

Tehnične novice

Novo orodno jeklo Č 9750 Utop Co 2 za delo v vročem stanju

Jože Pšeničnik

UVOD

Delovni pogoji pri predelavi kovin in zlitin so ob zahtevah po povečevanju produktivnosti vedno težji. To zahteva intenziven razvoj boljših in novih vrst jekel za izdelavo orodij. Posebno pri orodjih za delo v vročem zahtevamo poleg odpornosti proti obrabi v vročem in popuščne obstojnosti zaradi karakteristik oblik in značilnosti uporabe orodij tudi čim boljšo žilavost, čeprav vemo, da so si te lastnosti dokaj nasprotne. Hiter tempo v tehnološkem postopku in vedno hujša temperaturna nihanja v delovnem ciklusu z ogrevanjem in intenzivnim ohlajanjem povzročajo velike zahteve po odpornosti proti termičnemu utrujanju.

Marsikdaj se zdijo tako ostre zahteve skoraj nerešljive, izkušnje pa kažejo, da so le rezultati razvoja s sistematičnim raziskovalnim delom v ozki povezavi med proizvajalcem in uporabnikom specialnih orodnih jekel razveseljivi in vzpodbudni.

Železarna Ravne je z vzornim sodelovanjem z Mariborsko livarno in Elektrokovino iz Maribora ter s podjetjem Lama iz Dekanov pri Kopru svoj proizvodni program orodnih jekel za delo v vročem dopolnila z novim specialnim jeklom UTOP Co 2, katerega želimo s tem sestavkom predstaviti.

Ta tip jekla je posebno uporaben za zahtevna orodja stiskalnic za predelavo kovin, predvsem pa bakrovih legur.

V letu 1973 so se za razvoj novih jekel odprle nove možnosti. Železarna Ravne je začela z redno proizvodnjo jekel po postopku električnega pretaljevanja pod žlindro (EPZ) v novem obratu. Homogena mikrostruktura, ugodna kristalizacija in posebna čistost EPZ jekel je pokazala možnosti boljše plastične predelave, kar odpira nove perspektive celotni potrošnji orodnih jekel.

Na osnovi do sedaj proizvedene količine jekla Utop Co 2 za redno proizvodnjo, ki se bo v letu 1975 približala 70 tonam, lahko trdimo, da smo ga toliko spoznali in preizkusili, da ga lahko predstavimo našim proizvajalcem orodij, kar je tudi namen tega članka.

Jeklo Utop Co 2 je že v redni proizvodnji. Zanj lahko sprejemamo naročila in nudimo vse normalne kakovostne garancije.

STANDARDNE KARAKTERISTIKE IN OSNOVNI PODATKI ZA UPORABO JEKLA Č 9750 UTOP Co 2

Smerna kemijska sestava v %:

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Co
0,32	0,3	0,3	3,0	3,0	0,5	3,0

Primerjava s tujimi standardi

ZR NEMCIJA		SSSR
W. No 17007	DIN 17006	GOST
1.2365	X 32 Cr Mo V 33	3 H 3 M 3 K 3 F

Jože Pšeničnik je metalurški tehnik in višji strokovni sodelavec za plastično predelavo in toplotno obdelavo jekla v železarni Ravne.

Tip jekla

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 je plemenito visokolegirano Co-Mo-Cr-V orodno jeklo, namenjeno za delo v vročem. Kaljivo je v olju in na zraku. Ima odlično meroobstojnost v kombinaciji z odpornostjo proti obrabi in odlično žilavost. Dodatek kobalta omogoča posebno odpornost proti obrabi na višjih delovnih temperaturah in poveča odpornost proti termičnemu utrujanju. Ob takih lastnostih jekla dosežemo z orodji večjo produktivnost.

Orodje lahko hladimo tudi z vodo.

Značilnostj in osnovne lastnosti

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 se odlikuje predvsem z naslednjimi lastnostmi:

- odlična odpornost proti obrabi v vročem,
- odlična žilavost v vročem,
- dobra obdelovalnost v žarjenem stanju,
- dobra sposobnost za poliranje,
- dobra kaljivost,
- zelo dobra meroobstojnost,
- odlična popuščna obstojnost.

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 se izdeluje v normalnem proizvodnem programu po EPZ postopku, zato ima zagotovljeno izredno čistost ter homogenost makro in mikro strukture.

Primerjava lastnosti

Če primerjamo glavne lastnosti jekla Č 9750 Utop Co 2 z lastnostmi drugih poznanih vrst jekel, bomo prav lahko ugotovili, kdaj se bomo odločili za izbiro tega jekla (slika 1).

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 ima npr. prednost pri izbiri pred jeklom Utop Mo 1 ali Utop Mo 2 predvsem takrat, kadar z obstojnostjo v vročem in z žilavostjo jekla Utop Mo 1 ali 2 nismo več povsem zadovoljni.

Visoka vsebnost molibdena in kobalta omogočata jeklu visoko popuščno obstojnost in tudi trdoto v vročem.

Področje uporabe

Naštete lastnosti jekla Č 9750 Utop Co 2 kažejo, da je jeklo namenjeno zahtevnim orodjem za delo v vročem in to predvsem tam, kjer se zahteva odlična odpornost proti obrabi v kombinaciji z odlično žilavostjo in odpornostjo proti škajenju.

Če k temu dodamo še dobro meroobstojnost in odlično popuščno obstojnost, je pomen jekla za izdelavo zahtevnih orodij kompliciranih oblik jasen.

Iz tega jekla izdelujejo visoko zahtevna orodja stiskalnic za brizganje in stiskanje medenine, za notranje puše in matrice ter za druge izpostavljene dele orodij pri utopnem kovanju. Uporablja se tudi za izdelavo modelov za brizganje medenine in lahkih kovin z visokimi pritiski.

Zaradi dodatka kobalta v ugodni kombinaciji z drugimi elementi omogočajo orodja iz tega jekla večjo produktivnost zaradi občutno boljše vzdržljivosti od mnogih drugih krom-molibdenovih jekel.

Orodja, izdelana iz jekla Č 9750 Utop Co 2, lahko hladimo z vodo, kar njihovo uporabnost še poveča.

	Č 9750 Utop Co2	Č 6451 Utop 2	Č 4753 Utop M2	Č 6444 OSWRO 4	Č 6442 OSWRO 2	Č 4850 OCR-12 HM	Č 7680 BRM-2
Odpornost proti obrabi	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Žilavost	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Mezobojnost	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Obdelovalnost	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Trdota v vročem	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
Odpornost proti termičnemu utrujanju	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

Slika 1

Primerjava lastnosti jekla Č 9750 Utop Co 2 in drugih znanih vrst orodnih jekel.

Tipizacija

Jeklo Č 9750 Co 2 je novo in se na domačem tržišču šele uveljavlja, zato je seveda še »netipizirano«. Zaradi lastnosti pa mu lahko pripisujemo dobre perspektive pri uveljavljanju na širokem področju uporabe orodnih in visokotrdnih konstrukcijskih jekel za uporabo v vročem.

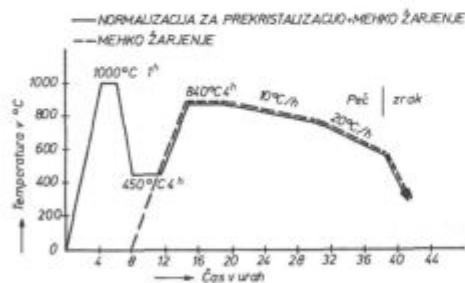
Vroča predelava

Normalno področje vroče predelave je 1080–800° C. Pri ogrevanju in zadrževanju na temperaturi pred vročo predelavo je treba upoštevati nagnjenost tega jekla k razogljčenju in ukreniti vse za zaščito.

Zaradi kaljivosti na zraku je občutljivost tega jekla pri ohlajanju po končani vroči predelavi razumljiva. Zagotoviti je potrebno primerno počasno ohlajanje v peči ali v dobrem izolacijskem sredstvu.

Zaradi legirne sestave sposobnosti tega jekla za plastično predelavo ni najboljša. Pretaljevanje tega jekla po EPZ postopku pa omogoča poleg drugih kakovostnih prednosti tudi znatno boljše sposobnost za plastično predelavo, kar omili predelovalno problematiko.

Za doseganje dobrih osnovnih lastnosti ima končna temperatura vroče predelave velik pomen in naj bo čim bližja



Slika 2

Diagram normalizacije in žarjenja za jeklo Č 9750 Utop Co 2.

spodnji temperaturi predpisanega območja, vendar ne nižja od 800° C. Seveda mora biti tudi začetna temperatura pravilna.

Po končani vroči predelavi je potrebno to jeklo čimprej žariti.

Mehko žarjenje

Po vroči predelavi se priporoča pred mehkim žarjenjem normalizacija, ki sicer ni obvezna, pač pa s prekrystalizacijo prispeva pomemben delež pri zagotavljanju homogene mikrostrukture in doseganju boljših lastnosti jekel z mehkim žarjenjem.

Ogrevanje mora biti tako pri normalizaciji kakor pri mehkiem žarjenju počasno in po možnosti stopenjsko.

Temperatura normalizacije za prekrystalizacijo je 1000° C z zadrževanjem 1 uro na temperaturi.

Temperatura mehkega žarjenja je 800–840° C.

Čas zadrževanja na temperaturi je 4–6 ur. Pri normalizaciji in žarjenju je treba ustrezno zagotoviti varovanje pred razogljčenjem površine.

Hitrost ohlajanja po končanem zadrževanju na temperaturi mehkega žarjenja, predvsem v območju 800–650° C, ne sme presegati 20° C/h, od temperature 650° C pa je nadaljnje ohlajanje lahko hitrejše.

Slika 2 prikazuje postopek normalizacije in mehkega žarjenja.

Trdota po žarjenju

Trdota jekla Č 9750 Utop Co 2 v žarjenem stanju je max. 240 HB.

Obdelovalnost

V žarjenem stanju se to jeklo dobro obdeluje.

Žarjenje za odpravo napetosti

Žarjenje za odpravo napetosti se izvaja v temperaturnem območju 600–700° C z zadrževanjem na temperaturi najmanj 1 uro. Pri večjih debelinah nad 25 mm se na vsakih 25 mm povečanja debeline čas zadrževanja na temperaturi podaljša za 1 uro. Ohlajanje se izvaja počasi v peči do 500° C, dalje pa na mirnem zraku.

Žarjenje za odpravo napetosti se izvaja po grobi mehanski obdelavi. Nujno potrebno je pri vseh orodjih, ki se po toplotni obdelavi ne brusijo več, posebno še, če so preseki na raznih delih orodja zelo različni. Velik pomen ima to žarjenje pri orodjih, ki se pred končno toplotno obdelavo močneje ravnajo.

Pri žarjenju za odpravo napetosti ni potrebna posebna zaščita proti razogljčenju.

Kaljenje

Normalno območje temperatur kaljenja je 1020–1060° C. Pri večini orodij za delo v vročem se zaradi boljše popuščne obstojnosti držimo maksimalnih temperatur kaljenja okrog 1060° C.

Za orodja manjših debelin se kaljenje izvaja z ohlajanjem na mirnem zraku, za debelejša orodja pa je potrebno intenzivnejše ohlajanje s stisnjanim zrakom ali pa v olju, če to dovoljuje oblika orodja. Uporablja se tudi kaljenje v olju ali v termalni kopeli na ca. 550° C, nakar sledi ohlajanje na zraku.

Trdota po kaljenju na zraku je 42–46 HRC, vendar zaradi zaostalega avstenita sekundarna trdota po popuščanju naraste in je višja kot po kaljenju.

Trdota po kaljenju v olju je 49–53 HRC.

Pri ogrevanju na temperaturo avstenitizacije se zelo priporoča dobro predogrevanje v območju 600–850° C, ker s tem dosežemo boljše enakomernost temperature po preseku na temperaturi kaljenja. To precej zmanjša deformiranje orodij pri kaljenju. Na temperaturi predogrevanja zadržujemo orodja približno 1 uro na vsakih 25 mm debeline največjega preseka. Že na temperaturi predogrevanja je

treba poskrbeti za ustrezno zaščito proti razogličanju, še bolj pomembno pa je to pri nadaljnjem ogrevanju in za drževanju na temperaturi kaljenja. Priporočljiva je varovalna atmosfera v peči z najmanj 10 % CO ali pa varovalno pakiranje orodij.

Pri kaljenju večjih kosov se priporoča izbira kalilne temperature bližje spodnji meji navedenega intervala, ker s tem povečamo orodju žilavost.

Za manjša ali tanjša orodja priporočajo ogrevanje na kalilno temperaturo v solni kopeli na bazi 70–90 % BaCl₂ in 30–10 % NaCl.

Popušcanje

Uporabno območje popušcanja je 550–700 °C.

Popušcanje se mora izvajati takoj po kaljenju, še preden jeklo doseže sobno temperaturo. Najprimernejše je prenesti orodje na popušcanje, ko doseže po kaljenju temperaturo 50–80 °C. Ne smemo pa dati na popušcanje orodij s previsokih temperatur. Ohladiti se mora vsaj toliko, da se ga lahko dotaknemo z roko.

Pri popušcanju je vedno priporočljivo dvakratno popušcanje; to pa zadošča, če je pravilno izvedeno. Čas popušcanja na temperaturi naj bo ca. 1 uro za vsakih 25 mm debeline, vendar tudi pri najtanjših kosih nikoli manj kot 1 uro.

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 ima močno izražen efekt sekundarne trdote pri popušcanju, ki je tem močnejši, čim višja je temperatura kaljenja, obenem pa se obstojnost trdote pomika proti višjim temperaturam. Pri kaljenju na zraku je efekt sekundarne trdote močnejše izražen kot pri kaljenju v olju, trdote pa so v splošnem nekoliko nižje.

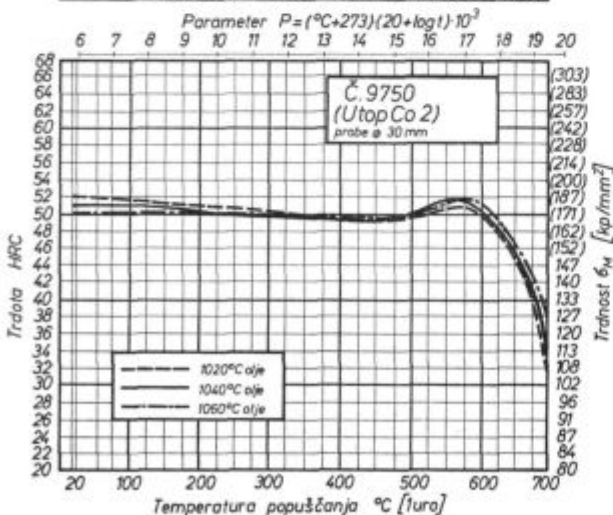
Zaradi efekta sekundarne trdote lahko izberemo razmeroma visoke temperature popušcanja, ki imajo ob enaki trdoti prednost pred nižjimi temperaturami zaradi boljše popuščne obstojnosti med uporabo.

Tudi med delom je priporočljivo orodje občasno popuščati za razbremenitev notranjih napetosti.

To izvedemo tako, da npr. po 3000-kratnem stiskanju ali kovanju orodje popuščamo ca. 30° C nižje od temperature popušcanja orodja. S tem pomembno povečamo življenjsko dobo orodju.

Vzdržnost orodja močno povečamo tudi s primerno pravo orodja za delo. Orodje pred začetkom dela tudi po več ur različno predgrevamo na temperaturah od 250–300 °C. S tem se izognemo pojavu razpok, ki močno skrajšajo vzdržnost orodja.

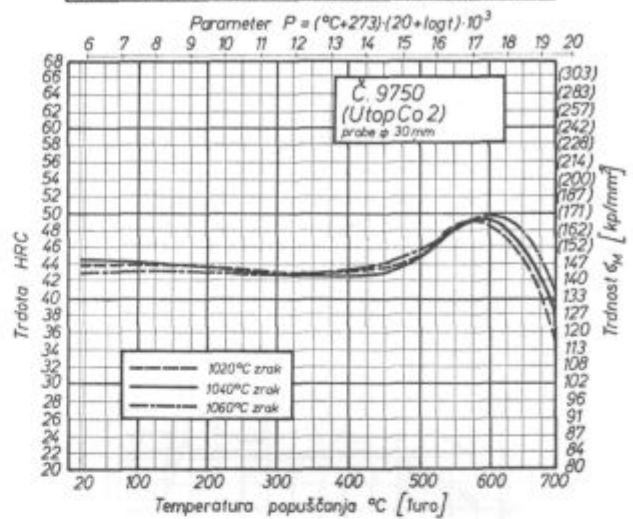
Smerna kem. sestava	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %	Co %
	0,32	0,30	0,30	3,00	3,00	0,50	3,00



Slika 3

Popuščni diagram za jeklo Č 9750 Utop Co 2 kaljeno v olju.

Smerna kem. sestava	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %	Co %
	0,32	0,30	0,30	3,00	3,00	0,50	3,00



Slika 4

Popuščni diagram za jeklo Č 9750 Utop Co 2 kaljeno na zraku.

Diagrama na slikah 3 in 4 prikazujeta odvisnost trdote od temperature kaljenja in temperature popušcanja za kaljenje v olju in na zraku.

Delovne trdote orodij

Delovna trdota orodij naj bo v mejah 40–50 HRC, kar je seveda odvisno od področja uporabe, od oblike orodja in pa od pogojev dela. Za najvišje delovne temperature je lahko trdota orodij tudi nižja.

Orodja za stiskanje lahkih kovin naj imajo od 40–45 HRC.

Utopna orodja za kovanje medenine naj imajo trdoto od 46–50 HRC.

Noži za obrezovanje v vročem pa naj imajo trdoto od 46–50 HRC.

Orodja, ki so izpostavljena dinamičnim — udarnim obremenitvam, naj imajo nižjo delovno trdoto.

Nitriranje

Jeklo Č 9750 Utop Co 2 je zelo primerno za nitriranje. S tem močno povečamo trdoto površine orodja in maksimalno povečamo odpornost proti obrabi.

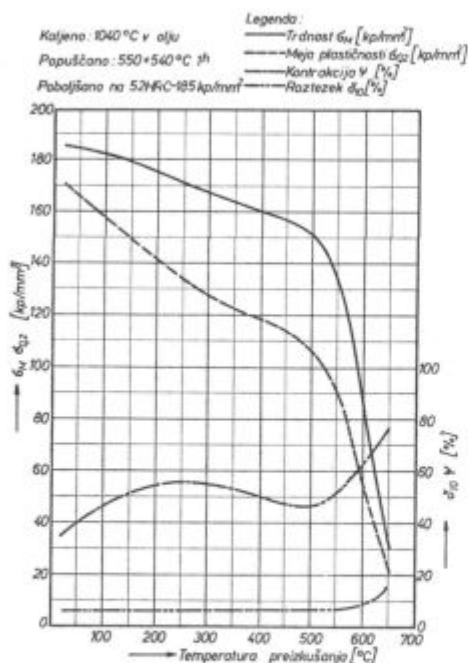
Primernejše je plinsko nitriranje, ker dobimo pri 15-urnem nitriranju na temperaturi 520° C trdo nitridno plast, debeline 0,12 mm s trdoto površine od 900–1100 HV.

Mehanske lastnosti

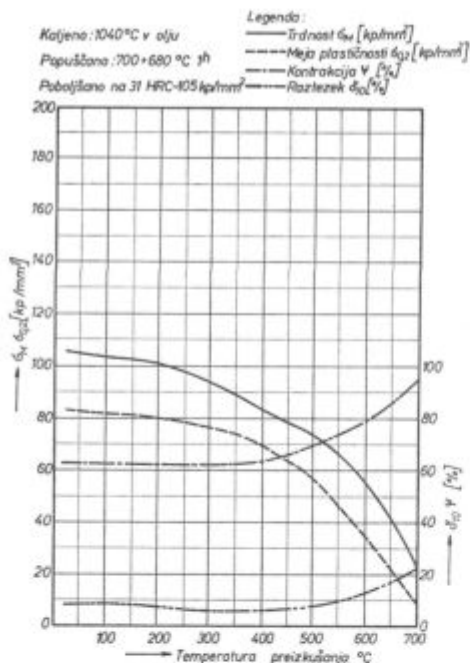
Pri kaljenju s temperature 1040° C, t. j. na sredini normalnega kalilnega intervala, in popušcanju na 550 + 540° C ali 700 + 680° C dobimo naslednje vrednosti:

	Kaljeno 1040° C olje	
	Popuščano 550 + 540° C	Popuščano 700 + 680° C
trdnost N/mm ²	1863	1030
meja plastičnosti N/mm ²	1716	794
raztezek %	8	9
kontrakcija %	32	62

Ker se to jeklo uporablja za delo v vročem stanju, podajamo mehanske lastnosti v vročem stanju pri različnih trdnostih (slika 5 in 6).



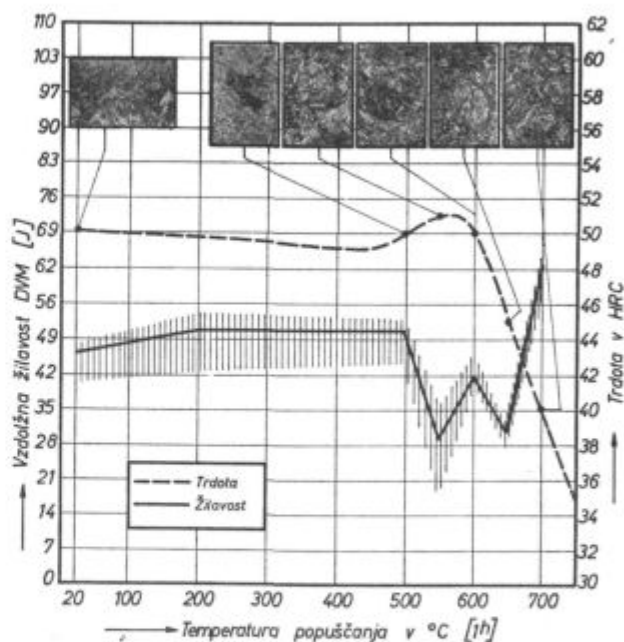
Slika 5
 Mehanske lastnosti v vročem stanju za jeklo Č 9750 Utop Co 2 — poboljšano na 185 kp/mm².



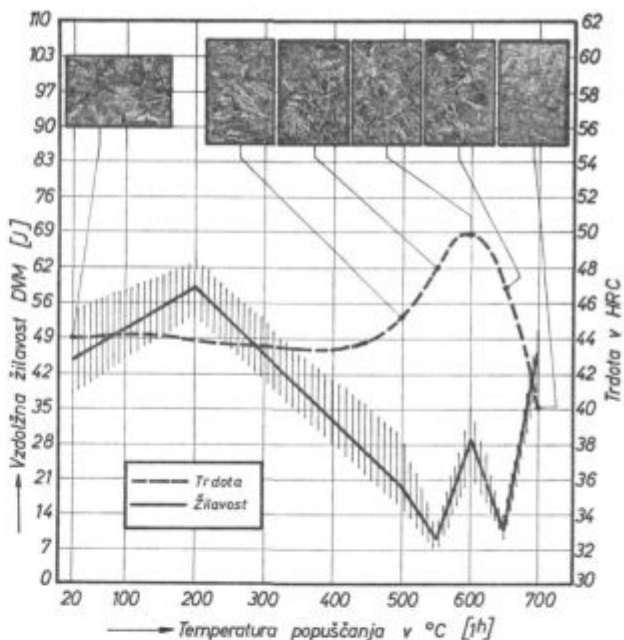
Slika 6
 Mehanske lastnosti v vročem stanju za jeklo Č 9750 Utop Co 2 — poboljšano na 105 kp/mm².

Ker je pri nekaterih orodjih odločilnega pomena žilavost, podajamo na slikah 7 in 8 nekaj rezultatov preiskav žilavosti v odvisnosti od kalilnega sredstva in temperature popuščanja. Na diagramih so prikazane tudi mikrostrukture jekla za posamezne pogoje toplotne obdelave. Značilen padec žilavosti pri naraščanju sekundarne trdote je razumljiv že zaradi sprememb trdote, razlagamo pa si ga lahko tudi z izločevalnimi efekti po mejah zrn, posebno pri kaljenju na zraku.

Pojav nihanja žilavosti v območju sekundarnih trdot še ni v celoti pojasnjen. S preiskavami, ki so še v toku, smo



Slika 7
 Vpliv temperature popuščanja na trdoto in žilavost ter izgled mikrostrukture jekla Č 9750 Utop Co 2 kaljenega v olju na 1040 °C.



Slika 8
 Vpliv temperature popuščanja na trdoto in žilavost ter izgled mikrostrukture jekla Č 9750 Utop Co 2 kaljenega na zraku na 1040 °C.

ugotovili, da je povezan z izločevalnimi efekti po mejah zrn. Ta pojav lahko zmanjšamo, če orodje po popuščanju ohladimo v olju ali vodi.

Vrednosti žilavosti so pri jeklu Utop Co 2 v primerjavi z drugimi jekli za delo v vročem najvišje.

Metalografija jekla Č 9750 Utop Co 2

Jeklo Č 9750 Utop Co 2, izdelano po EP2 postopku, doseže v žarjenem stanju 100 % krogični perlit s sekundarnimi karbidi (sl. 9).

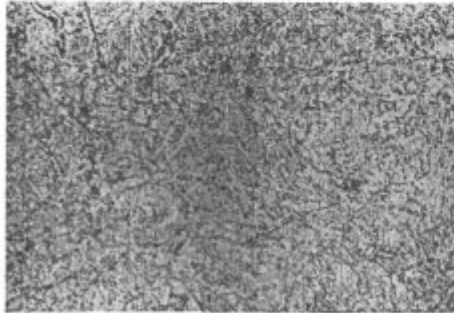
Po kaljenju so v mikrostrukturi tega jekla martenzit, zaostali avstenit in karbidi.

Kalilno območje tega jekla je 1020–1060° C na zraku ali v olju. Nad 1060° C dobimo skokovito rast zrna, ki povzroča slabšo žilavost, hkrati pa višje kalilne temperature omogočajo boljšo popuščno obstojnost in odpornost proti termičnemu utrujanju, kar je zelo važno pri orodjih z večjimi toplotnimi obremenitvami.

Na sliki 10 vidimo strukturo pri kaljenju na zraku s temperature 1040° C in popuščano na 500° C, na sliki 11 pa strukturo, kaljeno na zraku s temperature 1080° C in popuščano na 500° C.

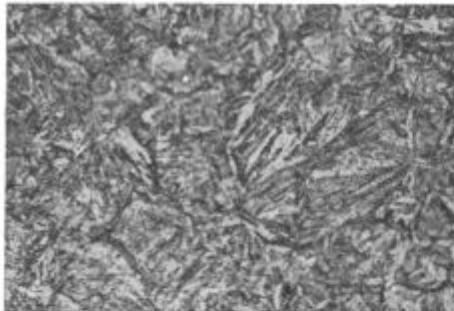
Značilno za to jeklo je, da kalilna temperatura nima velikega vpliva na trdoto, pač pa ima velik vpliv kalilno sredstvo, trdote pa so po vsem območju od 1000–1100° C skoraj enake.

Pregretje opazimo šele po velikosti zrna, ki nad kalilno temperaturo 1060° C močno naraste.



Slika 9

Mikrostruktura žarjenega jekla C 9750 Utop Co 2 (povečava 500 ×).



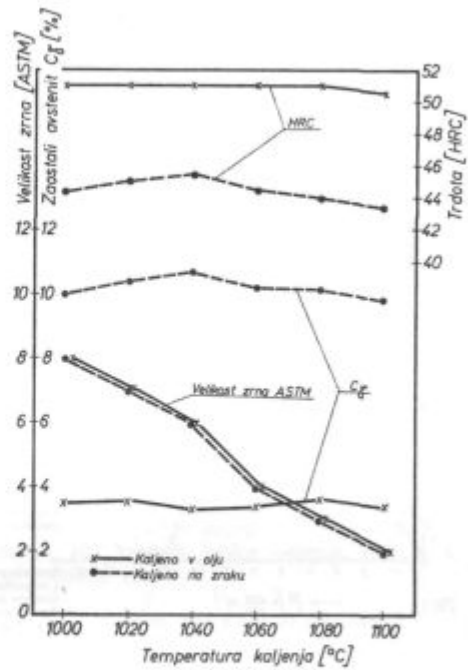
Slika 10

Mikrostruktura kaljenega in popuščanega jekla v območju normalnih temperatur (povečava 500 ×).



Slika 11

Mikrostruktura kaljenega in popuščanega jekla. Kaljeno nad zgornjim intervalom kalilne temperature (povečava 500 ×).



Slika 12

Vpliv temperature kaljenja na trdoto, zaostali avstenit in velikost zrna za jeklo C 9750 Utop Co 2.

Zaostalega avstenita je po kaljenju na zraku bistveno več kot pri kaljenju v olju. Pri kaljenju na zraku smo v območju od 1000–1100° C ugotovili zaostalega avstenita približno 10 %, po kaljenju v olju pa okrog 4 % (slika 12).

Posebne preiskave

V nadaljevanju podajamo nekaj informacij in ugotovitev posebnih preiskav za jeklo C 9750 Utop Co 2. Te preiskave so še v teku, zato so ugotovitve le orientacijske za grobo predstavbo o nekaterih zanimivih lastnostih tega jekla.

— Vsebnost zaostalega avstenita

S ploščatimi preizkušanci dimenzij 5 × 25 × 50 mm smo po različnih postopkih toplotne obdelave določali vsebnost zaostalega avstenita z rentgenskim difraktometrom. Rezultati teh meritev so prikazani na sliki 12, ki kaže že omenjeni vpliv kalilnega sredstva na vsebnost zaostalega avstenita v tem jeklu.

— Premenske točke

Ogrevanje 2,5° C/min.
Ac začetek 815° C
Ac konec 880° C

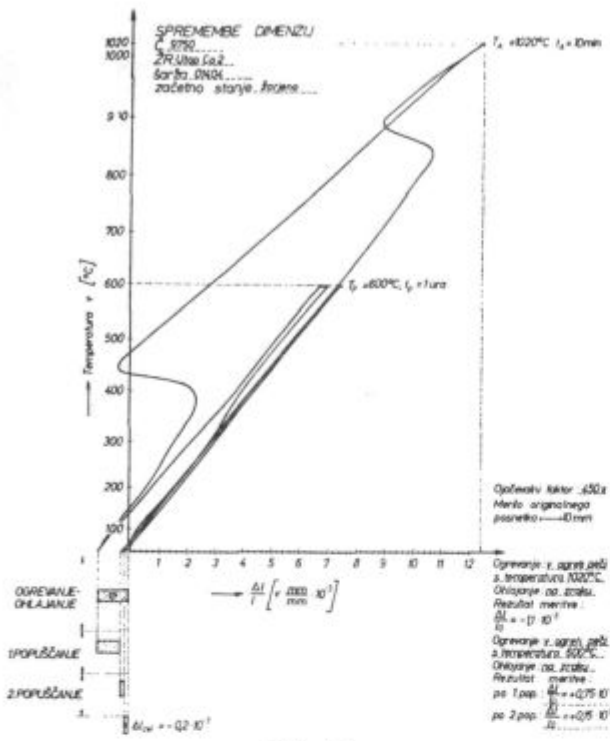
Ohlajanje 2,5° C/min.
Ar začetek 815° C
Ar konec 715° C

— Dimenzijske spremembe pri toplotni obdelavi

Po metodi³ dilatometrijskih meritev dimenzijskih sprememb zaradi strukturnih premen smo spremljali dilatacije za posamezne karakteristične cikle toplotne obdelave.

Slika 13 prikazuje spremljanje dimenzijskih sprememb pri kaljenju s temperature 1020° C na spodnji meji temperaturnega območja, čemur sledi popuščanje v dilatometru na 600° C.

Ogrevanje smo izvedli tako, da smo dilatometrijski preizkušanelec v kvarčni cevki vložili v peč na temperaturo avstenitizacije 1020° C in jo po izenačenju temperature avstenitizirali 10 minut. Sledilo je ohlajanje v dilatometrijski cevki s povprečno hitrostjo $V_T = 10^{\circ} \text{C/s}$, kar ustreza kaljenju v olju. Relativna sprememba dimenzije glede na izhodno žarjeno stanje po kaljenju je znašala $-1,1 \cdot 10^{-3} \text{ mm/mm}$, pri prvem popuščanju 1 uro na 600° C smo izmerili spremembo $+0,75 \cdot 10^{-3} \text{ mm/mm}$, pri drugem popuščanju 1 uro na 600° C pa $+0,15 \cdot 10^{-3} \text{ mm/mm}$. Po celotnem ciklusu toplotne obdelave je bila sprememba dolžine preizkušanca $-0,2 \cdot 10^{-3} \text{ mm/mm}$.



Slika 13

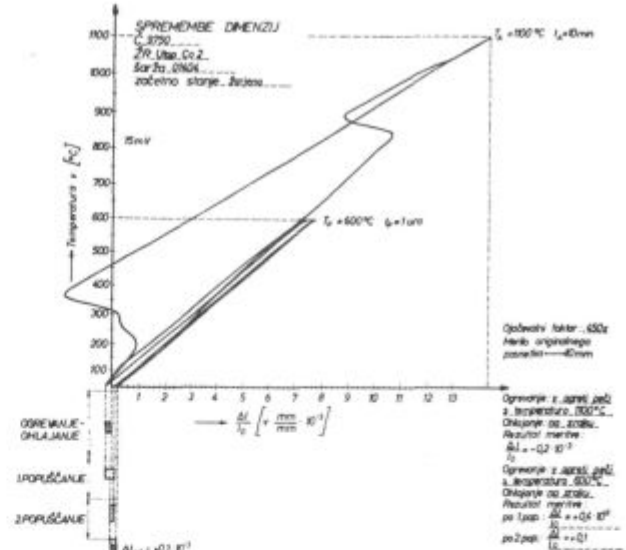
Raziskava spremembe dimenzij pri toplotni obdelavi — z avstenitizacijo 1020° C.

Slika 14 prikazuje dimenzijske spremembe pri kaljenju nad zgornjo mejo intervala avstenitizacije 1100° C in popuščanju dvakrat po 1 uro na 600° C. Po celotnem ciklusu je bila sprememba dimenzij + 0,3.10⁻³ mm/mm.

Iz preiskave je razvidno, da so dimenzijske spremembe pri toplotni obdelavi jekla Č 9750 Utop Co 2 zelo majhne.

ZAKLJUČKI

Namen te publikacije je bil, da podamo informacijo o dosedanjih raziskavah novega orodnega jekla za delo v vročem Č 9750 Utop Co 2. Preiskave še niso zaključene, dovoljujejo pa že presojo kakovostnih lastnosti tega jekla v zvezi s področji uporabnosti.



Slika 14

Raziskava spremembe dimenzij pri toplotni obdelavi — z avstenitizacijo 1100° C.

Podani so rezultati preiskav osnovnih lastnosti, katere pa bo treba dopolniti in povezati z informacijami o obnašanju tega jekla pri praktični uporabi.

Literatura:

1. Rodič J.: Osvajanje jekla Utop Co 2, interna raziskovalna naloga Železarne Ravne O-7405.
2. Rodič A., J. Pšeničnik, J. Gradišnik: Lastnosti orodnih jekel za delo v vročem, izdelanih po različnih postopkih, interna raziskovalna naloga Železarna Ravne, R-7306.
3. Rodič J., A. Segel: Metode določevanja dimenzijskih sprememb, interna raziskovalna naloga Železarne Ravne O-7003 in R-7221.
4. Rodič A., J. Pšeničnik: Interno poročilo o preiskavah Železarne Ravne DK-120/1974.
5. Grešovnik F., J. Pšeničnik: Določanje vsebnosti zaostalega avstenita v jeklu Č 9750 Utop Co 2 z rentgenskim difraktometrom, interna raziskovalna naloga Železarne Ravne O-7405.