

Novo orodno jeklo Č 7450 — UTOP 33 za delo v vročem

Jože Pšeničnik

UVOD

Od jekel za delo v vročem potrošniki zahtevajo vedno večjo vzdržljivost pri predelavi kovin in zlitin. Če hočemo ugoditi tej zahtevi, bi morali razvijati vedno nove vrste jekel za posamezna področja uporabe. Vse specialne izvedbe so prepuščene temu povezovanju, standardni proizvodni program za splošno uporabo pa je lahko zelo ozek. Ravno v tem ozkem programu pa nam je v železarni Ravne manjkala vrsta Cr-Mo-V jekla, ki smo ga sedaj razvili.

Jeklo Č 7450 se v glavnem uporablja za vložke utopov, za orodja v industriji vijakov, za orodja na raznih kovaških strojih, kakor tudi za visoko obremenjena orodja stiskalnic. Nekatera orodja v večjih količinah smo z vzornim sodelovanjem z Mariborsko livarno iz Maribora, UNITAS-om iz Ljubljane in IMPOL-om iz Slovenske Bistrice že preizkusili.

Na osnovi sedaj proizvedene količine jekla Č 7450 za redno proizvodnjo lahko trdimo, da smo to jeklo toliko spoznali in preizkusili, da ga lahko predstavimo našim proizvajalcem orodij za delo v vročem, kar je tudi namen tega sestavka.

Standardne karakteristike in osnovni podatki za uporabo jekla Č 7450

Smerna kemična sestava v %:

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

Primerjava s tujimi standardi

ZR NEMČIJA		EURONORM 96—79
W. No	DIN	
17007	17350	
1.2365	X32CrMoV33	30CrMoV12 11

Tip jekla

Jeklo Č 7450 je plemenito visokolegirano Cr-Mo-V orodno jeklo, namenjeno za delo v vročem. Kaljivo je v olju ali v toplih kopelih. Ima odlično meroobstojnost v kombinaciji z odpornostjo proti obrabi in odlično žilavost. Zelo uspešno ga lahko nitriramo po vseh znanih metodah in s tem orodjem zvečamo produktivnost. Orodje lahko hladimo tudi z vodo.

Značilnosti in osnovne lastnosti

Jeklo Č 7450 (UTOP 33) 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 7450 izdelujemo v glavnem po EPŽ postopku, zato ima zagotovljeno izredno čistost ter homogenost makro- in mikrostrukture.

Primerjava lastnosti

Če primerjamo glavne lastnosti jekla Č 7450 z lastnostmi drugih poznanih vrst jekel, bomo prav lahko ugotovili, kdaj se bomo odločili za izbiro tega jekla.

Jeklo Č 7450 ima na primer prednost pri izbiri pred jeklom Č 4751 ali Č 4753 predvsem takrat, kadar zahtevamo večjo žilavost in obstojnost v vročem.

Področje uporabe

Naštete lastnosti jekla Č 7450 kažejo, da je jeklo namenjeno zahtevnim orodjem za delo v vročem, in to predvsem tam, kjer se zahteva odpornost proti obrabi v kombinaciji z dobro žilavostjo in odpornostjo proti škanju.

Če k temu dodamo še dobro meroobstojnost, je pomen tega jekla za izdelavo orodij kompliciranih oblik jasen.

Iz tega jekla izdelujemo visoko zahtevna orodja stiskalnic, vložke utopov, orodja na modernih kovaških strojih in preoblikovana orodja v industriji vijakov, kakor tudi pri predelavi barvnih kovin.

Orodja, izdelana iz jekla Č 7450, lahko hladimo z vodo, kar njihovo uporabnost še poveča.

Tipizacija

Jeklo Č 7450 je novo in se na domačem tržišču šele uveljavlja, zato je seveda še »netipizirano«. Zaradi doseženih lastnosti pa mu lahko pripisujemo dobre perspektive pri uveljavljanju za izdelavo orodij za uporabo v vročem.

Vroča predelava

Normalno področje vroče predelave je 1100 do 800° C. Pri ogrevanju in zadrževanju na temperaturi pred končno predelavo je potrebno upoštevati nagnjenost tega jekla k razogljčenju in zagotoviti ustrezno zaščito.

Kljub temu, da ne kali na zraku, je občutljivost tega jekla pri ohlajanju po končani plastični predelavi velika, zato moramo zagotoviti primerno počasno ohlajanje.

Zaradi legirne sestave sposobnost tega jekla za plastično predelavo ni najboljša. Pretaljevanje tega jekla po EPŽ postopku in plastična predelava na moderni kovaški liniji omili predelovalno problematiko.

Za doseganje dobrih osnovnih lastnosti ima končna temperatura vroče predelave velik pomen in naj bo čim bližje spodnji temperaturi predpisanega območja, vendar pa ne nižja od 800° C. Normalno pa je, da mora biti tudi začetna temperatura za plastično predelavo 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 prekristalizacijo prispeva pomemben delež pri zagotavljanju homogene mikrostrukture in doseganje boljnjih lastnosti jekla.

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

Temperatura normalizacije za prekristalizacijo je 1000° C z zadrževanjem 1^h na temperaturi.

Temperatura mehkega žarjenja je 770—820° 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 750—650° C, ne sme presegati 20° C/h, od temperature 650° C pa je nadaljnje ohlajanje lahko hitrejše.

Trdota po žarjenju

Trdota po mehkiem žarjenju je max. 240 HB.

Obdelovalnost

V žarjenem stanju se to jeklo dobro obdeluje.

Žarjenje za odpravo napetosti

Žarjenje za odpravo napetosti izvajamo v temperaturnem območju 550—700° C z zadrževanjem na temperaturi najmanj 1 uro. Ohlajanje izvajamo počasi v peči do 500° C, dalje pa lahko tudi 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 ravnaajo.

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

Kaljenje

Normalno območje temperatur kaljenja je 1010 do 1050° C. Pri večini orodij za delo v vročem se zaradi boljše popuščne obstojnosti držimo maksimalnih temperatur kaljenja, okrog 1050° C.

Orodja v večini primerov kalimo v olju, če le dopušča oblika orodja. Za bolj komplicirana orodja uporabljamo izenačevanje po avstenitizaciji na 1060° C v termalni kopeli na 450—550° C, nakar sledi ohlajanje v olju.

Trdota po kaljenju v olju je 48—52 HRC.

Trdota po kaljenju z zadrževanjem v termalni kopeli na 520° C pa je 44—46 HRC, vendar zaradi zaostalega avstenita sekundarna trdota po popuščanju naraste in je višja za okrog 2 HRC, kot po kaljenju.

Pri ogrevanju na temperaturo avstenitizacije priporočamo dobro predgrevanje v območju 600—850° C, kjer s tem dosežemo boljše enakomernost temperature po preseku na temperaturi kaljenja. To precej zmanjša nevarnost deformacij orodij pri kaljenju. Na temperaturi predgrevanja zadržujemo orodje približno 1 uro na vsakih 25 mm debeline največjega preseka. Že na temperaturi pregrevanja je potrebno poskrbeti za ustrezno zaščito proti razogljčenju, še bolj pomembno pa je to pri nadaljnjem ogrevanju, in zadrževanje na temperaturi kaljenja. Priporočljiva je varovalna atmosfera v peči z najmanj 10 % CO ali pa varovalno pakiranje orodij.

Pri kaljenju večjih kosov priporočamo izbiro kalilne temperature bližje spodnji meji navedenega intervala, ker s tem povečamo orodju žilavost.

Za manjše ali tanjše orodje priporočamo ogrevanje na kalilno temperaturo v solni kopeli na bazi 70 — 90 % BaCl₂ in 30 — 10 % NaCl.

Popuščanje

Popuščanje izvedemo takoj po kaljenju, še preden doseže orodje sobno temperaturo. Najprimerneje je prenesti orodje v popuščno peč s temperaturo 50—80° C. Orodja popuščamo običajno med 550 in 700° C, odvisno od zahtevane trdote.

Priporočamo vedno dvakratno popuščanje, ki za orodje zadošča, če je pravilno izvedeno. Čas popuščanja na temperaturi naj bo okrog 1 uro za vsakih 25 mm debeline, vendar tudi pri manjših orodjih nikoli manj kot 1 uro.

Tudi med delom je priporočljivo orodje občasno popuščati za razbremenitev notranjih napetosti. To izvedemo tako, da n. pr. po 3000-kratnem stiskanju ali kovanju orodje popuščamo okrog 30° C nižje od temperature popuščanja orodja. S tem orodju pomembno povečamo življenjsko dobo.

Vzdržnost orodja močno povečamo tudi s primerno pripravo orodja za delo. Orodje pred začetkom dela tudi po več ur različno predgrevanja na temperaturah od 250—300° C. S tem se izognemo pojavu razpok, ki močno skrajšajo vzdržljivost orodju.

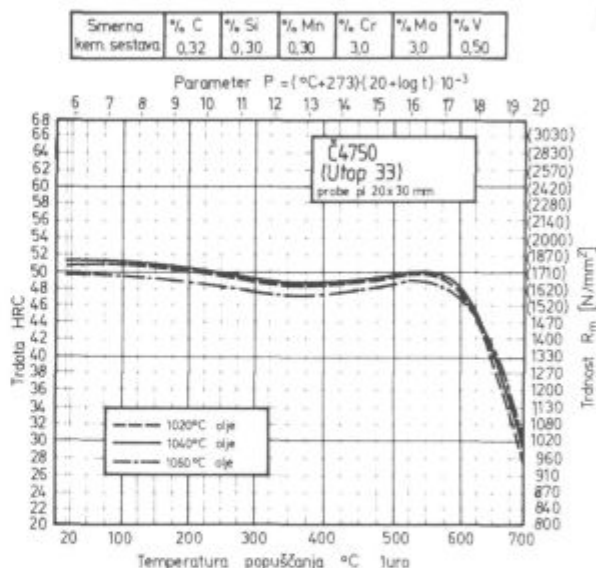
Diagrama na slikah 1 in 2 prikazujeta odvisnost trdote od temperature kaljenja in temperature popuščanja za kaljenje v olju in v termalni kopeli.

Delovne trdote orodij

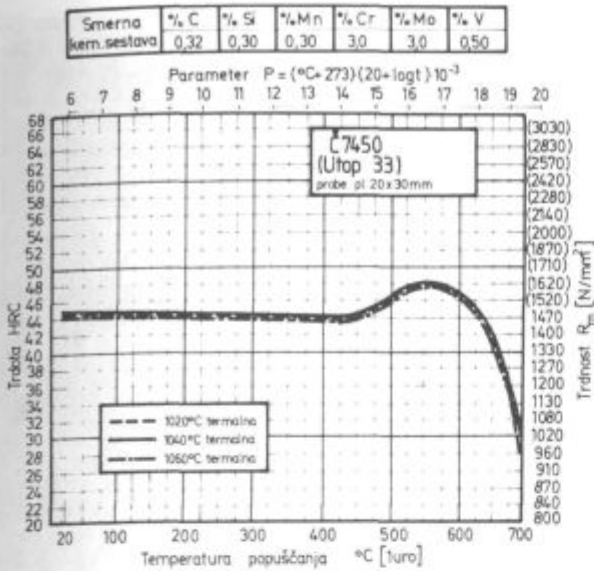
Delovna trdota orodij naj bo v mejah 40 do 50 HRC, kar je seveda odvisno od področja uporabe, od oblike orodja in od pogojev dela. Za najvišje delovne temperature je lahko trdota orodij tudi nižja.

Orodja za stiskanje lahkih kovin naj imajo trdoto 40—45 HRC.

Utopna orodja za kovanje medenine pod stiskalnico naj imajo trdoto 46—50 HRC.



Slika 1: Popuščni diagram za jeklo Č 7450 — UTOP 33 za kaljenje v olju



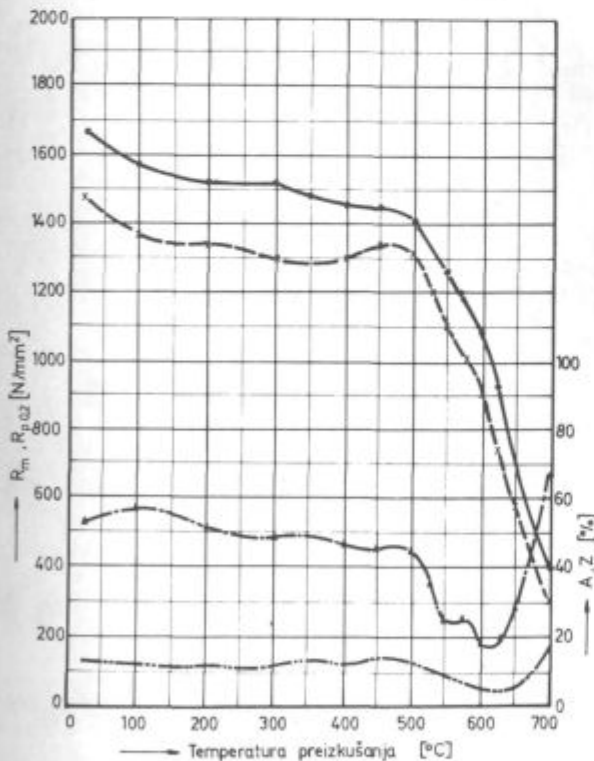
Slika 2:
Popuščni diagram za jeklo Č 7450 — UTOP 33 za kaljenje v termalno kopol

Č 7450 (UTOP33)

Poboljšano 1650 N/mm²
Kaljeno 1040°C v olju
Popuščano 550+540°C 1h

Legenda:

- Trdnost Rm [N/mm²]
- - - - - Meja plastičnosti Rp02 [N/mm²]
- Kontrakcija Z [%]
- Raztezek A [%]



Slika 3:
Mehanske lastnosti v vročem stanju za jeklo Č 7450 UTOP 33

Vložki gravur za stiskanje pod stiskalnico naj imajo trdoto 46—50 HRC, enako trdoto naj imajo tudi trni na horizontalnem kovaškem stroju.

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

Nitriranje

Jeklo Č 7450 UTOP 33 je zelo primerno za nitriranje. S tem orodjem močno povišamo trdoto na površini 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 od 900—1100 HV.

Vedno bolj pa se uveljavlja ionsko nitriranje, ki ga imenujejo tudi nitriranje v plazmi pri 400—570° C, kjer dosežemo globine nitriranja od 0,1 do 0,3 mm s trdoto 900 do 1150 HV.

Mehanske lastnosti

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

	Kaljeno 1040° C olje	
	popuščano 550+540° C	popuščano 700+680° C
Rm N/mm ²	1660	900
Re N/mm ²	1470	680
A %	13	18
Z %	52	64

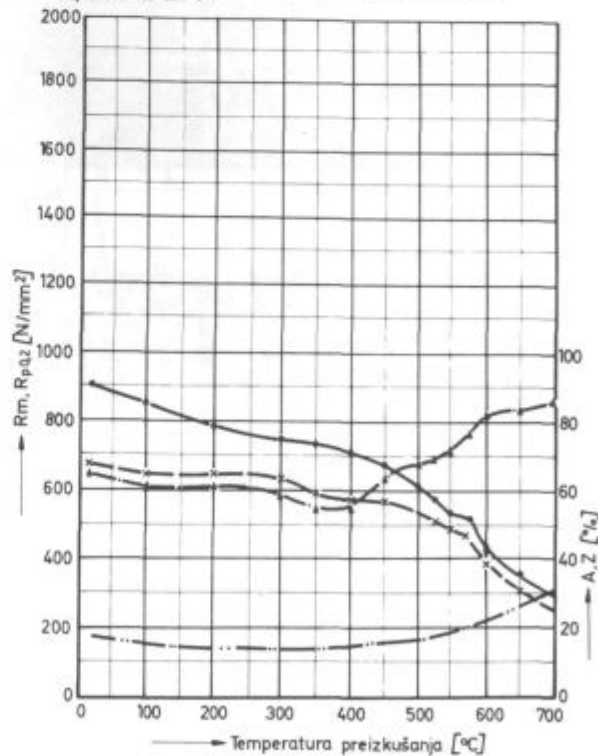
Ker se to jeklo uporablja za delo v vročem stanju, navajamo mehanske lastnosti v vročem stanju pri različnih trdnostih (slika 3 in 4).

Č 7450 (UTOP 33)

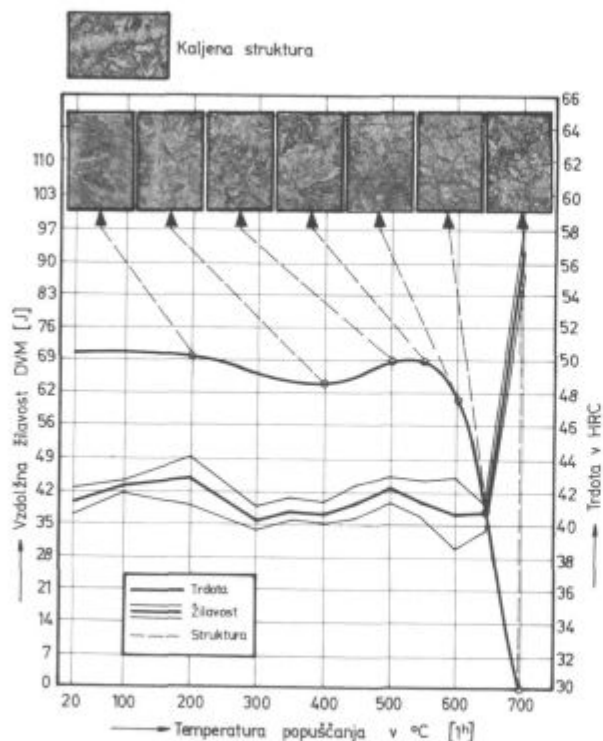
Poboljšano 900 N/mm²
Kaljeno 1040°C v olju
Popuščano 700+680°C 1h

Legenda:

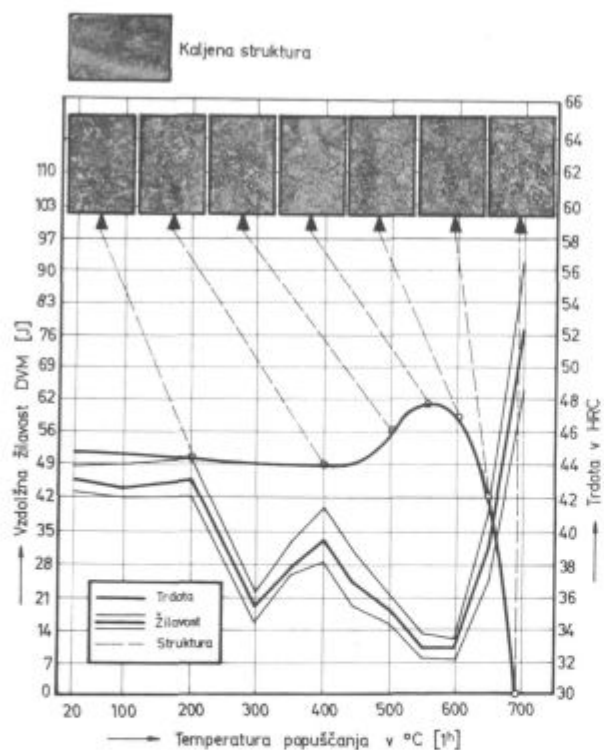
- Trdnost Rm [N/mm²]
- - - - - Meja plastičnosti Rp02 [N/mm²]
- Kontrakcija Z [%]
- Raztezek A [%]



Slika 4:
Mehanske lastnosti v vročem stanju za jeklo Č 7450 —

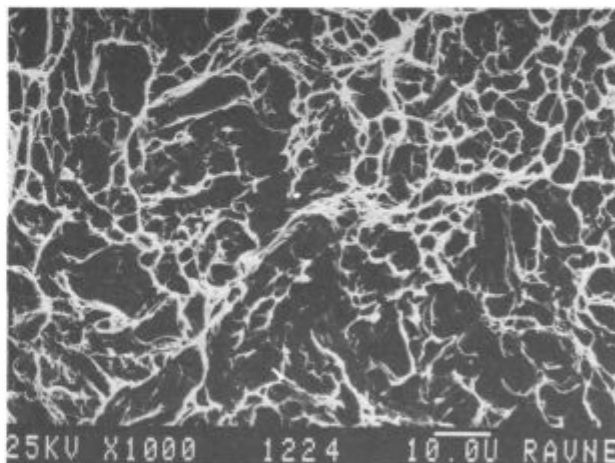


Slika 5:
Vpliv temperature popuščenja na trdoto in žilavost ter videz mikrostrukture jekla Č 7450 — UTOP 33, kaljenega v olju na 1040° C

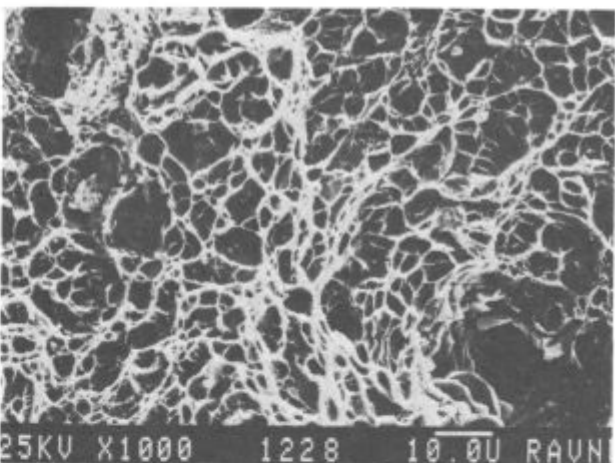


Slika 6:
Vpliv temperature popuščenja na trdoto in žilavost ter videz mikrostrukture jekla Č 7450 — UTOP 33, kaljenega iz 1040° C v termalno na 520° C

Ker je pri nekaterih orodjih odločilnega pomena žilavost, prikazujemo na slikah 5 in 6 nekaj preiskav žilavosti v odvisnosti od kalilnega sredstva in temperature popuščenja. Na diagramih so podane tudi pripadajoče mikrostrukture jekla. Značilen padec žilavosti pri naraščanju sekundarne trdote je razumljiv že zaradi sprememb trdote, razlagamo pa si ga še zaradi izločevalnih efektov po mejah zrn in rasti karbidne faze, posebno pri kaljenju v termalni kopeli.



Slika 7:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno 1040° C olje

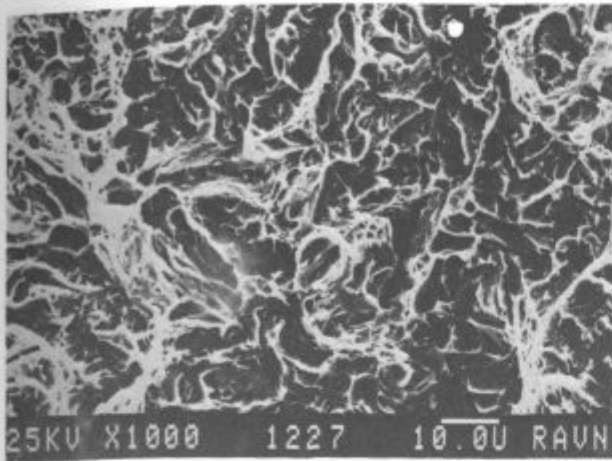


Slika 8:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno 1040° C olje, popuščano na 200° C

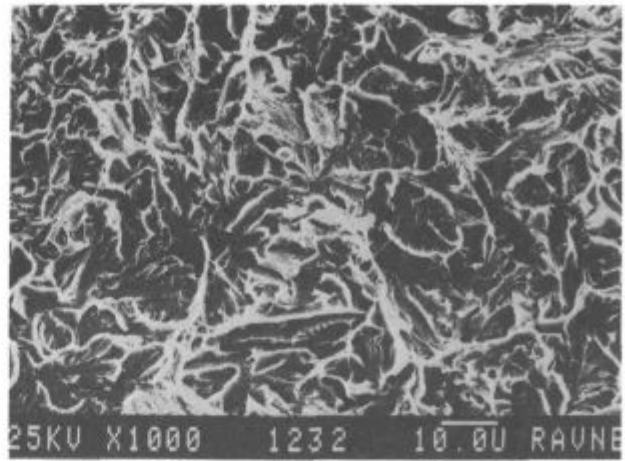
Metalografske preiskave jekla Č 7450 — Utop 33

Pojav nihanja žilavosti v celotnem območju smo preiskovali tudi s preiskavo frakturnih površin na vzorcih žilavostnih preizkušancev z raster elektronskim mikroskopom, kjer ni bilo poznanih interkristalnih področij, vzrok padca žilavosti je potrjen z rastjo karbidne faze. Posnetke REM fraktografije vidimo na slikah 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 in 15 za vzorce, kaljene v olju, in na slikah 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 in 24 za vzorce, kaljene v termalno kopel (glej prilogo).

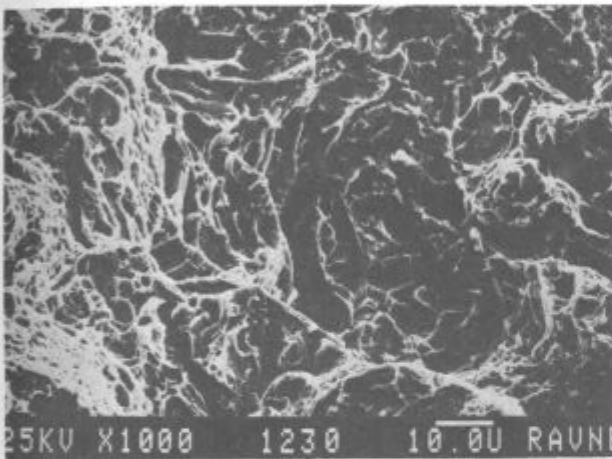
Po kaljenju so v mikrostrukturi tega jekla martenzit in zaostali avstenit.



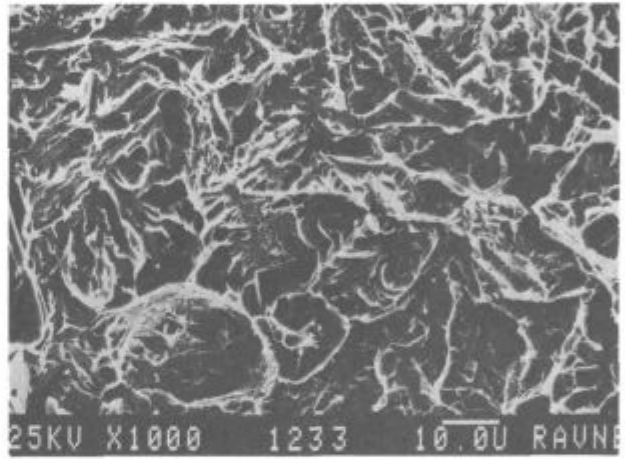
Slika 9:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C olje, popuščano na 400° C



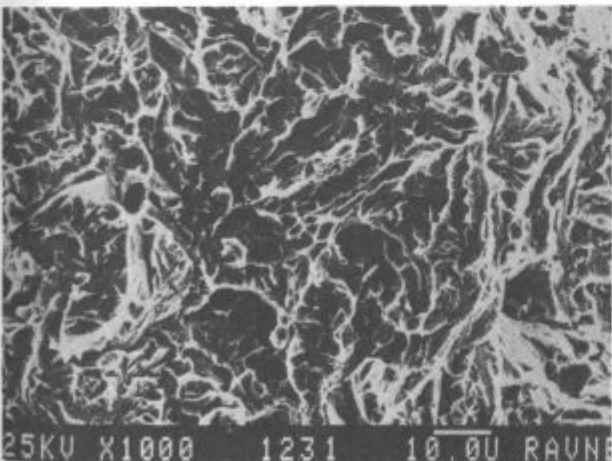
Slika 12:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C olje, popuščano 550° C



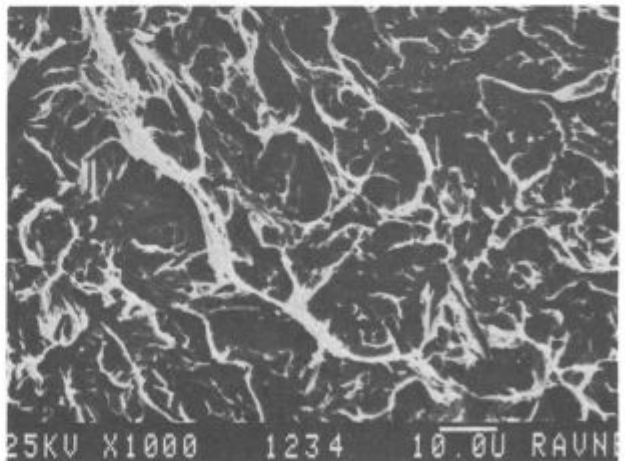
Slika 10:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C olje, popuščano 450



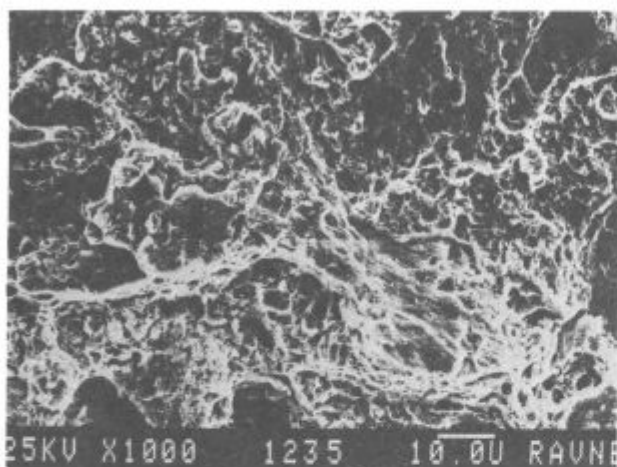
Slika 13:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C olje, popuščano 600° C



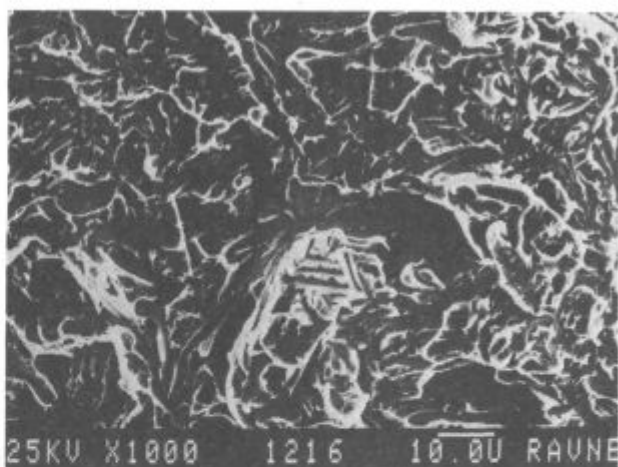
Slika 11:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C olje, popuščano 500° C



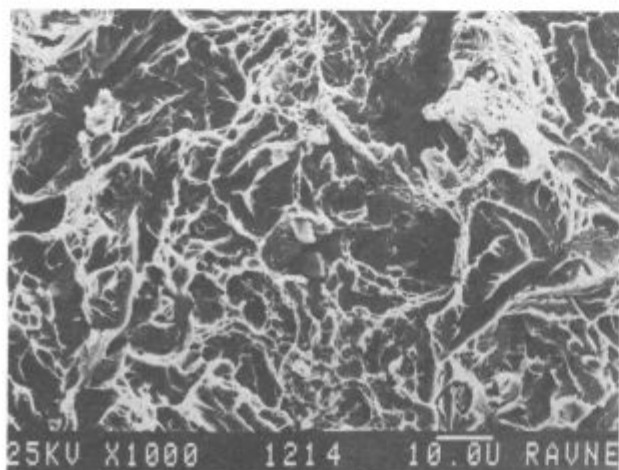
Slika 14:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C olje, popuščano 650° C



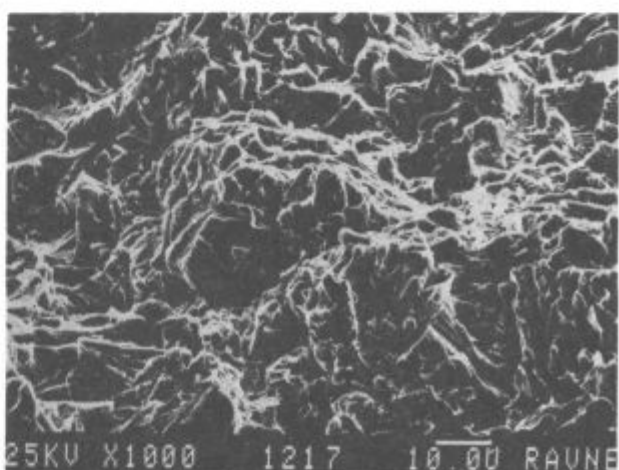
Slika 15:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C olje, popuščano 700° C



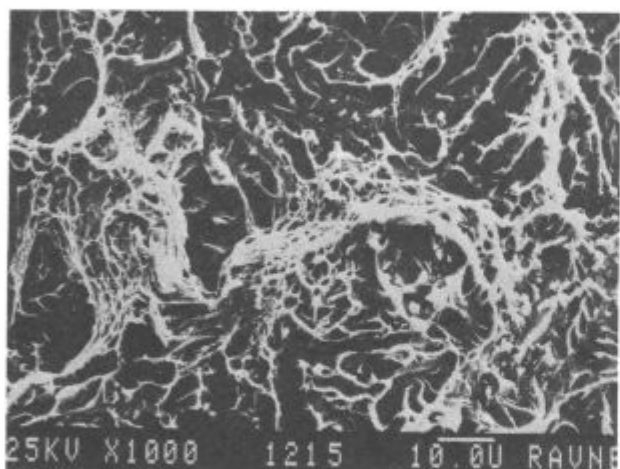
Slika 18:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C v termalno na 520° C, popuščano na 400° C



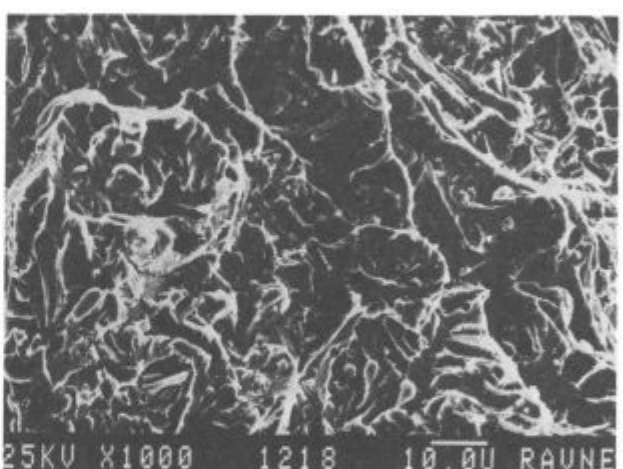
Slika 16:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C v termalno kopel na 520° C



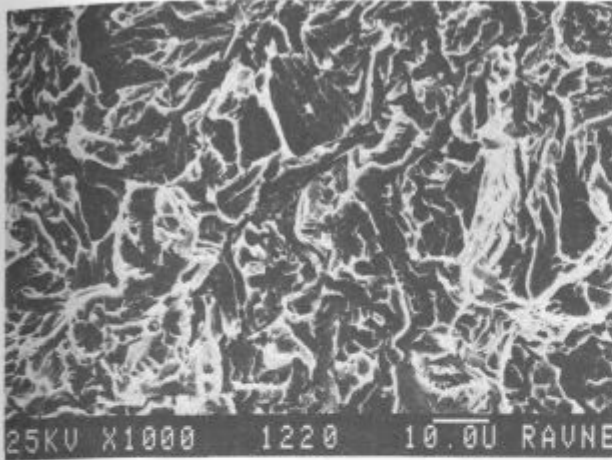
Slika 19:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C v termalno na 520° C, popuščano na 450° C



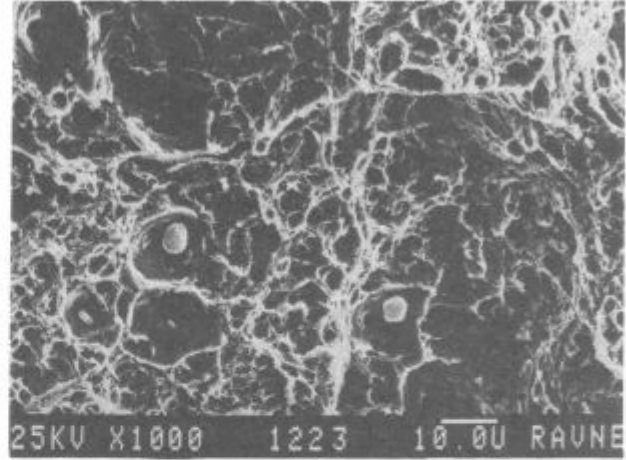
Slika 17:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C v termalno na 520° C, popuščano na 200° C



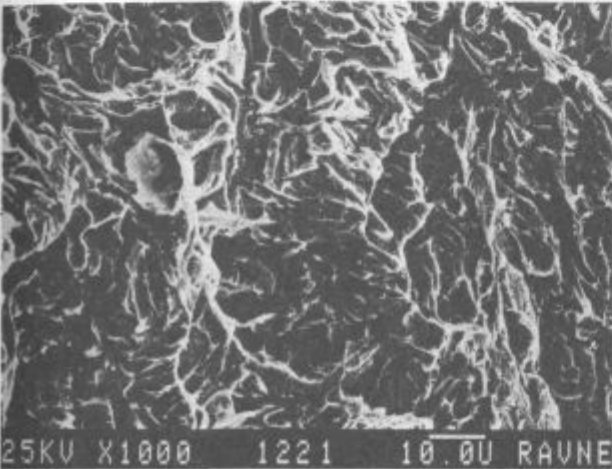
Slika 20:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno
1040° C v termalno na 520° C, popuščano na 500° C



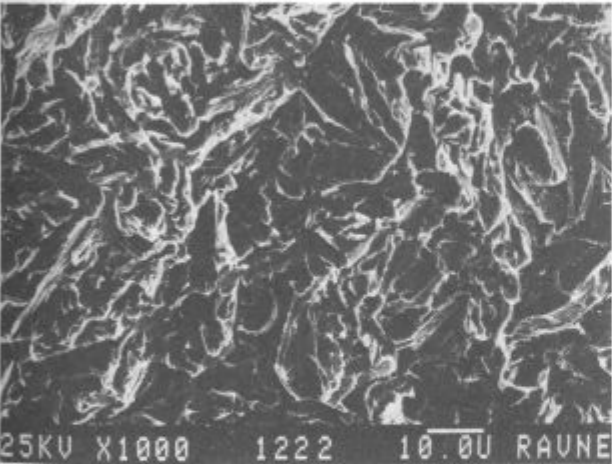
Slika 21:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno 1040° C v termalno na 520° C, popuščano na 550° C



Slika 24:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno 1040° C v termalno na 520° C, popuščano na 700° C



Slika 22:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno 1040° C v termalno na 520° C, popuščano na 600° C



Slika 23:
REM fraktografski posnetek prelomne površine. Kaljeno 1040° C v termalno na 520° C, popuščano na 650° C

Kalilno območje tega jekla je 1010—1050° C v olju ali termalni kopeli. Nad 1060° C nam močno naraste zrno, ki poslabša žilavost, hkrati pa višje kalilne temperature omogočajo boljšo popuščno obstojnost in odpornost proti termičnemu utrujanju, kar pa je zelo važno pri orodjih z večjimi obremenitvami.

Pri kaljenju je izbira kalilnega sredstva odvisna od oblike in kompliciranosti orodja. Za bolj komplicirane oblike izberemo kaljenje v termalni kopeli, kjer zadržujemo orodje določen čas v območju stabilnega avstenita do 430° C; pri tem dobimo več zaostalega avstenita, premene pa potekajo v spodnji bainitni stopnji! Zaradi tega dobimo bistveno manjšo napetost v orodju, manjše deformacije orodij, dobimo pa slabšo žilavost.

Tako kot pri večini jekel, tudi pri jeklu Č 7450 z večjo ohlajevalno hitrostjo dosežemo boljšo žilavost in trdoto, pri tem pa nagnjenost k razpokam in deformacijam raste zaradi večjih napetosti.

Pri popuščanju s padcem tetragonalnosti martenzita raste količina karbidov, vendar so ti tako drobni, da jih z optičnim mikroskopom opazimo šele pri večjih povečavah.

V odvisnosti od temperature kaljenja in hladilnega sredstva je tudi količina zaostalega avstenita, ki razpada po popuščanju pri višjih temperaturah. Pri tem povzroča krhkost, istočasno pa tudi izločanje faz, ki je na mejah zrn očitnejše in povzroča reverzibilno krhkost.

V tabeli 1 je navedena vsebnost zaostalega avstenita $c\gamma$ v % odvisnosti od kalilnega sredstva in temperature popuščanja.

Tabela 1:

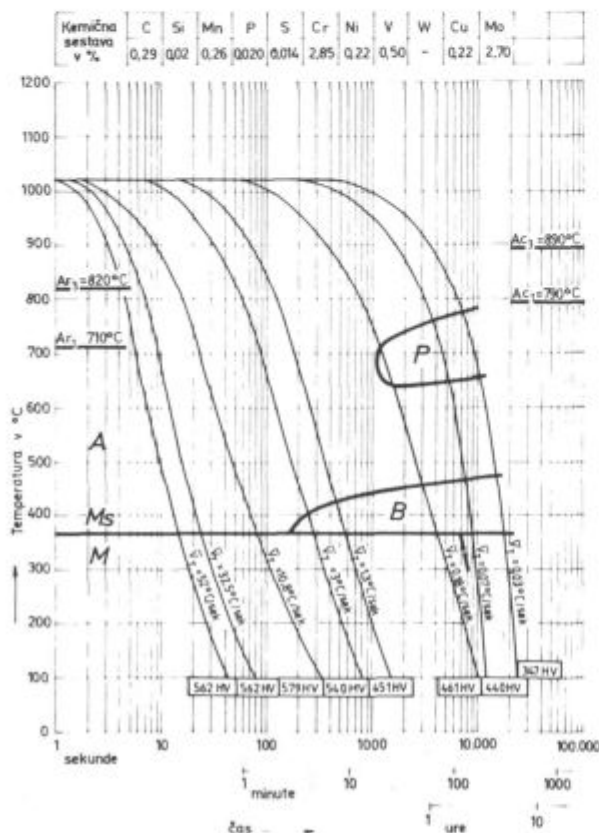
Kaljeno s 1040° C — olje			Kaljeno s 1040° C — termalna		
vzorec	popuščano ° C	$c\gamma$ v %	vzorec	popuščano ° C	$c\gamma$ v %
K	—	4,3	K	—	8,9
1	200	2,7	1	200	6,7
2	400	2,0	2	400	6,7
3	450	1,5	3	450	7,0
4	500	0	4	500	1,4
5	550	0	5	550	0
6	600	0	6	600	0
7	650	0	7	650	0
8	700	0	8	700	0

Premenske točke

Ogrevanje 2,5° C/min. Ohlajevanje 2,5° C/min.
 Ac začetek 790° C Ar začetek 820° C
 Ac konec 890° C Ar konec 710° C
 Ms 360° C

Izdelava TTT diagramov

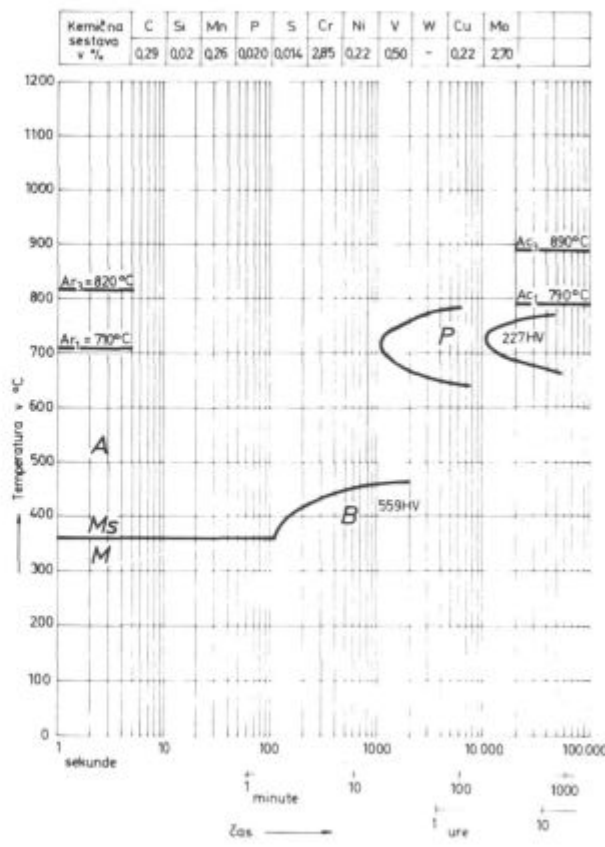
Na sliki 25 je prikazan kontinuirni, na sliki 26 pa izotermni TTT diagram.



Slika 25: Kontinuirni TTT diagram za jeklo Č 7450 — UTOP 33

Zaključek

Namen te publikacije je, da podamo informacijo o dosedanjih raziskavah novega orodnega jekla za delo v vročem Č 7450 — UTOP 33, ki je manjkalo v skupini naših Cr-Mo-V jekel. Priporočamo ga za izdelavo gra-



Slika 26: Izotermni TTT diagram za jeklo Č 7450 — UTOP 33

vurnih vložkov za kovanje pod kladivi in stiskanje pod stiskalnicami, kakor tudi za matrice in trne na horizontalnih kovaških strojih, za kalupe za litje pod pritiskom in utope, za predelavo črnih in barvnih kovin.

Preiskave še niso povsem zaključene, dovoljujejo pa presojo kakovostnih lastnosti tega jekla in področje uporabnosti.

Literatura

1. Pšeničnik J.: Osvajanje jekla UTOPCO2, 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 Železarne Ravne R-7306
3. Pšeničnik J., Dobič Đ.: Orodna jekla za delo v vročem, namenjena za izdelavo orodij za kovaške preoblikovalne stroje