

## **ZAVARIVANJE, TERMIČKA OBRADA I KONTROLNI POSTUPCI KOD PROJEKATA OBNOVE KOTLOVSKIH KOMPONENTA**

### **VARJENJE, TOPLOTNE OBDELAVE IN KONTROLNI POSTOPKI PRI PROJEKTIH OBNOVE KOTLOVSKIH KOMPONENT**

**Franc PUNČUH<sup>1</sup>, Slobodan MRKONJIČ<sup>1</sup>, Marko VONČINA<sup>2</sup>**

**Ključne riječi:** zavarivanje, kotač u termoelektrani, pregrijač pare, termička obrada, kontrolni postupci, mjerjenje tvrdoć

**Ključne besede:** varjenje, kotel v termoelektrani, pregralnik pare, topotna obdelava, kontrolni postopki, meritve tvrdoče

**Sažetak:** Članak prikazuje praktički primjer izvođenja projekata produživanja roka trajanja visokotlačnih komponenata i s tim povezanih cjevarskih, zavarivačkih radova i kontrolnih aktivnosti kod zamjene konačnog pregrijača u termoenergetskom postrojenju. Opisane su kontrolne aktivnosti koje osiguravaju uspješnu izvedbu zavarivanja i termičke obrade varova. Prikazana su neka iskustva sa područja mjerjenja tvrdoće kao kontrolna metoda odgovarajućeg zavarivanja i termičke obrade legiranih vatrootpornih kotlovnih materijala.

**Povzetek:** Članek prikazuje praktični primer izvedbe projekta za podaljšanje preostale življenske dobe visokotlačnih komponent v termoenergetskem postrojenju. Opisane so kontrolne aktivnosti, ki zagotavljajo uspešno izvedbo projekta. Prikazane so nekatere izkušnje iz meritev trdote, kot kontrolne metode ustreznosti varjenje in toplotne obdelave legiranih ognjeodpornih kotlovnih materialov.

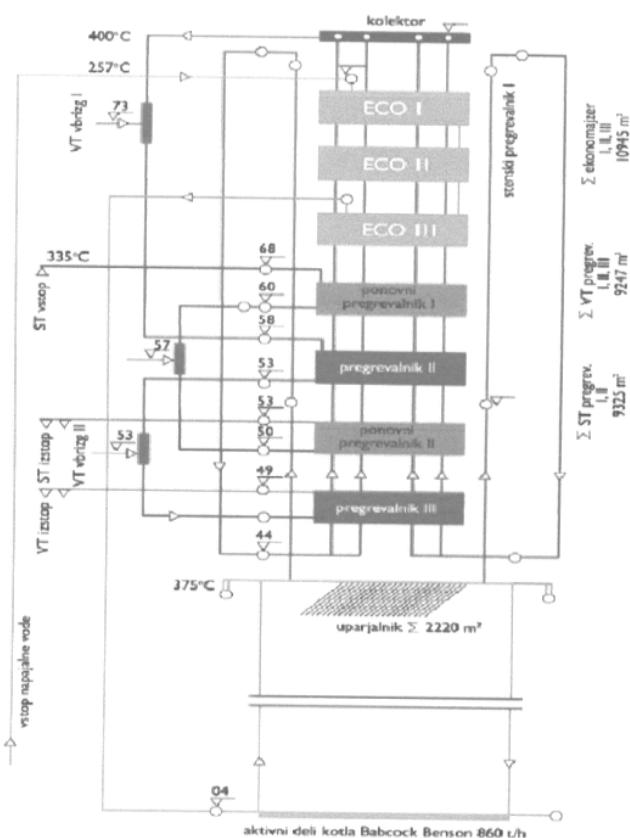
<sup>1</sup> ESOTECH d.d., company for research and implementation of projects, Velenje, Slovenia, [www.esotech.si](http://www.esotech.si), franc.puncuh@esotech.si, slobodan.mrkonjic@esotech.si

<sup>2</sup> IMK d.o.o., Institute of Metal Construction, Ljubljana, Slovenia, [www.imk.si](http://www.imk.si), marko.voncina@imk.si

## 1. UVOD

V Termoelektrarni Šoštanj so letos po več kot trideset letih obratovanja, celoviteje pristopili k obnovi bloka 4, moči 275 MW.

Glavni segmenti zamenjave so bili RB parovod z zamenjavo izstopnih kolektorjev ponovno pregrete pare PP2-I in zamenjava končnega pregrevalnika P3.



Slika 1: Shematski prikaz kotla bloka 4

## 2. KONČNI PREGREVALNIK P3 IN OBSEG DEL

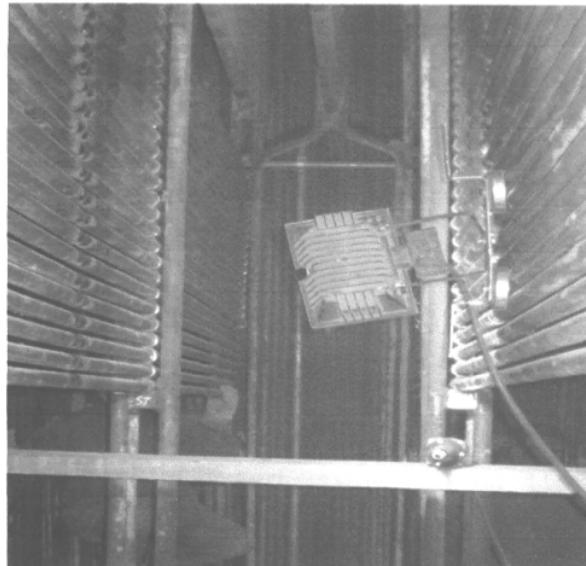
Končni pregrevalnik P3 je gledano po višini nameščen na lokaciji približno med 45. in 49. metrom in leži nad zgorevalnim delom kotla, v območju najvišjih temperatur. Je najnižje nameščeni pregrevalnik. Prenos toplote med vročimi dimnimi plini in steno pregrevalnika poteka s sevanjem. Končni parametri suhe pare, ki jo preko parovoda vodijo na visokotlačni del turbine so:

-izstopna temperatura 540 °C,

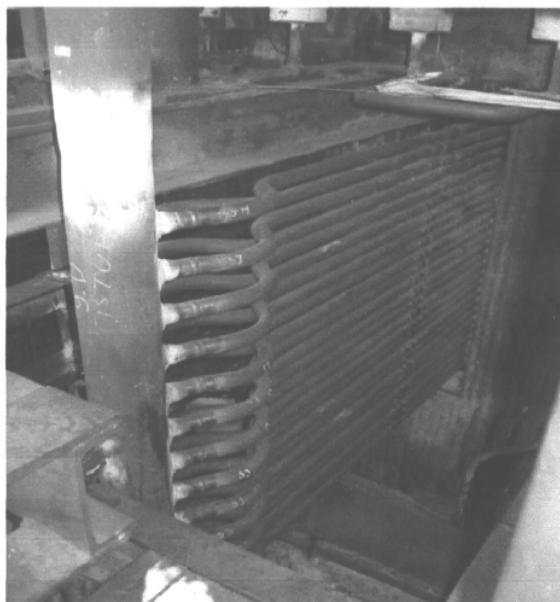
-tlak 185 bar,

-masni pretok približno 240 kg/s.

Sestavljen je iz 21 cevnih vrst, vsako cevno vrsto sestavlja 26 cevnih lokov, skupna masa vgrajenih cevi pregrevalnika je okrog 70 ton, oziroma okrog 14 km cevi in približno 12.000 zvarov različnih oblik.



Slika 2: Med cevnimi vrstami v kotlu



Slika 3: Priklučne cevi na vertikalne kolektorje zunaj kotla

**Obseg del:**

-štirideset obstoječih kolektorjev, ( zstopni kolektorji iz materiala X20CrMOV121) je bilo potrebno odrezati, odstraniti stare cevne nastavke, na NC rezkalnem stroju pripraviti ponovno zvarne robeve in priključna mesta, navariti čez 1000 cevnih nastavkov in vse kolektorje montirati nazaj, kompletno z vso izolacijo,

- zamenjati približno 55 ton cevi, kar znaša približno 14 km cevi, 21 cevnih vrst (zaves) enotnega zunanjega premera  $\phi$  38 mm, premer debelin sten je različen od 5, 6.3, 7.1 do 8 mm, material cevi 10CrMo910 in P91, kar predstavlja skoraj 4000 zvarov.
- zamenjati vse štirih poškodovane vogale kotla, na mestu kjer se kotel zoža, -odpreti in ponovno zapreti membranske stene, za izvajanje del v lijaku kotla.

Zahtevnost del projekta je v specifičnih okoliščinah, ki se v primerjavi s klasičnimi cevarsko varilskimi deli, izraža:

- v zelo omejenih položajih, veliki gostoti cevi, v (ne)dostopnosti do vogalov, v (ne)dostopnosti z gorilnikom TIG in ostalo opremo,
- v oteženi dostopnosti samega telesa ali okončin, lege so večkrat izrazito prisiljene, vidnost je omejena...,
- v pričakovani nadpovprečni spremnosti, ki se zahteva od cevarjev, da iz mnogokrat neustreznih geometrijskih in oblikovnih razmer (različne debeline, oblike, ovalnost, deformiranost obstoječe linije, zvitost, zgorelost, poškodovanost, razpokanost...) pripravijo kakovosten spoj za pričetek varjenja,
- v mejah projekta staro/novo, saj se pojavlja deformiranost od prvotnih oblik, materiali že nakazujejo strukturne spremembe, imajo različno magnetnost,
- v lastni magnetnosti feritno martenzitnih materialov, na katere vpliva samo postrojenje, mehanske obdelave, tehnološki postopek...,
- v legiranosti materialov, s Cr, Mo, V, Al ...ter v doseganju zahtevanih struktur (popuščeni martenzit, sorbit ...), kar zahteva popolno tehnološko disciplino,
- v oteženih delovnih razmerah, ki s predgrevanjem pred varenjem, (z uporavnimi grelniki ali plamensko), z velikimi količinami zaščitnih in formirnih plinov, z visokimi temperaturami (tudi preko 400°C med varjenjem, ob zunanjih sončnih prikepi) obremenjujejo delavčeve telo
- v kratkih razpoložljivih rokih, ki se NE SMEJO PREKORAČITI, od zaustavitve do tlačnega preskaza je bilo na razpolago samo 54 koledarskih dni.

Seveda so demontažna in montažna dela, sortiranje in pravilno razvrščanje na desettisoče sestavnih delov, transporti na kotel, vnos in iznos iz kotla logistično zahtevni, pa vendarle si v nadaljevanju poglejmo podrobnejše VARILSKA DELA.

### 3. OBVLADOVANJE VARILSKIH DEL

Predstavljen je ciklus aktivnosti, izvedenem pri zvarih na izstopnih kolektorjih iz materiala X20CrMoV121, ki so zaradi predhodno ugotovljenih primernih struktur (jemanje replik) bili na projektu ponovno uporabljeni

Potek del si sledi v treh fazah:

- A. PRIPRAVA ZVARNEGA MESTA
- B. TEHNOLOŠKI POSTOPEK VARJENJA in TOPLITNE OBDELAVE
- C. KONTROLNI POSTOPKI

Navedene so minimalni obseg aktivnosti, ki jih izvede montažna ekipa, pod nadzorom varilnega nadzora.

A. PRIPRAVA ZVARNEGA MESTA



Slika 4: Priprava zvarnega mesta na vertikalnemu kolektoru



Slika 5: Priprava zvarnega mesta na membranski steni s pnevmatisko napravo

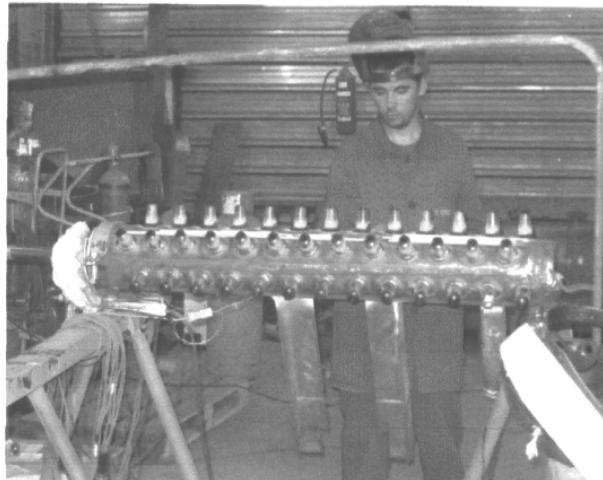
Kontrolne aktivnosti pri pripravi zvarnega mesta :

- določitev kriterija sprejemljivosti, razreda (EN 25 817 - razred B),
- dnevni pregled varilne in žarilne opreme,
- penetrantska kontrola zvarnih robov pred varjenjem na brušenih robovih,
- pregled pravilne označitve zvara, vključno s pregledom certifikata varilca in identifikacijo varilca,
- dimenzionalna kontrola priprave zvarnih robov in varilne špranje, kontrola spenjanja s spenjalnimi čepi v žlebu iz materiala enake kvalitete kot je osnovni material (obvezno predgrevanje na 280°C),
- kontrola centričnosti cevi, maksimalna zamaknitev robov 0.5 mm, merjenje z merilnikom zamika zavarov, zapis meritev v štirih točkah po obsegu,
- pregled očiščenosti zvarnega spoja v coni minimalno 50 mm od zvamega robu, očiščeno do kovinskega sijaja,
- kontrola pravilne temperature predgrevanja 250°C - 280°C za korenski varek,
- kontrola zaščite pred vetrom,
- kontrola prisotnosti O<sub>2</sub>, kontrola z OKSIMETROM, tip PBI DANSENON, SG-3,



Slika 6: OKSIMETER, tip PBI DANSENON, SG-3

- kontrola pravilnega dodajnega materiala, sledljivost po šaržnih oznakah, priprava (sušenje) elektrod
- kontrola pripravljenosti žarilne tehnologije (plan toplotne obdelave, grelniki, razporeditev termoelementov, sledljivost po kanalih, kontrola moči grelnikov v primerjavi z napajalnim transformatorjem (npr.  $P_{\max, \text{transf.}} = 16 \text{ kW}$ )



Slika 7: Varjenje cevnih nastavkov, grelniki so vstavljeni z notranje strani kolektorske cevi

## 2. TEHNOLOŠKI POSTOPEK VARJENJA in TOPLITNE OBDELAVE

Z vžigom TIG gorilnika varilec in varilni nadzor prevzame odgovornost za kakovost spoja od cevarske ekipe in tekom procesa nadzira:

- temperaturo predgrevanja,
- odstranitev vseh spenjalnih varkov z brušenjem,
- kontrola varilnih parametrov po varilnem planu,
- kontrola pravilnega brušenja in čistoče med varki,
- kontrola medvarkovne temperature, zvarno mesto mora biti v fazi varjenja korena predgreto v temperaturnem področju od 250°C - 280°C, pri varjenju polnilnih varkov pa v temperaturnem področju med 380 do 450°C,
- kontrola omejenega nihanja; maksimalna širina varka lahko znaša  $3 \times d_{el}$ ,
- nadzor nad vnosom topote; maksimalno dopustno 20 kJ/cm,
- kontrola korenskega varka, vizuelno skozi varilno špranjo v fazi varjenja korenskega varka, pred zaključkom korena,
- kontrola registratorja na žarilni napravi s kalibriranim digitalnim kontaktnim termometrom, oziroma kalibriranim temperaturnim preskuševalcem.

Postopek toplotne obdelave, ki se prične že v fazi PRIPRAVE ZVARNEGA MESTA:

1. Segrevanje do temperature predgrevanja za varjenje korenskega varka  $250^{\circ}\text{C} - 280^{\circ}\text{C}$  z elektrouporovno žarilno napravo; dopustna hitrost segrevanja  $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ .
2. Varjenje korenskega varka  $T_p = 250^{\circ}\text{C} - 280^{\circ}\text{C}$  (min 2 x TIG).
3. Dvig temperature  $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$  na temperaturo predgrevanja za REO varjenje.
4. Varjenje REO,  $T_p = 380^{\circ}\text{C} - 450^{\circ}\text{C}$ , medvarkovna temperatura je  $380^{\circ}\text{C}$ .
- 4a Preklop grelnikov.
5. Spust temperature na temperaturo martenzacije  $T_s = 120^{\circ}\text{C}/\text{h}$ .
6. Martenzacija  $120^{\circ}\text{C}$ , 2 uri.
7. Segrevanje zvarnega spoja do temperature žarjenja z avtomatsko uporovno žarilno napravo. Hitrost segrevanja  $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ .
8. Žarjenja na temperaturi  $760^{\circ}\text{C}$ , odstopanje  $+/-10^{\circ}\text{C}/\text{h}$ , čas žarjenja je 120 minut.
9. Spuščanje temperature  $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ , kontrolirano, do temperature okolice

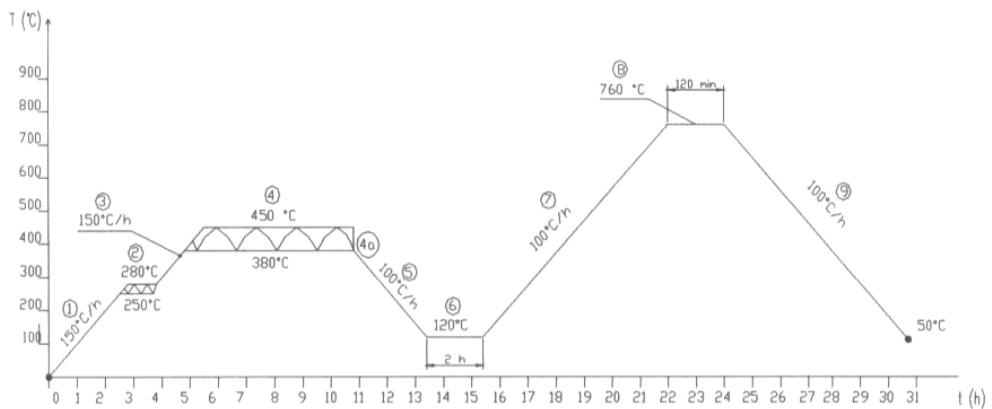


Diagram 1: Prikaz ciklusa topotne obdelave na izstopnih kolektorjih

### 3. KONTROLNI POSTOPKI

Naveden je minimalni obseg kontrolnih aktivnosti, ki jih izvaja kontrola varjenja:

- vizuelni pregled zvarnega spoja po varjenju,
- kontrola pravilnega brušenja po varjenju,
- vodenje varilnih dnevnikov,
- vodenje dnevnikov topotne obdelave in izpisov po diagramu, sledljivost po kanalih in lokacijah termoelementa,
- izvedba neporušnih kontrol NDT:
  - radiografska kontrola,
  - ultrazvočna,
  - magnetna
  - meritve trdote

### 4. MERITVE TRDOTE

Meritve trdote so bile izvedene s prenosnim merilnikom trdote EQUITIP PROCEQ, sonda tipa D.

Hitra in enostavna kontrolna metoda, ki je posredno kriterij uspešnega celotnega procesa, je gledano na absolutno izmerjene vrednosti sporna zaradi:

- fizične izvede metode meritve, ki je izvedena na osnovi odboja in ne geometrije vtisa, s čimer so definirane vrednosti Brinela, Vikersa, Rockwela...,
- vpliva priprave merilne točke,
- subjektivni vpliv kontrolorja.

V tabeli 1 so prikazani podatki o materialih, ki so se uporabljali na projektu ZAMENJAVE PONOVNEGA PREGREVALNIKA P3

Osnovni material	R <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	HB <sub>osnovni material</sub>	HB <sub>var</sub>
13CrMo44	430 ±550	125 ±125	170 ±250
10CrMoV910	440 ±590	145 ±190	190 ±255
X10CrMoVNb 9-1	585 ±850	180 ±255	240 ±340
X20CrMoV121	690 ±830	205 ±250	275 ±330

V atestih varilnih postopkov so bile izmerjene meritve v navednih mejah.

Z izvajalcem NDT kontrol IMK Ljubljana smo izvedli primerjalno analizo med izmerjenimi preskušanci na gradbišču, epruvete dolžine 150 mm, vpete v močnejši ključavničarski primež in meritvami, ki so jih na isti coni (približno  $2 \text{ cm}^2$ ) in klasičnimi laboratorijskimi meritvami trdote.

Meritve kažejo na razliko, ki se manjša z večanjem debeline stene. Pri manjših debelinah stene izmerjene vrednosti trdote na mestu vgradnje ne moremo jemati absolutno.

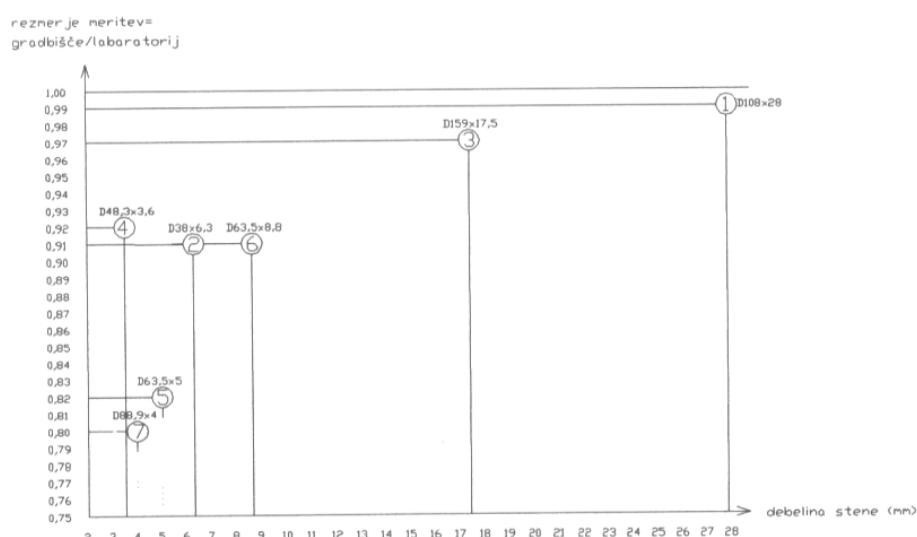


Diagram 2: Primerjave izmerjenih vrednosti trdot v gradbiščnih in laboratorijskih razmerah

Izmerjene vrednosti trdote so kljub navedeni pomanjkljivosti zanesljiv kriterij kakovosti in tehnološke discipline. Predvsem je uporabno razmerje med trdoto zvara in obeh osnovnih materialov, ki naj ne bo večje od ene tretjine, seveda pa ne sme biti zajeta toplotno vplivana cona kot mesto meritve osnovnega materiala.

V primeru odstopanj, se izvedejo korektivni ukrepi:

- pri višje izmerjenih vrednostih ali razmerij ponovna toplotna obdelava,
- v mejah stari/novi materiali pregledati sprejemljivost nižjega kriterija ki dopušča 99 HB razlike,
- v mejnih ali dvomljivih primerih ponovna priprava merilnega mesta (poliranje) in ponovitev meritve,
- izrez zvara, glede na situacijo potreba po vstavljanju segmenta cevi v celotni strukturno vplivani coni .

Pred dvema letoma smo izvedli tudi preskušanje, ki je dokazalo, da se napake pri predgrevanju materiala iz pripravljalne faze in napake pri sestavi varka (preveč nihanja, prevelik vnos toplote) odražajo na končnih izmerjenih vrednostih trdote.

## 5. ZAKLJUČEK

Sledljivost zapisov poročil, tudi po več kot pet let, kar so običajne zahteve standardov, lahko ob dvomljivih mejnih odločitvah pomagajo kontrolorjem in nadzoru pri končnih odločitvah o sprejemljivosti.

Predvsem na mejah komponent (staro in novo) rezanja in ponovna varilska ter topotna obdelava včasih niso optimalna rešitev.

Tehnološka disciplina, sledljivost sta ob teamskem delu in potreben izkušenosti cevarjev, varilcev, žarilcev, tehnologov, kontrolorjev postredno tudi vodilnih delavcev osnovni pogoj za kakovostno izvedbo remontnih posegov v termoenergetskih sistemih.

### Literatura:

- Marko VONČINA : NAVODILA ZA IZVAJANJE MERITEV TRDOT NA TERENU
- D.Kmetič, Doc.dr.Jelene Vojvodič Tuma, Prof.Dr.F.Vodopivec članak u reviji VGB PowerTech 6/2001:, Institut of Metals and Technology, Ljubljana: Investigation of Tube Fittings on Steam Headers of Steel X20CrMoV12 1
- atest postopka na materialu 10CrMo 910:
  - br. 24062.33
- atest postopka na materialu X20CrMoV121 i kombinaciji
  - br. 23511.2
  - br. 23511.1
  - br. 2465/03
- atest postopka na materialu X10CrMoVNb 9.1 i kombinaciji
  - br. 474/2002
  - br. 596/2002
  - br. 25185.100
  - br. 25185.101
  - br. 25185.102