašanje jekla med hladnim preoblikovanjem,

- največjo možno deformacijo, pri kateri še ne pride do porušitve

Krivulje plastičnosti

Krivulja plastičnosti je funkcijska povezava napetosti (deformacijske trdnosti k_t), pri kateri material trajno spremeni obliko s pripadajočo plastično deformacijo. Ta napetost zaradi pojava utrjevanja narašča z naraščajočo deformacijo in s hitrostjo deformacije, pada pa z naraščanjem temperature. Ugotovimo jo lahko s pomočjo različ-

nih eksperimentov, edini pogoj pri tem pa je, da znamo opisati napetostna in deformacijska stanja, ki obstajajo v vsakem trenutku opazovanega eksperimenta.

Iz teorije plastičnosti je znano (1), da je deformacijska trdnost odvisna od kvadratične invariante komponent napetostnega deviatorja,

$$k_f = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (1)$$

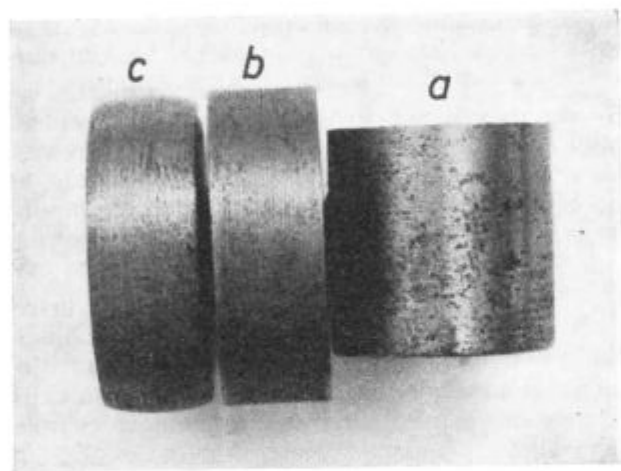
primerjalna deformacija pa od podobnih členov deformacijskega deviatorja;

$$\varphi_v = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_3 - \varphi_1)^2} \quad (2)$$

krivulja plastičnosti pa je torej

$$k_f = k_f(\varphi_v). \quad (3)$$

Med najenostavnejše preizkuse, iz katerih se da ugotoviti krivulja plastičnosti, spada vsekakor tlačni preizkus cilindričnih teles, vendar le ob pogojih zelo dobrega mazanja. Če je namreč trenje na kontaktnih ploskvah med orodjem in preizkušancem majhno, se cel preizkušanec enakomerno deformira (slika 1).



Slika 1

Preizkušanec pred nakrčevanjem (a), nakrčevan z uporabo teflonske folije (b) ter nakrčevan ob pogojih suhega trenja (c)

To se opazi po tem, ko preizkušanec med nakrčevanjem obdrži valjasto obliko in se torej ne izboči, kar po drugi strani (2) znatno olajša delo pri izrednotenju eksperimenta.

Glede na navedena dejstva in z upoštevanjem osnovnih zakonov teorije plastičnosti (3), (4) je specifična obremenitev preizkušanca, deformacijski odpor k_{wm} , ki je podan kot:

$$k_{wm} = \frac{F}{A} \quad (\text{kp mm}^{-2}), \quad (4)$$

kjer je: F — sila nakrčevanja

A — tlorisna ploskev preizkušanca, oziroma

$$k_{wm} = k_{wm}(k_f, \text{ oblike}), \quad (5)$$

primerjalna deformacija pa

$$\varphi_v = \ln(h_0/h), \quad (6)$$

kjer je: h_0 — začetna višina preizkušanca

h — višina po stiskanju

Razmerje med srednjim deformacijskim odporom in deformacijsko trdnostjo je

$$\alpha = k_{wm} / k_f = f(\mu, \text{ oblike}). \quad (7)$$

V primeru idealnega mazanja je

$$\mu = 0, \alpha = 1, k_{wm} = k_f.$$

Za računanje koeficienta je (enačba 7) in z njim povezano računsko odpravo vpliva trenja je najprilnejša metoda po Unksovu (5):

$$k_w = k_f \cdot \left\{ \exp \left[\frac{2\mu}{h} \left(\frac{d}{2} - r \right) \right] + \frac{1}{\mu \sqrt{3}} \left[1 + \frac{2\mu}{h} (r_1 - r) \right] + \frac{1}{\mu \sqrt{3}} \left[1 + \frac{2\mu}{h} (r_1 - h) + \frac{\mu}{h^2} (h^2 - r^2) \right] \right\} \quad (8)$$

Njegova srednja vrednost, ki je za vrednotenje tlačnega preizkusa najpomembnejša, pa je

$$k_{wm} = \frac{1}{A} \int_A k_w \, dA$$

in

$$\alpha = \frac{2}{\mu^2} \frac{1}{d^2} \left[\frac{1}{\mu \sqrt{3}} \left(1 + \mu \frac{d_1}{h} \right) - \left(1 + \mu \frac{d}{h} \right) + \frac{1}{\mu \sqrt{3}} \frac{d_1^2}{d^2} \left[\left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{d_1}{h} \right) - 4 \frac{h^2}{d_1^2} \left(1 + \mu \frac{d_1}{h} - \frac{4\mu}{3} \right) \right] + \frac{4}{\mu \sqrt{3}} \frac{1}{d^2} \left[1 + \frac{2\mu}{h} \left(\frac{d_1}{2} - h \right) + \frac{\mu}{2} \right] \right], \quad (10)$$

$$r_1 = \frac{d}{2} + \frac{h}{2\mu} \ln \mu \sqrt{3}, \quad (11)$$

r_1 — radij, znotraj katerega se pojavi lepljenje preizkušanca na orodje.

Ker je srednja vrednost deformacijskega odpora znana veličina, lahko ob znani obliki preizkušanca ter poznanem koeficientu trenja med obdelovancem in orodjem iz gornje enačbe izračunamo deformacijsko trdnost.

Merjenje koeficienta kontaktnega trenja

Pogoj za rešitev enačbe 10 je, da čim bolj natančno poznamo koeficient trenja. Ker je trenje zelo kompliciran pojav, je najugodnejše, če sta si preizkus za merjenje trenja ter proces, kjer hočemo analizirati torne pogoje, čim bolj podobna.

Zato je za vrednotenje trenja pri nakrčevanju zelo primeren preizkus, ki ga je v prikladno obliko razvil Burgdorf (6). Po njem nakrčujemo obročasti preizkušanec. Pri tem nastopajo maksimalne vred-

nosti za k_w na radiju r_k , ki leži nekje med zunanjim in notranjim radijem. (Pri nakrčevanju cilindričnih teles je $r_k = 0$).

Za vsako področje tlačne ploskve, ki jih loči krog s polmerom r_k , je mogoče nastaviti enačbo za k_w , precej podobno enačbi 8. Na radiju nevtralnega kroga r_k pa morata biti oba deformacijska odpora enaka. Tako dobimo novo enačbo, iz katere pa izpade vpliv materiala, torej k_f . Po primerni predelavi dobimo izraz za μ , ki je sedaj odvisen le od geometrijskih veličin preizkušanca. (Obroček se tem bolj razširi, čim manjši je koeficient trenja). To pa je izredna prednost metode, saj lahko meritve opravljamo na strojih brez registracije sile.

Kot je bilo že omenjeno, mora biti koeficient trenja pri tlačnem preizkusu čim manjši. Zato smo uporabljali le dve vrsti maziv, in to 0,1 mm debele teflonske folije ter Molykote G pasto (Dow Corning — München). Teflon daje sicer najugodnejše rezultate, toda ne prenese večjih deformacij kot $\varphi_v \approx 0,2$. Rob preizkušanca namreč med nakrčevanjem prestriže teflonsko folijo, zato pri večjih deformacijah mazanje ni dovolj kvalitetno.

Z ozirom na to, da smo morali preizkuse večkrat prekinjati in folije zamenjavati z novimi, so preizkusi počasi potekali, bili so diskontinuirni, izotermni in niso dajali vpliva hitrosti deformacije na deformacijsko trdnost.

Z Molykote G pasto smo lahko preizkus brez prekinitve opravljali do konca, nekoliko slabše mazanje pa se je pokazalo na rahlo izbočenem obodu preizkušanca.

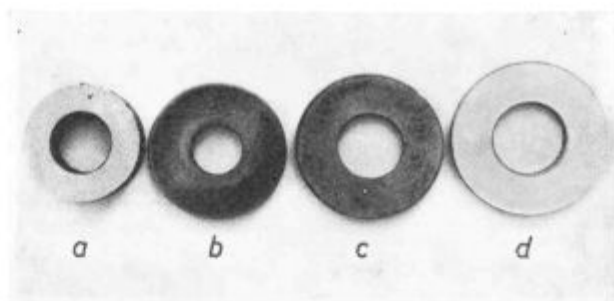
Tabela 1:

Način preizkusa	Mazivo	μ
diskontinuirni	teflon	0,01 — 0,03
diskontinuirni	molyklote G	0,03 — 0,04
diskontinuirni	molyklote G	0,03 — 0,05
kontinuirni	brez — razmaščeno	0,12 — 0,15

V tabeli 1 so podane na opisani način ugotovljene vrednosti za koeficiente trenja ob različnih pogojih mazanja, za primerjavo pa so podani tudi podatki nakrčevanja ob pogojih suhega trenja, ko so bili orodje in preizkušanci razmaščeni (sliki 2 in 3).

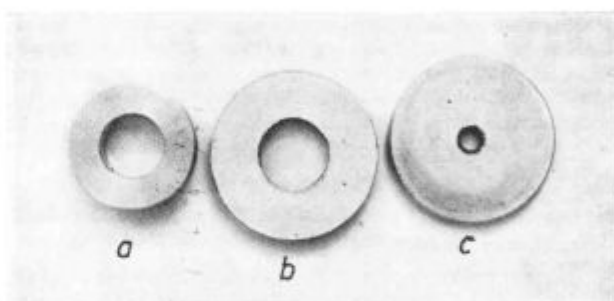
Izvedba tlačnega preizkusa

Za tlačne preizkuse smo izdelali posebno orodje (slika 4). Orodje ima vgrajen merilni element, kateremu se med nakrčevanjem merijo njegove elastične deformacije. Ker je bil element predhodno umerjen, je z njegovo elastično karakteristiko mogoče spremembam upornosti merskih lističev



Slika 2

Primeri obročastih preizkušancev iz C 4120 za merjenje koeficienta trenja pri diskontinuirnem nakrčevanju: a — začetni surovce, d — preizkušalec, mazan s teflonsko folijo, c — preizkušalec, mazan z Molykote G pasto, b — preizkušalec, nakrčevan ob pogojih suhega trenja.

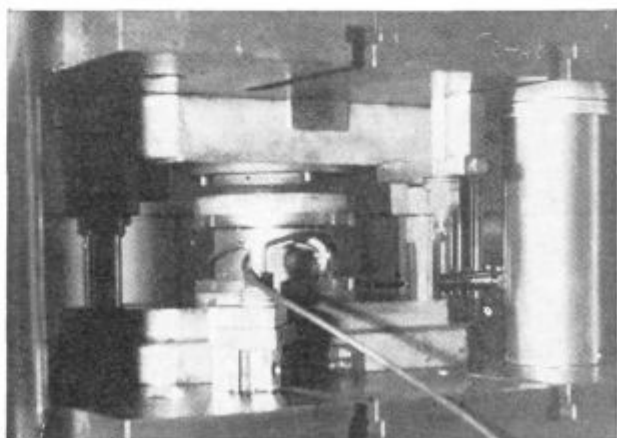


Slika 3

Primeri obročastih preizkušancev iz Al 99,5 % za merjenje koeficienta trenja pri diskontinuirnem nakrčevanju: a — začetni surovce, b — preizkušalec, mazan s teflonsko folijo, c — preizkušalec, nakrčevan ob pogojih kuhega trenja

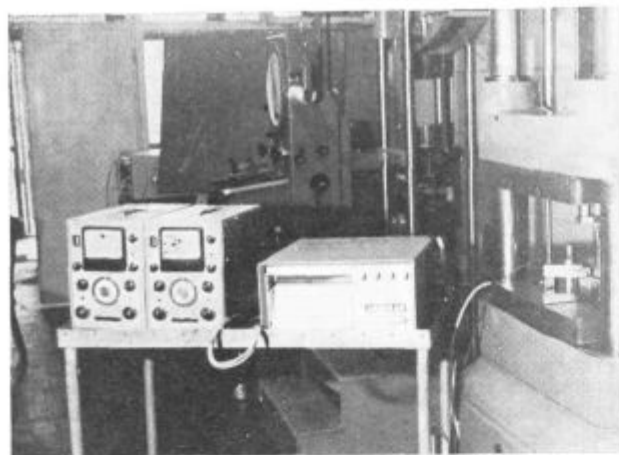
prirejati silo, s katero je bil obremenjen. Poleg tega je na orodje priključen še induktivni dajalnik poti, ki električno meri spremembe višine preizkušanca.

Oba signala, za silo in pot, gresta potem preko ojačevalnika na registrirno napravo, ki ju beleži v odvisnosti od časa. Tako je mogoče s tem zapisom, z začetnimi podatki o preizkušancu (d_0 , h_0) ter z iz-



Slika 4

Eksperimentalno orodje za tlačni preizkus (ob desnem delu orodja je induktivni dajalnik poti)



Slika 5

Hidravlična preša z vpetim orodjem za izvedbo kontinuirnega tlačnega preizkusa ter potrebna elektronska oprema za merjenje in zapis podatkov o sili, deformaciji in času (Laboratorij za preoblikovanje, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani).

merjenim koeficientom trenja izračunati deformacijsko trdnost, primerjalno deformacijo in hitrost deformacije (slika 5).

Zaradi relativno obsežnega računanja ter možnih napak pri meritvah je potrebno, da se krivulja plastičnosti ugotovi s statističnimi metodami.

Kot je znano, se lahko krivulja plastičnosti aproksimira s potenčno funkcijo, tako da je

$$k_f = k_{fo} \varphi_v^n, \quad (kp \text{ mm}^{-2}), \quad (12)$$

kjer je

n — eksponent utrjevanja,

k_{fo} — konstanta materiala

Navedena potenčna funkcija je zelo ugodna za statistično obdelavo, saj je v logaritmčni obliki premica. To pa lahko poiščemo z znano metodo minimalnih kvadratov.

Da bi ugotovili pravilnost metode za teoretično odpravo vplivov trenja na deformacijsko trdnost, smo za isto vrsto jekla določili krivulje plastičnosti ob različnih pogojih mazanja.

Prav tako smo hoteli ugotoviti, kakšna je razlika med diskontinuirnim in kontinuirnim preizkusom. Ker pa smo nakrčevanje opravljali na klasičnem preizkuševalnem stroju, ki je relativno zelo počasen (največja dosežena hitrost deformacije je bila $\varphi_{max} = 0,025 \text{ s}^{-1}$), nismo opazili večjih razlik (slika 6).

Pogoje, ki so bližje onim iz normalne industrijske prakse, dosegamo z nakrčevanjem na hidravlični preši. Čeprav je tudi ta stroj relativno počasen, se da s primerno izbiro velikosti preizkušancev dosegati hitrosti deformacije do $\varphi_{max} = 0,200 \text{ s}^{-1}$, kar pa vseeno še nima signifikantnega vpliva na potek krivulje plastičnosti. Zaradi velike sile, ki jo daje preša, pa lahko uporabljamo večje in za raziskave ugodnejše preizkušance ter dosegamo tudi ekstremno velike deformacije.

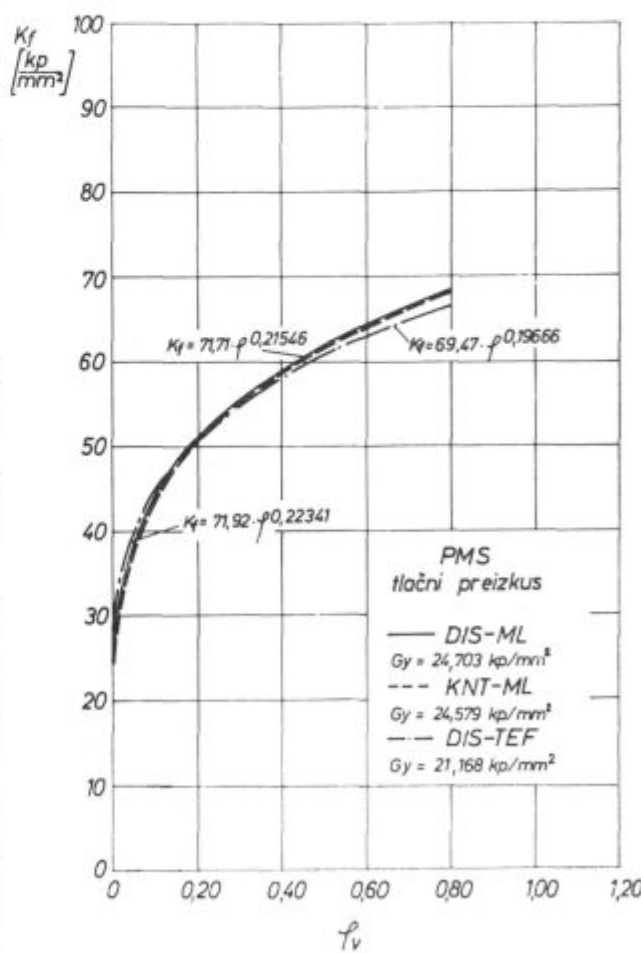
Za izbiro optimalnih strojev za preoblikovanje je potrebno, da poznamo največje sile in energije, ki jih ustrezni preoblikovalni proces zahteva. Sile se lahko izračunajo s pomočjo krivulj plastičnosti, ker je deformacijska trdnost idealna specifična preoblikovalna sila, realno pa dobimo, če še upoštevamo vplive trenja in geometrije preoblikovalnega procesa. Večkrat (npr. pri valjanju trakov) je potrebno poznati tudi povprečno deformacijsko trdnost k_{fm} krivulje plastičnosti v intervalu med φ_1 in φ_2 . Za računanje potrebne preoblikovalne energije pa rabimo specifično deformacijsko delo. Obe vrednosti dobimo iz krivulje plastičnosti, kot

$$a = \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} k_f d\varphi \quad (13)$$

in

$$k_{fm} = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} k_f d\varphi \quad (14)$$

Če upoštevamo dejstvo, da lahko eksperimentalno ugotovljeno krivuljo plastičnosti aproksimi-



Slika 6

Krivulje plastičnosti pri treh različnih načinih preizkušanja: DIS — diskontinuirni, KNT — kontinuirni, ML — mazanje z Molykote pasto, TEF — mazanje s teflonskimi folijami.

ramo s potenčno funkcijo, lahko izraza 13 in 14 zapišemo kot

$$a = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} k_{f_0} \varphi^h d\varphi = \frac{k_{f_0}}{h+1} (\varphi_2^{h+1} - \varphi_1^{h+1}) = a_2 - a_1 \quad (15)$$

$$k_{f_0} = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \cdot \frac{k_{f_0}}{h+1} (\varphi_2^{h+1} - \varphi_1^{h+1}) = \frac{a_2 - a_1}{\varphi_2 - \varphi_1} \quad (16)$$

Iz tega se vidi, da obe vrednosti lahko ugotovimo, če imamo podano krivuljo plastičnosti in krivuljo specifičnega deformacijskega dela.

Za praktično uporabo je še primerneje, če so odvisnosti $k_f(\varphi_v)$ in $a(\varphi_v)$ grafično podane. Med prvimi so jih objavili v Zvezni republiki Nemčiji (VDI leta 1954), pri nas pa to delo šele začenjamo.

Slika 7 prikazuje omenjene krivulje za naš material in ustrezen po VDI. Iz nje se vidi, da sta obe krivulji za naš material nižji, torej ugodnejši. Prav tako se njihove končujoče že pri vrednosti za $\varphi_v = 0,7$, naše pa pri $\varphi_v = 1,56$. Čeprav je ta defor-

macija že zelo velika, višina preizkušanca se je zmanjšala za 425 %, pri preizkušancih še nismo opazili nobenih razpok.

V sliko 7 smo prav tako vrisali še krivuljo za odvisnost trdote od deformacije. To je zelo zanimiv podatek in z njegovo pomočjo lahko pri preoblikovanju dražje materiale nadomestimo s cenejšimi, ker pri pravilnem izbiranju zaporedij deformacij in mehkega žarjenja lahko v končni fazi dosežemo željeno trdoto in trdnost.

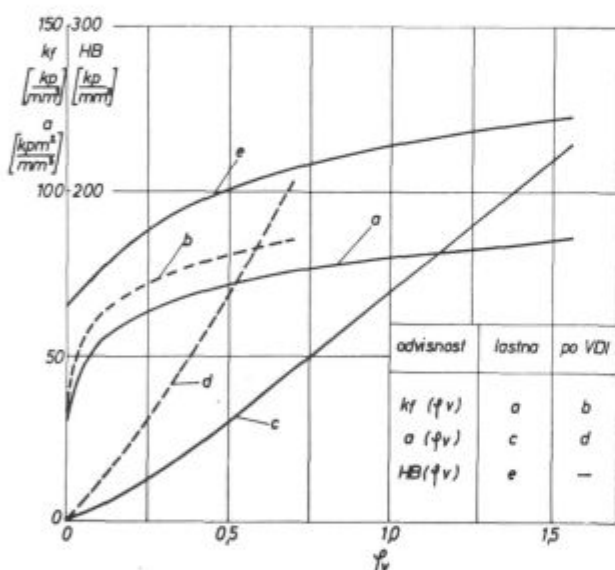
Da se tudi drugi naši materiali lepo ujemajo z ustreznimi po VDI, se vidi iz tabele 2, kjer je prikazano nekaj rezultatov naših že dokaj obširnih raziskav. Iz njih smo prišli do zaključka (kar se je v praksi tudi potrdilo), da so preoblikovalne lastnosti naših domačih jekel popolnoma enakovredne tujim, toda le, če jih pravilno pripravimo.

Tehnološki preizkus

Materiale, katerih krivulje plastičnosti in dosežene največje trajne deformacije pri tlačnem preizkusu so ustrezale našim zahtevam, smo še tehnološko preizkusili. V ta namen smo uporabili orodje za protismerno prešanje jekel v hladnem stanju (izdelano za raziskovalni projekt, ki ga je na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani naročila Kovaška industrija Zreče), kjer se obdelovanec močno deformira (slika 8). Tako je deformacija prerezov $\varphi_A = \ln(A_0/A_1) = 0,44$, naravni logaritem razmerja višine surovca proti debelini dna pa 1,55. Ker so take deformacije že na zgornjih dopustnih mejah, lahko material, ki to prenese, smatramo za primerne za hladno masivno preoblikovanje.

Razumljivo je, da so bile površine preizkušancev pred prešanjem ustrezno pripravljene. Na njih smo opravili proces fosfatiranja, kot mazivo pa je služilo posebno milo, ki je s fosfatom kemično reagiralo.

V tabeli 3 so zbrani rezultati specifičnih obremenitev pestiča orodja, iz katerih lahko ob enakih zunanjih pogojih sklepamo na vplive preoblikovalnega materiala. Kasnejše metalografske preiskave prešanih vzorcev so pokazale, da se nikjer še niso pojavile razpoke ali kakšni drugi znaki, ki bi kazali, da so preoblikovalne možnosti že bile izčrpane ali prekoračene.



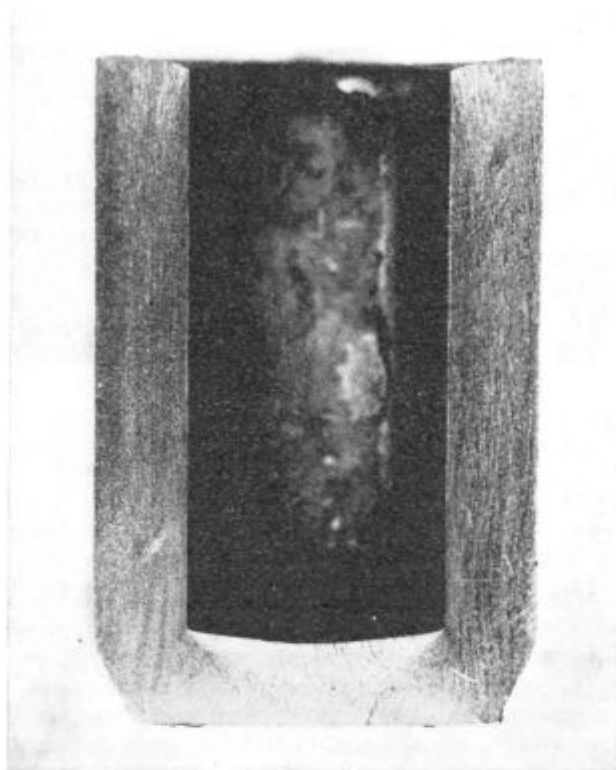
Slika 7

Preoblikovalne lastnosti mehko žarjenega jekla. Č 4120 v primerjavi z nateznimi podatki po VDI 5 — 3200 (B 2).

Tabela 2

Karakteristične vrednosti krivulj plastičnosti

Jeklo	Stanje	Lastni podatki			po VDI (7)		
		σ_v	k_{f_0}	n	σ_v	k_{f_0}	n
Č 1120	mehko žarjeno	24,5	69,5	0,200	28,0	74,8	0,214
Č 1120	normalizirano	27,0	72,2	0,203	25,0	74,0	0,230
Č 4320	mehko žarjeno	44,9	91,4	0,159	35,0	89,0	0,185
Č 4320	normalizirano	36,0	95,0	0,172	34,0	96,2	0,180
Č 1530	mehko žarjeno	31,7	104,1	0,195	36,8	93,5	0,180
Č 1530	normalizirano	34,7	113,0	0,201	—	—	—



Slika 8

Deformacijska vlakna (jedkano po Fry-u preizkušanca po protismernem prešanju).

S tem pa se je odprla tudi možnost širše industrijske uporabe navedenih jekel za postopke velikih plastičnih deformacij v hladnem stanju, za katere nekaj zelo rentabilnih primerov prikazuje slika 9.

Tabela 3: Rezultati preizkusov protismernega prešanja mehko žarjenih jekel v hladnem

Material	specifična obremenitev trna — %
Č 1120	100 %
Č 1221	114
Č 4120	110
Č 4320	130
Č 1530	141

Uporabnost raziskovalne metode v raziskovalnem delu pri osvajanju kvalitete jekel

Sestavni del osvajanja tehnologije masivnega preoblikovanja v hladnem mora biti tudi raziskovalno delo na področju osvajanja materialov za hladno preoblikovanje. Praksa je pokazala, da je popolnoma zgrešeno mišljenje, da se lahko ustvari pričakovani dobiček že z uporabo poceni materialov. Ekonomske prednosti oblikovanja kovin s hladnim preoblikovanjem pred odrezovanjem so zasnovane predvsem na visokem izkoristku jekla. Prednosti hladnega preoblikovanja, ki izhajajo iz utrditve jekla med hladno deformacijo, so lahko

precejšnje, vendar pa kvalitetna legirana jekla za poboljšanje lahko nadomestijo samo visoko kvalitetna ogljikova jekla, posebno prirejena za hladno preoblikovanje, ne pa navadna ogljikova jekla.

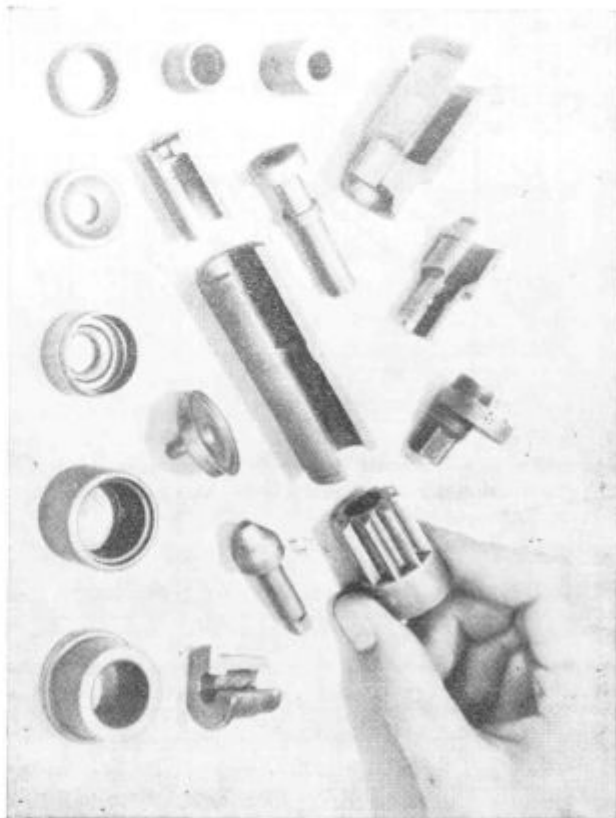
Lastnosti, ki jih mora imeti jeklo, namenjeno za preoblikovanje v hladnem, so pogojene z naslednjimi zahtevami procesa:

- nizko specifično obremenitev orodja
- velike deformacije brez mikro ali makro razpok
- nizko obrabo orodja
- zahtevane mehanske lastnosti jekla po hladnem preoblikovanju
- določena obdelovalnost po preoblikovanju.

Da bi zadovoljili postavljenim zahtevam, so mnogi proizvajalci jekel v svetu v te namene razvili specialne vrste jekel, ki so posebno primerna za plastično preoblikovanje v hladnem (Cold-forming grades steels) (8) (9)

Značilnosti teh jekel so:

- nizka trdnost in trdota
- visoka duktilnost
- nizek koeficient utrjevanja med deformacijo v hladnem
- dobra kaljivost (če je to potrebno)



Slika 9

Tipični hladno prešani izdelki za potrebe avtomobilske industrije (Kayser — National, Nürnberg, ZRN)

— visoka čistoča jekel v pogledu nemetalnih vključkov (majhni, krogličasti in enakomerno porazdeljeni)

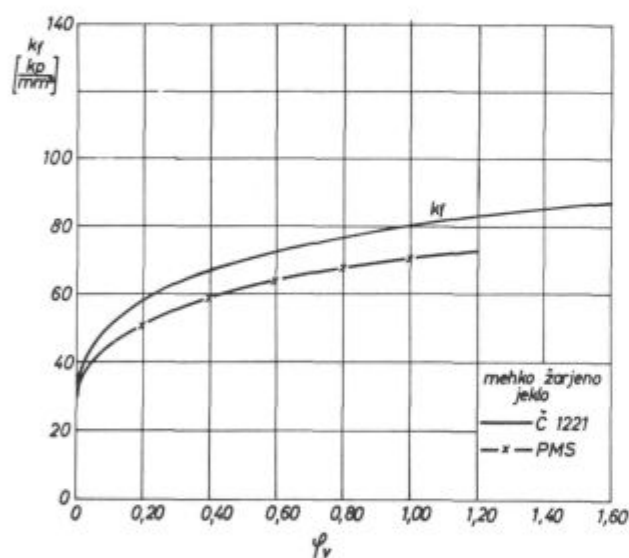
— homogenost jekla po preseku, brez lokalnih segregacij, da se prepreči razpokljivost v sredini

— visoka kvaliteta površine palic

Za hladno preoblikovanje so najbolj primerna mehka jekla z nizko vsebnostjo Si, za visoko trdne dele pa so bila razvita ogljikova in legirana jekla z dodatkom B. Velik napredek je bil dosežen tudi pri osvajanju dobro preoblikovalnih nerjavnih jeklih, ki so sicer neprimerna za plastično preoblikovanje v hladnem.

Raziskovalno delo na področju osvajanja kvalitetnih paličnih jekel za preoblikovanje v hladnem je v ZPSZ — Železarna Jesenice šele na začetku. Delo poteka v tesnem sodelovanju z raziskovalci iz predelovalne industrije ter Fakulteto za strojništvo v Ljubljani. Navajamo nekaj primerov iz raziskovalnega dela, kjer smo za študij posameznih metalurških vplivov na preoblikovalnost jekel uporabili opisano preiskovalno metodo.

1. Osvajanje kvalitete nizkoogljiknega nelegiranega jekla z optimizacijo kemične sestave jekla



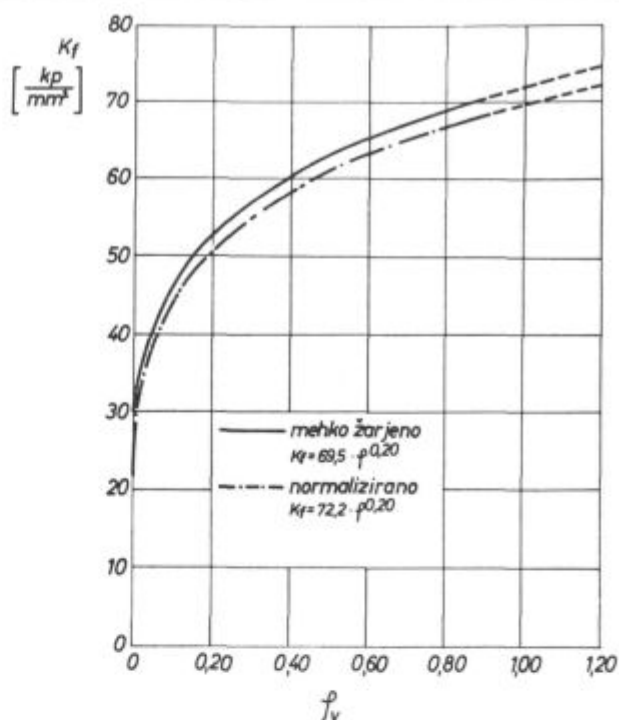
Slika 10

Krivulje plastičnosti za jekla Č 1120 in PMS.

Jeklo PMS je izdelano brez dodatka Si. Dezoksidacija na bazi Al, kar rezultira tudi v večji čistoči jekla ter za preoblikovalnost ugodni morfologiji nemetalnih vključkov.

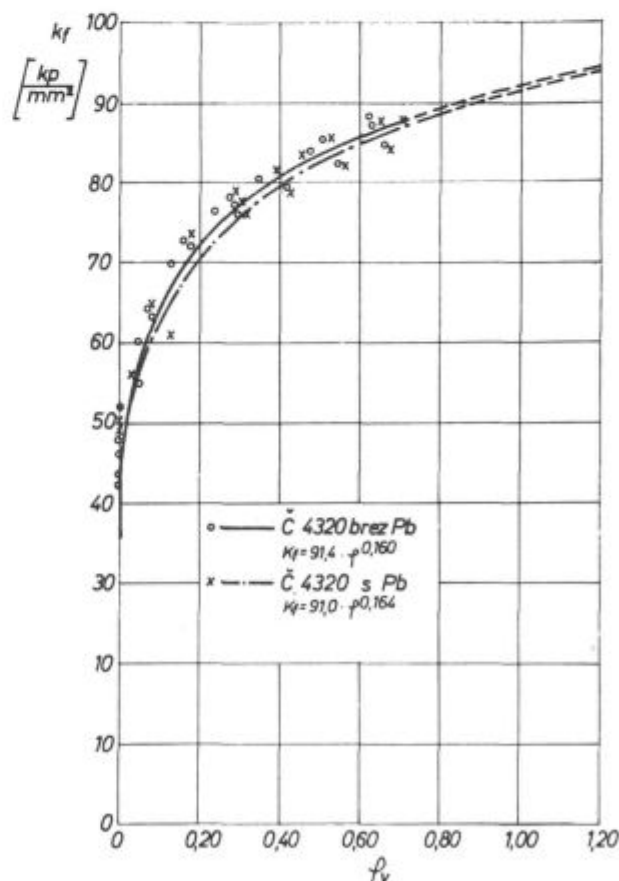
2. Vpliv toplotne obdelave na preoblikovalnost nelegiranega ogljikovega jekla Č 1120

Oblika mikro strukture ne vpliva na plastičnost jekla Č 1120 (10). Za proizvajalce jekla je to pomemben rezultat, ker je normalizacija jekla po hladnem vlečenju s stališča velikosti in enakomernosti kristalnih zrn ugodnejša kakor mehko žarjenje, kjer lahko pride tudi do rasti zrn pri kritični deformaciji zaradi hladnega vlečenja.



Slika 11

Krivulje plastičnosti jekla Č 1120 v mehko žarjenem — normaliziranem stanju



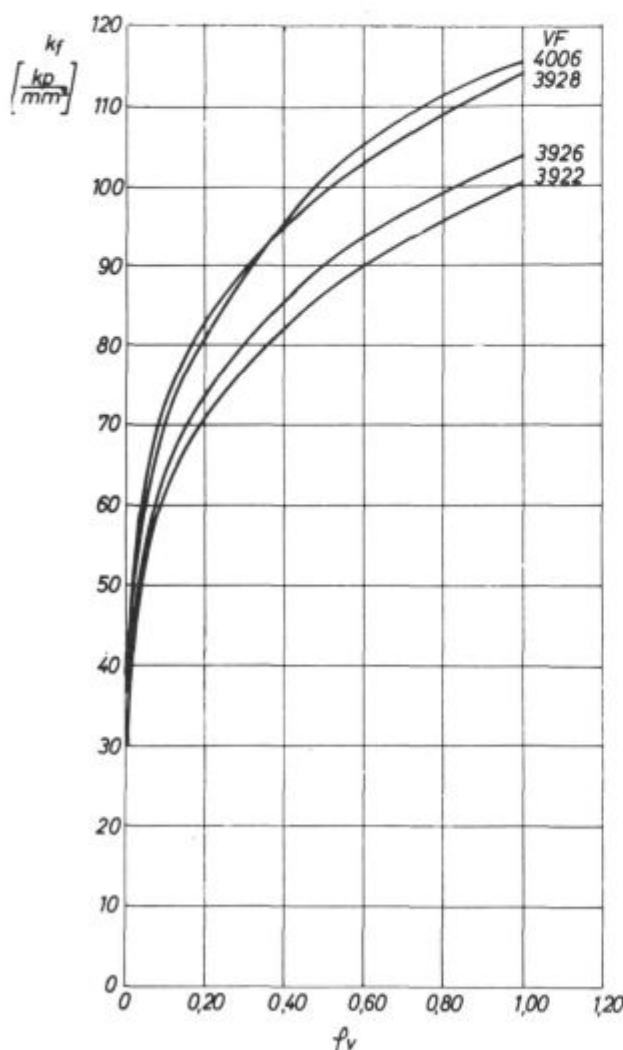
Slika 12

Krivulja plastičnosti jekla Č 4320 z dodatkom in brez dodatka svina — stanje mehko žarjeno

3. Vpliv dodatka svinca na sposobnost za preoblikovanje nizko legiranega jekla za cementacijo vrste Č 4320.

Dobra obdelovalnost jekla po hladnem preoblikovanju je lahko ena od zahtev, ki jih postavljamo jeklu za preoblikovanje. Rezultati preiskav nam kažejo, da dodatek svinca, ki sicer močno poboljša obdelovalnost, nima pomembnega vpliva na preoblikovalnost jekla (10).

4. V raziskovalnem delu Železarne Jesenice zavzema osvajanje jekel za navadne in kvalitetne vijake zelo pomemben delež. Tehnologija izdelave vijakov s plastičnim preoblikovanjem v hladnem je dobro utečena v vrsti naših podjetij predelovalne industrije. Delo na tem področju je zelo kompleksno, saj je treba rešiti veliko neznank, ki zadevajo kemično sestavo jekel, vpliv spremljajočih elementov, oblike mikro strukture itd. Četudi sicer obsežno raziskovalno delo še ni dalo dokončnih rezultatov, pa se tudi pri tem delu lahko uspešno poslužujemo opisanih metod preiskave plastičnosti



Slika 13

Krivulje plastičnosti za štiri eksperimentalne taline ogljikovega jekla za kvalitetne vijake Cq 45.

jekel. V tabeli 4 in sl. 13 sta prikazana karakteristična primera vpliva metalurških faktorjev na sposobnost jekla Cq 45 na preoblikovalnost v hladnem. Plastičnost je v tem primeru izražena z izračunanimi vrednostmi za Kf in n.

Tabela 4

Plastičnost štirih laboratorijskih šarž ogljikovega jekla za kvalitetne vijake Cq 45.

St. šarže	kp/mm ² K ₁₀	n	sferoid. %	vsebnost Cr %
VF 4006	105.0	0.1692	80	0.54
VF 3928	108.0	0.1715	80	0.60
VF 3922	92.0	0.1410	95	0.10
VF 2976	98.0	0.1710	95	0.08

Prikazan rezultat pomeni izhodišče za nadaljnje študije vpliva povišane vsebnosti Cr na doseženo stopnjo sferoidizacije in na plastičnost ogljikovih jekel za kvalitetne vijake. Zahtevana dobra prekaljivost jekel Cq 35 in Cq 45 v olju namreč zahteva povišano vsebnost Cr v jeklu.

ZAKLJUČEK

Na Fakulteti za strojništvo — laboratorij za plastično preoblikovanje — je bila osvojena preizkovalna metoda za ocenjevanje plastičnosti jekel pri plastični deformaciji v hladnem. Pri tej metodi se meri odvisnost preoblikovalne sile od spremembe višin preizkušancev.

Iz tako dobljenih eksperimentalnih podatkov se potem analitično izračuna deformacijska trdnost Kf pri dani logaritmčni deformaciji v, grafična odvisnost med Kf in φ v predstavlja krivuljo plastičnosti preiskovane kovine.

Preizkus lahko izvedemo z diskontinuirnim ali kontinuirnim stiskanjem preizkušancev. Kontinuirni način omogoča tudi študij vpliva hitrosti deformacije na plastičnost kovin.

Raziskovalno delo je pokazalo, da so dobljeni rezultati uporabni za programiranje tehnologije masivnega preoblikovanja v industrijskem obsegu.

Velika selektivnost metode omogoča študij metalurških vplivov na plastičnost jekla in ostalih kovin in je kot taka zelo pomembna za osvajanje kvalitete in proizvodnje izdelave in predelave ustreznih jekel, namenjenih za preoblikovanje s plastično deformacijo v hladnem.

S pomočjo opisane preiskovalne metode pripravljamo tudi katalog, v katerem bodo po zgledu VDI podane krivulje plastičnosti za domača jekla za plastično preoblikovanje.

Literatura:

1. Thomsen, Yang, Kobayashi: *Mechanics of Plastic Deformation in Metal Processing*. Macmillan New York — London 1965
2. Kuzman, K.: Uporabnost tlačnega preizkusa za ugotavljanje nekaterih preoblikovalnih lastnosti jekel. VII Savj. proizv. maš. Novi Sad 1971
3. Čižman, V.: Aproksimacije pri analitičnih obravnavaх техниčnih preoblikovalnih procesov kovin. Strojniški vestnik 17 (1971) štev. 2, 43—48
4. Čižman, V.: Osnove teorije plastičnosti in preoblikovanja kovin. Univerzitetna založba Ljubljana 1972
5. Burgdorf, M.: Über die Ermittlung des Reißwertes für Verfahren der Massivumformung durch den Ringstauchversuch. Ind. — Anz. 89 (1967) Nr. 39 799—804
6. Unksov, E. P.: *An Engineering Theory of Plasticity*. Butterworth London 1961
7. Fließkurven metallischer Werkstoffe: Grundlagen und Anwendung. Arbeitsblätter VDI 5-3200 und 3201. VDI — Verlag Düsseldorf 1957
8. D. J. Blickwede: *Cold Extruding Steel Metal Progress* — may 1970
9. D. F. Baxter: *Cold Forging Steel Parts to Greater Advantage Part two Metal Progress*, November 1972
10. B. Rudolf, Diplomatsko delo št. 1788 Fakulteta za strojništvo — Ljubljana

ZUSAMMENFASSUNG

Der diskontinuierliche Stauchversuch gilt uns die Möglichkeit die Abhängigkeit der Umformungskraft von der Veränderung der Probenhöhe zu erhalten. Aus den so erhaltenen Daten wird dann die Vergleichsspannung bzw. die Formänderungsfestigkeit K_f in Abhängigkeit von dem logarithmischen Umformverhältnis φ , ausgerechnet. Um eine homogene Umformung der Proben zu gewährleisten ist auf den Druckflächen den Einfluss der Reibung auszuschließen, wobei sich Teflon als Schmiermittel sehr gut bewährt hat.

Mit dem diskontinuierlichen Stauchversuch als Untersuchungsmethode für die Bestimmung der Kaltmassiv —

Umformungsfähigkeit der Stähle ist es einerseits möglich die Fähigkeit verschiedener Stahlsorten für die Kaltumformung und andererseits bei der bestimmten Stahlqualität den Einfluss der metallurgischen Faktoren zu studieren. Die erhaltenen Daten helfen uns die richtige Stahlqualität im richtigen Zustand für eine gewisse Applikation der Massivumformung zu wählen.

Die praktische Anwendung der Plastizitätskurven bei der Bewertung der Stahlqualität ist im Rückgangfließverfahren in einem Betriebsversuch überprüft worden.

SUMMARY

Relationship between the yield stress and height reduction of the test piece is obtained by discontinuous compression test. From thus obtained data comparative stress and deformation strength k_f are calculated as a function of comparative logarithmic deformation φ . In order to obtain the most homogeneous deformation of test pieces the influence of friction on compression planes must be eliminated by use of teflon as lubricant which proved to be very convenient.

Use of discontinuous compression test as the investigation method for estimation of ability of steel for massive

cold working enables to estimate the ability of various steel types for cold working on one side, and to study the influence of metallurgical factors at certain steel qualities on the other side. Thus obtained data help a great deal in correct choice of steel quality and steel state for single application of working.

As practical confirmation for the use of plasticity curves in evaluation of steel qualities an actual technological test in form of countercurrent compression is presented.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При помощи прерывного испытания на жатие получаем зависимость между силой деформации и высотой пробного образца. Из полученных данных можно вычислить сравнительное напряжение, соотв., деформационную прочность K_f в зависимости от сравнительной логарифмической деформации φ . Чтобы деформация образцов была чем более однородной, на плоскостях жатия надо изолировать влияние трения, для чего успешно применяется смазочное средство тefлон. Применением прерывного испытания на жатие как метода для исследования способности стали массивной деформации в холодном состоянии, дается возможность

оценить отдельные сорта стали что касается их способности к деформации в холодном состоянии, а также возможность на разных сортах стали изучать влияние разных на них действующих металлургических факторов. Результаты, получены таким образом, нам облегчают правильный выбор качества и состояния стали для определённого применения в холодной деформации.

В форме проточного жатия рассмотрен конкретный технологический опыт, как результат подтверждения возможности применения кривой пластичности для оценки качества стали.