

PRISTUP DIJAGNOSTICI I SANACIJI OŠTEĆENJA IZAZVANIH UDAROM GELERA U CILINDRIČNI REZERVOAR ZA PROPAN BUTAN

DIAGNOSYS AND REPAIRMENT OF CYLINDRICAL STORAGE TANK FOR PROPANE-BUTANE DAMAGED BY COLATERAL IMPACT

Stručni rad / Professional paper

UDK / UDC 620.1:[621.642.3:665.6

Rad primljen / Paper received: 31.5.2001.

Adresa autora / Author's address:

Jano Kurai, dipl.ing, Aleksandar Bređan, dipl.ing.
NIS RNP, Služba kontrole, Pančevo
Dr Zijah Burzić, Vojnotehnički institut VJ, Žarkovo
Boško Aleksić, dipl.ing, HIP-Azotara, KKOM, Pančevo
Aleksandar Sedmak, Mašinski fakultet Beograd

Ključne reči

cilindrični rezervoari, oštećenja, sanacija, deformacijsko i naponsko stanje.

Izvod

Za dijagnostiku cilindričnih rezervoara nakon bombardovanja postrojenja NIS RNP neophodan preduslov su bila ispitivanja bez razaranja, radi ocene opšteg stanja rezervoara i izbora kritičnih mesta. Za ocenu potrebe za sanacijom, izbor načina sanacije i ocenu integriteta nakon sanacije, na izabranim mestima praćeno je deformacijsko i naponsko stanje u toku probe hladnim vodenim pritiskom aktivnim IBR metodama. Sličan pristup, ispitivanjem bez razaranja i razaranjem, primenjen je pri kvalifikacije postupka zavarivanja i pri sanaciji rezervoara.

Keywords

cylindrical storage tanks, damage, repairment, stress and strain state

Summary

In order to estimate the usability of cylindrical storage tanks after bombardment of NIS RNP it was necessary to perform non-destructive testing, both from point of view of its general condition and from point of view of location of critical zones. For a complete evaluation of repairment procedure and structural integrity, strains were measured active NDT methods was registered at certain locations during cold water pressurizing. Similar approach was applied for welding procedure qualification and storage tank repairment both using non-destructive and destructive testing.

UVOD

Horizontalni cilindrični rezervoari smešteni u NIS Rafineriji nafte Pančevo su namenjeni za skladištenje propan – butan gasa. Izrađeni su od čelika ČSN 11483.1 odnosno BS-1501-151-28A a ostali tehnički podaci su dati u tab. 1.

Tabela 1. Osnovni podaci o rezervoarima

	FB-1023 do FB-1026	FB-1012 do FB-1020
Spoljni prečnik rezervoara	3200 mm	2780 mm
Debljina plašta rezervoara, S_p	20,0 mm	19,8 mm
Debljina danca rezervoara, S_d	16,0 mm	22,2 mm
Radni pritisak u rezervoaru, p_r	16,7 bar	18,8 bar
Ispitni pritisak u rezervoaru, p_i	21,0 bar	23,8 bar

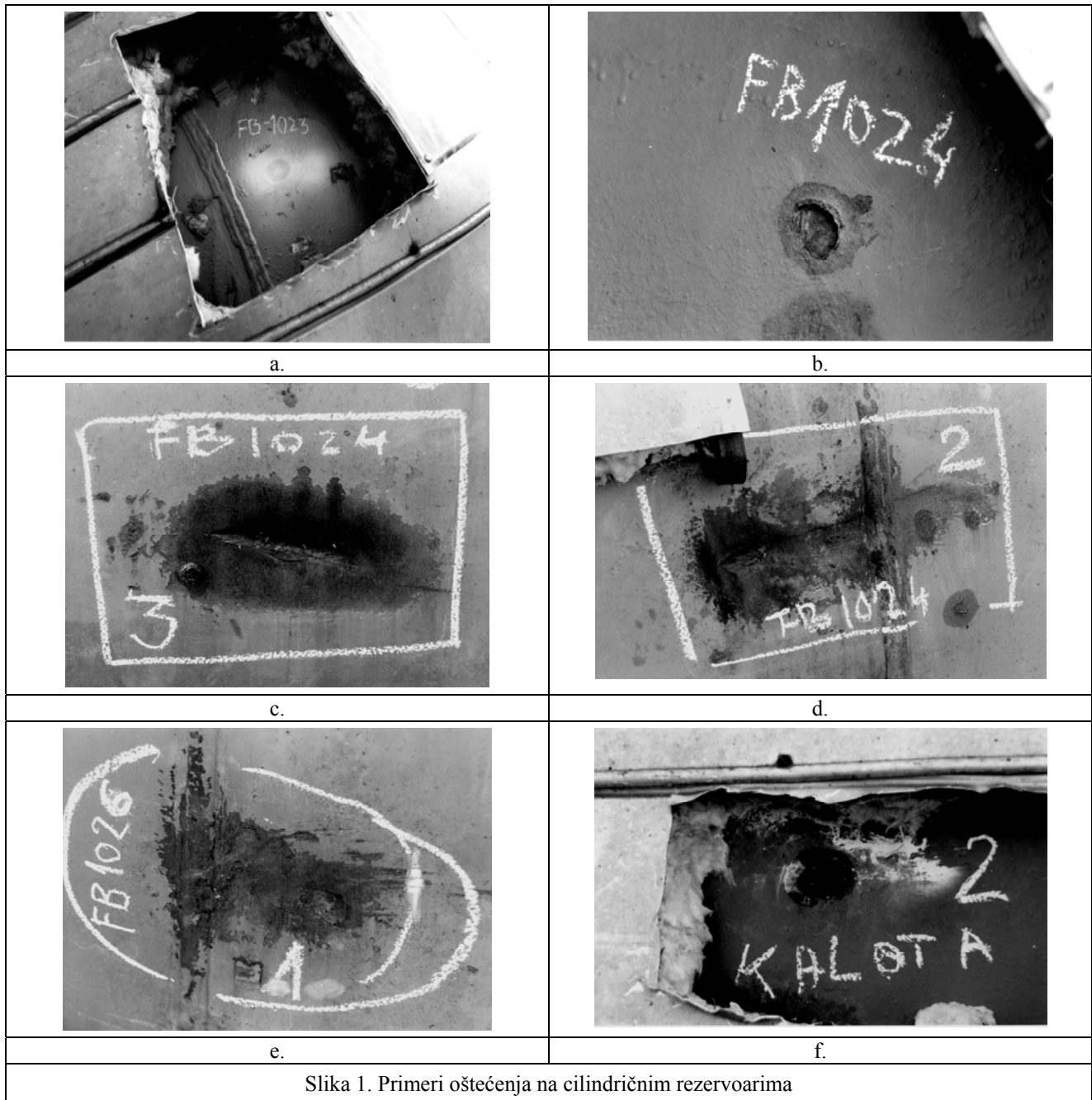
Dejstvom NATO avijacije rezervoari su delimično oštećeni sa spoljnje strane. Udarne dejstva komada ubojnih sredstava (od bombe ili krstareće rakete) prouzrokovala su oštećenja koja mogu da se definišu kao proboji, kraterska oštećenja ili brazgotine, uglavnom praćena i trajnom deformacijom okolnih zona plašta i danaca rezervoara.

ISPITIVANJA REZERVOARA FB-1024 BEZ RAZARANJA

Zbog prisustva više vrsta oštećenja izazvanih gelerima, kao karakterističan za detaljna ispitivanja izabran je rezervoar FB-1024 (sl. 1. b do d), koji služi i kao primer procene potrebe za sanacijom i izbora mogućih načina sanacije za kompletnu sekciju cilindričnih rezervoara.

Nakon ispitivanja bez razaranja (IBR) prema programu Službe kontrole NIS RNP, koja su obuhvatila vizuelnu, penetrantsku i ultrazvučnu kontrolu, zaključeno je da oštećeni delovi mogu da se saniraju. Programom ispitivanja u cilju ocene kvaliteta izvedene sanacije predviđena su i dopunska ispitivanja sa spoljnje strane rezervoara metodama, koje ne ugrožavaju integritet cilindričnog rezervoara.

Nakon sanacije horizontalnog cilindričnog rezervoara FB-1024 ubacivanjem "fleke" na mesto sa kog su isećeni delovi plašta sa nedozvoljenim oštećenjima, bilo je potrebno proceniti deformacijsko i naponsko stanje, posebno u zoni ovako saniranog mesta. Osnovni cilj ovog ispitivanja je bila ocena da li je došlo do trajnih plastičnih deformacija i kolika je eventualna razlika deformacijskog i naponskog stanja u zoni novog materijala, metala šava i osnovnog materijala.



ISPITIVANJA RAZARANJEM REZERVOARA FB-1024

Kako su horizontalni cilindrični rezervoari, uključujući FB-1024, u eksploataciji više od 20 godina, ukazala se prilika da se na delovima plašta izvađenim prilikom sanacije provere mehaničke i mikrostrukturne osobine osnovnog materijala. Provera ovih osobina je značajna radi ocene uticaja eksploatacijskih uslova na kvalitet osnovnog materijala kod ostalih cilindričnih rezervoara. U tom cilju su ispitani:

- zatezne osobine na sobnoj temperaturi
- energija udara na sobnoj temperaturi, sa vrhom zarezu u deformisanom delu i u osnovnom materijalu,
- tvrdoća po dužini i po preseku,
- mikrostruktura osnovnog i deformisanog materijala,

- površine preloma oštećenog komada.

Metalografski pregled osnovnog i deformisanog materijala je urađen da bi se ocenilo stanje mikrostrukture osnovnog materijala posle eksploatacije i mikrostrukture deformisanog materijala posle udarnog dejstva ubojnih sredstava.

Sva navedena ispitivanja uradio je Mašinski fakultet iz Beograda, Institut za materijale, tribologiju i sagorevanje, a karakteristični nalazi su prikazani u prilogu 1.

Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja rezervoara FB-1024 i njihove analize, može da se zaključi sledeće:

- Mehanička ispitivanja su pokazala da osobine deformisanog materijala značajno odstupaju od vrednosti propisanih standardom za čelik oznake ČSN 11483.1, kao i od dobijenih vrednosti zateznih osobina za nedeformisani

deo istog materijala, tab. P1. Metalografsko-fraktografska ispitivanja su pokazala da u strukturi deformisanog dela postoji veliki broj mikroprrslina, sl. P1-P2, koje mogu biti značajni izvori koncentracije napona. Udeo pojedinih komponenti energija u ukupnoj energiji udara je nepovoljan kod epruveta izvađenih iz deformisanog dela, što pokazuje i pad plastične komponente loma, odnosno značajan pad plastičnosti materijala. Ove konstatacije su bile dovoljne da opravdaju predloženi postupak sanacije.

- Pritisni naponi, koji su posledica udara stranog tela i plastične deformacije materijala plašta, su se smanjili sanacijom, iako je ostao značajan nivo napona kao posledica zavarivanja. Tokom probe hladnim vodenim pritiskom (HVP) došlo je do relaksacije, odnosno do stabilizovanja i ujednačavanja zaostalih napona u materijalu, što se smatra pozitivnim efektom hidro probe.
- Izračunati glavni naponi pokazuju da prilikom probe hladnim vodenim pritiskom do ispitnog pritiska, materijal nije pretrpeo plastične deformacije, odnosno da su sva opterećenja bila u granicama elastičnosti.
- Kako je na metalu šava ubačene “fleke” dobijen relativno visok napon, a imajući u vidu da je zavaren spoj kritično mesto kod svake posude pod pritiskom, predloženo je smanjenje ispitnog pritiska na 18 bar, uz merenje deformacije prilikom naredne probe HVP.
- Detektor akustične emisije nije registrovao nijednu aktivnost tokom probe HVP, što znači da nije bilo značajnijeg deformacijskog procesa u zoni mernih mesta.

ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA REZERVOARA FB-1026

Kao karakterističan primer ocene uticaja plastične deformisanosti plašta na sekciji cilindričnih rezervoara u RNP, izdvaja se rezervoar FB-1026 (sl. 1,e i f). Uticaj plastične deformisanosti plašta cilindričnog rezervoara FB-1026 na promenu deformacijskog i naponskog stanja praćen je u toku probe HVP aktivnim IBR metodama. Za uspešnu primenu ovih metoda neophodan uslov su bili nalazi klasičnih

metoda IBR, dobijeni ispitivanjem od strane Službe kontrole NIS-RNP, kako sa aspekta izbora kritičnih mesta, tako i sa aspekta ocene opšteg stanja rezervoara odnosno procene potrebe za daljom sanacijom. Na osnovu ispitivanja metodama IBR i njihove analize, detaljnije opisanih u /1/, izvedeni su sledeći zaključci:

- Izračunati glavni naponi pokazuju da prilikom probe HVP materijal od kojeg je napravljen rezervoar FB-1026 nije pretrpeo trajne plastične deformacije, odnosno da su sva opterećenja bila u granicama elastičnosti materijala. Ovim je potvrđena polazna pretpostavka da navedena karakteristična oštećenja ne utiču bitnije na integritet rezervoara FB-1026, tj. da u konkretnom slučaju sanacija zavarivanjem nije potrebna.
- Detektor akustične emisije nije registrovao nijednu aktivnost tokom probe HVP, što znači da nije bilo značajnijeg deformacijskog procesa u zoni mernih mesta.
- Propisana je preventivna periodična kontrola istih mernih mesta metodama IBR prilikom prvog narednog redovnog pregleda rezervoara u cilju upoređenja sa nalazima IBR metoda iz 1999. godine.

ISPITIVANJE I SANACIJA REZERVOARA FB-1012 DO FB-1020

Shodno zaključcima iz već opisanih prethodnih ispitivanja rezervoara FB-1024 i FB-1026, utvrđen je prilaz ispitivanju i sanaciji preostalih cilindričnih rezervoara:

- Dijagnostika – IBR sa ciljem da se potvrde lokacije i precizira tip nalaza - oštećenja nastalih tokom izrade, eksploatacije ili bombardovanjem NATO snaga.
- U slučaju otkrivanja oštećenja, da se odredi njihov tip, veličina, karakter i orijentacija, u cilju definisanja načina sanacije (na mestima gde je izmerena debljina zida manja od proračunske) ili praćenja tokom dalje eksploatacije.

Ispitivanje po ovim Programima je uradio “KKOM” HIP–Azotara, a rezultati i njihova analiza su dati Elaboratima za svaki rezervoar posebno. Opštiji pregled nedozvoljenih oštećenja dat je u Tabeli 2:

Tabela. 2. Vrste oštećenja rezervoara FB 1012 do 1020

Red. broj	Oznaka rezervoara	Broj proboja	Broj oštećenja od gelera	Broj mesta sanacije*	Napomena
1.	FB-1012	1	6	-	-
2.	FB-1013	-	8	3	-
3.	FB-1014	-	7	2	Otkrivene nedozvoljene greške tipa prsline na zavarenim spojevima u unutrašnjosti posude
4.	FB-1015	1	8	3	Otkrivene nedozvoljene greške tipa prsline na zavarenim spojevima u unutrašnjosti posude
5.	FB-1016	-	6	2	Otkrivene nedozvoljene greške tipa prsline na zavarenim spojevima u unutrašnjosti posude
6.	FB-1017	-	2	1	-
7.	FB-1018	-	5	3	-
8.	FB-1019	1	6	6	U zoni proboja otkrivene nedozvoljene greške tipa prsline
9.	FB-1020	-	5	3	Otkrivene nedozvoljene greške tipa prsline na zavarenim spojevima u unutrašnjosti posude

U opštem slučaju može da se govori o dva tipa – uzročnika oštećenja:

- greške tipa prslina u zavarenim spojevima rezervoara FB-1014, 1015, 1016 i 1020, koje su posledica eksploatacije rezervoara,
- greške tipa proboja, ulubljenja – ispučenja i kratera, praktično na svim spomenutim rezervoarima, izazvane pojedinačnim udarima gelera prilikom bombardovanja postrojenja NIS – RNP.

Detaljan opis navedenih oštećenja je dat u Elaboratima “KKOM” gde su, shodno predlogu Službe za projektovanje i konstruisanje, a na osnovu zajedničke analize rezultata od strane “KKOM” i Službe kontrole RNP, definisane i preporuke o mogućnosti sanacije. Za svaki rezervoar je naznačena eventualna potreba za:

- isecanjem oštećenog dela omotača i ubacivanjem “novog” dela (tzv. “fleke” ili “prozori”);
- navarivanjem na mestima gde plastične deformacije i odnošenja materijala nisu znatno izražena;
- sanacijom registrovanih grešaka tipa prslina u zav. spojevima, brušenjem (eventualno navarivanjem)
- primenom aktivnih IBR metoda u toku probe HVP, radi potvrde integriteta rezervoara nakon sanacije. Treba napomenuti da je pri izboru karakterističnih mesta za ova ispitivanja vođeno računa i o iskustvima na cilindričnim rezervoarima FB-1024 i FB-1026, gde su aktivne metode IBR već dokazali svoju svrsishodnost, kako za varijantu rezervoara saniranog zavarivanjem “fleke” (FB-1024), tako i za varijantu nesanimiranog rezervoara (FB-1026). Koristeći iskustvo u sanaciji rezervoara FB-1024 preporučena je i kvalifikacija postupka zavarivanja po posebnom Programu Službe kontrole i na uzorcima sa oštećenog (plastično deformisanog) plašta jednog rezervoara sa postojećim probojem plašta (FB-1012, 1015 ili 1019). Napominje se da na rezervoaru FB-1024 kvalifikacija postupka zavarivanja nije urađena zbog nedostatka materijala oštećenog dela plašta, te nije u potpunosti mogao da bude sagledan uzrok pojave relativno visokog napona tečenja na metalu šava novoubačene “fleke”.

ZAKLJUČCI

Sanacija je sprovedena prema posebno izrađenoj projektno tehničkoj dokumentaciji sanacije od strane Službe za projektovanje i konstruisanje NIS – RNP, uz nadzor Službe kontrole po posebno propisanim Planovima kontrolisanja za svaki rezervoar posebno (videti karakterističan primer za rezervoar FB-1015 u prilogu 2).

Uspešnost sanacije potvrđena je kontrolnim aktivnostima nakon sanacije, shodno Planovima kontrolisanja, pa cilindrični rezervoari mogu da se smatraju funkcionalnim za propisane uslove rada uz preporuku da se proceni mogućnost smanjenja ispitnog pritiska tokom narednih proba HVP.

Literatura

1. Z. Burzić, J. Kurai, A. Bređan: Uticaj plastične deformisanosti plašta cilindričnog rezervoara na promenu naponskog deformacionog stanja (Savetovanje “IBR 2000”, Zlatibor, 11-15.12.2000.god.)
2. A. Sedmak, Z. Burzić: izveštaji ispitivanja cilindričnih rezervoara u RNP (Mašinski fakultet Beograd, 2000. god.)
3. B. Aleksić : Elaborati o stanju cilindričnih rezervoara NIS – RNP (“KKOM” Azotara – Pančevo, 1999. god.)
4. J. Kurai, A. Bređan: Programi i Komentari ispitivanja cilindričnih rezervoara (NIS – RNP, Služba kontrole, 1999/2000. god.)

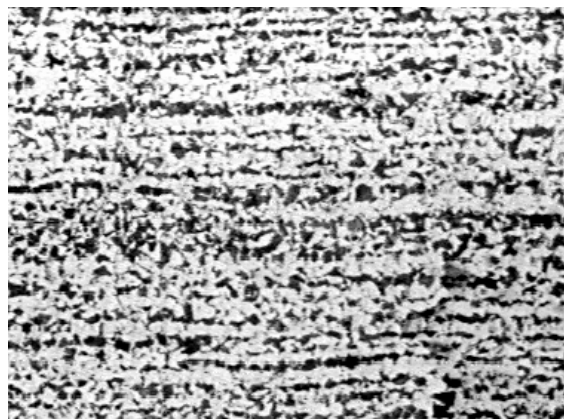
PRIOLOG 1

Zatezne karakteristike su ispitane na nedeformisanom i deformisanom uzorku, tab. P1. Rezultati očigledno ukazuju na povećanje napona tečenja i smanjenje plastičnosti deformisanog materijala.

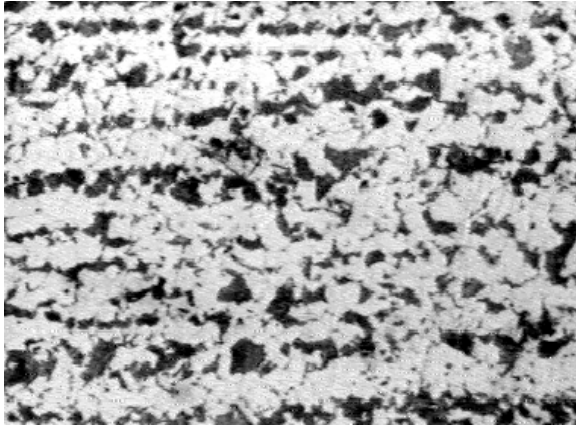
Tabela P1. Zatezna svojstva na sobnoj temperaturi (2 -eliptično isečen uzorak; 3 - cilindrično isečen uzorak)

Oznaka uzorka	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A, (%)
1024-2-Ned.-1	362,0	497,4	22,7
1024-2-Ned.-2	364,2	499,0	23,4
1024-2-Def.-1	453,5	508,7	14,2
1024-3-Ned.-1	344,3	489,5	23,6
1024-3-Ned.-2	351,7	497,9	23,3
1024-3-Def.-1	451,9	498,3	15,3

Struktura deformisanog dela je, kao i kod nedeformisanog dela, feritno – perlitna, sl. P1. Trakasta struktura koja je izražena i kod nedeformisanog dela delimično je razbijena, usled izrazito jakog udarnog (detonirajuć) talasa.



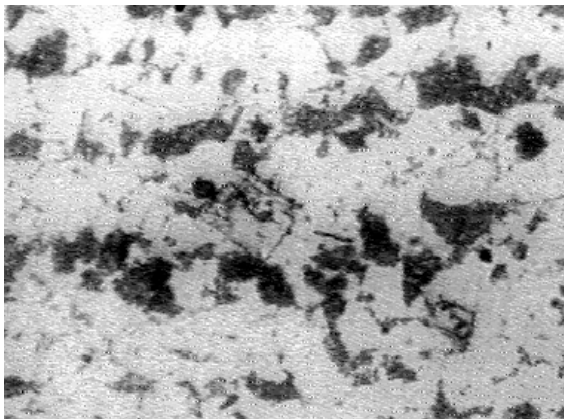
x200



x400

Slika P1. Feritno-perlitna deformisana struktura

Rezultat oštećenja je i pojava mikroprrslina koje se posebno dobro vide pri većem uveličanju. Na sl. P2, pri uveličanju 800×, u strukturi deformisanog uzorka jasno se vide mikroprrsline izdvojene po granicama zrna, a i u samom zrnju. Kako se radi o uzorku izvađenom iz posude pod pritiskom, a znajući uslove rada (punjenje – podizanje pritiska i pražnjenje – spuštanje pritiska, znači niskociklični zamor), ove mikroprrsline mogu da budu inicijalna mesta loma, pa sanacija tim više dobija na značaju.




Slika P2. Feritno-perlitna deformisana struktura

Za ispitivanje udarom je korišćeno instrumentirano Šarpijevo klatno sa osciloskopom, što je omogućilo ocenu uticaja udarnog dejstva stranog tela i oštećenja na karakteristike materijala, kao i ocenu preostale plastičnosti deformisanog materijala. Ispitivanjem su dobijena tri tipa dijagrama i to: sila-vreme, sila-ugib i energija-vreme.

Iz rezultata prikazanih u tab. P2 vidi se da su kod uzoraka izvađenih iz nedeformisanog materijala (oznake OM) vrednosti energije rasta prsline, E_{lom} , dva do tri puta veće od energije iniciranja prsline, E_{inic} , što je pokazatelj većeg učešća plastične komponente loma, odnosno dobre plastičnosti materijala. Ovaj odnos učešća pojedinih komponenti energija u ukupnoj energiji udara se smanjuje kod grupe epruveta oznake D1, a vrlo je nepovoljan kod epruveta izvađenih iz deformisanog dela (grupa epruveta D2).

Tabela P2. Rezultati udarnih ispitivanja

Oznaka uzorka	E_u (J)	E_{inic} (J)	E_{lom} (J)
OM-1	145,9	33,6	112,3
OM-2	153,1	41,8	111,3
OM-3	124,3	23,2	101,1
D1-1	99,5	46,6	52,9
D1-2	91,7	43,7	48,0
D1-3	78,4	35,5	42,9
D2-1	66,1	59,4	6,7
D2-2	60,6	55,6	5,0
D2-3	57,2	54,2	3,0

		PLAN KONTROLISANJA Sanacija rezervoara FB-1015					Broj radnog naloga: 0947/00		Broj: PK-049-00/C Izdanje: 1	
		Zahtev		Metod i obim kontrolisanja	Oprema za kontrolisanje	Kriterijumi prihvatljivosti	Dokumenta o kontrolisanju	Autor plana: A. Marjanović, ing.	Plan odobrio: J. Kurai, dipl. ing.	Izmena: 0
R. broj	2	3	4	5	6	7	8	Ljest/listova 2/2		
001	Utvrđivanje kvaliteta dodatnog materijala za zavarivanje	- meh. osobine - hem. sastav		Tehnologija zavarivanja br. 231-03/00	Atest (uverenje o kvalitetu)	*				
002	Utvrđivanje kvaliteta lima #22x300x300, Č 1204 za sanaciju omotača, upoređenjem podataka iz atesta i identifikacionih oznaka sa table iz koje je lim isečen. Prenošanje oznaka (debljina, kvalitet, Br. šarže)	- hem. sastav - meh. osobine - dimenz. kontr. - Ultrazvučna kontrola		JUS C. B4. 014 Crtež FB-1015.SK.947.002 JUS C.A7. 061 klasa "B"		*		a) Kontrolne aktivnosti počev od red. br. 002. se izvode nakon dobijanja zadovoljavajućih rezultata kvalifikacije postupka zavarivanja za FB-1012 (PK-046-00/C) b) Ukoliko se materijal ne može identifikovati sa prospelom dokumentacijom, re-atestirati ga		
003	Kontrola pripreme za zavarivanje: - čistoća ivica za zavarivanje - dimenzije žljeba - smaknuće - kontrola pripajanja - kontrola predgrevanja - odluka o načinu sanacije prsline	Vizuelno dimenziona kontrola 100%	Termokreda (kontrolni termometri)	Tehnologija zavarivanja br. 231-03/00		*				
004	IBR zavarenih spojeva prema zahtevima teh. zav. br. 231-03/00	Prema teh. zav. (***)	- Potkovičasti elektromagnet - Ultrazvučni defektoskop - Merač tvrdoće	JUS ISO 5817	Izveštaj o ispitivanjima	**		(***) Ispitivanja propisana navedenom T.Z. je potrebno raditi samo pre probe HVP tj. nije potrebno ponavljati IBR posle probe HVP.		
005	Ispitivanje pritiskom (proba HVP)			JUS M. E2. 201	Zapisnik o izvršenoj probi HVP	*		Videti napomenu		
006	Izrada ATD				ATD	**				
NAPOMENA: Uroku izvođenja probe HVP izvršiti praćenje deformaciono – naponskog stanja na saniranom mestu (novi lim–MŠ-Stari deo plašta) i na segmentu br izabranom nakon izbrusivanja prsina po red. br. 003 odnosno 002, poslednja alineja. Na istim mestima izvršiti merenje zaostalih napona elektromagnetnom metodom, pre i posle izvođenja probe HVP.										
LEGENDA: * Kontrola kvaliteta izvođača radova ** Služba kontrole kvaliteta RNP										