

KOVANJE JEKLA V POLTOPLEM STANJU

FORGING OF STEEL IN INTERMEDIATE TEMPERATURE RANGE (WARM FORGING)

Franc Legat

Zabreznica 36, 4274 Žirovnica

Prejem rokopisa - received: 1999-06-22; sprejem za objavo - accepted for publications: 1999-06-23

Kovanje v poltoplem stanju zagotavlja večjo dimenzijsko točnost, boljšo površino in manjši odgor jekla kot klasično toplo kovanje. Zahteva pa boljše orodje, boljše mazanje in bolje pripravljene surovce za kovanje.

Ključne besede: poltoplo kovanje, ogrevanje, orodja, mikrostruktura

Forging in intermediate temperature range ensures a better dimension accuracy, better surface, and smaller loss of steel because of scaling. It requires better toolings, better inication, and a more careful blanc repARATION.

Key words: warm forging, heating, toolings, microstructure

1 UVOD

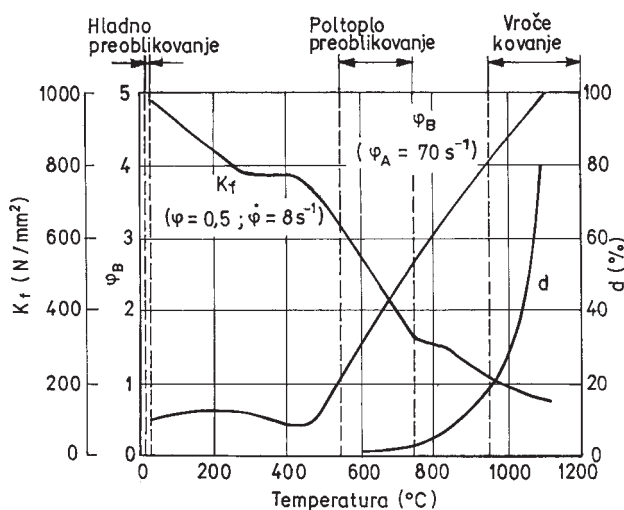
Najbolj razširjena postopka za preoblikovanje kovin sta hladno stiskanje in vroče kovanje. Pri slednjem izbiramo temperaturo glede na obliko in silo stiskanja v utopih. Za standardna jekla so temperature kovanja med 1050 in 1250°C. Pri nižji temperaturi se sicer porabi manj energije za segrevanje, potrebne pa so večje sile pri kovanju ali stiskanju, pa tudi material je manj oblikovalen (**slika 1**). Pri višjih temperaturah se je treba izogibati poškodbi mikrostrukture zaradi pregretja, ki močno zmanjša mehanske in tehnološke lastnosti končnih odkovkov.

2 POLTOPLO STISKANJE

Odpornost proti deformaciji pri stiskanju narašča s stopnjo preoblikovanja pri vseh jeklih. Pri nekaterih narašča tako hitro, da so mogoče le majhne deformacije. Pri zadostni temperaturi sledi takoj mehčanje, zato so ugotovitve pri vročem kovanju zanemarljivo majhne.

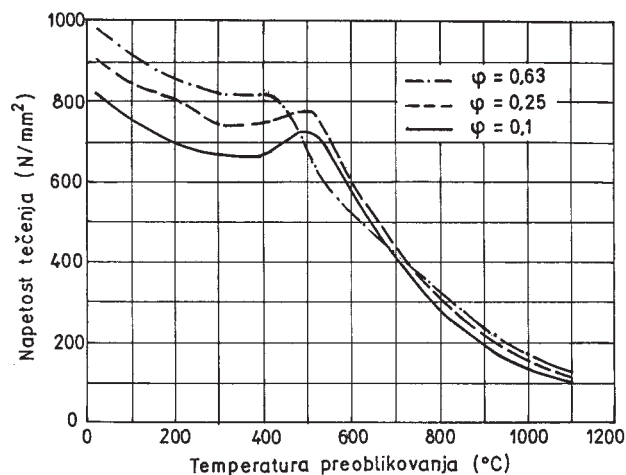
Tolerance so tem ožje čim manjše so temperaturne razlike, deformacije orodja, razlike med jekli in različno učinkovitost maziv (**slika 2**).

Poltoplo stiskanje se izvaja v temperaturnem območju 500-800°C. Pod 550°C je trdnost že previsoka, nad 800°C pa škajanje prehudo. S tem postopkom se praktično kombinira točnost hladnega stiskanja s sposobnostjo preoblikovanja v toplen stanju. To velja za visokolegirana jekla za poboljšanje in jekla za ležaje.



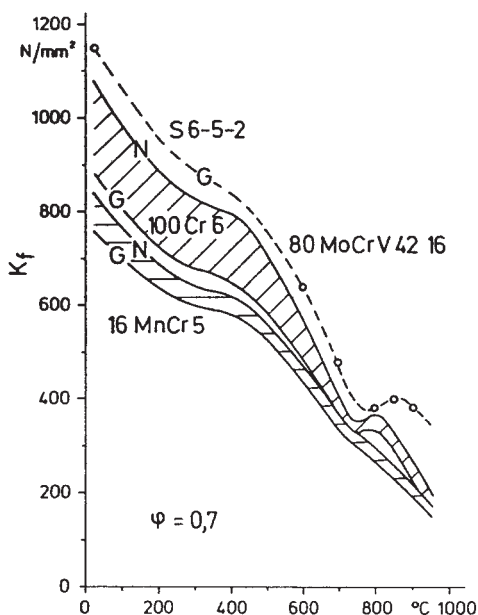
Slika 1: Vpliv temperature segrevanja na preoblikovalno trdnost (K_f) in preoblikovalno deformacijo (ϕ_B)

Figure 1: Influence of temperature on scale thickness after 2 min. of annealing (d) on deformation resistance (K_f) and on total deformation (ϕ_A)



Slika 2: Vpliv temperature na napetost tečenja pri različni celotni deformaciji

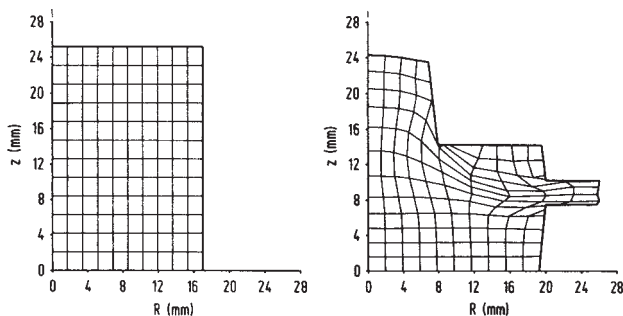
Figure 2: Influence of deformation temperature on yield stress by different deformation



Slika 3: Deformacijski odpor nekaterih jekel v odvisnosti od temperature

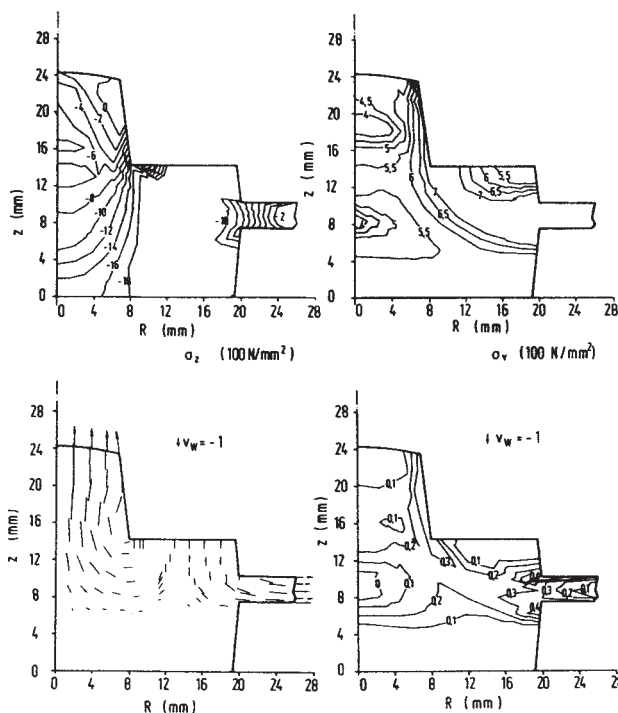
Figure 3: Dependence temperature resistance to deformation for different steels

Tudi stiskanje kompliciranih oblik v hladnem, ki zahteva vmesno žarjenje, je cenejše v poltoplem stanju brez prekinitve za vmesno žarjenje. Pri poltoplem stiskanju se srečujemo s celo vrsto tehničnih problemov. Zahtevane so ozke temperature tolerance, orodja pa so močnejše dimenzionirana kot pri vročem stiskanju in so po dimenzijah bližja orodjem za hladno stiskanje. Često so orodja deljena, matrice pa armirane. Istočasna visoki pritisk (sila stiskanja) in temperatura zahtevata skrbno izbiro jekla za orodja. Ni primerno niti jeklo za hladno stiskanje niti jeklo za vroče kovanje. Mazanje in hlajenje je treba razviti na novo skoraj za vsako orodje in izdelek. Temperatura mora biti izbrana tako, da se dosežejo želene lastnosti po možnosti brez dodatne toplotne obdelave. Zaradi specifičnih zahtev postopka in tehnoloških meril ima poltoplo stiskanje nekaj omejitev. Proces mora biti čim bolj avtomatiziran, serije velike vsaj 20.000 kosov, da se izplača drago orodje. Izdelki so ponavadi podobnih oblik kot pri hladnem stiskanju: čim



Slika 4: Začetna in končna oblika preoblikovanca

Figure 4: Initial and final form of the forged specimen



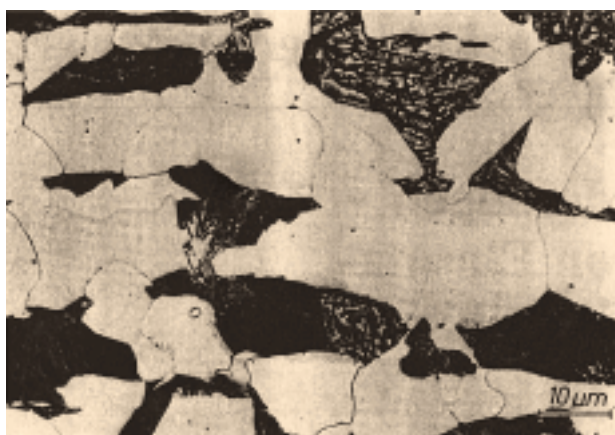
Slika 5: Stopnje deformacije pri oblikovanju preoblikovanca s sl. 4

Figure 5: Deformation steps by forging the specimen on fig. 4

bolj simetrični, okrogli in brez ostrih robov (slika 3). Pri konstruiranju izdelka se izhaja iz standardne idealizirane oblike in se postopoma doseže potrebna oblika (slika 4). Vmesna stanja preoblikovanja, preoblikovalne hitrosti, napetosti in preoblikovalne sile so ponazorjene na sliki 5.

3 EVOLUCIJA MIKROSTRUKTURE

Mikrostrukturne spremembe med kovanjem in pri kasnejšem žarjenju so specifične. Kot primer navajamo zobati segment, ki je sestavni del traktorskega motorja in je izdelan iz jekla 16 MnCr 5 z 0,16% C, 1,20% Mn in 0,75% Cr, ki ima v dobavljenem stanju mikrostrukturo, prikazano na sliki 6. Na sliki 7 je prikazana mikrostruktura po kovanju pri 670°C, na sliki 8 pa potem, ko je bilo jeklo dodatno žarjeno pri 700°C. Mikrostruktura po kovanju pri 670°C je zelo podobna tisti, žarjeni pri 700°C in ohlajeni na zraku. Dodatno žarjenje torej le malo spremeni mikrostrukturo. Naslednji primer je kritični del odkovka, ki je izdelan iz cementacijskega jekla 16 MnCr 5 in iz jekla 100 Cr 6. Oba sta bila kovana v poltoplem stanju iz surovca ϕ 30 x 32 mm. Posnetki na sliki 9 prikazujejo mikrostrukturo v točkah 1, 2 in 3. Mikrostruktura jekla 16 MnCr 5 se spremeni po deformaciji, zmanjša se velikost zrn in spremeni se porazdelitev perlita, trdota pa se zaradi istočasne poprave in rekristalizacije skoraj nič ne poveča. Pri jeklu 100 Cr 6, ki ima več karbidov, se velikost kristalnih zrn po deformaciji zelo zmanjša, a poveča se trdota. Povečanje

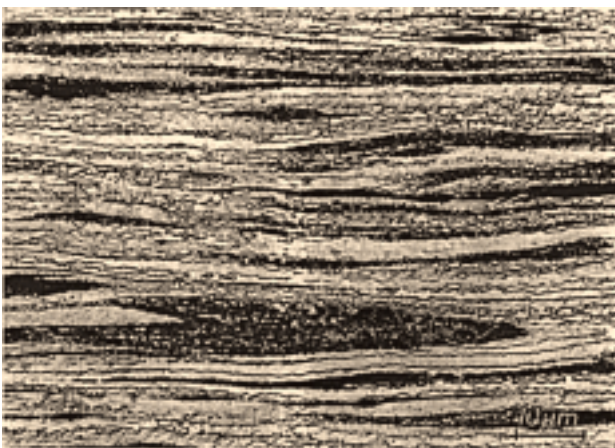


Slika 6: Mikrostruktura osnovnega materiala pred kovanjem
Figure 6: Microstructure before forging

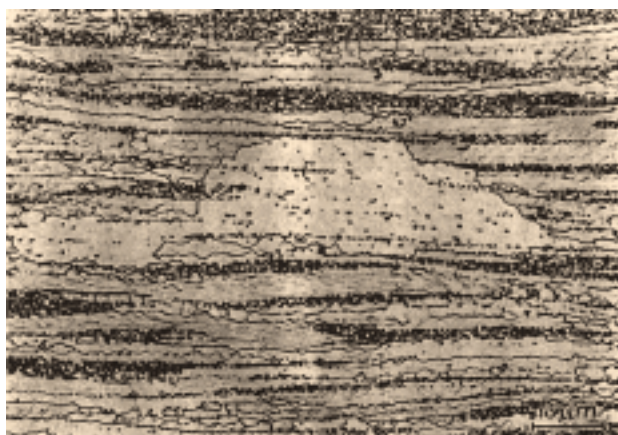
trdote je pri legiranih jeklih še večje. Pri istem odkovku je mikrostruktura malo spremenjena na mestu z manjšo deformacijo, kjer pa je deformacija velika, so nastala nova in drobno rekristalizirana zrna, cementit pa je dobil krogljčasto obliko.

Druga serija preizkusov je bila opravljena na manjših odkovkih iz jekla 20 MnCr 5. Kovanje je bilo izvršeno pri temperaturi 670°C. Po njem so imela zrna ferita in perlita sploščeno obliko. Pri nekaterih feritnih zrnih so bili znaki delne poligonizacije in rekristalizacije v zelo majhna zrna.

Postopek poltoplega stiskanja se uporablja, če jekla ni mogoče stiskati v hladnem. Jeklo 100 Cr 6 za ležaje se pri 700°C dobro preoblikuje, boljše kot jeklo Ck 15 v žarjenem stanju pri sobni temperaturi. Poltoplo stiskanje se uporablja tudi takrat, kadar so pritiski na orodje v hladnem stanju preveliki. Pri stiskanju ne prihaja do posebnih utrditev, zato je število stiskanj odvisno od padca temperature v posameznih fazah. S kombinacijo kemičnih in termičnih pogojev dosežemo, da je poltoplo kovanje cenejše v primerjavi s hladnim stiskanjem. Poltoplo stiskanje se izvaja pod mejo rekristalizacije, ki



Slika 7: Mikrostruktura po kovanju pri 670°C
Figure 7: Microstructure after forging at 670°C



Slika 8: Mikrostruktura po kovanju 670°C, žarjenju 700°C in ohlajanju na zraku
Figure 8: Microstructure after forging at 670°C, annealing at 700°C and air cooling

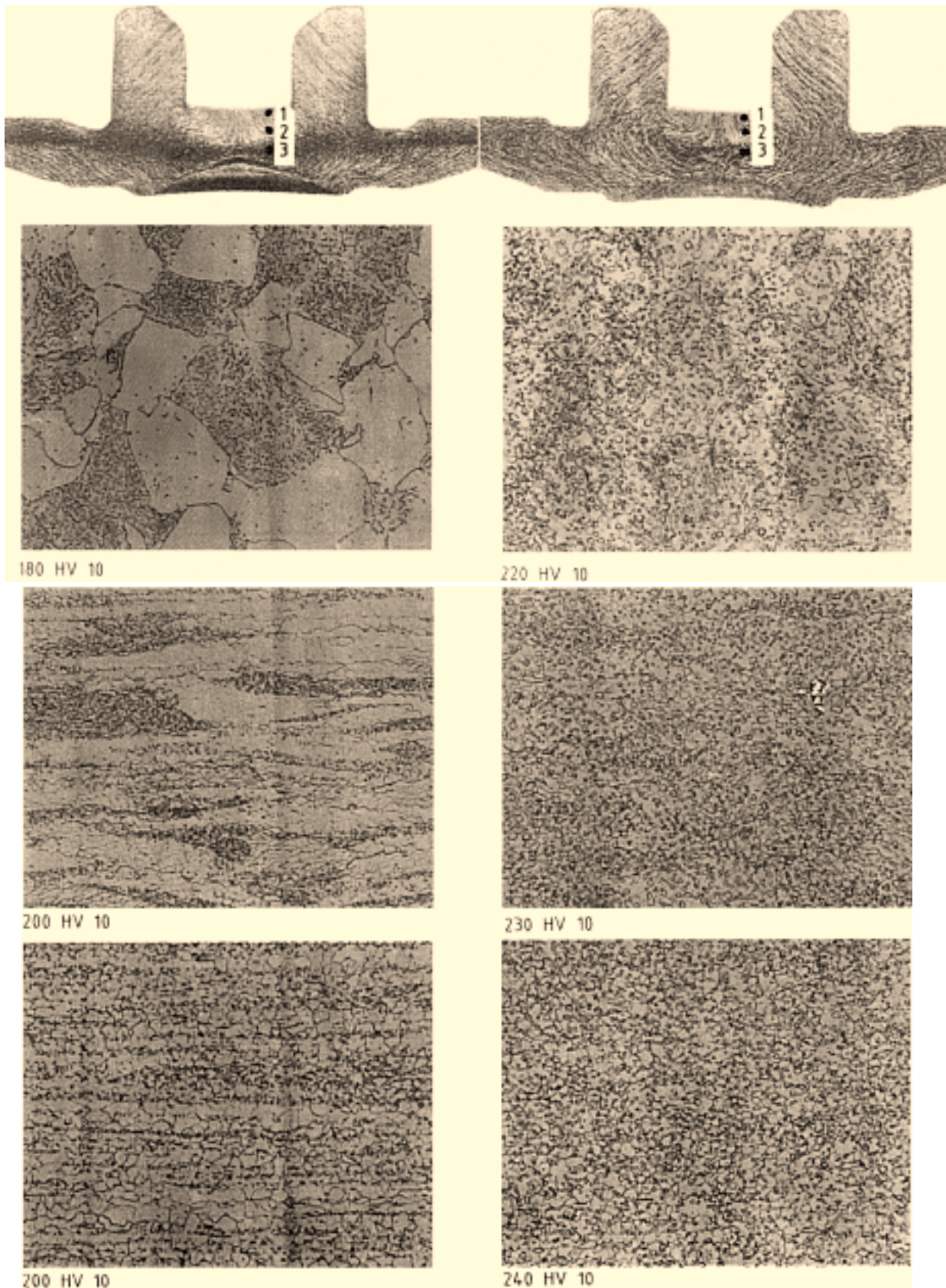
je pri jeklu med 500 in 800°C (odvisno od deformacije in sestave). Ta način kovanja se uporablja, če je stiskalnica prešibka za hladno stiskanje. V poštev pride tudi kombinacija poltoplega kovanja in hladnega stiskanja-kalibriranja, ki zagotovi zelo ozke tolerance izdelka. Kakovost stiskanja je odvisna od temperature, ki mora biti čim bolj konstantna do zadnje faze. Pred stiskanjem je potrebno orodje predgreti na delovno temperaturo. Če je več orodij, jih grejemo nekoliko nižje, nato pa se ogrejejo s prvimi odkovki na pravo delovno temperaturo. Začetni odkovki so ponavadi odpadki. Pri vsaki pavzi je treba orodje očistiti tujkov, po daljših odmorih pa ponovno segreti. Zaradi mazanja se orodje veliko bolj zamaže kot pri hladnem stiskanju. Potrebno je večkratno čiščenje, ker se v oglih nabira umazanija in se zato spreminja oblika izdelka, v skrajnem primeru se lahko orodje celo zlomi.

4 NAPRAVE ZA POLTOPLO STISKANJE

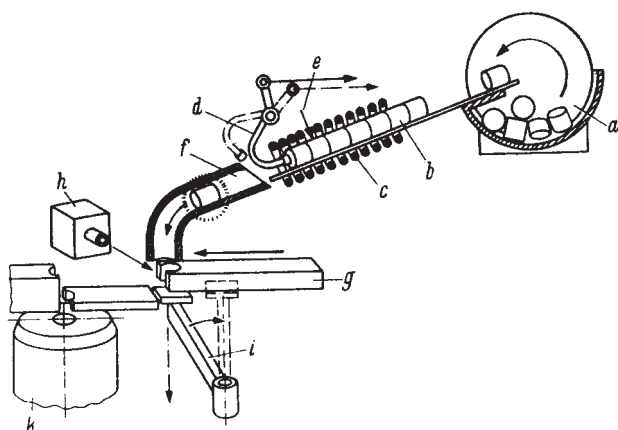
Vodoravno ležeče stiskalnice pridejo v poštev samo pri velikih serijah, zato se malo uporabljajo. Pokončne hidravlične stiskalnice so nekoliko prepočasne, stik med orodjem in izdelkom je predolg, zato tudi neugoden, ker skrajšuje uporabno dobo orodja. Zahteve za stiskalnice so podobne kot pri stiskanju v hladnem:

- zadostna točnost pri vodilih
- močan izmetalec v mizi, navadno z 10% udarne sile
- zadosten prostor za orodje in njegovo pritrditev
- zadosten hod stiskalke
- varovalka za preobremenitev, ki varuje napravo pred zlomom pri preobremenitvah
- enakomerna sila udarca, ki vpliva na kakovost izdelka in
- zanesljiva in dobra transportna podajna naprava, najboljše, mehanska.

V praksi so se pokazale kot najboljše kolenčaste stiskalke z zgornjim pogonom.



Slika 9: Mikrostruktura na označenih mestih v poltoplem odkovku iz jekel 16 MnCr 5 (levo) in 100 Cr 6. Pov. 500 krat
Figure 9: Microstructure on marked spots of an intermediate temperature forged piece from steel 16 MnCr 5 and 100 Cr 6. Magn. x500



Slika 10: Sodobna avtomatska ogrevalna naprava za kovanje (a - transportni boben, b - surovci, c - induktor, d - zapora, e - lovilnik, f - vodilna cev, g - potiskalec, h - merilnik temperature, i - izmetalec za slabe kose, k - matrica)

Figure 10: Automated heating system for forging

5 OGREVALNE NAPRAVE

Ogrevalna naprava mora imeti naslednje karakteristike:

- hitro in kontinuirno ogrevanje zaradi dela stroja v taktu
- enakomerno pregretje celega preseka
- zanesljiva in točna temperaturna regulacija

- enakomeren pretok surovcev skozi ogrevno napravo
- ogrevalna naprava naj bo enostavna in čim manjša, da lahko stoji poleg stiskalnice.

Klasične peči skoraj ne pridejo v poštev, ker je ogrevanje počasno, pretočni časi so predolgi, peči so dolge in zavzemajo preveč prostora. Mnogo boljše je direktno ogrevanje z električnim tokom, uporabno ali indukcijsko. Pri uporabnem gretju ni mogoče tako kontinuirno delo kot pri ogrevanju z indukcijo, zato je slednje najboljše. Frekvenca je odvisna od premera surovca, ki ga segrevamo, in je med 300 kHz za premer 3 mm in 0,05 kHz za premer 300 mm. Pri premerih 25-100 mm se priporoča frekvenca 2 kHz. **Slika 10** shematično prikazuje sodobno indukcijsko uporabno napravo. Orientacijska vrednost za inštalirano moč je 0,6 kVA/za kg vložka, kar pomeni, da je za 1 kg potrebno 0,35 kWh električne energije.

6 TRANSPORT IN KONTROLA

Optični pirometer poskrbi, da pridejo iz transporterja peči samo pravilno segreti kosi. Pri kratkih pavzah stiskalnice se povratno regulira ogrevalna naprava. Če je stiskanje z eno stopnjo (z enim udarcem), zadošča že eno vodilo na transportni poti. Če je več orodij in več dodatnih poti, je treba paziti, da hlajenje ni prehitro in da temperatura odkovka ne pade preveč na daljši transportni poti (**slika 10**).

Tabela 1: Osnovne karakteristike različnih postopkov masivnega preoblikovanja

	Vroče kovanje v utopih	Hladno preoblikovanje	Poltoplo stiskanje
Dosežena točnost	IT 12 - IT 16	IT 7 - IT 11	IT 9 - IT 12
Masa izdelka	5 g - 1500 kg	1 g - 50 kg	100 g - 50 kg
Ekonomično št. kos. (1 kg)	od 500 naprej	od 10.000 naprej	od 3.000 naprej
Vrsta jekla	Vsa jekla	Nizkolegirana jekla	Vsa jekla z 10 % legirnih elementov
Oblikovanje	Prosto, brez dodatnih preoblikovanj po kovanju	Simetrični izdelki (okrogli preseki) brez dodatnega odrezavanja	Po možnosti simetrič. okrogli, brez odrezavanja po kovanju
Možnost preoblikovanja	Prosto	Stopnja preoblikovanja $\phi < 1,6$	Stopnja $> 1,6$
Kvaliteta površine	$R > 100 \mu\text{m}$	$\approx 10 \mu\text{m}$	$< 50 \mu\text{m}$
Možnost avtomatizacije	Omejena možnost avtomatizacije	Zelo uspešna avtomatizacija	Dobra možnost avtomatizacije
Priprava surovcev	Brez priprave	Žarjenje in kemična obdel. površine	Brez priprave
Vmesna obdelava	Brez priprave	Žarjenje in kemična obdel.površine (za $\phi < 1,6$)	Brez priprave
Vzdržljivost orodja	2.000-5.000 kosov	20.000-50.000 kosov	10.000-20.000 kosov
Cena orodja	100 %	100-200 %	200 %

Tabela 2: Jekla za orodja za poltoplo kovanje

Št.	DIN	JUS	RAVNE	Uporaba
2396	81 MoCr V 4216			Žig, matrica
2678	X 45 CoCrW V 555			Matrica
2622	X 60 W CrMo V 94			Žig, matrica
2344	X 40 CrMo V 51	Č. 4753	Utop Mo 2	Ohišje
3243	S 6 - 5 - 2 - 5	Č. 9780	BRC Mo	Žig

7 ORODJA IN MAZIVA ZA POLTOPLO KOVANJE

Orodje za poltoplo kovanje se razlikuje od tistega za hladno stiskanje. Večji problem se pojavi pri temperaturah, ko se začne orodje dimenzijsko spreminjati. Ostri prehodi na orodju niso priporočljivi. Tam so toplotne obremenitve največje in nabira se mazivo.

Mazilna plast se med deformacijo ne sme pretrgati. Mazivo mora biti lahko odstranljivo, ne sme biti strupeno in ne sme razvijati preveč hlapov in par. Od maziva se zahteva visoka temperaturna obstojnost, hladilna sposobnost in dobra sposobnost razširjanja po površini orodja. Natrijevo milo je uporabno le do temperature ca 200°C, nato svoje mazilne sposobnosti izgubi. Najbolj stabilno se vede suspenzija koloidnega grafita v vodi ali olju. Tej suspenziji se dodaja aditive, ki poboljšajo mazivnost grafita. Surovci majhnih dimenzij se lahko namažejo že pred prihodom v ogrevno napravo. Dodajanje mazila direktno v orodje je potrebno zaradi hlajenja le-tega. V takem primeru se lahko uporablja emulzija z manjšo količino grafita.

Za orodna jekla so važne naslednje lastnosti: enakomerna velikost zrn, dobra kaljivost in tlačna

trdnost, visoka obrabna odpornost, dobra popustna obstojnost, visoka žilavost, toplotna trdnost in toplotna prevodnost.

8 SKLEP

Primerjava postopkov hladnega stiskanja, kovanja v področju standardnih kovaških temperatur v utopih in poltoplega stiskanja pokaže, da ima slednje nekatere prednosti, še posebej, če strojni park ni dovolj močan za hladno predelavo.

Tudi ko se zahteva lepša neoksidirana površina in večje tolerance izdelkov, ima poltoplo stiskanje prednost. Pri srednjih temperaturah (600-800°C) se v ostrejši obliki pojavljata problema mazanja in kakovosti orodij. Preizkusi in delo so pokazali, da se je treba odločiti sproti, glede na zahteve izdelka, strojni park in na velikost serij.

9 VIRI

¹ K. Rudinger: *Metall* 23 (1969) 226-229

² H. D. Feldmann: *Draht* 13 (1962) 4, 161-166