

## Meroobstojnost nekaterih orodnih jekel

### REZUME

Meroobstojna jekla imajo sorazmerno precej majhne spremembe mer tako pri toplotni obdelavi kakor tudi pri uporabi orodij iz teh jekel.

Vsekakor se mora pričakovati pri toplotni obdelavi orodja določene spremembe mer. Tu imajo velik vpliv toplotne napetosti, ki so povezane s toplotnimi raztezki in skrčki. Pri procesu kaljenja pa se žarjena perlitna struktura pretvori v avstenitno strukturo, ki ima precej manjši specifični volumen. Ta avstenit se s kaljenjem pretvori v martenzit, ki ima še večji specifični volumen kot žarjeni perlit. Tako se povečajo tudi mere. S popuščanjem se mere kaljenega orodja v glavnem zmanjšujejo, razen pri tisti temperaturi popuščanja, ko se zadržani avstenit pretvori v martenzit. Na te pojave močno vpliva prekaljivost jekla. S primernimi pogoji toplotne obdelave se uravnavajo pri tem dosežene spremembe mer oziroma stabilizirajo dosežene strukture in s tem mere.

Nobene vrednosti sprememb mer pri zgoraj navedenih pogojih pa nikakor ni mogoče posplošiti za vsako obliko in mere orodij in za vsako izbiro jekla za to orodje. Spremembo oziroma meroobstojnost se mora osvojiti za vsako orodje in jeklo posebej.

### 1. POJAV SPREMEMB MER

Pri orodnih, posebno pa pri meroobstojnih jeklih je ena od najvažnejših zahtev tudi obstojnost mer pri toplotni obdelavi in pri uporabi. Orodja se pri toplotni obdelavi deformirajo v večji ali manjši meri.

Temu pojavu se posveča premalo pozornosti, posebno pri konstruiranju orodja, ker se smatra, da je to stvar kalilne tehnike. Poznano in dokazano pa je, da praktično ni kaljenja orodja brez določene spremembe mer.

Praviloma se pod imenom »spremembe mer« ali »dimenzijske spremembe« razume le one nezogibne spremembe mer, ki nastanejo na orodju zaradi toplotnih napetosti in zaradi volumenskih sprememb, ki nastanejo zaradi strukturnih premen v samem jeklu med procesom ogrevanja in ohlajanja. Pri skupni deformaciji orodja pa so vračunane tudi spremembe oblike, ki nastanejo zaradi nepravilnega dela z orodjem pri celotnem procesu toplotne obdelave, npr. zaradi neenakomernega ogrevanja in ohlajanja, zaradi velike lastne teže orodja in podobno.

Pokazalo se je, da se mora upoštevati pojav sprememb mer in volumna orodnih kakor tudi drugih jekel v procesu toplotne obdelave kot posebni problem. Potrebno je intenzivno delo in mnogo raziskav, da bi se ta problem obvladal in omejil na najmanjšo možno mero in to v fazi konstruiranja kakor tudi v fazi toplotne obdelave in na koncu pri uporabi orodja.

Med ogrevanjem jekla se povečujejo njegove mere. Koeficient linearnega razteza za jeklo je odvisen od njegove strukture<sup>1</sup>. Za feritno — karbidno strukturo je ta koeficient  $11,0 \cdot 10^{-6}$  do  $14,5 \cdot 10^{-6}$ , a za avstenitno strukturo je 1,5-krat večji. Z ogrevanjem jekla do temperature  $A_{c1}$  se volumen orodja poveča za približno 4 %<sup>1</sup>.

Specifični volumen struktur, ki sestavljajo jeklo, je različen in raste v naslednjem redu: avstenit, feritno — karbidne strukture (perlit, sorbit, troostit), martenzit; izračuna se po naslednjih obrazcih<sup>1</sup>:

za ferit

$$(V_{\alpha})_t = 0,12708 + 5,528 \cdot 10^{-6} \cdot t$$

za avstenit

$$(V_{\gamma})_{t, C_p} = 0,12282 + 8,56 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2,15 \cdot 10^{-3} \cdot C_p$$

za martenzit

$$(V_M)_{t, C_p} = 0,12708 + 4,45 \cdot 10^{-6} \cdot t + 2,79 \cdot 10^{-3} \cdot C_p$$

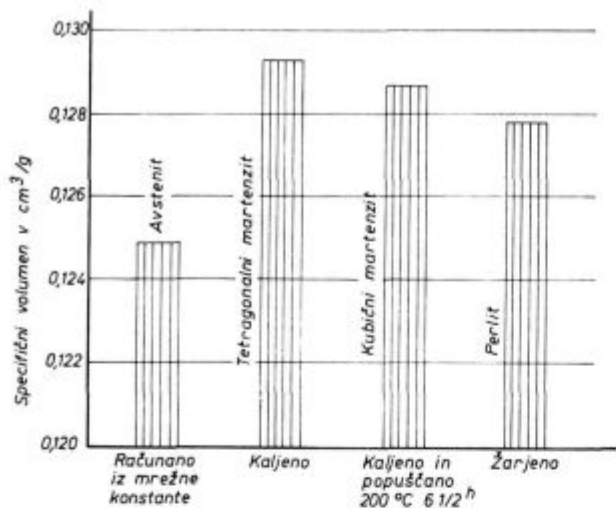
za karbid  $Fe_3C$

$$(V_K)_t = 0,13023 + 4,88 \cdot 10^{-6} \cdot t$$

kjer zavisi specifični volumen od temperature ( $t$ ), a pri avstenitu in martenzitu tudi od vsebnosti ogljika v strukturi oziroma v jeklu ( $C_p$ ). Grafični prikaz razmerij med posameznimi specifičnimi volumni se lahko vidi na sliki 1.

Pri temperaturi okolice ima martenzit približno 4 % večji specifični volumen kot avstenit. Tako se pri ogrevanju orodja do temperature  $A_{c1}$  v začetku volumen veča zaradi toplotnega raztezanja, a ob prehodu v avstenitno območje se zmanjša. Obratno pa se pri ohlajanju iz avstenitnega območja orodje najprej krči do temperature, ko se tvori feritno — cementitna struktura ali martenzit, ko se volumen poveča zaradi strukturnih premen.

Ker se pri ogrevanju povečuje plastičnost jekla, zato tedaj spremembe mer orodja in pri tem nastale napetosti niso nevarne, če ne povzročijo večjih deformacij in razpok. Pomembno nevarnost predstavljajo volumenske spremembe orodja pri ohlajanju, posebno pri kaljenju.



Slika 1  
Specifični volumen jekla z 0,8 % C različnih struktur

Iz zgoraj razloženega je možno razlikovati spremembe oblike in mer, nastalih zaradi toplotnih napetosti, od sprememb zaradi strukturnih premen (tvorbe martenzita)<sup>2, 3</sup>.

Spremembe oblike zaradi toplotnih napetosti so odvisne v glavnem od<sup>3</sup>:

- toplotne trdnosti,
- temperature ohlajanja,
- hitrosti ohlajanja,
- oblike in dimenzije izdelka,
- toplotnega raztezka,
- toplotne prevodnosti.

Volumenske spremembe pri kaljenju pa so odvisne od<sup>3</sup>:

- kemijske sestave jekla,
- stopnje prekaljivosti,
- temperature kaljenja,
- vsebnosti zadržanega avstenita,
- hitrosti ohlajanja,
- dimenzij in oblike izdelka.

Skupne spremembe dimenzij pa so odvisne še od<sup>1</sup>:

- karakterja kalilnega sredstva,
- enakomernosti pregretja,
- teže in oblike izdelka,
- načina ogrevanja,
- izhodne strukture pred kaljenjem,
- načina potapljanja izdelka v kalilno sredstvo,
- načina in stopnje plastične predelave jekla.

## 2. SPREMEMBE OBLIKE ZARADI TOPLOTNIH NAPETOSTI

Razlikovati je treba med tistimi toplotnimi napetostmi, ki se odstranijo ob deformaciji med ohlajanjem v plastičnem območju, in takimi, ki ostanejo v izdelku kot zaostale napetosti. Za nastajanje dimenzijskih sprememb so važne one napetosti, ki povzročijo dimenzijske in oblikovne spremembe, preden nastopijo volumenske spremembe ob tvor-

bi martenzita. Ko se te napetosti odpravljajo, stremitijo vsa neokrogla telesa, da svojo obliko približajo krogelni obliki. Prizmatična telesa zato pri ohlajanju nabrekajo, postanejo krajša in debelejša<sup>1, 3</sup>.

Zaradi toplotnih napetosti se najbolj skrajša tisti del telesa, kjer se ohlajanje konča, to je diagonala v telesih, kot je kocka, prizma, valj in podobno; pri okviru pa se stranica skrajša, debelina pa poveča.

## 3. SPREMEMBA VOLUMNA IN DIMENZIJ PRI KALJENJU

Pri kaljenju se avstenit pretvori v martenzit, in to v tetragonalni martenzit. Že na sliki 1 se vidi, da ima tetragonalni martenzit največji specifični volumen. Zato se pri kaljenju orodja poveča volumen. Razlika v specifičnem volumnu kaljenega in žarjenega jekla zavisi od kemične sestave jekla, prekaljivosti jekla in hitrosti ohlajanja pri kaljenju. Povečanje volumna pri kaljenju je močno odvisno od vsebnosti ogljika v jeklu<sup>4</sup>; pri jeklu z 0,7 % C je povečanje 0,44 %, z 1 % C je 0,69 % in z 1,3 % C je 0,95 %, kar je odvisno od vsebnosti zadržanega avstenita, količine neraztopljenih karbidov in deleža nastalega martenzita. Pri jeklih z zelo malo ogljika se ta oblika deformacije ne pojavlja<sup>4</sup>, temveč se pojavljajo samo spremembe zaradi toplotnih napetosti.

Jekla, ki imajo krajše čase premen oz. velike kritične hitrosti ohlajanja, se mora pri kaljenju ohlajati hitreje, kar povečuje deformacije. Slabo prekaljiva jekla imajo večje deformacije.

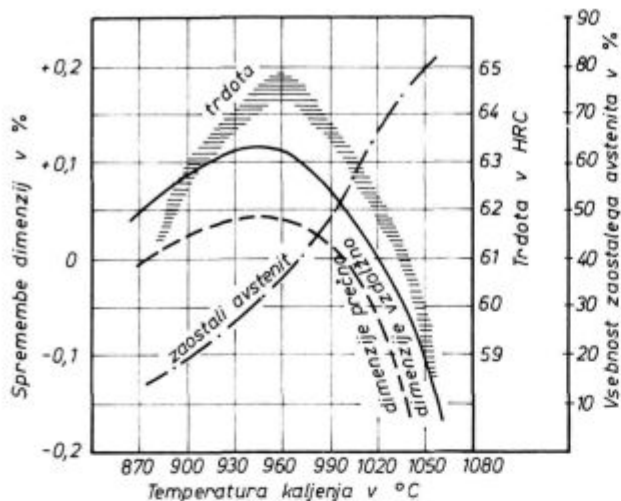
Orodje oz. izdelek, ki zaradi prevelikih mer slabo prekali, ima manjše spremembe volumna. Za običajne dimenzije s popolno prekaljivostjo velja<sup>4</sup>: največje spremembe volumna 0,85 do 1,0 % ima nelegirano jeklo z 0,9 % C, ki se kali v vodi, manjše spremembe 0,3 — 0,5 % imajo srednje legirana jekla, kaljiva v olju, visoko legirana jekla z 2 % C in 12 % Cr, kaljiva na zraku ali olju, imajo najmanjše spremembe 0,1 — 0,3 %.

Največje spremembe volumna se pojavijo pri kaljenju v olju, mnogo manjše v topli kopeli, še manjše pa na zraku.

Že iz razlike specifičnega volumna na sliki 1 se vidi, da je povečanje volumna pri kaljenju tem manjše, čim večja je vsebnost zadržanega avstenita; ta pa je večja pri višji temperaturi kaljenja (slika 2).

Pravilno in enakomerno pregretje tudi močno vpliva na spremembe mer pri kaljenju. Z ogrevanjem v solni kopeli se doseže manjše deformacije kot z ogrevanjem v pečeh na zraku.

Karakter kalilnega sredstva se vidi v hitrosti odvajanja toplote od hlajene površine, enakomernosti močenja izdelka, sposobnosti tvorbe parnega plašča na površini izdelka. Potapljanje izdelkov v kalilno sredstvo mora biti brezpogojno vzdolž osi, a diskov postrani. Pri tem je potrebno enako-



Slika 2

Spremembe dimenzij, trdota in vsebnost zadržanega avstenita v jeklu tipa 2% C in 12% Cr v odvisnosti od temperature kaljenja<sup>1</sup>

merno mešati, da se plinski mehurčki čim manj zadržujejo na površini izdelka. S tem se doseže enakomernejše ohlajanje.

Oblika izdelka močno vpliva na hitrost in enakomernost ohlajanja, na velikost napetosti in deformacije. Čim večje je razmerje površine proti volumnu izdelka, tem hitreje je ohlajanje. Vsi vplivi, ki povečujejo temperaturno razliko po prerezu (povečanje prereza, povišanje temperature ogrevanja, znižanje temperature hladilnega sredstva), v splošnem povečajo deformacije.

Popolnoma jasna slika o spremembi posameznih mer telesa pa je možna samo za določene geometrijske osnovne oblike in mere ob upoštevanju vseh vplivnih faktorjev. Kot je že rečeno, je sprememba dimenzij rezultat vpliva toplotnih napetosti in volumenskih sprememb pri tvorbi martenzita.

V toku ohlajanja od kalilne temperature se najprej sproščajo toplotne napetosti v plastičnem območju, pri čemer nastopijo spremembe oblike in s tem dimenzij — skrčenje ploskev. Ob tvorbi martenzita se zaradi povečanja volumna dimenzije povečajo.

Tako se pri kaljenju dovolj debele kocke raztegnejo robovi in ploskve v večji meri kot jedro; povečajo se telesne diagonale. Ploskve in robovi so se prekalili — nastal je martenzit, v jedru pa je nastalo manj ali nič martenzita, temveč troostit in sorbit, ki povzročita manjše povečanje volumna. Možno pa je, da to širjenje ni dovolj veliko in ne kompenzira krčenja zaradi toplotnih napetosti.

Ob primerjanju meroobstoynosti posameznih jekel med seboj se mora vedno misliti na določene pogoje pri kaljenju. Zato je težko enostavno proglasiti določeno jeklo za najbolj meroobstoyno. Navadno se je treba omejiti na določen primer.

Pri tem je potrebno omeniti še kaljenje v topli kopeli. Pri takem kaljenju bi se moralo vsekakor doseči največjo meroobstoynost. V praksi pa ni vedno tako. Tudi s kaljenjem v olju in vodi je možno doseči veliko meroobstoynost. Pri kaljenju debelejših izdelkov se doseže večjo meroobstoynost v topli kopeli, a tanjših izdelkov v olju. Glavni vzrok temu pojavu je dejstvo, da tanjši izdelki lažje prekalijo.

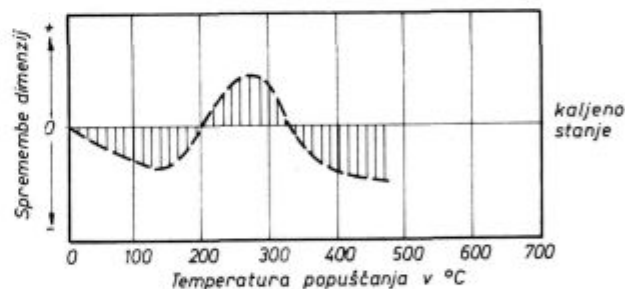
Spremembe mer pri kaljenju so odvisne tudi od načina in stopnje plastične predelave<sup>5</sup>. Ledeburitnim kromovim jeklom se močno pozna usmerjenost vlaken, ki je odvisna od načina in stopnje plastične predelave. Pri dovolj veliki stopnji deformacije so spremembe mer pri kaljenju v prečni smeri nekaj manjše od onih v vzdolžni smeri<sup>5</sup>; to razliko se vidi tudi na sliki 2. S posebnim postopkom plastične predelave pa je možno to razliko zmanjšati na minimum.

#### 4. SPREMEMBA DIMENZIJ PRI POPUŠČANJU

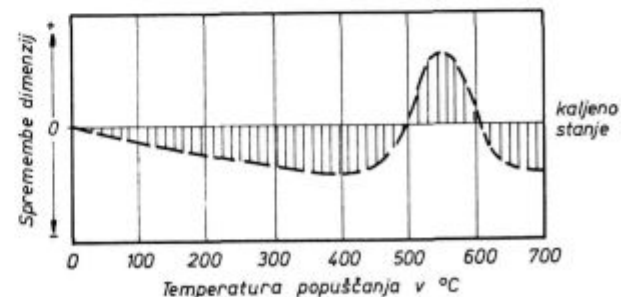
Spremembe, ki nastanejo pri kaljenju, doživijo pri popuščanju ponovne spremembe. Te ponovne spremembe nastanejo s sprostitvijo notranjih napetosti, ki obsegajo toplotne in premenske napetosti, ter s spremembo volumna pri razpadu martenzita in premeni zadržanega avstenita.

Pri nizko in srednje legiranih jeklih, kaljivih v olju, učinkuje popuščanje takole (slika 3)<sup>3</sup>:

Srednje legirana meroobstoyna jekla kaljiva v olju



Visoko legirana jekla s 13% Cr



Slika 3

Spremembe mer pri popuščanju

Pri popuščanju pri temperaturah pod 200° C se pojavi delno zmanjšanje volumna in mer; tedaj se menja struktura martenzita — tetragonalni martenzit se pretvarja v kubični martenzit. Vse mere se zmanjšajo glede na kaljeno stanje. V območju 200 do 320° C nastane povečanje volumna zaradi premene zadržanega avstenita v martenzit; pri tem se povečajo vse mere glede na kaljeno stanje. Nadaljnje višanje temperature popuščanja pri teh jeklih povzroči prav tako zmanjšanje volumna in dimenzij. To obnašanje sprememb mer predstavlja shematska slika 3.

Visoko legirana jekla se pri popuščanju obnašajo podobno, samo da so vse zgoraj omenjene faze popuščanja pomaknjene k višjim temperaturam. Zadržani avstenit je obstojen do temperature okoli 500° C in se pretvori v martenzit šele v temperaturnem območju popuščanja 500 do 600° C (glej sliko 3)<sup>3</sup>.

Iz do sedaj opisanega je jasno, da so spremembe mer pri kaljenju med drugim odvisne od temperature kaljenja, in to predvsem zaradi večanja vsebnosti zadržanega avstenita pri višji kalilni temperaturi (glej sliko 2). Pri popuščanju se pojavijo nove spremembe, ki so prav tako odvisne od popuščne temperature (glej sliko 3). Celokupne spremembe mer glede na žarjeno stanje so torej odvisne od temperature kaljenja in popuščanja. Popolno meroobstojnost pri toplotni obdelavi se torej doseže tako, da se pri kaljenju nastali raztezki kompenzirajo s skrčki pri primernem popuščanju. Pri takem postopanju pa je možno, da ne soglašajo edino zahteve po primerni trdoti.

Kljub jasnosti posameznih zakonitosti je težko predvideti spremembe pri toplotni obdelavi orodja neenakomernih oblik, kakršne srečamo v obratu. Če hočemo izkoristiti spremembe mer pri popuščanju za izravnavo sprememb pri kaljenju, moramo poznati mere po kaljenju. V splošnem pa je otežkočeno merjenje sprememb po kaljenju, ker se mora praviloma takoj popuščati zaradi nevarnosti razpok.

## 5. OBSTOJNOST MER PO TOPLOTNI OBDELAVI

Pri hitrem ohlajanju (kaljenje v olju) se avstenit v jeklu spremeni v martenzit, temperatura martenzitne točke  $M_s$  pa je glede na visoko vsebnost ogljika v orodnih jeklih precej nizka. Tako ostane premena v martenzit še nezaključena, torej, kot je opisano že v prejšnjih poglavjih, ostane določen delež zadržanega avstenita. Da bi dosegli popolno premeno avstenita v martenzit, bi morali jeklo ohladiti do še nižjih temperatur. Bistveno za nadaljnjo premeno avstenita v martenzit pri temperaturah, nižjih od navadne temperature, pa je, ali se je vršilo to dodatno ohlajanje takoj po ohladitvi v kalilnem sredstvu ali pa je jeklo nekaj časa ležalo pri navadni temperaturi in se je izvršilo dodatno ohladitev na nižje temperature šele kasneje.

V prvem primeru poteče premena avstenita v martenzit zvezno, v drugem primeru pa se je pri držanju pri navadni temperaturi izvršila najprej majhna izotermna premena avstenita v martenzit s posledico, da se je preostali avstenit zato delno stabiliziral. Temu sledi podhlajevanje, pri čemer je možno, da se ves avstenit ne bo premenil v martenzit<sup>21</sup>.

Množina zadržanega avstenita zavisi od pogojev avstenitizacije in splošno od pogojev toplotne obdelave<sup>21</sup>.

Popolno premeno zadržanega avstenita se doseže na dva načina: s popuščanjem ali s takojšnjim ohlajanjem na nizke temperature<sup>21</sup>. Ugotovljeno pa je, da se s popuščanjem šele pri višji temperaturi odpravi zadržani avstenit, ko je že v nevarnosti predpisana trdota; s primernim popuščanjem pa se precej stabilizira<sup>21, 9</sup>.

Tudi če bi se ves avstenit spremenil v martenzit, je treba računati z nekaterimi pojavi popuščanja samega martenzita, ki imajo lahko za meroobstojnost prav tako neugodne posledice kot razpad zadržanega avstenita<sup>21</sup>.

S tem v zvezi se postavlja vprašanje, ali je potrebno po kaljenju ves zadržani avstenit v jeklu v celoti spremeniti v martenzit oz. v popuščne strukture, saj se lahko s primerno toplotno obdelavo tako stabilizira, da ni računati, da bi kasneje razpadal<sup>21</sup>.

Pri jeklih za meroobstojna orodja je treba stremeti po dosegi stabilnih struktur in s tem mer. Pripomniti pa je potrebno, da se z različnimi metodami stabiliziranja (umetnega staranja) doseže različne spremembe mer glede na kaljeno stanje. S ponavljanjem ciklusa stabilizacije se dosežene mere samo še stabilizirajo in se ne spreminjajo več<sup>9</sup>.

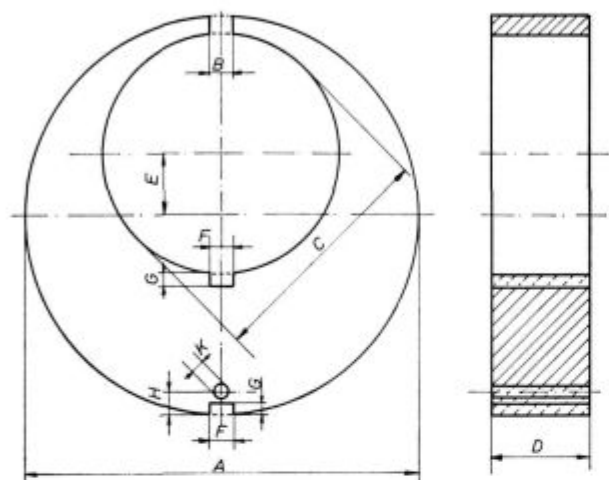
## 6. METODE RAZISKAVE MEROOBSTOJNOSTI JEKEL

Za vsako jeklo obstaja določena maksimalna debelina, pri kateri jeklo prekali. Zato se izbere manjšo debelino orodja, da se doseže boljša obstojnost mer in manjšo deformacijo.

Velikost in smer sprememb mer pri toplotni obdelavi in staranju zavisi od načina mehanske obdelave epruvete in orodja. Pri tem se mora poznati, kako ležijo vlakna v kovani ali valjani palici. Na sliki 2 se vidi, da se spremembe mer v vzdolžni in prečni smeri ne ujemajo in da so spremembe mer v vzdolžni smeri večje od onih v prečni smeri.

V primeru, da se izdeluje orodje iz velikih kovanih ali valjanih palic, je važno mesto v palici, kjer se orodje oz. epruveto izreže. Pri kovanju in valjanju se težko doseže popolnoma enakomerno predelavo jekla po celem preseku, čeprav je dosežena dovolj velika stopnja predelave oz. plastične deformacije. V jedru palice se mora pričakovati vsekakor nekoliko manjšo stopnjo predelave kot na robu.

Univerzalne metode za določevanje sprememb mer ni. Največ se uporabljajo valjaste, ploščate (prizmatične) in srpaste (v obliki črke »C«) epruvete. Veliko pa se uporabljajo še razni okviri, obroči ipd. Valjasta epruveta ima premer in dolžino v razmerju najmanj 1 : 3. Srpaste epruvete se v svetu uporabljajo v raznih dimenzijah: debelina 12 do 25 mm, veliki premer 57 do 127 mm in mali premer 30 do 75 mm. Ta epruveta je zelo občutljiva, pri njej se največ meri spremembo rege, veliko pa tudi spremembo obeh premerov (glej sliko 4).



Tip	A	B	C	D	E	F	G	H	K
Alstham	127	13	74	25	21,5	-	-	-	-
Frenč	57	6	31	12	10	-	-	-	-
Durferrit	60	2	40	20	7	-	-	-	-
Ruska	100	(10)	64	5	11	-	-	6	3
US - Navy	100	10	60	25,4	15	-	-	(6,3)	(3,2)
US - Navy - modif.	63,5	6,3	36,8	12,7	10	6,3	3,2	-	-

Slika 4  
Dimenzije nekaterih srpastih »C« epruvet

Torej pri teh epruvetah se določajo spremembe mer. Koristno pa je spremljati vzporedno tudi trdoto in strukture. Zadnje je možno z metalografskimi, rentgenskimi in dilataterskimi metodami.

## 7. RAZISKAVA MEROOBSTOJNOSTI DOMAČIH JEKEL

Za raziskavo domačih jekel sta uporabljeni dve različni epruveti enostavnih oblik: valjasta  $\varnothing 30 \times 100$  mm in ploščata  $50 \times 20 \times 100$  mm, a pri začetnih raziskavah tudi srpasta epruveta debeline 12 mm, z zunanjim premerom 57 mm, z notranjim premerom 31 mm in rego širine 6 mm.

Epruvete so rezane iz okroglih oz. ploščatih kovanih palic; večina epruvet je rezanih tako, da so imele vzdolžna vlakna, nekaj pa je imelo prečna vlakna.

V preiskavi so bila domača jekla, katerih sestava je v tabeli 1.

V tabeli 2 so podatki o vrsti oz. merah epruvet, o legi epruvet glede na vlakna (glavna os kovanja), o uporabljenih ohlajevalnih sredstvih pri kaljenju preiskovanih epruvet in določevanih veličinah za posamezno jeklo.

Na ploščatih  $50 \times 20 \times 100$  mm in valjastih epruvetah  $\varnothing 30 \times 100$  mm se je določalo: trdota v HRC, mere v mm in volumen z Mohrovo tehtnico v  $\text{mm}^3$  v treh paralelkih; zadržani avstenit pa rentgensko na enojnih vzorcih  $30 \times 25 \times 5$  mm.

Meritve so se izvajale po naslednjem vrstnem redu:

- 1. žarjeno stanje — mere, volumen in trdota,
- 2. kaljeno stanje — mere, volumen, trdota in zadržani avstenit,
- 3. popuščeno stanje — mere, volumen, trdota in zadržani avstenit.

V optimalnem območju kalilnih temperatur, ko se doseže največje spremembe mer, se je dolžina ploščatih in valjastih epruvet povečala pri jeklu

- CRV (kaljeno v olju) za 0,05 — 0,07 %,
- merilo za 0,04 — 0,10 %,
- OCR 12 (kaljeno v olju) za 0,06 — 0,12 %,
- OCR 12 extra za 0,07 — 0,12 % in
- merilo special za 0,10 — 0,19 %

Pri istih pogojih se je povečal volumen pri jeklih:

- OCR 12 extra za 0,06 — 0,08 %,
- merilo za 0,15 — 0,20 %,
- OCR 12 (kaljeno v olju) za 0,15 — 0,23 % in
- merilo special za 0,35 — 0,50 %.

Iz teh podatkov se vidi, da sta pri kaljenju najbolj meroobstojni jekli CRV in merilo, nekoliko slabši sta jekli OCR 12 in OCR 12 extra, jeklo merilo special pa je precej manj meroobstojno. Gornji rezultati so doseženi s tremi paralelnimi epruvetami in, kot je razvidno v tabeli 2, so raziskave izvedene na 2 ali celo 3 talinah za vsako jeklo, razen pri jeklu OCR 12 extra in CRV.

Zadržani avstenit pa je določen rentgensko na enojnem vzorcu pri eni talini za vsako jeklo. V zgoraj omenjenem optimalnem območju kalilnih temperatur je vsebnost zadržanega avstenita pri jeklu CRV — 4 do 5 %, OCR 12 — 6 do 7,5 % in merilo — 11 do 14,5 %. Pri jeklu tipa OCR 12 so tuji avtorji določili veliko več zadržanega avstenita, po sliki 2 celo nad 35 %. Razlika je zaradi netočnega upoštevanja množine karbidov v preiskovanem vzorcu pri naših raziskavah. Ko bo

Tabela 1

	Jeklo	Štev. taline	C	Si	Mn	Cr	V	W	Mo
Č.3840	Merilo	120	0,92	0,34	2,00	0,17	0,15	—	—
Č.3840	Merilo	9912	0,86	0,23	2,05	0,16	0,15	—	—
Č.4840	Merilo sp.	4179	1,34	0,10	0,36	1,43	0,11	—	—
Č.4840	Merilo sp.	8052	1,36	0,36	0,55	1,57	0,21	—	—
Č.4840	Merilo sp.	5968	1,42	0,25	0,63	1,53	0,20	—	—
Č.4150	OCR 12	55702	2,11	0,31	0,25	12,3	0,25	—	—
Č.4150	OCR 12	12600	2,02	0,18	0,38	11,8	0,11	—	—
Č.4750	OCR 12 ex.	12505	1,65	0,15	0,33	12,20	0,25	0,43	0,70
Č.4754	CRV	11425	0,95	0,30	0,25	9,96	0,30	—	0,95

Tabela 2

Jeklo	Štev. taline	Mere epruvet v mm	Leg a	Kalilno sredstvo	Določevano
Merilo	120	∅ 30 × 100 in 50 × 20 × 100	vzdolžna	olje	mere, trdota in volumen
Merilo	9912	50 × 20 × 100	prečna	olje	mere, trdota in avstenit
Merilo sp.	4179	∅ 30 × 100 in 50 × 20 × 100 in srpasta ∅ 57	vzdolžna	olje	mere, trdota in volumen
Merilo sp.	8052	∅ 30 × 100 in 50 × 20 × 100	vzdolžna	olje	mere, trdota in volumen
Merilo sp.	5968	49 × 19 × 99		olje	mere, trdota in volumen
OCR 12	55702	50 × 20 × 100	vzdolžna	olje	mere, trdota in volumen
OCR 12	12600	50 × 20 × 100	vzdolžna in prečna	olje in zrak	mere, trdota in avstenit
OCR 12 ex.	12505	50 × 20 × 100	vzdolžna	olje	mere, trdota in volumen
CRV	11425	50 × 20 × 100	vzdolžna in prečna	olje in zrak	mere, trdota in avstenit

omogočeno kvantitativno metalografsko določanje struktur, se bodo rezultati preverili in primerno popravili.

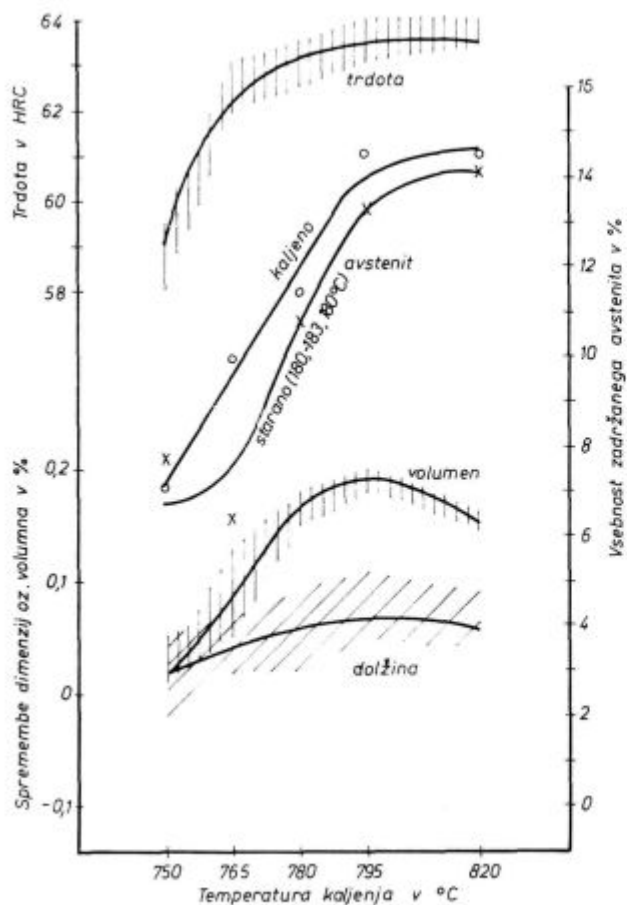
Pri popuščanju vsebnost zadržanega avstenita pada z rastočo temperaturo. Zadržani avstenit je bil pri popuščanju znižan skoraj na ničlo pri jeklu merilo pri temperaturi 290° C, pri jeklu CRV pri 550 C; jeklo OCR 12 pa ni bilo popuščano do dovolj visokih temperatur.

Spremembe mer in volumna se ujemajo s podatki tujih avtorjev po sliki 3; prvi minimum je dosežen pri jeklu

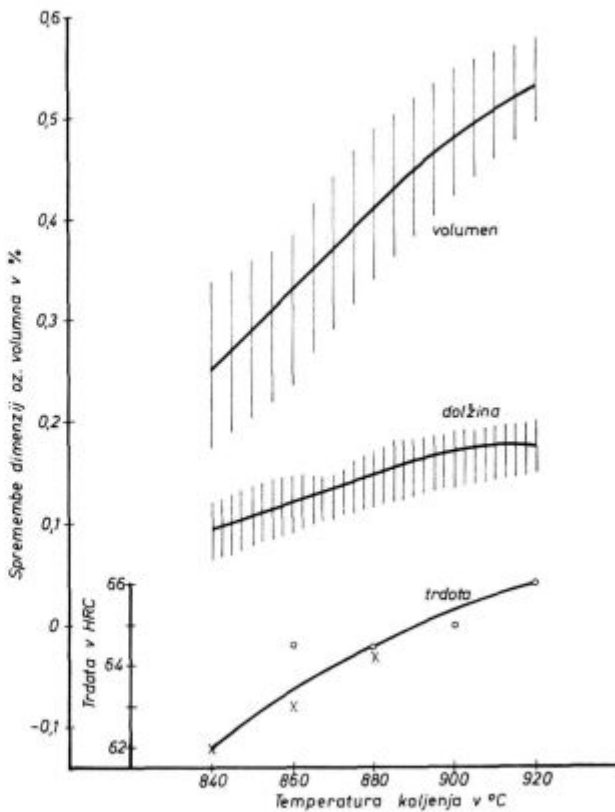
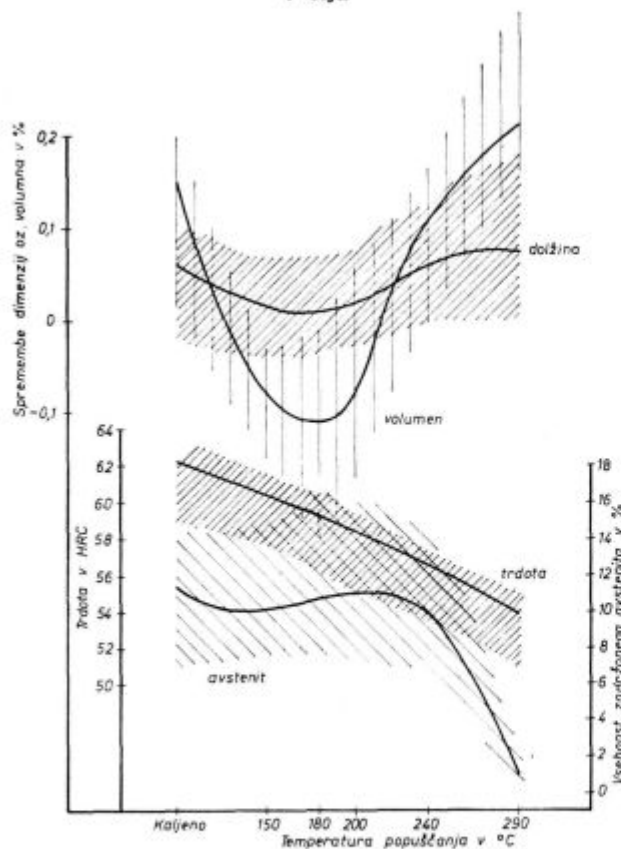
- merilo pri 150 — 180° C,
- merilo sp. pri 200° C in
- CRV pri 450 — 500° C,

maksimum pa je dosežen pri jeklu merilo special pri 240 — 300° C, pri ostalih jeklih in drugi minimum pa se nahaja pri temperaturah nad preiskovanim območjem.

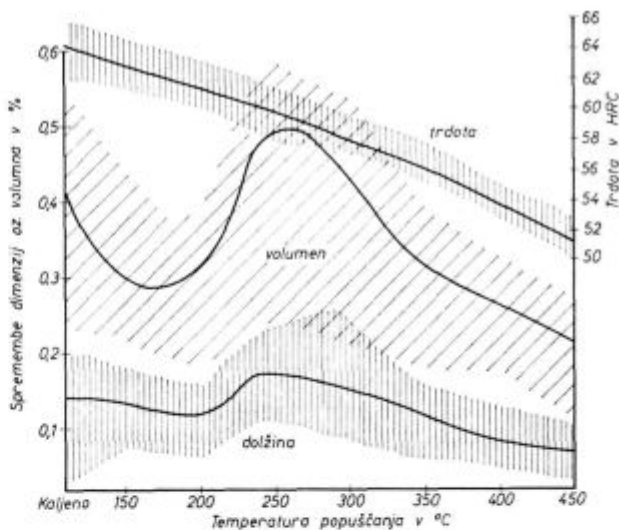
Vsi omenjeni rezultati so razvidni na slikah 5 do 14 za preiskovana jekla. Na teh slikah so jasno razvidne težnje vseh zasledovanih sprememb (mere, volumen, zadržani avstenit in trdota) v odvisnosti od pogojev toplotne obdelave.



Slika 5  
 Č. 3840 (Merilo), talina 120 vzdolžno, talina 9912 prečno,  
 epruvete 50 × 20 × 100 in Ø 30 × 100 mm  
 Spremembe mer, volumna, avstenita in trdote pri kaljenju  
 v olju

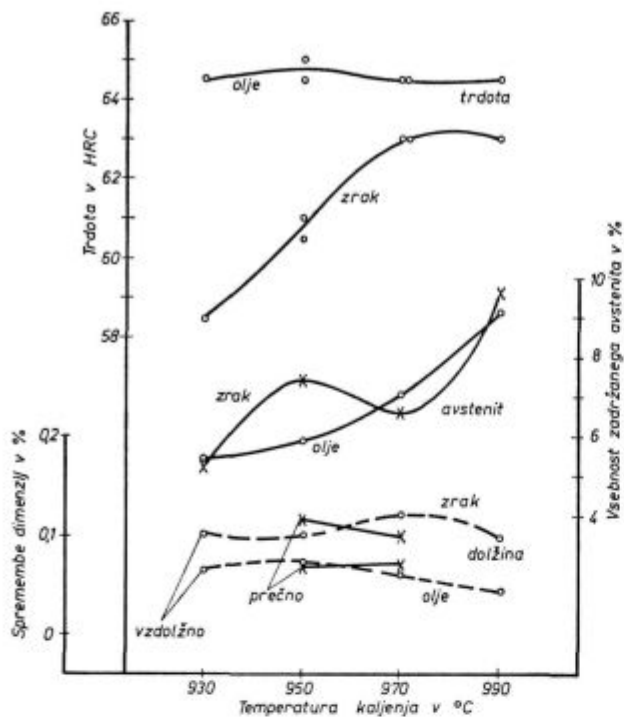


Slika 7  
 Č. 4840 (Merilo special), taline 4179, 5968 in 8052 vzdolžno,  
 epruveti 50 × 20 × 100 in Ø 30 × 100 mm  
 Spremembe mer, trdote in volumna pri kaljenju v olju



Slika 8  
 Č. 4840 (Merilo special), taline 4179, 5968 in 8052, epruveti  
 50 × 20 × 100 in Ø 30 × 100 mm  
 Celotne spremembe mer, trdote in volumna pri kaljenju  
 v olju in popuščanju

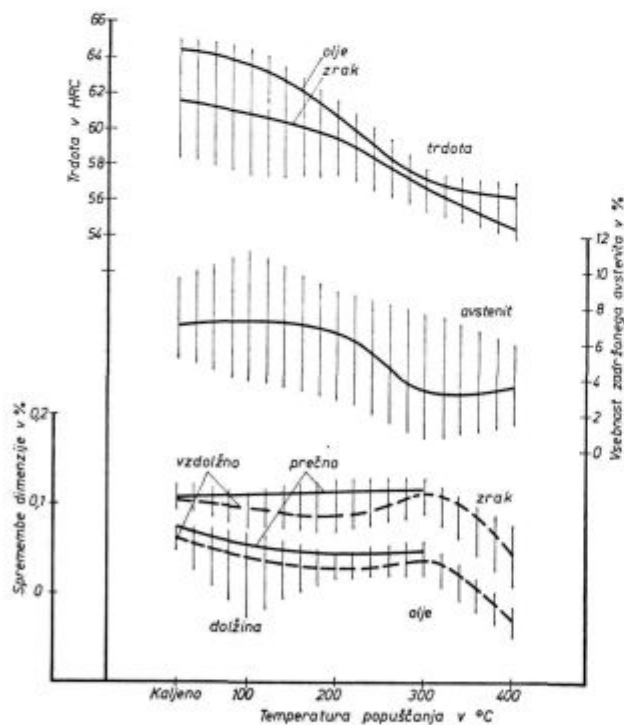
Slika 6  
 Č. 3840 (Merilo), talini 120 in 9912, epruveti 50 × 20 × 100 in  
 Ø 30 × 100 mm  
 Celotne spremembe mer, volumna, avstenita in trdote pri  
 kaljenju v olju in popuščanju



Slika 9

C. 4150 (OCR 12), talina 12600 vzdolžno in prečno, epruveta 50 × 20 × 100 mm

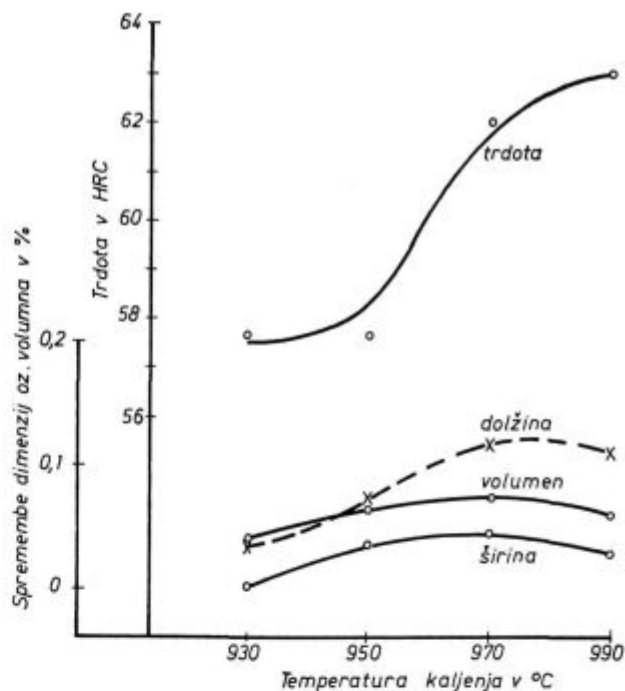
Spremembe mer, avstenita in trdote pri kaljenju v olju in na zraku



Slika 10

C. 4150 (OCR 12), talina 12600 vzdolžno in prečno, epruveta 50 × 20 × 100 mm

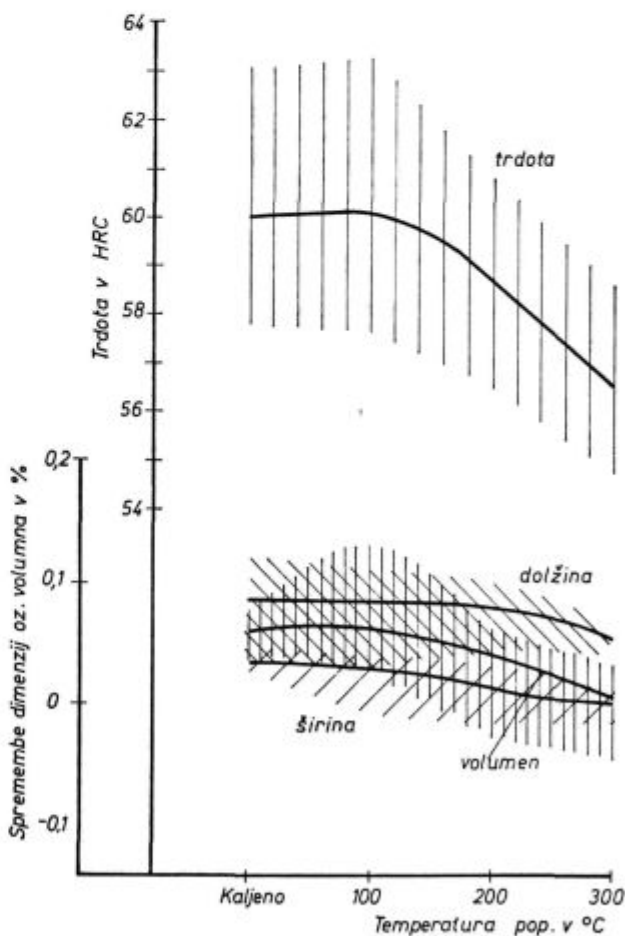
Celotne spremembe mer, avstenita in trdote pri kaljenju v olju in na zraku in popuščanju



Slika 11

C. 4750 (OCR 12 ekstra), talina 12505 vzdolžno, epruveta 50 × 20 × 100 mm

Spremembe mer, trdote in volumna pri kaljenju v olju

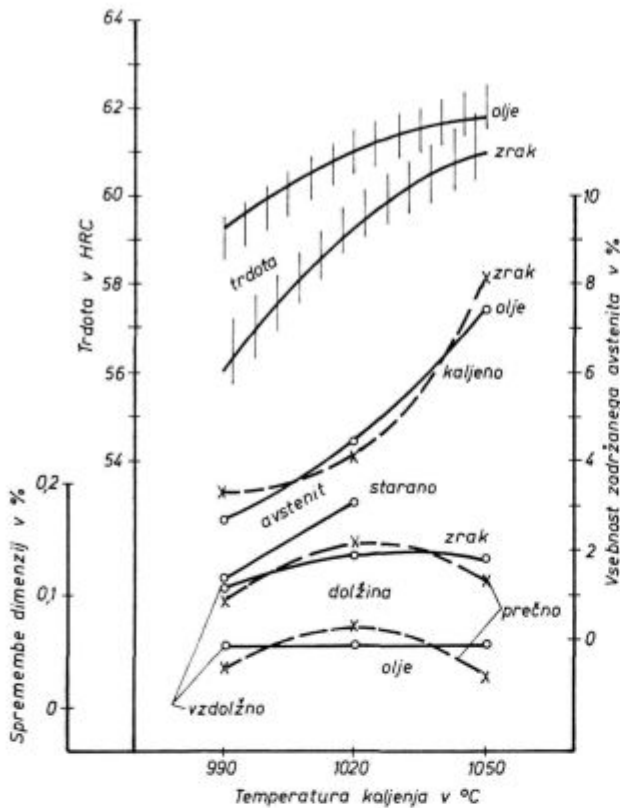


Slika 12

C. 4750 (OCR 12 ekstra), talina 12505, epruveta 50 × 20 × 100 mm

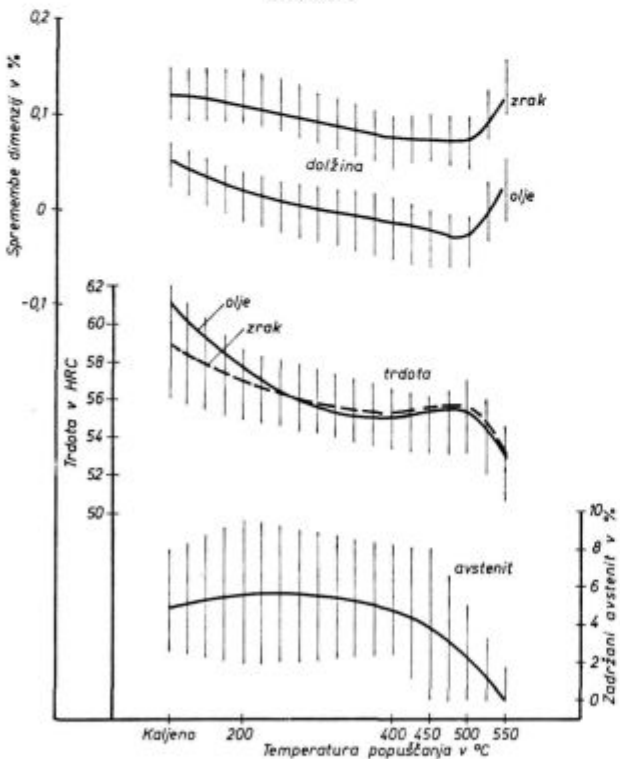
Celotne spremembe mer, trdote in volumna pri kaljenju v olju in popuščanju





Slika 13

Č. 4754 (CRV), talina 11425 vzdolžno in prečno, epruveta  $50 \times 20 \times 100$  mm  
Spremembe mer, avstenita in trdote pri kaljenju v olju in na zraku



Slika 14

Č. 4754 (CRV), talina 11425, epruveta  $50 \times 20 \times 100$  mm  
Celotne spremembe mer, avstenita in trdote pri kaljenju v olju in na zraku in popuščanju

## Literatura

1. Gudcov N. T.: Metalovedenie i termičeskaja obrabotka stali i čuguna, spravočnik, razdel XI, glava 48. Moskva, Metallurgizdat 1957 str. 1057—1060.
2. Frehser J. in O. Lowitzer: Vorgang der Massänderung bei der Wärmebehandlung von Werkzeugstählen. Stahl und Eisen (Düsseldorf) 77 (1957) str. 1221—1233.
3. Böhler — Stahl, Winke für den Härter.
4. Böcher D.: Formänderung bei der Wärmebehandlung von Werkzeugstählen. Das Industrieblatt, Bd. 63 (1963), str. 150—154.
5. Frehser J.: Anisotrope Massänderungen bei der Wärmebehandlung ledeburitischer Chrom — Werkzeugstähle. Archiv für das Eisenhüttenwesen (Düsseldorf) 24. Jg. (1953) H. 11/12 str. 483—495.
6. Bühler H in E. Herrmann: Zusammenhang zwischen Massänderungen und Eigenspannungen bei der Wärmebehandlung von Werkzeugstählen. Archiv für das Eisenhüttenwesen (Düsseldorf) 35. Jg. (1964) H. 11 str. 1089—1095.
7. Mülders O.: Massänderungen von Werkzeugstählen. Stahl und Eisen (Düsseldorf) 83 (1963) Nr. 1 str. 52—54.
8. Riedel J. Y.: Retained Austenite and Dimensional Stability. Metal Progress 1965 sept., str. 78—82.
9. Lement B. S., B. L. Averbach in M. Cohen: The Dimensional Stability of Steel, Part IV., Tool Steels. Transactions of the A. S. M., Vol. 41 (1949) str. 1061—1092.
10. Ceburkov A. K.: Izmenenie razmerov detalej pri termičeskoj obrabotke. Metalovedenie i termičeskaja obrabotka metallov (Moskva) 1965 No. 7 str. 55—57.
11. Valorinta V.: Stresses and deformations related to steel hardening. Metal treatment (London) Vol. 32 (1965) str. 332—329.
12. Schoeller — Bleckmann: Phönix Triumphator VM, projekt — poročilo.
13. Kajušnikov P. J.: Bezdeformacionnaja zakalka. Metalovedenie i termičeskaja obrabotka metallov (Moskva) 1963 No. 3 str. 28—33.
14. Kajušnikov P. J.: Deformacija stali pri zakalke i puti ee ustraneniya. Sovremenie splavi i termičeskaja obrabotka, Moskva, Mašgiz 1958 str. 194—215.
15. Rapatz F.: Die Edelmstähle. Berlin, Springer — Verlag 1951, str. 660—667.
16. Schottky: Diskussionbeitrag. Archiv für das Eisenhüttenwesen (Düsseldorf) 6. Jg. (1932) str. 376.
17. Houdremont E.: Handbuch der Sonderstahlkunde, Berlin, Springer — Verlag 1956, str. 321—323.
18. Geller J. A.: Instrumentalnie stali. Moskva, Metallurgizdat 1961, str. 120.
19. Močalkin: Deformacija stali pri termičeskoj obrabotke. Moskva, Vnitomaš — Mašgiz 1949.
20. Geller J. A.: Osnovnie puti umenšeniya deformacij instrumentov pri zakalke. Moskva, Mašgiz 1954.
21. Zvokelj J.: Uvajanje novih dilatometrijskih metod v kontroli jekel. Ljubljana, Metalurški inštitut, št. 675, 1969.
22. Gnamuš J.: Preizkušanje meroobstojnosti orodnih jekel, diplomsko delo, Ljubljana, 1961.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Massänderungen bei der Warmbearbeitung der Werkzeuge und der Gegenstände aus den Werkzeugstählen sind von verschiedenen Bedingungen abhängig. Diese Bedingungen werden hier nur auf Grund der Literaturangaben bearbeitet. Die Massänderungen bei der Warmbearbeitung sind sowohl von den Wärmespannungen, wie von den Gefügespannungen abhängig. Es ist mit der Warmausdehnung und Zusammenschrumpfung und der Volumenänderung beim Härten zu rechnen. Beim Härteprozess wird das gegliederte perlitische Gefüge in Austenit umgewandelt, welches ein viel kleineres spezifisches Volumen besitzt; beim Härten wird dieser Austenit in Martensit umgewandelt, welcher ein noch grösseres Volumen besitzt als der gegliederte Perlit. Die beim Härten vergrösserte Masse nehmen beim Nachlassen wieder ab, mit Ausnahme dieser Nachlassstemperatur, bei welcher der Restaustenit in Martensit umgewandelt wird. Diese Erscheinungen werden im grossen Ausmass von der Durchhärtung und der chemischen Zusammensetzung beeinflusst. Der Restaustenit kann durch das Härten bei niedrigen Temperaturen oder durch das Nach-

lassen abgebaut werden, oder es wird beim Nachlassen zusammen mit anderen Gefügebestandteilen stabilisiert, womit die Masshaltigkeit erreicht wird.

Die Massänderungswerte bei der Wärmebehandlung können aber für eine jede Form und jede Werkzeugabmessungen, so wie für einen jeden Stahl, für diese Werkzeuge, nicht verallgemeinert werden. Die Massänderungen müssen für jedes Werkzeug aus jedem Stahl einzeln erobert werden. Für die Bestimmung der Masshaltigkeit gibt es keine allgemein gültige Methode. Es werden hauptsächlich prismatische, flache zylindrische und sichelförmige Eprouvetten gebraucht.

Es wurden die Massänderungen an einigen Schmelzen der einheimischen Stahlsorten mit 0,9 % C + 2 % Mn + 0,1 % V, 2 % C + 12 % Cr und 1 % C + 10 % Cr + 1 % Mo + 0,25 % V mit der flachen Eprouvette 50 × 20 × 100 mm und mit der zylindrischen Eprouvette  $\varnothing$  30 × 100 mm untersucht. Die Abmessungen, der Volumen, die Härte und der Restaustenit wurden bestimmt.

## SUMMARY

Dimensional variation of tools and pieces made of tool steels in heat treatment depends on different parameters. In the paper analysis of these parameters basing on literature data is presented. The dimensional variation in heat treatment is influenced by thermal and structural stresses. Thermal expansion and shrinking, and volume change in quenching must be taken in account. During the quenching process the annealed pearlitic structure is transformed into austenite which has rather smaller specific volume; during quenching this austenite is transformed into martensite which has even bigger specific volume than annealed pearlite. Dimensions increased in quenching are in generally reduced during tempering, exception is the tempering temperature at which retained austenite is transformed into martensite. These phenomena are strongly influenced by the through quenchability and chemical composition of steels. The retained austenite can be elimi-

nated already during quenching down to very low temperatures, or by tempering, or it can be stabilized together with the other structures during tempering, and dimensional stability is thus obtained.

No values of dimensional variation in heat treatment can be generalized for every shape and tool dimension, and for every chosen steel for that tool. Dimensional variation must be checked for every tool and steel separately. No universal method exists for determination of dimensional stability. Mainly prismatic flat, cylindrical, and sickle-like test tubes are used.

Dimensional variation analyses with home-made steels of type 0,9 % C + 2 % Mn + 0,1 % V; 2 % C + 12 % Cr, and 1 % C + 10 % Cr + 1 % Mo + 0,25 % V were made using flat samples with dimensions 50 × 20 × 100 mm and a cylindrical sample  $\varnothing$  30 × 100 mm. Dimensions, volume, hardness and retained austenite were determined.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение размер при термической обработке инструментов и предметов из инструментальной стали зависит от многих условий. В статье, на основании литературы эти условия рассмотрены. На изменение размер при термической обработке влияют тепловые а также и структурные напряжения. Надо учесть тепловое растяжение и усадку а также изменение объёма при закалке. При процессе закалки отожженная перлитная структура превращается в аустенит который имеет гораздо меньший удельный объём; во время закалки этот аустенит переходит в мартензит удельный объём которого ещё больше чем объём отожженного перлита. Увеличение размер при закалке уменьшается во время отпуска, с исключением той темп-ры отпуска при который задержанный аустенит превращается в мартензит. На эти явления сильно влияет прокаливаемость и химический состав стали. Задержанный аустенит можно удалить уже во время закалки при очень низких темп-рах, также с отпуском; его можно также стабилизиро-

вать с другими структурами при отпуске, при чём достигается размерность. Ни одну из величин изменения размер при термической обработке нельзя взять за общепринятость за каждую форму и размер инструмента, также и за выбор стали для инструмента.

Изменение размер надо освоить для каждого инструмента и каждый сорт стали отдельно. Для определения размерности не существует никакой универсальный метод. В большинстве случаев употребляются призматические плиточные, валиковые и серповидные образцы.

Испытали изменения размер на некоторых плавках домашних сталей сорта 0,9 % C + 2 % Mn + 0,1 % V, 2 % C + 12 % Cr и 1 % C + 10 % Cr + 1 % Mo + 0,25 % V с плиточным образцом 50 × 20 × 100 мм и с валиковым образцом  $\varnothing$  30 × 100 мм. Определены размеры, объём, твёрдость и задержанный аустенит.