

Antun Fertilio, Tihomir Janković¹

Ilija Kovačević²

Dušan Salamić³

SANACIJA OŠTEĆENJA U CILJU OBNAVLJANJA INTEGRITETA REAKTORA I PRODUŽETKA VEKA EKSPLOATACIJE

REACTOR DAMAGE OVERHAUL IN THE COURSE OF INTEGRITY RESTORING AND SERVICE LIFE EXTENSION

Stručni rad / Professional paper

UDK /UDC: 621.791:66.023.23

Rad primljen / Paper received: 20.6.2004.

Adresa autora / Author's address:

¹⁾ Metalenergomontaža, Beograd / Belgrade

²⁾ Proing, Beograd / Belgrade

³⁾ Rafinerija Nafte, Novi Sad / Oil Refinery, Novi Sad

Ključne reči

- sanacija oštećenja
- reparaturno zavarivanje
- ispitivanje bez razaranja
- defektaža

Izvod

U radu je opisana procedura defektaže, sanacije oštećenja i ispitivanja pre, u toku i nakon uspešno izvršene sanacije oštećenja (kratera i probaja) na plaštu reaktora za hidrofinišing.

Izvršenom sanacijom oštećenja, zavarivanjem kratera sa spoljašnje strane, navarivanjem oštećenog kladdinga sa unutrašnje strane i ugradnjom priključka na mestu probaja, ostvaren je integritet reaktora R-50201 i time je produžen njegov vek eksplotacije.

UVOD

Za vreme bombardovanja NIS-Rafinerije nafte Novi Sad 1999. godine od gelera je oštećen deo plašta sa spoljašnje strane reaktora R-50201.

Pronađena su oštećenja u vidu kratera, različitih veličina i dubina, a na jednom mestu proboj nepravilnog kružnog oblika, koji je privremeno zatvoren sa spoljašnje strane zavarivanjem ploče veličine 220×120 mm.

Za start pogona reaktor se morao sanirati i dovesti u tehnički ispravno stanje za pouzdanu i bezbednu eksplotaciju u projektovanim uslovima rada. Za dovodenje reaktora u funkcionalno stanje predložene su i razmotrene dve varijante.

Prva varijanta, isecanje zone plašta sa oštećenjima, zahtevala je nabavku kladiranog lima, ASTM A 204 Gr B, debeljine 46 mm i ASTM A 264 Type 321, debeljine 3 mm, savijenog na spoljašnji poluprečnik od 1000 mm i razvijenih dimenzija 4000×1500 mm.

Bilo je teško da se nađe takav kladirani lim, jer se on ne drži na skladištu. Pojedinačna izrada je jako skupa (preko 10 000 EUR), a rok isporuke je veoma dug.

Ova varijanta sanacije na licu mesta bi bila teško izvodljiva i rizična. Ona zahteva dizalicu i vrlo precizno podešavanje. Sanacija u radioničkim uslovima zahteva demontažu reaktora i ponovnu montažu, a time duže vreme i veće troškove.

Keywords

- damage overhaul
- repair welding
- non-destructive testing
- defects inspection

Abstract

The paper describes defect treatment procedure, damage overhaul and tests, performed before, during, and after the successful overhaul (of craters and perforation) on the skin structure of the hydro-finishing reactor.

Overhaul performed by welding the craters on the outside, deposit welding damaged cladding on the inside, and installing a connector on the perforation, has all gone in favour of restoring the integrity of the reactor R-50201 and extending its service life.

INTRODUCTION

The NIS-Oil Refinery in Novi Sad was targeted during the NATO bombing campaign in 1999. Reactor R-50201 sustained damage partially on its outer skin structure.

Numerous damage locations were registered, in the form of craters of different sizes and depths, and a round perforation at a particular location that was sealed by welding a 220×120 mm plate on the exterior.

In order to restart its service, the reactor had to be overhauled and brought back into technical functionality for reliable and safe service as previously designed. Two variants were suggested and reviewed for restoring reactor functionality.

The first variant, cutting out damaged skin zone, required purchasing cladded sheets of ASTM A 204 Gr B, 46 mm thick, and ASTM A 264 Type 321, 3 mm thick, folded to an outer radius of 1000 mm, and 4000×1500 mm when unfolded.

Replacing turned out to be difficult as cladded sheets are not stored, and manufacturing single sheets is very expensive (over 10 000 EUR) with late delivery schedules.

This in-situ overhaul variant is very difficult and risky. It would require cranes and high fitting accuracy. Overhaul in workshop conditions requires dismembering and re-assembly of the reactor, thus increasing the time and cost.

Druga varijanta, sanacija zavarivanjem kratera sa spoljašnje strane, a na mestu proboga ugrađivanje priključka, kao i sanacija kladiranog sloja sa unutrašnje strane, imala je prednost u odnosu na prvu varijantu.

Nakon razmatranja navedenih varijanti i mogućih podvarijanti odlučeno je da se sanacija izvede ugradnjom priključka na mestu proboga, zavarivanjem kratera sa spoljašnje strane i navarivanjem kladdinga sa unutrašnje strane.

Za glavnog izvođača je odabrana *Metalenergomontaža* – Beograd, sa podizvođačima: *Proing*–Beograd, (projektno-tehnička dokumentacija); *Zavod za zavarivanje*–Beograd, (kontrola i ispitivanje bez razaranja); i *Certlab*–Pančevo (merenje zaostalih napona, deformacija, naprezanja i akustične emisije pri ispitivanju pritiskom).

Elaborat o defektaži sa spoljašnje i unutrašnje strane reaktora R-50201 (MEM: Broj 194-10, Rev. 1, od 16.07. 2003. god.), nakon uvodnog razmatranja daje:

- Program defektaže sa spoljašnje i unutrašnje strane.
- Pripremu za defektažu.
- Rezultate kontrole i ispitivanja pre sanacije oštećenja.
- Analizu kontrole i ispitivanja.
- Zaključke i preporuke.

Pregledom dokumentacije proizvođača i Isprave posude pod pritiskom, a na osnovu zahteva standarda JUS M.E2. 153 – Zbirka isprava, konstatovano je da nedostaju sledeći delovi atestno-tehničke dokumentacije:

- Tehnički opis posude.
- Vrsta i klasa posude (JUS M.E2.150/84, JUS M.E2.151/84).
- Podaci o ventilima sigurnosti i osnovnoj armaturi, kao i isprave o njihovom kvalitetu.
- Osnovni podaci o ugrađenim uređajima za signalizaciju, upravljanje i automatsku zaštitu.
- Uputstva neophodna za pravilnu upotrebu i održavanje.

Nedostajući kontrolni proračun čvrstoće prema Pravilniku o tehničkim normativima za stabilne posude pod pritiskom i standardima JUS M.E2... – Posude pod pritiskom treba uraditi za saniranu posudu.

Prema dokumentaciji plašt reaktora je izrađen od kladiranog valjanjem lima (*cladded by rolling*) kvaliteta:

- ASTM A 204 Gr.B, debljine 46 mm (spolja), i
- ASTM A 264 Type 321, debljine 3 mm (unutra).

Reaktor je zapremine 43 269 litara i mase 48 tona, izrađen je 1978. godine, proizvodač *Klöckner Werke AG Osnabrück*

Projektovani uslovi rada su pritisak $p_r = 55,9$ bar i temperatura $t_r = 370^\circ\text{C}$, a ispitni pritisak je $p_i = 83,85$ bar.

DEFEKTAŽA SA SPOLJAŠNJE I UNUTRAŠNJE STRANE REAKTORA R-50201

Postavljanjem skele sa spoljašnje strane (sl. 1) omogućen je pregled i priprema oštećene zone za ispitivanje metodama bez razaranja u cilju defektaže i uvid u stanje.

Cilj defektaže sa spoljašnje i unutrašnje strane reaktora je bio da se identifikuju oštećena mesta i da se ispitivanjem bez razaranja otkriju sve nedopustive greške i oštećenja. To je bilo potrebno da bi se propisao način njihovog uklanjanja, utvrdio postupak sanacije zavarivanjem i projektom definiše sanacija na mestu proboga.

Program defektaže sa spoljašnje i unutrašnje strane reaktora uključuje sledeće faze:

The second overhaul variant consisted of welding craters on the outside, attaching a connector at the perforation, and repairing the cladded layer from the interior, had an advantage over the first variant.

After considering the both variants and other sub-variants, the overhaul was to be performed by mounting a connector at the perforation, by welding the craters from outside, and by deposit-welding the cladding from inside.

Metalenergomontaža – Belgrade was selected as chief contractor, with sub-contractors: *Proing* – Belgrade, (design and technical documentation); *Zavod za zavarivanje* – Belgrade, (inspection and non-destructive testing); *Certlab* – Pančevo, (measuring residual stresses, strains, stress, and acoustic emission testing during pressure proof test).

The defect inspection report on the exterior and interior of reactor R-50201 (MEM: No. 194-10, Rev. 1, July 16, 2003), and after introduction, contained:

- Programme of defect inspection on the exterior and interior.
- Preparation for defect inspection.
- Results of inspection and testing prior to overhaul.
- Analysis of inspection and testing.
- Conclusions and recommendations.

Review of manufacturers' documentation and Pressure Vessel Documents, in respect to JUS M.E2.153–Documents Collection requirements, revealed that following parts of certified-technical documentation are missing:

- Technical description of vessel.
- Vessel type and class (JUS M.E2.150/84, JUS M.E2.151/84).
- Specifications of the security valves and of the base framework, and documents concerning their quality.
- Basic specifications of built-in devices for signalization, control, and automatic safety.
- Directives required for proper use and maintenance.

Missing test strength calculation according to the Regulation of Technical Normatives for Stable Pressure Vessels and standards JUS M.E2... – Pressure Vessels, should be made for repaired vessel.

According to the documentation, the reactor skin structure is produced of cladded rolled sheets of the quality:

- ASTM A 204 Gr.B, 46 mm thick (outside), and
- ASTM A 264 Type 321, 3 mm thick (inside).

The reactor has 43 269 litres volume and 48 tons mass, manufactured in 1978 by *Klöckner Werke AG Osnabrück*.

Designed operating conditions are pressure $p_r = 55.9$ bar, temperature $t_r = 370^\circ\text{C}$, and proof pressure is $p_i = 83.85$ bar.

DEFECTS INSPECTION ON THE EXTERIOR AND INTERIOR OF REACTOR R-50201

Scaffolding of the exterior (Fig. 1) enabled examination and preparation of the damaged zone for non-destructive testing in the scope of defects inspection and state insight.

The aim of defect inspection on both exterior and interior of the reactor was to identify damaged locations and detect by non-destructive tests all non-allowable flaws and damages. It was necessary for prescribing actions for their elimination, determine the procedure for repair welding and define the project for the reparation of the perforation.

The programme of defect inspection on the exterior and interior of the reactor consists of the following:

- Uvodno razmatranje.
- Izbor metode i tehnike ispitivanja bez razaranja.
- Priprema za izvođenje kontrole i ispitivanja.
- Kontrola i ispitivanje bez razaranja pre sanacije oštećenja.
- Izrada elaborata o izvršenoj defektaži sa spoljašnje i unutrašnje strane reaktora.

Pregled reaktora sa spoljašnje strane dao je globalnu sliku oštećenja (sl. 1) i uputio na izbor druge varijante sanacije kao optimalne za izvođenje i zahtevani rok za obnavljanje integriteta reaktora. Na jednom mestu u zoni priključka A2 nađen je probor nepravilnog oblika, privremeno zatvoren pločom 220×120 mm, zavarenom sa spoljašnje strane za plašt reaktora, čime je sprečen prodror vazduha u aktivni katalizator kojim je bio ispunjen reaktor.

Tokom postupka defektaže, nakon pripreme i čišćenja, predviđene su sledeće kontrole i ispitivanja bez razaranja:

- Vizuelna kontrola u cilju otkrivanja i evidentiranja vidljivih oštećenja i deformacija.
- Dimenzionala kontrola u cilju identifikacije lokacije, veličine i dubine oštećenja u vidu kratera, probaja i deformacija.
- Ispitivanje tečnim penetrantima sa unutrašnje i spoljašnje strane u cilju otkrivanja prslina i drugih nedopustivih grešaka (koje izlaze na površinu), nakon čišćenja oštećenih zona i izvršene pripreme za sanaciju.
- Ispitivanje magnetnim česticama sa spoljašnje strane na mestima gde se mogu očekivati pouzdani rezultati i gde neće biti uticaja od kladiranog nerđajućeg čelika.
- Metalografsko ispitivanje uzimanjem otiska mikrostrukture-replike na određenim mestima u cilju otkrivanja strukturalnih promena, mikoprslina i drugih oštećenja.
- Ultrazvučno merenje debljine na svakom segmentu plašta i danca, kao i merenje debljine sa unutrašnje strane, gde su sa spoljašnje strane prisutna kraterska oštećenja.
- Ultrazvučno ispitivanje u zoni probaja sa ciljem da se otkriju eventualna oštećenja koja treba odstraniti.
- Merenje tvrdoće na određenim mestima sa spoljašnje strane gde ima indicija da je pri deaktiviranju katalizatora bilo lokalnog pregrevanja.
- Merenje zaostalih napona (sa spoljašnje strane) magnetnom metodom, nakon izvršene pripreme (čišćenje, brušenje).

Bezbedni uslovi za pregled i defektažu sa unutrašnje strane reaktora ostvareni su nakon vađenja katalizatora i čišćenja u zoni oštećenja. Pregledom su uočena ispuštenja na kladingu, na mestima na kojima su sa spoljašnje strane nađeni krateri. Ispuštena mesta su ispitana penetrantima, i nisu nađene indikacije prslina. Ispod mesta probaja (poz. 46), sa unutrašnje strane uočeno je ispuštenje na kladingu.

Za izvođenje kontrole i ispitivanja sa spoljašnje strane bilo je potrebno izvršiti odgovarajuću pripremu i to:

- Plastično deformisane ivice oko probaja i kratera trebalo je brušenjem ukloniti do nivoa osnovnog materijala plašt-a reaktora.
- Mehanički očistiti probaj po preseku i otvor nepravilnog oblika dovesti na približno kružni, uz skidanje najmanje 1 mm materijala.
- Nakon ispitivanja tečnim penetrantima fotografisati i skicirati probaj u dve projekcije, za izradu projekta sanacije.

- Introductory overview.
- Selection of non-destructive testing method and technique.
- Preparation for inspection and tests.
- Inspection and non-destructive testing prior to repair.
- Compiling a report of the performed defect inspection on the exterior and interior of reactor.

Preview of the reactor from the exterior gave a global picture of the damage (Fig. 1) and suggested the selection of second overhaul variant as optimal for performance and requested term for restoring reactor integrity. At a location on connection A2, a perforation of irregular shape was detected and was temporarily closed by 220×120 mm plate, welded to the reactor skin on the exterior, preventing air contact with the active catalyst inside the reactor.

During defect inspection, after preparation and cleaning, the next inspections and non-destructive tests are foreseen:

- Visual inspection for detecting and registering visible damage and deformation.
- Size inspection for identification of location, size and depth of damages like craters, perforations and deformations.
- Testing by liquid penetrants on the interior and exterior in order to detect cracks and other non-allowable flaws (ending at the outer surface), after cleaning of damaged zones and preparations for overhaul.
- Magnetic particle testing on the exterior at places where reliable results may be expected, and where the cladded stainless steel will have no influence.
- Metallographic tests by taking samples of microstructure-relicas on certain locations for determining structural changes, micro-cracks and other damages.
- Ultrasonic thickness testing of all segments of the skin structure and lids, and measuring thickness on the interior, where crater-type damage is located on the exterior;
- Ultrasonic testing of the perforation zone with efforts to detect eventual flaws that need to be eliminated;
- Hardness measurement at specified locations on the exterior, where indications suggest that local overheating had taken place while deactivating the catalyst.
- Residual stress measurements (on the exterior) by magnetic method after completing the preparation (cleaning, grinding);

Safe condition for control and defect inspection from the interior of the reactor is achieved after emptying the catalyst and cleaning the damaged zone. Inspection revealed bulging on the cladding, at the same spots having craters on the outside. Deformed spots were tested by penetrants, whereby, no cracks were indicated. Inside, under the perforation (loc.46), a bulging was noticed on the cladding.

The following preparations had to be done for performing inspection and testing on the exterior:

- Plastično deformisane ivice oko probaja i kratera trebalo je brušenjem ukloniti do nivoa osnovnog materijala plašt-a reaktora.
- Mechanically clean the perforation cross section and an irregular shape transform to a circular opening, with removing at least 1 mm of material.
- After liquid penetrant testing, the perforation is photographed and sketched in two projective views for planning the overhaul project.

- Mehanički očistiti duboke i velike kratere gde sa unutrašnje strane postoji ispuštenje kladdinga, tako da se ukloni najmanje 1 mm i obezbedi čista površina bez zareza, preklopa i drugih grešaka. Na kraterima poz. 40 i 68 potpuno otkloniti prsline otkrivene penetrantima brušenjem do potrebne debljine.
- Mehaničku očistiti kratere kod kojih sa unutrašnje strane nema ispuštenja kladdinga, tako da se ukloni najmanje 1 mm i obezbedi čista površina.
- Za vizuelnim pregledom otkrivene još neke nedopustive greške i oštećenja biće data odgovarajuća uputstva za čišćenje i pripremu za ispitivanje i sanaciju.

Preliminarni vizuelni pregled je pokazao da je površina unutrašnjeg kladiranog sloja od nerđajućeg čelika (ASTM A240 Type 321) čista i da nema potrebe za dodatnim mehaničkim čišćenjem za kontrolu i ispitivanja.

Nakon izvršene pripreme i čišćenja, prema programu su izvršena ispitivanja bez razaranja, kojima je utvrđeno 79 kraterskih oštećenja različitih veličina, dubine do 40 mm, i na poz. 46 probaj nepravilnog oblika (sl.1). Tipična oštećenja su uvećano prikazana sa spoljašnje i unutrašnje strane na sl. 2: (a) probaj, poz. 46, (b) krater, poz. 40, sa prslinama na spoljašnjoj strani izazvanim velikom deformacijom, što je nađeno i na poz. 68, i (c) krater, poz. 48.

PROJEKT SANACIJE OŠTEĆENJA REAKTORA

Imajući u vidu da su sve nedopustive greške i oštećenja otkrivene, preporučeno je da se izradi:

- Projekt sanacije sa spoljašnje i unutrašnje strane.
- Posebni projekt sanacije za mesto probaja (poz. 46).
- Tehnologija reparaturnog zavarivanja za tipična oštećenja.
- Program sanacije.
- Program ispitivanja u toku i nakon sanacije oštećenja..

Nadležnom inspektoru su na uvid dostavljeni svi navedeni dokumenti.

Pre izrade projekta sanacije urađen je kontrolni proračun čvrstoće reaktora u skladu sa Pravilnikom o tehničkim normativima za stabilne posude pod pritiskom i standardima iz grupe JUS M.E2....

Projektna dokumentacija sanacije reaktora obuhvata:

- Opšti deo.
- Projektni zadatak.
- Tehnički opis.
- Proračun čvrstoće i naponskog stanja priključka na omotaču reaktora.
- Tehnologije reparaturnog zavarivanja.
- Kontrole i ispitivanja metodama bez razaranja.
- Pregled i ispitivanje pritiskom.
- Zbirku isprava.
- Mere zaštite na radu.
- Završne odredbe.
- Grafičku dokumentaciju.

Projekt definiše da se sanacija svih nađenih oštećenja izvede brušenjem, reparaturnim zavarivanjem sa spoljašnje i unutrašnje strane reaktora, a na poz. 46 (probaj), predviđena je ugradnja cevnog priključka sa slepom prirubnicom.

- Mechanically clean deep and large craters, where bulging of cladding are located on the inside, in a way to remove at least 1 mm and produce a clean surface without notches, overlaps or other defects. On craters loc. 40 and 68 completely remove by grinding to required depth the cracks detected by penetrants

- Mechanically clean the craters which are not bulged on the inside so as to remove at least 1 mm and produce a clean surface.
- For other non-allowable defects and damages, found by visual examination, corresponding directives for cleaning and preparing for inspection and repair shall be done.

Preliminary visual examinations have shown that the surface of inside cladded layer of stainless steel (ASTM A240 Type 321) is clean and additional mechanical cleaning for inspection and testing was unnecessary.

After finished preparation and cleaning, according the programme non-destructive tests were performed, detecting 79 crater-like-damages of different size, up to 40 mm deep, and at location 46 a perforation of irregular shape (Fig. 1). Typical damages on exterior and interior are presented enlarged in Fig. 2: (a) perforation, loc. 46, (b) crater, loc. 40, with cracks on the exterior produced by large strain, what is found also at loc. 68, and (c) crater, loc. 48.

PROJECT FOR DAMAGE REPAIR OF REACTOR

Having in mind that all non-allowable defects and damages are detected, it was recommended to prepare:

- Project for reparation on the exterior and interior.
- Project for perforation repair (loc. 46).
- Repair welding technology for typical damages.
- Programme of overhaul.
- Programme of inspection during and after damage repair.

All listed documents were transmitted for information to responsible inspection.

Before the start with the overhaul project a proof calculation of reactor strength was performed, in accordance with Regulations on Technical Norms for Fixed Pressure Vessels and standards JUS M.E2... – Pressure vessels.

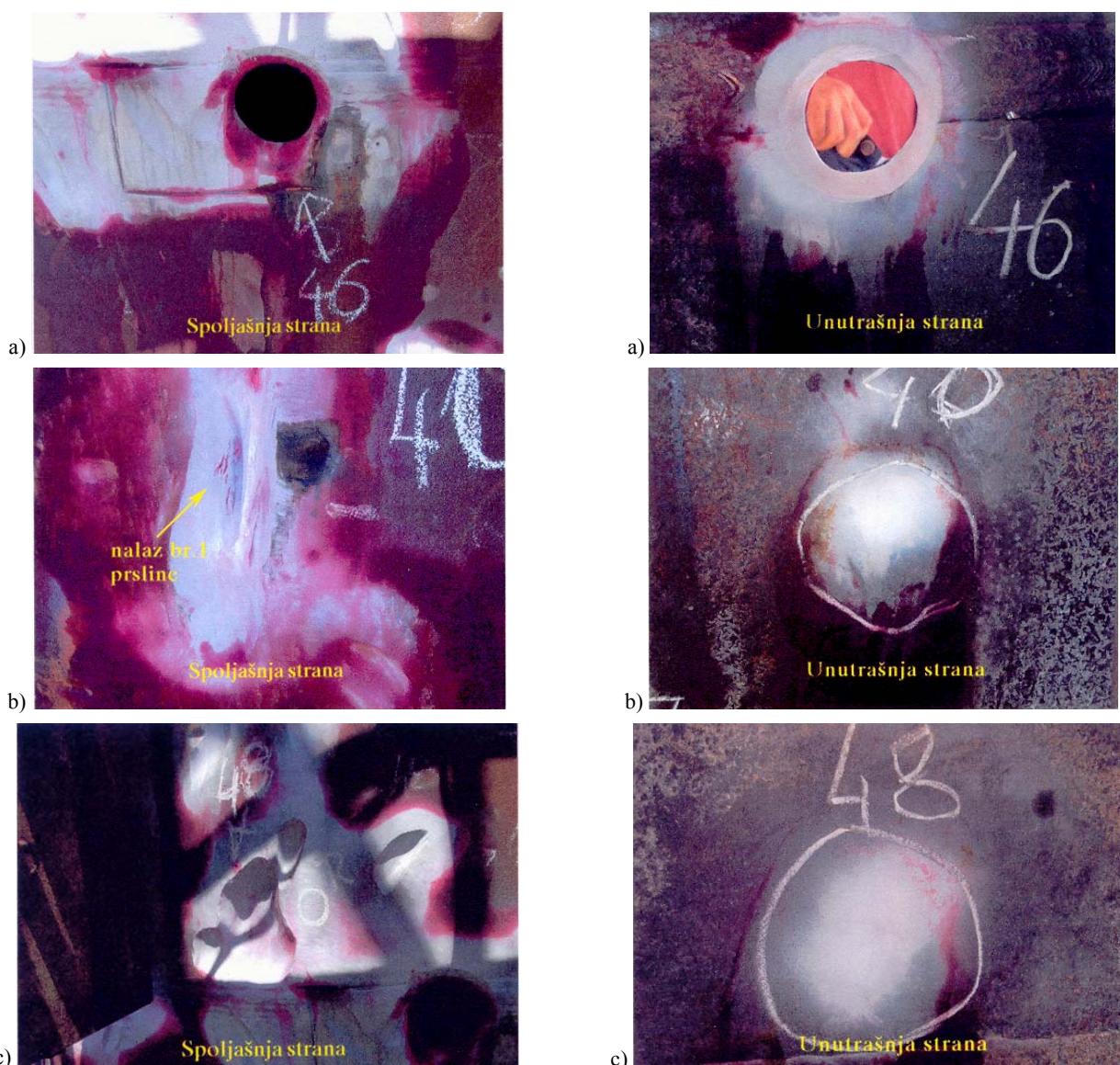
The design documentation of reactor overhaul includes:

- General part.
- Project task.
- Technical description.
- Calculation of strength and stress state of the connector located on reactor surface.
- Repair welding technology.
- Inspection and testing by non-destructive methods.
- Inspection and proof pressure tests.
- Collection of documents.
- Rules for safety of the working personnel.
- Final acts.
- Graphical documentation.

Repair of all detected damage is provided by grinding, repair welding on the reactor exterior and interior, and on loc. 46 (perforation), the pipe connector with a blind flange is provided.



Slika 1. Tipična oštećenja sa spoljašnje strane reaktora R-50201: a) brojni krateri i b) proboj (poz. 46)
Figure 1. Typical damages on the reactor R-50201 exterior: a) numerous craters and b) perforation (loc. 46).



Slika 2. Tipična oštećenja reaktora R-50201 izazvana bombardovanjem: (a-gore) - proboj (poz. 46); (b-sredina) – krater dubine 34,7 mm (poz. 40) sa prslinama na spoljašnjoj strani i ispupčenjem kladininga na unutrašnjoj strani; (c-dole) - krater dubine 21,9 mm (poz. 48)
Levo – spoljašnja strana; desno unutrašnja strana

Figure 2. Typical damages of reactor R-50201 caused by bombardment: (a-up) – perforation (loc. 46); (b-middle) – crater 34,7 mm deep (loc. 40) with cracks on exterior and bulge of cladding on interior; (c-down) – crater 21,9 mm deep (loc. 48)
Left – exterior; right - interior

PRIPREMA REAKTORA ZA SANACIJU

Prilikom pripreme za defektažu sa spoljašnje strane su brušenjem uklonjene deformisane ivice oko proboga i kratera do nivoa površine plašta. Nakon toga izvršeno je čišćenje i brušenje na mestu proboga i kratera u dubinu, tako da je uklonjeno najmanje 1 mm po celoj površini kratera. Kod kratera gde su otkrivene prsline, nastavljeno je brušenje sve dok nisu u potpunosti uklonjene sve indikacije prsline, koje su registrovane ispitivanjem tečnim penetrantima.

Sa unutrašnje strane, čišćenje i brušenje je izvedeno samo na mestu proboga.

Na mestu proboga formiran je brušenjem okrugli otvor Ø90 mm, izvršena je priprema žleba za zavarivanje, postavljanje i podešavanje cevnog priključka sa vratom kako je predviđeno crtežom br. PI-01-MEM-10-19-01.

Metalografskom analizom (replikom) nisu konstatovane promene u strukturi materijala koje bi uticale nepovoljno na zavarljivost materijala.

SANACIJA REPARATURNIM ZAVARIVANJEM

Prvo je izvršena sanacija zavarivanjem kratera sa spoljašnje strane plašta, kod kojih nije bilo deformacije kladinja (*Tehnologija sanacije reaktora R-50201*, br. 194-17).

Izvedeno je zavarivanje većih i dubljih kratera (poz. 37, 40, 48, 68 i 74), sa spoljašnje strane, sa deformacijama kladinja sa unutrašnje strane (*Tehnologija*, br. 194-18).

Zatim je izvedeno zavarivanje priključka (poz. 46), sa spoljašnje i unutrašnje strane (*Tehnologija*, br. 194-19).

Na kraju je izvedena sanacija deformisane zone kladininga (poz. 40) sa unutrašnje strane (*Tehnologija*, br. 194-20).

Na sl. 3-5 šematski su prikazani tipični slučajevi sanacije reparaturnim zavarivanjem oštećenja, a na sl. 6 zavarivanje priključka na mestu proboga.

Predgrevanje i održavanje temperature pri zavarivanju, izvedeno je elektrotopornim grejačima. Temperatura od 150–200°C registrirana je pisačem.

Zavarivanje je izvodio kvalifikovani zavarivač. Uverenje o sposobljenosti zavarivača je u skladu sa JUS EN 287-1.

KONTROLA I ISPITIVANJA U TOKU I POSLE SANACIJE

Postupci kontrole i ispitivanja primenjeni pri defektaži korišćeni su i pri sanaciji. Nakon završene sanacije svih oštećenja na spoljašnosti i unutrašnjosti plašta i brušenja nadvišenja šava do nivoa osnovnog materijala i čišćenja, sledila je inspekcija i ispitivanje metodama bez razaranja (vizuelni pregled, ispitivanje penetrantima i ultrazvukom i merenje tvrdoće sa spoljašnje strane).

Posle sanacije je izvedeno ispitivanje hladnim vodenim pritiskom od 83,85 bara uz praćenje promene stanja deformacija i napona na saniranom delu plašta reaktora akustičnom emisijom i tenzometrijskom metodom (mernim trakama), da bi se sprečila pojava trajnih plastičnih deformacija i da se utvrdi usaglašenost sa zahtevima standarda JUS M.E2.201. Pri tom ispitivanju nisu uočeni znaci razaranja, plastične deformacije, curenja, suzenja ili rošenja na reaktoru.

Na sl. 7 prikazana je poz. 46 nakon ugradnje priključka, a na sl. 8 i 9 prikazane su poz. 40 i 37, nakon reparaturnog zavarivanja, brušenja nadvišenja šava i ispitivanja.

PREPAREDNESS OF THE REACTOR FOR OVERHAUL

During preparing for defects inspection on the exterior the deformed edges around perforation and craters were ground to skin structure surface level. Afterwards, in-depth cleaning and grinding was performed at the perforation and craters, where at least 1 mm was removed from the whole crater surface. Grinding continued on craters where cracks were detected until all crack indications, that were discovered by liquid penetrant testing, were eliminated.

Interior cleaning and grinding was performed only at the perforation.

At perforation location circular opening of Ø90 mm is formed by grinding, the groove for welding is prepared, and placement and positioning of the necked connector, according to the drawing No. PI-01-MEM-10-19-01.

Metallographic analysis (replicas) has not detected any structural changes of the material that could negatively influence the weldability of the material.

OVERHAUL BY REPAIR WELDING

Initial repairs were performed by welding craters on the skin exterior, with no deformed cladding in the interior (*Technology for reactor R-50201 overhaul*, No. 194-17).

Welding of larger and deeper craters followed (loc. 37, 40, 48, 68, and 74) on the exterior with deformations on the interior cladding (*Technology*, No. 194-18).

Afterwards, the connector was welded (loc. 46) on the exterior and interior (*Technology*, No. 194-19).

Finally, the deformed zone of the cladding (loc. 40) was repaired on the interior (*Technology*, No. 194-20).

Figures 3–5 schematically illustrate typical cases of damage which were repair welded, and welding of the connector at the perforation, in Fig. 6.

Preheating and heating during welding was done with electric-resistance heaters. Temperatures ranging from 150–200°C were plotted.

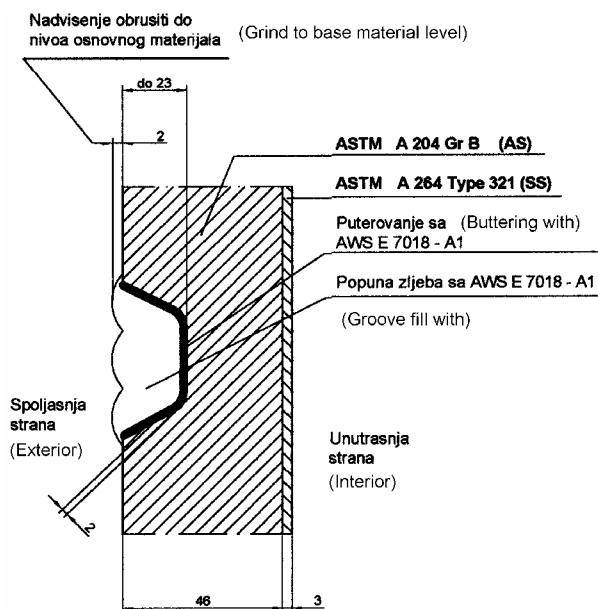
Welding was performed by a qualified welder. The welder's certification obeys the JUS EN 287-1.

INSPECTION AND TESTING DURING AND AFTER REPAIR

Inspection and testing methods applied for defects inspection were used also at overhaul. After the overhaul of all damages on the exterior and interior skin structure, with weld seams ground to base material level and cleaning, subsequent inspection and non-destructive testing followed (visual testing, dye penetrant testing, ultrasonic testing and hardness measurements on exterior).

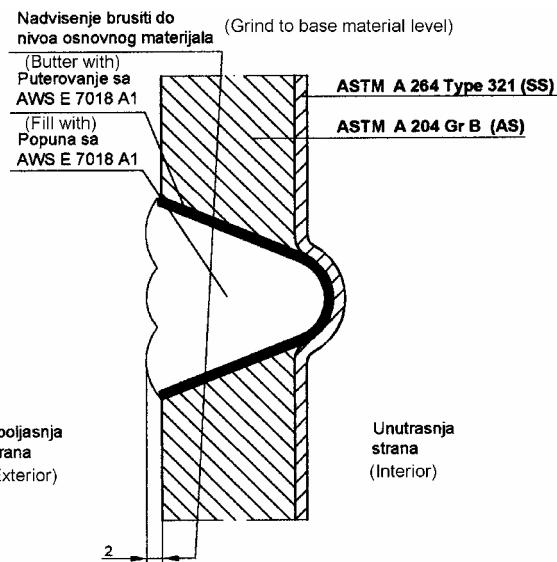
After overhaul cold water proof pressure test at 83,85 bar with monitoring of deformation and stress state at repaired part of reactor skin by acoustic emission and tensometry (strain gauges), in order to prevent permanent plastic strain and to assess the conformity to requirement of standard JUS M.E2.201. During this test the indications of failure, plastic deformation, leakage, drainage, or drizzling on the reactor.

Figure 7 presents loc. 46 after connector assembling, and in Figs. 8 and 9 positions 40 and 37 are presented after repair welding, overfill grinded and testing.



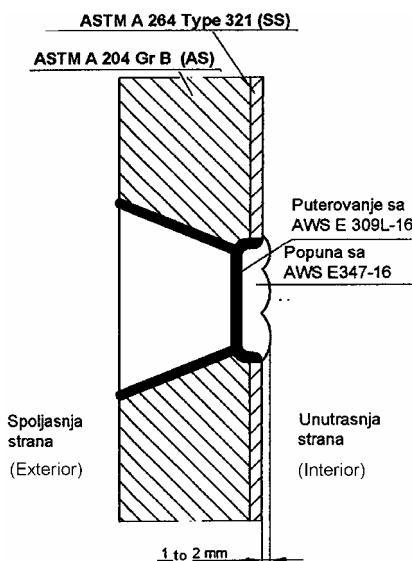
Slika 3. Reparaturno zavarivanje kratera sa spoljašnje strane plašta, bez deformacije kladinga sa unutrašnje strane reaktora.

Figure 3. Repair welding of craters on the exterior of skin structure, with no cladding deformation on the interior.



Slika 4. Krateri sa spoljašnje strane plašta sa deformacijom kladinga sa unutrašnje strane reaktora (pozicije: 37, 40, 48, 68 i 74).

Figure 4. Craters on the outer skin structure with deformed cladding on the inner reactor surface (locations: 37, 40, 48, 68 and 74).



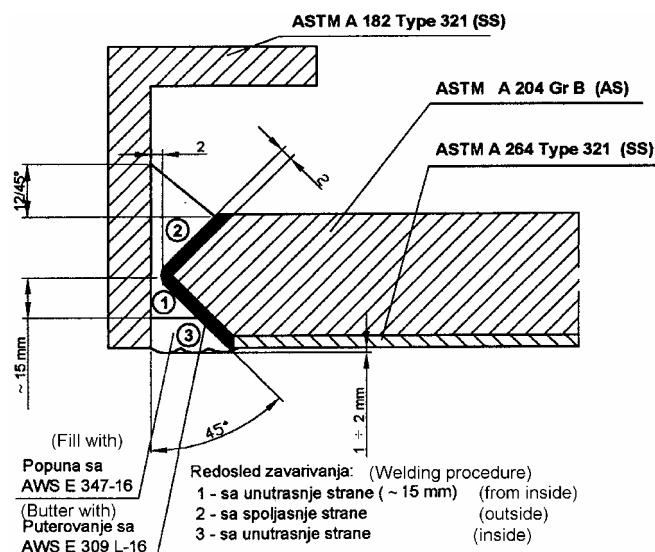
Slika 5. Kladiranje zavarivanjem, nakon brušenja deformisane zone kladinga sa unutrašnje strane.

Figure 5. Cladding by welding, after grinding, of the deformed cladding zone on the interior.

ZAKLJUČCI

Zaključci su izvedeni na osnovu analize izveštaja o rezultatima kontrole i ispitivanja nakon izvršene sanacije, grafičke dokumentacije izvedenog stanja, kao i drugih zapisa.

Sanacija po propisanim tehnologijama reparaturnog zavarivanja, izvedena je kvalitetno, što je potvrđeno izveštajima sa rezultatima ispitivanja metodama bez razaranja.



Slika 6. Zavarivanje priključka na mestu probroja nakon puterovanja žleba.

Figure 6. Welding of the connector at the perforation after groove buttering

CONCLUSIONS

The conclusions are derived based on analysis of reports of inspection and tests results after the overhaul, and on the graphical documentation of the rendered state, as well as on other records.

Repairs were performed with quality according to regulations of repair welding technology, which is confirmed in reports of the non-destructive testing results.



Slika 7. Cevni priključak sa spoljašnje strane nakon ugradnje, zavarivanja i ispitivanja (poz. 46).
Figure 7. Tube connector at exterior after placement, welding and testing (loc. 46).



Slika 8. Izgled pozicije 40 sa spoljašnje strane nakon reparaturnog zavarivanja i ispitivanja.
Figure 8. View of location 40 on exterior after repair welding and testing.

Ispitivanje hladnim vodenim pritiskom je zadovoljilo sve zahteve standarda JUS M.E2.201.

Nivoi zaostalih napona izmerenih u neposrednoj blizini izbrušenih oštećenja su dosta niski.

Tenzometrijsko ispitivanje pri probnom ispitivanju pritiskom je pokazalo da su izmerene deformacije elastične. Pri istom ispitivanju akustična emisija je bila negativna, što potvrđuje da su deformacije elastične.

Elaboratom i priloženim dokumentima i zapisima se potvrđuje da je sanacijom oštećenih mesta, reaktor R-50201, doveden u tehnički ispravno stanje i za rad bezbedno stanje u projektovanim uslovima rada.

Uspešno izvršenom sanacijom oštećenja, zavarivanjem i ugradnjom priključka na mestu proboga, obnovljen je integritet reaktora R-50201 i time produžen njegov vek.



Slika 9. Izgled pozicije 37 sa spoljašnje strane nakon reparaturnog zavarivanja i ispitivanja.
Figure 9. View of location 37 on exterior after repair welding and testing.

Cold-water proof test has met all the requirements of the standard JUS M.E2.201.

The measured residual stress levels in the proximity of ground damages have been found to be very low.

Tensometric test during proof pressure test has shown that all measured strains are elastic. In the same test acoustic emission response was negative which confirms that strains were elastic.

The report with supplemented documents and records has confirmed that the overhaul of reactor R-50201 was efficient, bringing it back in technical functionality and safe operability, as in pre-designed working conditions.

The successful repair of damages by welding and by implementing a connector at the perforation has restored integrity of reactor R-50201 and thus extended its life.