

Posebnosti domačih jekel za hladno masivno preoblikovanje

UDK: 669.14.018.265
ASM/SLA: CNg, CNm

Karel Kuzman, A. Razinger

V Železarni Jesenice smo razvili štiri vrste jekel za hladno masivno preoblikovanje, in to: maloogljični jekli z nizkim Si — JMP 10 in JMP 15 ter nizkolegirani jekli za cementacijo JMP 60 Cr in in JMP 80 MnCr. Lastnosti jekel, ki zagotavljajo ustrezno kvaliteto, so predpisane v okviru posebnih dobavno prevzemnih pogojev.

Na osnovi rezultatov preiskav plastičnosti jekla so bile v okviru opisanih preiskav izdelane mejne krivulje tečenja za vsa štiri JMP jekla. Te krivulje so osnova za izračun preoblikovalnih postopkov na bazi teh jekel in za ocenjevanje dosežene kvalitete jekel. Zahtevana kvaliteta jekla je bila potrjena tudi s tehnološkim preiskusom s protismernim iztiskovanjem.

1. Uvod

Za potrebe domače predelovalne industrije smo v železarni Jesenice v tesnem sodelovanju z uporabniki jekel razvili takšen kvalitetni asortiment jekel za hladno masivno preoblikovanje, ki naj bi vsaj v prvi fazi zadovoljil potrebe naglo se razvijajoče tehnologije oblikovanja strojnih delov s hladnim masivnim preoblikovanjem.

S standardno tehnologijo izdelave in predelave jekel ter s standardnimi kvalitetami ni mogoče zadostiti zahtevam, ki jih obravnavana tehnologija postavlja jeklom za hladno preoblikovanje. Jeklo mora biti sposobno za velike trajne deformacije in imeti čim manjši preoblikovalni odpor, ne da bi se kjerkoli po volumnu in površini oblikovancev pojavile lokalne porušitve. V ta namen so bile razvite posebne tehnologije za izdelavo jekel, raz-

vijajo se nove kvalitete jekel. Razvoj ustreznih kvalitet jekel se mora tretirati kot sestavni del razvoja tehnologije masivnega preoblikovanja v hladnem, pri čemer pa je sodelovanje med proizvajalci in uporabniki jekel odločilnega pomena.

Jekla za hladno masivno preoblikovanje pri nas niso standardizirana. Zaradi posebnih zahtev po kvaliteti jekla, ki presegajo zahteve JUS, so zagotovljene lastnosti teh jekel predpisane v internih standardih, ki so rezultat dogovora med proizvajalcem in uporabnikom jekla. Z internimi standardi zagotavlja proizvajalec jekla uporabnikom v prvi vrsti stalnost kvalitete, z zagotovljenimi mejnimi krivuljami tečenja pa osnovo za izračun preoblikovalnih sil in s tem za pravilno dimenzioniranje preoblikovalnih postopkov.

2. Nekateri metalurške značilnosti JMP jekel

Razvoja kvalitete jekel za hladno masivno preoblikovanje smo se v železarni Jesenice lotili tako, da smo preiskali preoblikovalne lastnosti vseh za hladno masivno preoblikovanje zanimivih jekel iz rednega proizvodnega programa železarne Jesenice^{1,4}. Spoznanje, da je pri maloogljičnih in nizkolegiranih jeklih mogoče graditi na že osvojenih kvalitetah, predvsem v smeri izboljšanja stalnosti kvalitete, homogenosti jekla ter optimizaciji trdnostnih lastnosti in mikrostrukture, se je odrazilo v razvijanju štirih plemenitih jekel vrste JMP (jekla za masivno preoblikovanje).

V tabeli 1 so navedene njihove oznake in zagotovljene osnovne kemične sestave.

Tabela 1: Vrste jekel in kemične sestave

Oznaka jekel Z. J.	Podobno jeklo po JUS	Količina elementov (%)				
		C	Si	Mn	Cr	Al
JMP 10	Č 1121	0.06	max.	0.25	max.	0.25
		0.12	0.15	0.50	0.12	0.50
JMP 15	Č 1221	0.14	max.	0.25	max.	0.25
		0.18	0.15	0.50	0.12	0.50
JMP 60 Cr	Č 4120	0.12	0.20	0.40	0.50	0.15
		0.18	0.30	0.50	0.70	0.25
JMP 80 MnCr	Č 4320	0.14	0.20	1.00	0.80	0.15
		0.19	0.30	1.20	1.00	0.25

mr. Karel Kuzman, dipl. ing. stroj., UNIOR — Kovaška industrija Zreče

mr. Anton Razinger, dipl. ing. met., Železarna Jesenice, RO

Jekla izdelujejo v SM pečeh po optimalnem tehnološkem postopku, ki zagotavlja: nizko vsebnost spremljajočih elementov in nečistoč, homo-

genost v makro in mikrostrukturi jekla, visoko čistočo v pogledu vsebnosti nemetalnih vključkov in drobno zrno.

Za doseganje stalnosti kvalitete jekla je potrebna stroga kontrola v vseh fazah izdelave in

vlivanja jekla. Homogenost jekla se ugotavlja na polfabrikatih z UZ metodo, posebno stroga pa je kontrola kvalitete površine.

Metallurške značilnosti jekel JMP so prikazane v naslednjih tabelah:

Tabela 2: Značilna šaržna analiza in analiza vzorca

Oznaka jekla	Šarža		Vsebnost elementov %									Nppm
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Cu	Sn	
JMP 10	SM	S	0.10	0.02	0.40	0.010	0.025	0.04	0.041	0.13	0.010	50
	02 3791	V	0.11	0.02	0.41	0.008	0.028	0.04	0.058	0.10	0.008	
JMP 15	SM	S	0.14	0.05	0.41	0.012	0.016	0.06	0.046	0.14	0.012	45
	04 2252	V	0.15	0.04	0.44	0.012	0.016	0.06	0.051	0.15	0.011	
JMP 60 Cr	SM	S	0.14	0.26	0.46	0.012	0.034	0.60	0.033	0.16	0.013	44
	02 3782	V	0.15	0.24	0.45	0.008	0.037	0.61	0.039	0.15	0.011	
JMP 80 MnCr	EL	S	0.16	0.19	1.15	0.016	0.011	0.88	0.020	0.24	0.017	104
	10 3277	V	0.15	0.20	1.19	0.015	0.012	0.88	0.031	0.26	0.016	

Tabela 3: Velikost primarnega zrna in čistoča jekla

Oznaka jekla	Šarža	Zrno N° ASTM 1)		Čistoča po sk. JK		skup.
		prim.	sec.	A + C	B + D	
JMP 10	02 3791	6—7	6—8	1.36	1.80	3.16
JMP 15	04 2252	6—8	6—8	1.32	1.80	3.12
JMP 60 Cr	02 3782	7—8	7—8	1.32	1.60	2.92
JMP 80 MnCr	10 3277	7—9	6—8	1.36	2.80	4.16

Op 1: ocenjeno po oksidacijski metodi

Natančnost dimenzije in odsotnost površinskih napak na vložku za hladno masivno preoblikovanje sta zahtevi, ki ju moramo zelo razumno obravnavati, saj sta si v tem pogledu proizvajalec in uporabnik jekla največkrat najbolj vsaksebi.

Zahtevane ozke dimenzijske tolerance in gladkost površine palic in žice dosežemo s hladnim vlečenjem jekla. Z ustrezno obliko mikrostrukture jekla in utrditvijo zaradi hladne deformacije ($\epsilon = 10$ do 20 %) dobi jeklo tudi potrebno obdelovalnost, oziroma lomljivost. Dobavno stanje obravnavanih vrst jekel JMP je torej **normalizirano — hladno vlečeno**.

Trdota jekla v dobavnem stanju ter dosežena trdnost in trdota v mehko žarjenem stanju so prikazane v tabeli 4.

Možnosti, da bi v procesu hladnega masivnega preoblikovanja uporabili jeklo s toplo valjano površino, so v naših pogojih zelo omejene, vsekakor pa je to pot, ki omogoča določeno pocenitev postopka.

Zahteva po popolni odsotnosti vsakršnih površinskih defektov, ki jo zelo pogosto pogojujejo uporabniki jekel, je absurda, saj bi dosledna izpolnitev take zahteve vodila k močno povečanim materialnim stroškom. Problemu ti. kritičnih raz-

Tabela 4: Trdota in trdnost jekla v dobavnem in žarjenem stanju¹

Oznaka jekla	Šarža	Dobavno stanje				Mehko žarjeno stanje			
		HB max. kp/mm ²	HB kp/mm ²	HB max. kp/mm ²	HB kp/mm ²	σ_m N/mm ²	σ_v N/mm ²	δ_5 %	ψ %
JMP 10	02 3791	140	139	120	108	361.0	258.0	30.8	75.5
JMP 15	04 2252	150	143	130	115	388.4	281.5	39.6	75.8
JMP 60 Cr	02 3782	190	186	140	124	428.7	293.3	28.3	77.8
JMP 80 MnCr	10 3277	210	210	160	159	494.4	340.4	25.0	76.4

¹ Navedena je srednja vrednost 10 meritev

pok zato posvečamo veliko pozornost. Dokazano je, da je kritična globina defekta, kjer se začne med deformacijo odpiranje razpoke, odvisna od rezultirajočega napetostnega stanja ter plastičnosti jekla.¹⁶ Čim večja je plastičnost jekla, tem večja je kritična globina razpok. Ob prisotnosti plitvih razpok pride do porušitve takrat, kadar lega defekta sovpada z maksimalnimi napetostmi v materialu. S stališča porušitve materiala sta torej pomembni oblika in smer razpoke. Popolnoma nenevarne so se v večini primerov pokazale mehanske odrgnine in plitvi risi, ki potekajo vzdolž osi palic in žice. Pri vseh oblikah deformacije pa so nevarne razpoke, ki ležijo prečno na smer valjanja. Ker se torej napakam na površini surovcev, kljub še tako strogi kontroli procesa izdelave in predelave jekla, ni mogoče popolnoma izogniti, je dolžnost proizvajalca jekla, da z ostalimi ukrepi doseže maksimalno možno plastičnost jekla.

Tehnologija hladnega masivnega preoblikovanja izpodriva tehnologijo oblikovanja z odrezovanjem v osnovi pri materialnih stroških. Doseženi ekonomski efekt pa lahko izgine, če so v jeklu prisotne napake, ki povzročajo visok odpadek gotovih izdelkov in lome orodij. Ekonomika postopka temelji tudi na visoki storilnosti, zato ni mogoče nadomestiti izgubljenega časa, če se rešujejo še materialni problemi.

V mnogih primerih je za doseganje končne oblike obdelovanca potrebno po plastičnem preoblikovanju še oblikovanje z odrezovanjem. S hladnim preoblikovanjem ne poslabšamo obdelovalnosti, bistveno izboljšamo pa je tudi ne. Iz čisto metalurškega vidika so v tem pogledu možnosti za izboljšanje obdelovalnosti zelo omejene, saj sta si zahtevi po dobri plastičnosti in dobri obdelovalnosti nasprotujoči. Določene možnosti v tem primeru daje legiranje jekel s svincom in kontrolirana dezoksidacija jekla s kompleksnimi dezoksidanti.¹⁹

Drugo področje, kjer je potrebno tesno sodelovanje uporabnikov in proizvajalcev, pa zadeva način rekristalizacijskega žarjenja jekel. Ker se jeklo med hladnim preoblikovanjem utrjuje, ga je potrebno pred posameznimi deformacijami omehčati z žarjenjem. Poznavanje kinetike rekristalizacijskega žarjenja posameznih vrst jekel je pomembno za projektiranje procesa hladnega masivnega preoblikovanja, za plasiranje najmanjšega

potrebnega števila vmesnih žarjenj. To je tudi pot, da se izognemo ti. kritičnim deformacijam.

S posebno raziskovalno nalogo¹⁷ smo ugotovili, kako se ta jekla rekristalizirajo, kako je kinetika rekristalizacije odvisna od temperature, stopnje deformacije, načina segrevanja in kakšne so rekristalizacijske strukture. Navajamo nekaj najbolj pomembnih podatkov, ki naj služijo kot vodilo uporabnikom jekel.

Po kritični deformaciji in žarjenju v temperaturnem območju 650° do 700° C dobimo sorazmerno grobo kristalno zrno le pri maloogljčnih nelegiranih jeklih JMP 10 in JMP 15. Nizkolegirani jekli JMP 60 Cr in JMP 80 MnCr pa pri majhnih deformacijah nepopolno rekristalizirata. V splošnem pa so pri obravnavanih jeklih JMP kristalna zrna vedno manjša od razreda 8 N° ASTM. Za vsa JMP jekla priporočamo rekristalizacijsko žarjenje v temperaturnem območju 650° do 700° C. Čas žarjenja mora biti dovolj dolg, da se rekristalizirajo tudi področja z manjšo stopnjo deformacije in da se omehčajo tudi tista področja v preoblikovancih, ki zaradi podkritične deformacije ne rekristalizirajo. Žarjenje nad A_{c1} (800° C) nima nobenih prednosti, pri jeklu JMP 80 MnCr pa je zaradi nastanka prehodnih struktur še posebej nepriporočljivo.

S posebno raziskovalno nalogo¹⁸ smo preiskali tudi vpliv različnih oblik makrostruktur, ki nastanejo po rekristalizacijskem žarjenju jekel JMP v odvisnosti od stopnje deformacije na preoblikovalnost v hladnem.

3. Krivulje plastičnosti

Na področju hladnega masivnega preoblikovanja dobiva krivulja plastičnosti končno le tisto mesto, ki ga ima v tehnično razvitem svetu že dalj časa.

Za direktno računanje preoblikovalnih sil rabimo krivulje plastičnosti, ki popisujejo odvisnost deformacijske trdnosti ne le od primerjalne logaritmične deformacije, temveč tudi od hitrosti deformacije in temperature. Torej opisuje napetosti tečenja določenega materiala funkcija treh spremenljivk, ki je po svoji obliki zelo komplicirana in bi jo zaradi več parcialnih ekstremov analitično izredno težko opisali. Prav tako zahteva določitev te funkcije dobro laboratorijsko opremo.

Tabela 5: Spodnja temperatura rekristalizacije in kritične deformacije jekel JMP

Oznaka jekla	Sp. rekrist. temp. C		Kritične deformacije (%)		
	ϵ_r pod 50 %	ϵ_r nad 50 %	600 °C	650 °C	700 °C
JMP 10					
JMP 15	625	575	27 do 45	15	13
JMP 60 Cr			33 do 55	20 do 40	12 do 30
JMP 80 MnCr	650	600	40 do nad 100	25 do 40	17 do 30

Za neposredno prakso je dovolj dobra funkcijska odvisnost napetosti tečenja od ene same spremenljivke, to je od stopnje deformacije. Ker se vnaprej dogovorimo, da jo bomo ugotavljali s prekinjevanim (diskontinuirnim) tlačnim preizkusom, je temperatura preizkušanca konstantna in enaka temperaturi okolice. Diskontinuirne izotermne tlačne preizkuse lahko opravljamo na standardnih laboratorijskih preizkuševalnih strojih, ki so v bistvu hidravlične preše z registracijo deformacije in sile. Zato so preoblikovalne hitrosti manjše od $0,5 \text{ mm sek}^{-1}$ in hitrosti deformacije, ki so odvisne od velikosti preizkušanca, manjše od $0,1 \text{ sek}^{-1}$. Diskontinuirni tlačni preizkus poteka torej pod pogoji, ki v praksi nikoli ne nastopajo, zato iz njega dobljene krivulje plastičnosti niso primerne za natančno računanje preoblikovalnih sil.

Izotermna krivulja plastičnosti, ugotovljena s pomočjo diskontinuirnega tlačnega preizkusa, je torej uporabna le za grobe izračune preoblikovalnih postopkov. Njena najpomembnejša naloga pa je, da služi kot dogovorjeni preizkus za ocenjevanje preoblikovalnih lastnosti materialov.

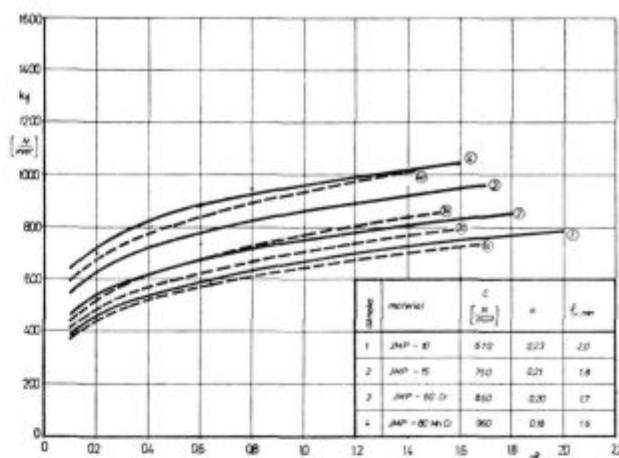
Ob začetku naše raziskave smo za vse obravnavane materiale opravili diskontinuirne tlačne preizkuse. Parametri dobljenih krivulj plastičnosti so naslednji:

Oznaka jekla	Šarža	C*		
		$\left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	n	$\varphi_{v, \max}$
JMP 10	02 3791	641,76	0,239	1,68
JMP 15	04 2252	702,49	0,232	1,58
JMP 60 Cr	02 3782	767,07	0,245	1,52
JMP 80 MnCr	10 3277	930,85	0,199	1,37

Vsi preizkušanci so dosegli velike deformacije, toda njihove preoblikovalne sposobnosti so bile v resnici še večje, a jih zaradi prešibkega preizkuševalnega stroja žal nismo mogli potrditi.

Dobljene krivulje plastičnosti smo nato kritično primerjali s podatki naših predhodnih raziskav^{1,2} in tuje literature.^{3,4,5,6,7,8} Na podlagi tega smo izdelali krivulje plastičnosti, prikazane na sliki 1. Te krivulje predstavljajo mejne vrednosti, ki naj bi jih vsebovali prevzemni pogoji za obravnavane kvalitete jekel. Z njimi bi proizvajalec jekla jamčil, da ob pravilnem postopku sferoidizacijskega žarjenja in ob dogovorjeni izvedbi tlačnega preizkusa ne bomo dobili krivulje plastičnosti, ki bi ležala višje od podane in ki se zaradi razpoka na vzorcih ne bi končala prej, kot bi dosegli $\varphi_{v, \min}$.

* V zadnjem času je prišlo do sprememb pri označevanju karakterističnih vrednosti krivulje plastičnosti. Tako s k_{f0} označujemo začetek krivulje plastičnosti, torej je pri $\sigma_v = 0$ $k_f = k_{f0}$, in je tako tudi $k_{f0} = \sigma_v$. Konstanta materiala C pa je vrednost deformacijske trdnosti $C = k_f$, ko je $\sigma_v = 1$.



Slika 1

Krivulje plastičnosti raziskovanih materialov (1a, 2a, 3a, 4a) in predlog mejnih vrednosti preoblikovalnih parametrov za cementacijska JMP jekla

Fig. 1

Yield curves of the investigated materials (1a, 2a, 3a, and 4a) and the proposal of the limiting values for working parameters for JMP steel for cementation

Ob primerjavi raziskovanih šarž s temi mejnimi krivuljami vidimo, da vse ležijo precej nižje. To pa predstavlja rezervo za tehnološka nihanja pri proizvodnji jekla.

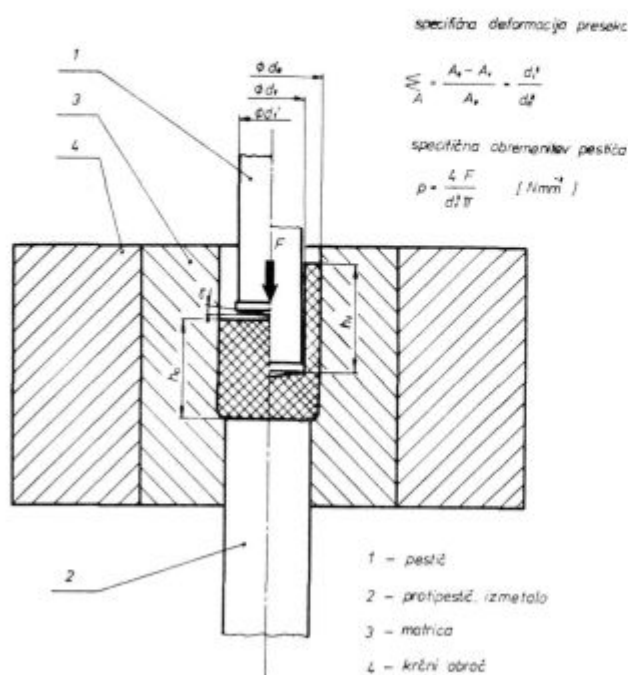
4. IZBIRA TEHNOLOŠKEGA PREIZKUSA

Na novo razvite materiale je treba vedno tudi tehnološko preizkusiti. Odločili smo se za preizkus protismernega iztiskovanja, in to iz dveh glavnih razlogov:

a) S protismernim iztiskovanjem se v Unior — Zreče že najdalj časa ukvarjamo, tu smo si pridobili še največ izkušenj;

b) Protismerno iztiskovanje povzroča v vseh primerih ekstremalne obremenitve orodij, zato je v neposredni proizvodnji vedno prisotna težnja, kako bi pritiske na orodja čim bolj zmanjšali.

Protismerno iztiskovanje (slika 2) je nestacionaren tehnološki proces, torej se napetostna, temperatura, hitrostna in deformacijska polja v obdelovancu stalno spreminjajo, od prvega kontakta z orodjem pa do tedaj, ko je pestič dosegel končno globino h_f . Zaradi tega dejstva trenutno še niso našli dovolj zanesljive analitične metode, ki bi opisovala vsa dogajanja pri iztiskovanju in na podlagi katere bi izračunali potek preoblikovane sile. Prav tako verjetno še ne poznamo vseh dejavnikov, ki vplivajo na ta proces, za znane pa ne poznamo velikosti njihovih vplivov. Zato pride v praksi čestokrat do napačnih zaključkov, ko trdimo, da je do tehnoloških težav ali poškodb orodij prišlo zaradi tega in tega vpliva, resnica pa je čisto drugačna.



Slika 2

Princip protismernega iztiskovanja

Fig. 2

The principle of the countercurrent extrusion

Če si torej zadamo nalogo, da s preizkusom ocenimo lastnosti preoblikovanega materiala, moramo najprej naštet in analizirati najpomembnejše znane vplivne dejavnike.

4.1. Geometrijske veličine obdelovanca

4.1.1. Specifična deformacija prereza (Σ_A)

Ime postopka pove, da material teče proti smeri gibanja pestiča. Preoblikovalna sila je tem večja, čim večja je deformacija prereza. Toda z naraščanjem deformacije narašča tudi presek pestiča, ki prenaša to silo. Zato je potrebno izračunati specifično obremenitev pestiča, pritisk p .

Pritisk p narašča z naraščanjem deformacije prereza, ker se zaradi preoblikovanja v hladnem material utrjuje. Pritisk pa narašča tudi z manjšanjem deformacije, ker moramo z vedno manjšim pestičem spravljati v gibanje skoraj celotno maso obdelovanca. Minimalne obremenitve pestiča dosežemo pri neki srednji, optimalni deformaciji, ki znaša okoli $\Sigma_A = 50\%$.

Tehnološko dopustne deformacije so torej znatraj področja:⁹

$$\Sigma_{A, \min} = 0,10 \text{ do } 0,35 \%$$

$$\Sigma_{A, \max} = 0,60 \text{ do } 0,75 \%$$

4.1.2. Vtiskovalno razmerje (h_1/d_1)

Ob tem, ko pestič prodira vedno globlje v obdelovanec, sila bistveno ne narašča, zato bi s stališča pritiskov na pestič lahko prešli zelo globoke luknje. Toda med iztiskovanjem postaja mazalni sloj pod čelom pestiča vedno tanjši. Če se sloj prekine, pride do neposrednega stika dveh kovin, do hladnega navarjanja.

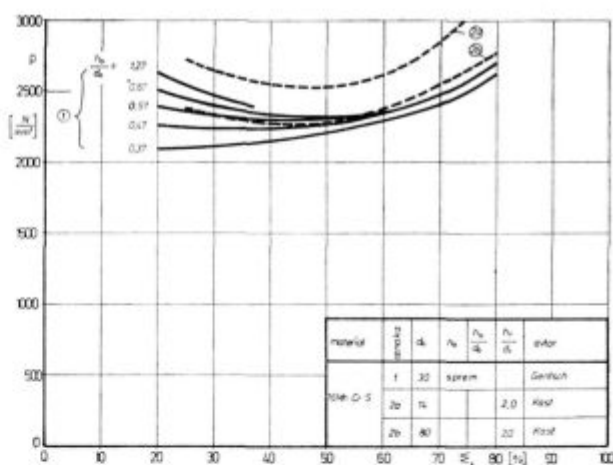
Po znanih podatkih prenese dober fosfatni sloj z ustreznim mazivom 15 do 17-kratno stanjšanje. Iz tega lahko izračunamo, da vtiskovalno razmerje h_1/d_1 ne sme biti večje od 3,5 do 4.

4.1.3. Velikost obdelovanca (d_0, A_0)

Že dalj časa smo ali so ugotavljali, da na preoblikovalne pritiske vpliva tudi absolutna velikost obdelovanca. Najbolje je to z eksperimenti pojasnil Kast,¹⁰ ki je dokazal, da je specifični pritisk na pestič tem večji, čim manjši je obdelovanec.

4.1.4. Relativna višina obdelovanca (h_0/d_0)

Preoblikovalni pritiski so tem manjši, čim bolj ploščat je obdelovanec, torej čim manjša je relativna višina obdelovanca. Z zmanjševanjem deformacije Σ_A pritisk celo pada, če je relativna višina obdelovanca manjša od 0,5. Na sliki 3 je podan



Slika 3

Vpliv velikosti obdelovanca (d_0), relativne višine obdelovanca (h_0/d_0) in specifične deformacije prereza (Σ_A) na specifično obremenitev pestiča (p) pri protismernem iztiskovanju jekla 16 MnCr 5 (C.4320)

Fig. 3

Influence of the size of the working piece (d_0), of its relative height (h_0/d_0) and the specific cross-section deformation (Σ_A) on the specific load of mandrel (p) in countercurrent extrusion of 16 MnCr 5 (C.4320) steel

primer za jeklo 16 MnCr 5 (C.4320), kjer so združeni podatki dveh avtorjev. Prvi podaja vpliv relativne višine obdelovanca, drugi pa vpliv velikosti obdelovanca na specifično obremenitev pestiča.

4.2. Hitrost preoblikovanja

Hitrost preoblikovanja vpliva na specifični preoblikovalni pritisk, toda povezana je z nekaterimi drugimi dejavniki. Tako je hitrost pestiča konstantna le pri hidravličnih prešah, pri vseh vrstah mehanskih preš pa se zvezno zmanjšuje in je ob koncu giba enaka 0.

S hitrostjo orodja je povezana hitrost deformacije, ta pa preko krivulje plastičnosti vpliva na deformacijski odpor in na potrebno preoblikovalno energijo. Odvisne od tega so zato tudi temperature orodij in obdelovancev.

Prav tako je dokazano, da je koeficient trenja (in z njim preoblikovalni pritiski) odvisen od hitrosti preoblikovanja in od temperature v kontaktni ploskvi.

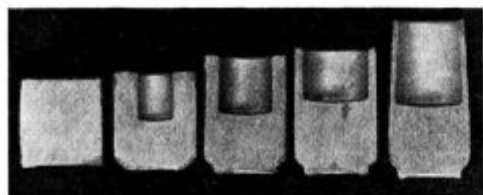
4.3. Oblika pestiča

Na splošno velja, da dosegamo večja vtiskovalna razmerja tedaj, ko je čelo pestiča bolj topo, ker s tem zaviramo odtekanje maziva s ploskve, v katero prodira pestič. Zaradi tega se pa povečujejo preoblikovalni pritiski. Najmanjši pritiski so tedaj, ko je čelo pestiča zaokroženo z $r = 0,5 d_p$, toda tedaj vtiskovalno razmerje ne sme biti večje od ena. Če torej želimo imeti ugodne obremenitve pestiča in velika vtiskovalna razmerja, smo postavljeni pred dve nasprotni zahtevi, ki jih moramo zelo skrbno pretehtati.

Na obremenitev pestiča in na njegovo življenjsko dobo zelo močno vpliva stanje površin na čelu pestiča in na prehodu s kota γ na premer d_p . Zato pestiče izredno skrbno in enakomerno poliramo, nitriramo, prečni preseki pa so med seboj lahko ekscentrični za največ 0,01 mm in čim bolj pravokotni.

5. NAČRT PREIZKUSOV

Za iztiskovanje smo pripravili dve vrsti preizkusov. Posebej v ta namen smo izdelali orodja, s katerimi je bilo mogoče preizkušance $\varnothing 13 \times 13$ milimetrov prešati z deformacijami preseka $\Sigma_A = 20, 50, 65$ in 80% (slika 4). Na ta način smo



Slika 4

Surovec $\varnothing 13 \times 13$ mm in preizkušanci, prešani s specifičnimi deformacijami preseka $\Sigma_A = 20, 50, 65$ in 80%

Fig. 4

$\varnothing 13 \times 13$ mm blank and the test pieces compressed to specific cross-section deformation of 20, 50, 65, and 80 %

želeli določiti vpliv specifične deformacije preseka na deformacijski odpor, oziroma na specifično obremenitev pestiča.

Eksperimentalno orodje smo vpeli v standarden stroj za preizkušanje materialov v laboratoriju za preoblikovanje fakultete za strojništvo v Ljubljani.

Z večjimi preizkušanci ($\varnothing 23,6 \times 23,6$ mm) smo opravili neposredne tehnološke preizkuse v obratu za hladno preoblikovanje kovaške industrije Unior Zreče. Delali smo na hidravlični preši, ki je bistveno hitrejša od preizkuševalnega stroja.

Pri vseh preizkusih smo merili silo na pehalu preše, ne pa direktno silo na pestiču. Zaradi trenja v vodilih preše in orodja so dejanske obremenitve pestiča za nekaj odstotkov nižje od ugotovljenih.

En podatek, ki je bil za potrditev predvidevanj posebno zaželen, pa so nam poslali kolegi iz Iskre Nova Gorica.

Za vsa orodja smo uporabljali jekla Železarnice Ravne, in sicer za pestiče hitrorezo jeklo BRU (Č.9683). Pestiči so bili glede na velikost in obliko poboljšani na 62 do 65 HRc in nitrirani. Matrice so bile iz OCR 12 VM (Č.4850) ali pa iz karbidnih trdin.

Obdelovance smo kemično očistili in fosfatirali s sredstvi kemične tovarne Podnart, za miljenje pa smo uporabili uvoženo milo Bonderlube 234.

6. REZULTATI PREIZKUSOV

Osnovo za ocenjevanje rezultatov protismer-nega iztiskovanja smo izdelali na podlagi podatkov tujih avtorjev. 6, 10, 11, 12 Ko smo zbrane podatke primerjali med seboj, smo ugotovili, da so med njimi dokaj velike razlike. Toda, ker smo v predhodnem študiju ugotovili vso množico vplivnih dejavnikov, nas ta ugotovitev niti ni preveč presenetila. Poleg tega, da so avtorji delali na različnih strojih, pod različnimi pogoji, so delali tudi z različnimi šaržami jekel.

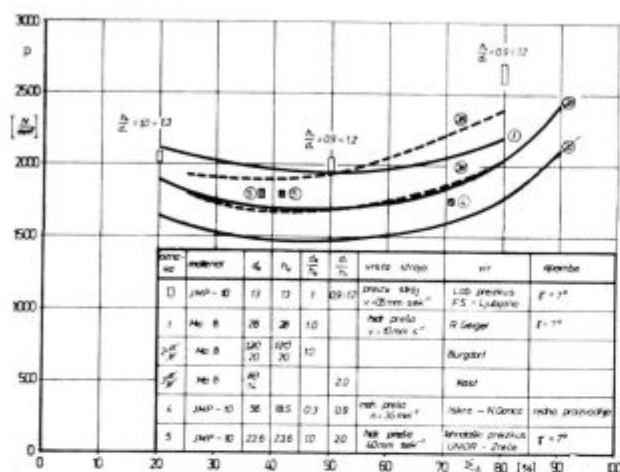
Podatki tujih avtorjev in rezultati naših preizkusov so navedeni v slikah 5, 6, 7 in 8. Iz njih lahko zaključimo naslednje:

1. Najvišje preoblikovalne pritiske smo dosegli pri preizkusih najmanjših preizkušancev in na najbolj počasnem stroju, kar vse potrjuje naša predvidevanja.

2. Tehnološki preizkusi so potekali na večjih preizkušancih in na hitrejšem stroju, zato so rezultati ugodnejši.

3. Zaradi normalne lege podatkov lahko zaključimo, da je bila površinska obdelava surovcev dobro opravljena, prav tako pa so bila orodja pravilno konstruirana in ustrezno končno obdelana.

4. S stališča obremenitev pestiča je najugodnejši podatek iz Nove Gorice (slika 5, primer 4). Obdelovanec je dokaj velik, relativna višina obde-

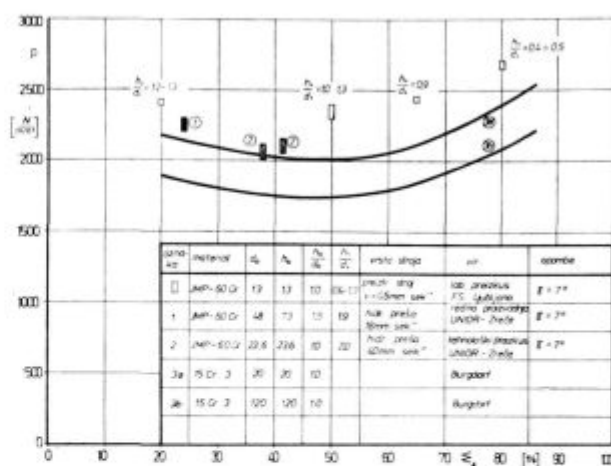


Slika 5

Specifična obremenitev pestiča (p) pri protismernem iztiskovanju jekla JMP-10

Fig. 5

Specific load of the mandrel (p) in countercurrent extrusion of JMP 10 steel

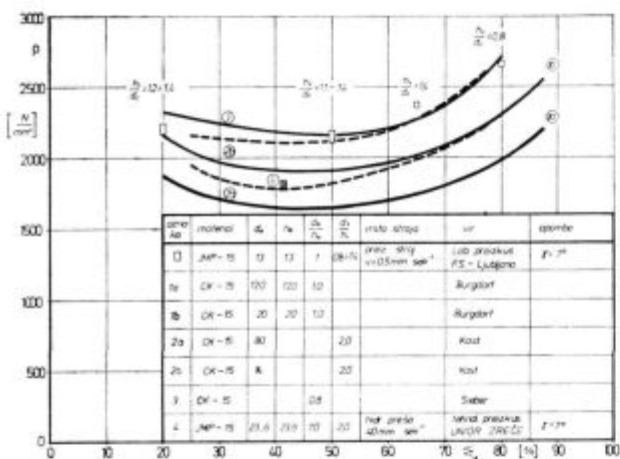


Slika 7

Specifična obremenitev pestiča (p) pri protismernem iztiskovanju jekla JPM-60 Cr

Fig. 7

Specific load of mandrel (p) in countercurrent extrusion of JMP 60 Cr steel

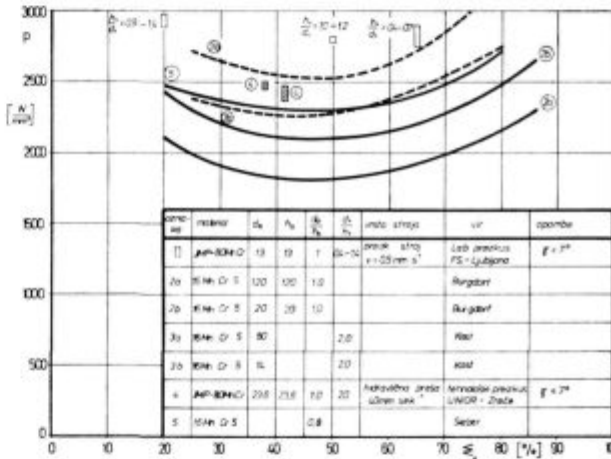


Slika 6

Specifična obremenitev pestiča (p) pri protismernem iztiskovanju jekla JMP-15

Fig. 6

Specific load of mandrel (p) in countercurrent extrusion of JMP 15 steel



Slika 8

Specifična obremenitev pestiča (p) pri protismernem iztiskovanju jekla JMP-80 Mn Cr

Fig. 8

Specific load of mandrel (p) in countercurrent extrusion of JMP 80 Mn Cr steel

lovanca znaša 0,3, iztiskovanje pa poteka na posebni preši, katere kinematika je namensko razvita za to vrsto tehnologije.

5. Jekla JMP-10, JMP-15 in JMP-60 Cr so brez porušitev pri protismernem iztiskovanju prenesla 80 % specifično deformacijo preseka ($\phi_A = 1,6$), jeklo JMP-80 Mn Cr pa 65 % ($\phi_A = 1,05$) in pri tem niso povzročala nenormalno velikih obremenitev orodja. S tem so dosegla normative, ki se po svetu zahtevajo za njim podobna jekla.

Ta zaključna pozitivna ugotovitev velja zaenkrat le za preizkušance, ki so bili izstruženi iz debelejših palic. Za normalno industrijsko predelavo pa se uporabljajo luščene ali hladno vlečene palice. Žal preizkusov s takimi površinami preizkušancev

nismo opravili, ker bi to zahtevalo prevelika finančna sredstva.

Morebitne površinske napake na materialih bi namreč občutno skrajšale v uvodu podane krivulje plastičnosti, prav tako pa bi zaradi njih prišlo do razpok pri tehnološkem preizkusu.

7. POSPLOŠITEV REZULTATOV

Ob analizi obravnavanega tehnološkega primera smo ugotovili, da na hladno protismerno iztiskovanje vpliva veliko dejavnikov. Projektante in tehnologe v neposredni proizvodnji pa stalno preganja želja, kako vnaprej določiti preoblikovalne pritiske, sile in energije. Odločitev, da bomo izde-

lali orodje in po preizkusu ugotovili, kje smo, je izredno draga zadeva in nam naj ostane le kot izhod v sili.

Način sprejemanja odločitev na podlagi opravljenega preizkusa je tudi s komercialno ekonomskega stališča zelo neugodna zadeva. Orodja se običajno začnejo izdelovati potem, ko smo kupcu že potrdili risbo izdelka in se z njim dogovorili o ceni ter pristali na relativno kratke dobavne roke.

Tehnološkega tveganja bo torej tem manj, čim več primerov iz literature in naše prakse bomo kritično analizirali in si izdelali interne tehnološke normative.

Pri protismernem iztiskovanju lahko iz znanih podatkov sklepamo na nove, če upoštevamo, da

- uporabljamo enako vrsto stroja,
- uporabljamo enako mazivo,
- imamo po enakih principih konstruirana in izdelana orodja,

— upoštevamo v uvodu podane vplive velikosti in relativne višine obdelovanca, vtiskovalnega razmerja, kota γ na čelu pestiča ter specifične deformacije prečnega preseka Σ_A .

V primeru, ko so vsi navedeni pogoji enaki, želimo pa spremeniti kvaliteto preoblikovanega materiala ali način toplotne obdelave, pa velja, da je specifični preoblikovalni pritisk linearno odvisen od deformacijske trdnosti preoblikovanega materiala.

Če imamo za materiala I in II znani krivulji plastičnosti, za material I pa tudi preoblikovalni pritisk p_I , tedaj lahko ob pogojih tehnološke podobnosti z zelo majhnim tveganjem trdimo, da bo pritisk p_{II} za material II enak

$$p_{II} = p_I \frac{k_{f,II}}{k_{f,I}},$$

kjer vrednosti za $k'_{f,I}$ in $k'_{f,II}$ izračunamo iz ustreznih krivulj plastičnosti

$$k'_{f,I} = k_{f,I}(\varphi_{A,I}) \text{ in}$$

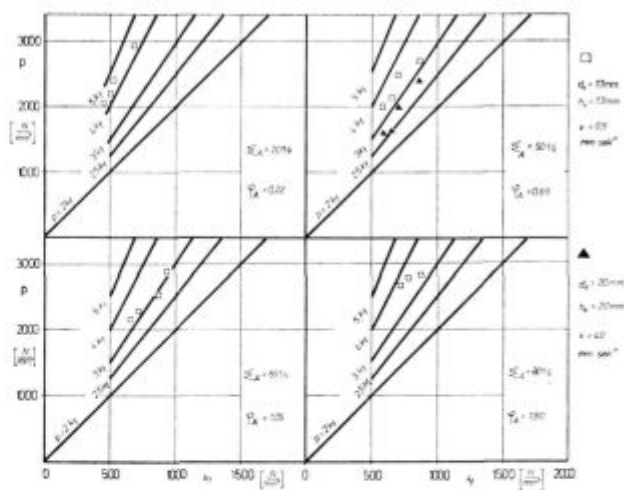
$$k'_{f,II} = k_{f,II}(\varphi_{A,II}),$$

pri tem pa mora tudi veljati

$$\varphi_{A,I} = \varphi_{A,II}$$

Rezultate laboratorijskih in tehnoloških preizkusov smo ob koncu tudi mi ocenili z ozirom na navedeno plastostatično podobnost. Dobili smo (slika 9) zelo dobro linearno odvisnost, kot so jo pri podobnih primerih ugotovili tudi drugi^{10,13}.

Tako smo opisali način, s katerim lahko zelo enostavno in zanesljivo ugotovimo, za koliko se nam bodo na primer povečali preoblikovalni pritiski, če se nam je dvignila krivulja plastičnosti. Za to moramo le pravočasno ugotoviti ustrezne krivulje plastičnosti, kar pa je veliko ceneje kot stane en sam (zlomljen) pestič.



Slika 9
Odvisnost med deformacijsko trdnostjo (k_f) in specifično obremenitvijo pestiča (p) ob upoštevanju zakonitosti tehnološke podobnosti pri protismernem iztiskovanju

Fig. 9
Relationship between the yield strength (k_f) and the specific load of mandrel (p) taking in account laws of technological similarity in countercurrent extrusion

ZAKLJUČEK

Za potrebe domače predelovalne industrije smo v železarni Jesenice, v tesnem sodelovanju s potrošniki jekel razvili takšen kvaliteten asortiment jekel za hladno masivno preoblikovanje, ki naj bi vsaj v prvi fazi zadovoljil potrebe naglo se razvijajoče tehnologije oblikovanja strojnih delov s hladnim masivnim preoblikovanjem. Vsem, ki uvajajo to tehnologijo v svoj proizvodni program, je skupna želja, da bi ta postopek osvojili na domači surovinski bazi.

Osvajanje jekel za hladno masivno preoblikovanje v železarni Jesenice poteka v tesnem sodelovanju z uporabniki jekel. S skupnim raziskovalnim delom smo prišli do ugotovitve, da je pri maloogljčnih in nizkolegiranih jeklih mogoče graditi na že osvojenih osnovnih kvalitetah jekla, predvsem v smeri izboljšanja homogenosti jekla, stalnosti kvalitete ter optimizacije toplotne obdelave in hladne predelave jekla.

Rezultati dosedanjega raziskovalnega dela so štiri vrste JMP jekel in to: maloogljčna jekla z nizko vsebnostjo Si JMP 10 (0.10 % C) in JMP 15 (0.15 % C) ter nizkolegirana jekla za cementacijo JMP 60 Cr in JMP 80 MnCr. Zaradi posebnih zahtev po kvaliteti jekla, ki presegajo zahteve JUS, so lastnosti teh jekel predpisane v okviru posebnih dobavno prevzemnih pogojev, ki so rezultat dogovora med proizvajalcem in potrošnikom jekla.

S pomočjo diskontinuirnih tlačnih preizkusov smo preiskali sposobnost obravnavanih JMP jekel za hladno masivno preoblikovanje. Upoštevajoč rezultate predhodnih preiskav in ustreznih podatkov iz tuje literature smo izdelali mejne krivulje

tečenja, ki naj služijo kot osnova projektiranja procesov preoblikovanja, predvsem pa kot merilo za ocenjevanje preoblikovalnih lastnosti materialov.

Plastičnost novo razvitih jekel za hladno masivno preoblikovanje smo preiskali tudi s tehnološkim preizkusom s protismernim iztiskavanjem. Jekla JMP 10, JMP 15 in JMP 60 Cr so brez porušitve pri protismernem iztiskavanju prenesla 80 % specifično deformacijo preseka ($\varphi = 1.6$), jeklo JMP 80 MnCr pa $\varepsilon = 65$ % ($\varphi = 1.05$) in pri tem niso povzročila nenormalno velikih obremenitev orodja. Rezultati preiskav so pokazali, da v pogledu sposobnosti za plastično preoblikovanje domača jekla za hladno masivno preoblikovanje dosegajo normalne, ki se zahtevajo za podobna jekla v svetu.

Na osnovi že pridobljenih izkušenj bomo s podobnimi metalurškimi prijemi še naprej razširjali kvaliteten asortiment jekel za hladno masivno preoblikovanje na področju jekel, ki se toplotno obdelujejo. Prepričani smo, da bomo s tako zastavljenim delom prispevali k še hitrejšemu prodoru tehnologije hladnega masivnega preoblikovanja pri nas.

Literatura

1. Kuzman K., Razinger A.: Ocena sposobnosti domačih jekel za masivno preoblikovanje v hladnem. ZE-ZB 7 (1973) No 5
2. Kuzman K.: Vpliv preoblikovanega materiala na snovanje procesov hladnega masivnega preoblikovanja jekel. ZE-ZB 10 (1976) No 2
3. Fließkurven metallischer Werkstoffe VDI 5-3200, 5-3201, Düsseldorf 1954—1957
4. Strassburger Ch., Robiller G.: Aufnahme der Fließkurve unlegierter Stähle in Kaltstauchversuch. Stahl u. Eisen 93 (1973) No 24

5. Dieterle K.: Bestimmen der Verfahrensgrenzen beim Stauchen von Hohlkörpern. Ind.-Anz. 97 (1975) No 77
6. Geiger R.: Der Stoff fluss beim kombinierten Napffliespressen. Berichte IfU No 36, Girardet Essen 1976
7. Kroha V. A.: Krivie upročnenia metallov pri holodnoj deformacii. Mašinstroenie Moskva 1968
8. Tretjakov A. V., Trofimov G. K., Gurjanova M. K.: Mehanicheskie svojstva stalej i splavov pri plastičeskom deformirovanii. Mašinstroenie Moskva 1971
9. Dohmann F.: Fertigungsgerechte Entwicklung von Kaltfließpresssteilen aus Stahl. Draht 1976 No 6
10. Kast D.: Modellgesetzmässigkeiten beim Rückwärtsfließpressen geometrisch ähnlicher Näpfe. Ind.-Anz. 1970 HGF 70/46
11. Burgdorf M., Müschenborn R.: Nomogramme zur Ermittlung der Umformkraft beim Fließpressen. Werkstattstechnik 60 (1970) 503/506 ali VDI Richtlinien 3138 Bl, Düsseldorf 1970
12. Sieber K.: Theoretische Grundlagen und praktische Erfahrungen zur Konstruktion von Kaltpresswerkzeugen. 4. Int. Tag. Kaltumformung, Düsseldorf 1970
13. Geiger R.: Ähnlichkeitsbetrachtungen beim kombinierten Napf — Vorwärts —/Napf — Rückwärts — Fließpressen. Ind.-Anz. 1974 HGF 74/83
14. Kuzman K.: Vpliv preoblikovalnega materiala na snovanje procesa hladnega masivnega preoblikovanja, Zelezarski zbornik, Ljubljana, 10 (1976) 2 str. 83—91
15. Sachs K.: Wire Industry London, januar 42 (1975) 493 str. 41—46
16. Razinger A., Arh J.: Nizkoogljeno nelegirano jeklo za izdelavo matic s hladnim stiskanjem — Romat, Jesenice, Zelezarna J. 1969, str. 32
17. Kveder A., Razinger A.: Rekristalizacija jekel za hladno masivno preoblikovanje, Zelezarski zbornik, Ljubljana 10 (1976) 4, str. 179—191
18. Arzenšek B.: Diplomaska naloga, oddelek za montanistiko, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, 1970
19. Langhammer H. J., Abratir H., Patel P.: Influence of injection of powdered materials on oxide and sulphide cleanliness of steel grades Scanijet — Lulea Sweden 1977, s D 13: 1—3

ZUSAMMENFASSUNG

Die Fertigungstechnologie der Serienteile aus Stahl mit der Kaltmassivumformung wird wegen der grossen ökonomischen Vorteile im Vergleich zu anderen Umformungsverfahren in Jugoslawien mit einer grossen Geschwindigkeit angewendet. Bei allen die diese Technologie in den Produktionsprozess einführen, ist gemeinsam der Wunsch, dieses Verfahren auf eigener Rohstoffbasis einzuführen.

Die Entwicklung der Stähle für die Kaltmassivumformung im Hüttenwerk Jesenice ist in enger Zusammenarbeit mit den Verbrauchern verlaufen. Mit der gemeinsamen Entwicklungsarbeit sind wir zu der Feststellung gekommen, dass bei den Kohlenstoffarmen und niedriglegierten Stählen die Entwicklung auf Grund der in der Produktion befindlichen Stahlsorten vor allem in Richtung der Verbesserung der Stahlhomogenität einer konstanten Stahlgüte Optimierung der Wärmebehandlung und Kaltumgebung der Stähle möglich ist.

Als Ergebnis der bisherigen Forschungsarbeit sind vier Sorten der JMP Stähle und zwar: Kohlenstoffarme Stähle mit niedrigem Si Gehalt, Si JMP 10 (0.10 % C) und JMP 15 (0.15 % C) und ein niedriglegierter Einsatzstahl JMP 60 Cr und JMP 80 MnCr. Da auf die Stahlgüte besondere Ansprüche gestellt werden, welche die der JUS Norm

überreffen, sind die Eigenschaften dieser Stähle im Rahmen besonderer Abnahme und Lieferbedingungen vorgeschrieben welche ein Ergebnis der Vereinbarung zwischen Erzeuger und dem Verbraucher sind.

Die Fähigkeit der behandelten JMP Stähle für die Kaltmassivumformung ist mittels des diskontinuierlichen Stauchversuches untersucht worden. Unter Beachtung der Ergebnisse der vorgehenden Untersuchungen und der entsprechenden Daten aus der Fachzeitschrift sind die Grenzfließkurven arsgearbeitet worden, welche als Grundlage bei der Planung der Umformungsprozesse, vor allem aber als ein Mass für die Bewertung der Umformungseigenschaften der Stähle dienen.

Die plastischen Eigenschaften der neu entwickelten Stähle für die Kaltmassivumformung sind mit dem Rückwärtsfließpressversuch untersucht worden. Die Stähle JMP 10, JMP 15 und JMP 60 a haben beim Rückwärtsfließpressen $\varepsilon = 80$ % ($\varphi = 1.6$) und der Stähle JMP 80 MnCr $\varepsilon = 65$ % ($\varphi = 1.05$) der spezifischen Querschnittverformung ertragen. Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass die einheimischen Stähle für die Kaltmassivumformung in Hinsicht der plastischen Eigenschaften, die Normvorschriften, welche für ähnliche Stahlsorten in der Welt üblich sind, erreichen.

SUMMARY

Manufacturing products in great series with massive cold forming is used more and more due also in Yugoslavia to the great economic advantages. All who are introducing this technology into their production program want to apply the process on domestic raw materials.

Manufacturing steel for massive cold forming in Jese-nice steelworks is in close cooperation with consumers of this steel. Joint research lead to the conclusion that low-carbon and low-alloyed steel of the production program can be used if homogeneity of steel, constant quality, and optimization of heat treatment and of cold working can be achieved.

The results of investigations till now are four JMP steel qualities: low-carbon and low-silicon steel JMP 10 (0.10 % C) and JMP 15 (0.15 % C) and JMP 60Cr and JMP 80 MnCr low-alloyed steel for cementation. Due to special quality demands which are higher than in Yugoslav standards (JUS) their properties are prescribed in special deli-

very conditions as the results of agreement between the manufacturer and the consumer of steel.

By discontinuous compression tests the mass cold workability of the mentioned JMP steel was tested. Based on previous investigations and corresponding data in references the limiting yield curves were constructed which are needed in the basic design of the working processes and for estimating the workability of materials.

Plasticity of the new developed steel for massive cold working was tested also with a technological test of counter-current extrusion. JMP 10, JMP 15, and JMP 60 Cr steel stayed 80 % specific cross-section deformation ($\phi_s = 1.6$) without destruction in the counter-current extrusion, while specific cross-section deformation of JMP 80 MnCr steel was 65 % ($\phi_s = 1.05$). No unnormal high load of tool was observed. The result of investigations showed that domestic steel for massive cold forming have the same workability as the similar imported steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология изготовления деталей серийного производства при помощи холодной массивной деформации вследствие существенных экономических преимуществ в сравнении с другими способами формообразования стали этим способом с большим темпом осваивается также в Югославии. Общая цель всех, которые вводят эту технологию в свой процесс производства освоение этого способа на домашнем сырье.

Освоение сталей для холодной массивной деформации в металлургическом заводе Железарна Есенице ведется в тесном сотрудничестве с потребителями сталей.

С коллективным исследованием установили, что при малоуглеродистой и малолегированных сталях процесс массивного формообразования в холодном состоянии возможен уже при освоении основных сортах стали главным образом, что касается однородности стали, постоянства качеств, оптимизации при термической обработки и при холодной переработки стали.

Результаты выполненных исследований представляют четыре сорта стали JMP, т. е. малоуглеродистая сталь марок JMP 10 (0.10 % C) и JMP 15 (0.15 % C) с низким содержанием Si, а также малолегированные стали для цементации JRM 60 Cr и JMR 80 Mn Cr. Вследствии специальных требований, которые превышают требования по JUS, свойства этих сталей установлены в рамках спе-

циальных приемочных условий, которые составляют результат соглашения между производителем и потребителем стали.

С прерывными испытаниями на давление определена способность JMP сталей на холодное массивное формообразование. Взяв во внимание предварительные исследования и соответственные указания из зарубежной литературы, приготовлены предельные кривые пластичного течения, которые могут послужить как основание для проектирования процесса деформации, в особенности как масштаб для оценки способности формообразования материала.

Пластичность этих новоосвоенных сталей для холодного массивного формоизменения исследована также при помощи технологического испытания противоположным выдавливанием. Сталь JMP 10, JMP 15 и JMP 60 Cr выдержали при противоположном выдавливании без разрушения 80 % удельной деформации сечения ($\phi_s = 1.6$), а сталь марки JMP 80 Mn Cr при $\phi_s = 1.05$ достигла величину $\phi_s = 65$ %, причем не причинило абnormally высокую нагруженность инструмента.

Результаты исследований показали, что домашние стали для холодного массивного преобразования, что касается способности пластичного формообразования, вполне удовлетворяют нормам которым должны отвечать подобные зарубежные сорта стали.