

VPLIV TOPLOTNE OBDELAVE NA MIKROSTRUKTURO IN TRDOTO JEKLA X20CrMoV121

THE INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF X20CrMoV121 STEEL

DANIJELA ANICA SKOBIR, F. VODOPIVEC, B. ARZEN[EK

IMT, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19

Raziskave na ceveh, ki so bile izrezane iz temperaturno najbolj obremenjenega dela v 325 MW parnem kotlu TE [o{tanj, so pokazale, da je v ceveh, premera 40 mm, izdelanih iz jekla vrste X20CrMoV121, deformacijska odpornost pri 100-urni stati-ni obremenitvi pri temperaturi 580°C {tirikrat manj{a na plamenski kot na dimni strani cevi. V tej raziskavi 'elimo opredeliti, ali je vzrok za zelo izrazito spremembo deformacijske sposobnosti v podstrukturi, ki je rezultat preureditve dislokacijske podstrukture, nastale pri toplotni obdelavi cevi, ali pa mogo-e tudi v tem, da na enem delu cevi nastajajo po-asneje izlo-ki obstojnej{ih karbidov molibdena in vanadija.

Klju-ne besede: jeklo, cevi, povi{ana temperatura, lezenje

From the results of researches on the pipes, cuted out of the steam boiler of 325 MW TE [o{tanj, it was established that the deformation resistance, after 100 hours statical load creep at temperature 580°C, was four times lower at the flame side, as at the chimney side. In that research we want to define, if the reason for this distinctive change in deformation abilities is in change of dislocation, submicrostructure, originated at heat treatment of the pipes, or in different conditions of formations molibdenium and vanadium carbides in the steel.

Key words: steel, pipes, elevated temperature, creep

1 UVOD

Jeklene cevi parnih kotlov in drugih termoeenergetskih naprav obratujejo nad takoimenovano kriti-no temperaturo, nad katero se jeklo pri stati-ni obremenitvi po-asi deformira z lezenjem. Zato se pri ugotavljanju mehanskih lastnosti omenjenih cevi uporablja kot pomemben podatek za ugotavljanje odpornosti cevi pri predvideni temperaturi obratovanja kotlov -asovna stati-na trdnost in ne klasi-na napetost te-enja.

Pri dolgotrajnih termomehanskih obremenitvah cevi v termoeenergetskih objektih pri povi{anih temperaturah pride v jeklu do mikrostrukturnih in mehanskih sprememb, zaradi katerih postanejo cevi oslabiljene ali celo netesne. Namen tega dela je, da bi iz metalografskih in mehanskih preiskav, predvsem trdote in lezenja, lahko sklepali o mikrostrukturnih in substrukturnih spremembah ter ugotovili vzrok za veliko razliko odpornosti proti deformaciji pri 100-urnem stati-nem nateznem preizkusu pri temperaturi 580°C, do katere pride na taki cevi.

2 EKSPERIMENTALNI DEL

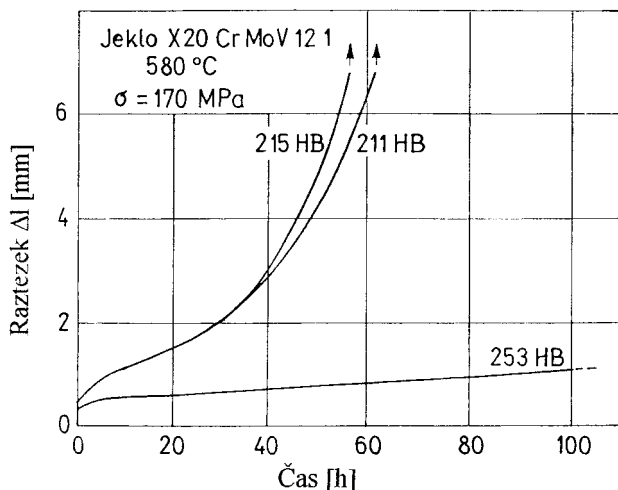
Vse cevi, ki so mehansko in toplotno visoko obremenjene, so izdelane iz legiranih jekel v pobolj{anem stanju. Med dolgotrajnim obratovanjem termoeenergetskih objektov pride v ceveh, izdelanih iz omenjenih jekel, do procesov popu{~anja jekel, lezenja in celo poru{itve. Procesi popu{~anja so zelo po-asni in potekajo pri temperaturi, ki je ni'ja od tiste, pri kateri je bilo jeklo popu{~eno. Pri tem se spreminjajo prvotne

lastnosti cevi od vgraditve dalje. Opisani pojav popu{~ne nestabilnosti jekel se ka'e v razli-nih mikrostrukturnih spremembah, kot npr. v precipitaciji faz, najbolj o-itno pa v spremembi oblike, koagulaciji in razporeditvi karbidnih faz, pa tudi v spremembi sestave nekaterih karbidov, pri ~emer se spreminja osnovna trdnost feritne matice.

Iz rezultatov dosedanjih raziskav jekla cevi, ki so bile narejene po 100-urnih stati-nih obremenitvah pri temperaturi 580°C in obte'bi 170 MPa je bilo ugotovljeno, da je deformacijska odpornost eksploitanega jekla {tirikrat manj{a na plamenski kot na dimni strani cevi. Iz spremembe velikosti in medsebojne oddaljenosti karbidnih izlo-kov je bilo izra-unano, da to ustreza zmanj{anju trdote za pribli'no tretjino (slika 1).

Preiskave so bile narejene na ceveh, ki so bile izrezane iz temperaturno najbolj obremenjenega dela v 325 MW parnem kotlu TE [o{tanj. Cevi so bile premera 40 mm, izdelane pa iz jekla vrste X20CrMoV121, ki vsebuje 0,2% C, 12% Cr, 1% Mo, 0,5% V. Molibden in vanadij se v to jeklo dodajata zato, ker pove-ujeta odpornost proti lezenju, krom pa zato, ker pove-a kaljivost in odpornost proti {kajanju.

Iz dobljenih rezultatov je razvidno, da so razlike v mehanskih lastnostih jekla na dimni in plamenski strani cevi precej velike. Ker mehanske lastnosti cevi kot celote in njeno nadaljnjo uporabnost ocenjujemo glede na najslab{e mehanske lastnosti, torej na lastnosti na plamenski strani, 'elimo v nadaljevanju raziskav ugotoviti vpliv za-etnega stanja toplotne obdelave jekla cevi na njegovo



Slika 1: Razlika v trdoti na plamenski in dimni strani cevi, izmerjena po leženju jekla

Figure 1: Hardness of the steel on the flame and chimney side of the pipe, measured after creep test

deformacijsko odpornost pri delovnih razmerah parnega kotla.

Vpliv toplotne obdelave na deformacijsko odpornost jekla 'elimo tudi pri teh raziskavah ugotavljati s 100-urnimi preizkusi leženja, ki pa bodo izvedeni na različno toplotno obdelanem jeklu iste vrste.

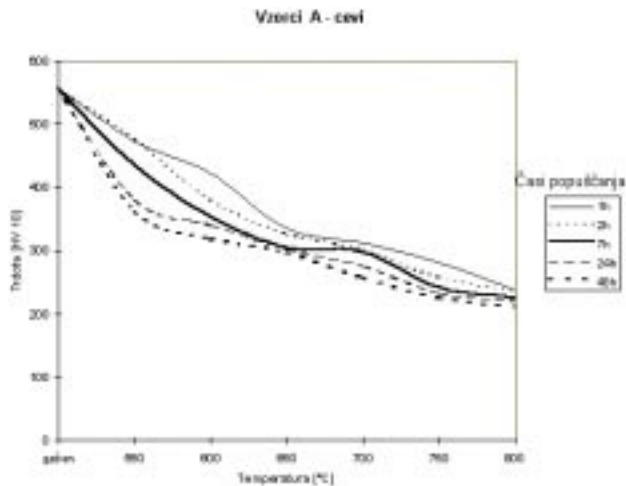
Preiskave smo naredili na vzorcih treh različnih cevi (z oznakami A, B in C). Kemijske sestave jekel cevi so navedene v tabeli 1. Cevi smo najprej ogreli na temperaturo 1040°C, jih zadržali na tej temperaturi 30 minut in nato gasili v vodi. Po gašenju smo vzorce cevi popuščali pri šestih različnih temperaturah (550, 600, 650, 700, 750 in 800°C) in devetih različnih časih (1, 2, 7, 24, 48 ur ter 1, 2, 4 in 8 tednov). Vpliv temperature in časa popuščanja na mikrostrukturne spremembe jekla smo analizirali z vrstnim elektronskim mikroskopom, mehanske lastnosti pa ugotavljali z meritvami trdote po Vickersu (HV10).

Tabela 1: Kemijske sestave jekel preizkušanih cevi
Table 1: Chemical composition of tested pipes

Oznaka vzorca	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%V
A	0,18	0,37	0,49	0,026	0,024	11,5	1,09	0,66	0,29
B	0,19	0,24	0,51	0,009	0,014	11,7	0,96	0,66	0,27
C	0,18	0,36	0,49	0,028	0,024	11,5	1,08	0,66	0,29

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Diagram na sliki 2 prikazuje spreminjanje trdote jekla v odvisnosti od temperature pri različnih časih popuščanja za cev A. Ker so razlike pri drugih dveh preizkušanih ceveh v primerjavi s cevjo A minimalne, vrednosti trdot za toplotno obdelani cevi B in C nismo podali. Prikazane krivulje trdot niso podobne normalnim krivuljam popuščanja jekla, kjer se karbidna faza ohrani



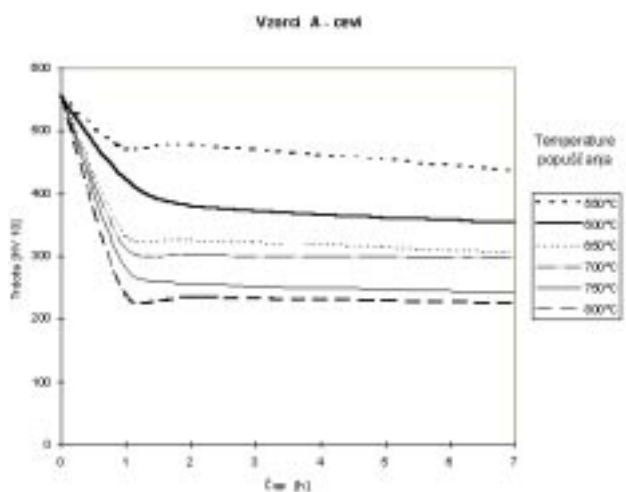
Slika 2: Spreminjanje trdote popuščanja jekla cevi A v odvisnosti od časa in temperature popuščanja

Figure 2: Hardness of the steel (pipe A) in dependence of temperature and annealing time

v obliki cementita, saj bi v tem primeru morale imeti parabolno obliko. Dobljene krivulje trdot kažejo na to, da se procesi mehčanja prepletajo. Predvidevamo, da poteka poleg popuščanja tudi utrjevanje, do katerega pride zaradi tvorbe molibdenovih in vanadijevih karbidov, nitridov, karbonitridov in mogoče tudi intermetalnih faz.

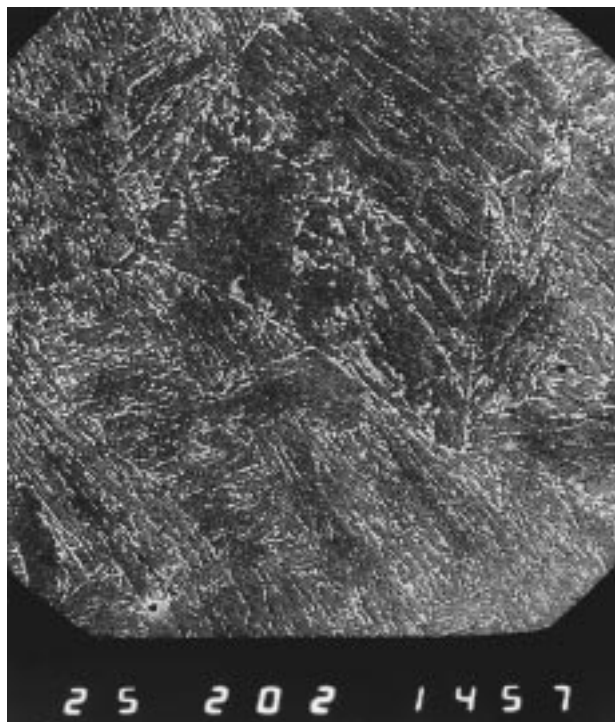
Diagram na sliki 3 prikazuje spreminjanje trdote v odvisnosti od časa pri različnih temperaturah popuščanja (prav tako za cev A), iz katerega je razvidno, da pride do največjega padca trdote še po prvi uri popuščanja, pri daljših časih pa se trdota zmanjšuje le minimalno.

Iz posnetkov vrstnega elektronskega mikroskopa (slika 4) je razvidno, da se mikrostrukture vzorcev, ki sta bila popuščena pri temperaturi 600°C in dveh različnih časih (1 ura in 1 mesec), skoraj ne razlikujeta, saj je po

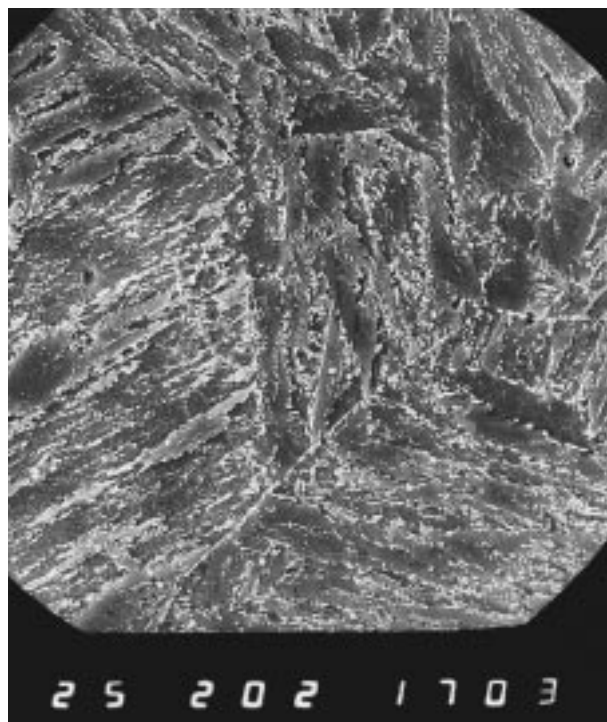


Slika 3: Spreminjanje trdote popuščanja jekla cevi A v odvisnosti od časa in temperature popuščanja

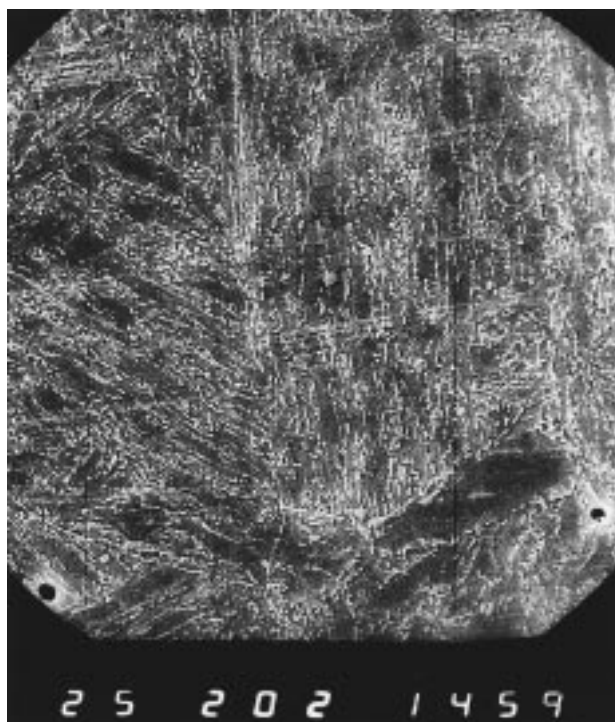
Figure 3: Hardness of the steel (pipe A) in dependence of time and annealing temperature



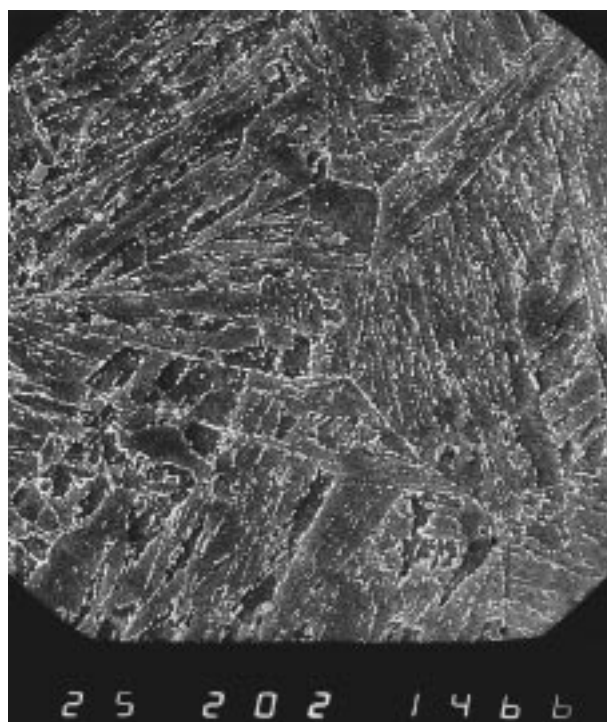
Temp. popu{-anja: 600°C
^as popu{-anja: 1 ura (pov. 2000 x)



Temp. popu{-anja: 600°C
^as popu{-anja: 4 tedne (pov. 2000 x)



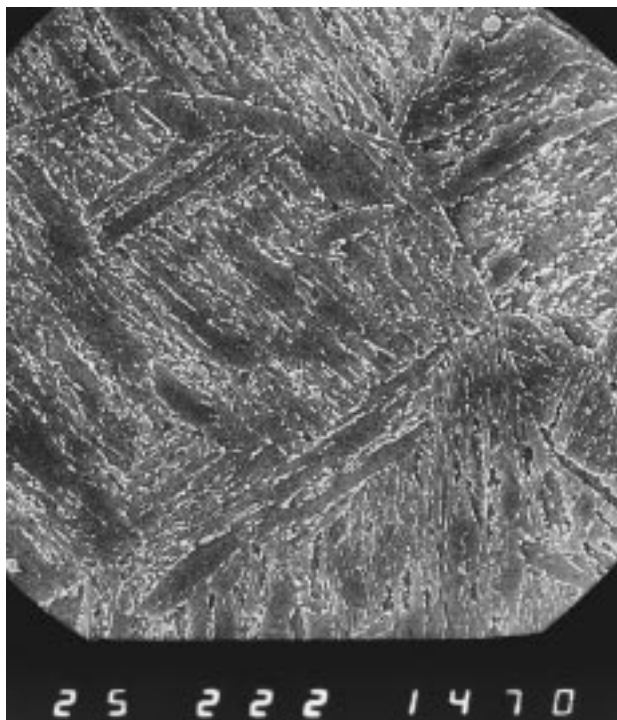
Temp. popu{-anja: 700°C
^as popu{-anja: 1 ura (pov. 2000 x)



Temp. popu{-anja: 700°C
^as popu{-anja: 4 tedne (pov. 2000 x)

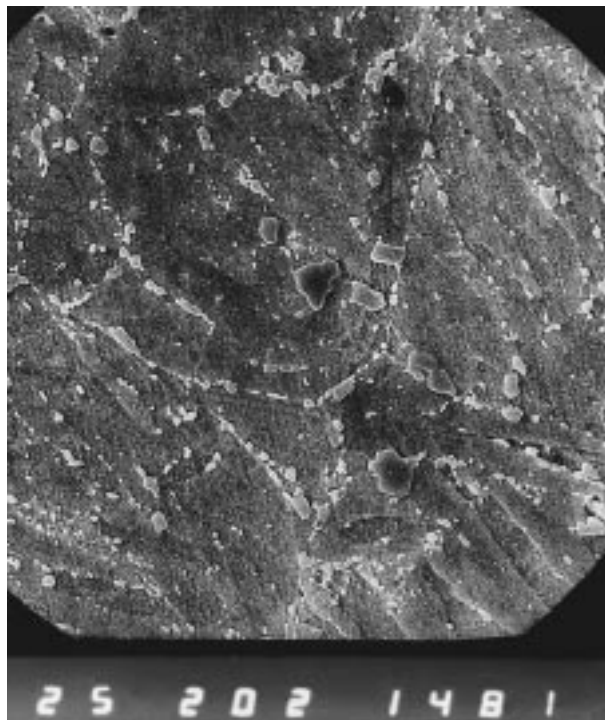
enem mesecu v mikrostrukturi še vedno ohranjen habitus martenzita, velikosti delcev pa se med seboj dosti ne razlikujejo. Enako velja tudi za popu{-anje pri temperaturi 700°C. Druga-e je pri popu{-anju pri temperaturi 800°C, ko je 'e opazna velika razlika, predvsem pri -asu

'arjenja 4 tedne, pri katerem so v mikrostrukturi jekla opazni veliki karbidni delci, ki so nastali s skepljanjem, habitus martenzita pa je komaj še viden. Izlo-anje in rast karbidnih delcev povzro-i zmanj{anje deformacijske odpornosti jekla.



Temp. popu{-anja: 800°C
^as popu{-anja: 1 ura (pov. 2200 x)

Slika 4: REM-posnetki mikrostruktur jekla popu{-enih vzorcev cevi A
Figure 4: REM micrographs of annealed steel of pipe A



Temp. popu{-anja: 800°C
^as popu{-anja: 4 tedne (pov. 2000 x)

4 SKLEP

Mikrostrukturne spremembe, ki vplivajo na degradacijo mehanskih lastnosti jekla parovodnih cevi, se ka'ejo predvsem v ve-ji koagulaciji karbidov v popu{-eni mikrostrukturi jekla. Pri tem pride do izlo-anja precipitatorov in rasti karbidnih zrn, ki je odvisno od stopnje toplotne obremenitve cevi in je ve-je tam, kjer je cev izpostavljena vi{jim temperaturam.

Iz rezultatov preiskav smo ugotovili, da obstajajo korelacije med na-inom popu{-anja (temperatura in ~asom popu{-anja), mikrostrukturo in mehanskimi lastnostmi jekla.

Predstavljeni rezultati so del ob{irnej{ih raziskav, katerih namen je natan-neje opredeliti vpliv toplotne obdelave jekla na njegovo obstojnost pri delovnih razmerah v termoeenergetskih objektih. Cilj raziskave je predpisati na-in toplotne obdelave jekla, pri katerih bo le-to po vgradnji v termoeenergetske objekte odporno proti mikro-

strukturnim spremembam in lezenju, kar zni'uje trajnost jekla in s tem tudi termoeenergetskega objekta.

5 LITERATURA

- ¹ J. @vokelj, F. Vodopivec, D. Kmeti-: Vpliv termi-ne obdelave cevi iz jekla X20CrMoV121 na dobo trajanja v uporabi, *Poro-ila MIL*, 1987, {t. 87-023
- ² J. @vokelj, D. Kmeti-, F. Vodopivec: Mikrostrukturne zna-ilnosti pri termi-ni obdelavi jekla X20CrMoV121, *40. posvet o metalurgiji in kovinskih gradivih*, Portoro', oktober 1989, zbornik str. 285
- ³ DIN 17175 Nahtlose Rhore aus warmfesten Stählen, 1979
- ⁴ G. Eggeler, N. Nilsvang, B. Ilchner: Microstructural changes in a 12% chromium steel during creep, *Materials technology*, (1987) 97-103
- ⁵ H. D. Kim, S. Kim: Effect of Austenitizing Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of 12% Cr Steel, *ISIJ*, (1994) 198-204
- ⁶ D. Kmeti-, B. Arzen{ek, F. Vodopivec: Preiskave cevi pregrevalnika po dolgotrajnem obratovanju, *Sanacija termoeenergetskih objektov*, Roga{ka Slatina 1997, Izvle-ki, 60