

MATERIJALI I ZAVARIVANJE

PODLISTAK „PROCESNE TEHNIKE“ Broj 4. Jun 2003. Godina 2.

Podlistak uređuju

prof. dr Aleksandar Sedmak, dipl. inž., mr Radomir Jovičić, dipl. inž., i
dr Radica Prokić-Cvetković, dipl. inž., Mašinski fakultet, Beograd

STRUČNI RAD • ENGINEERING PAPER

UDK 624.952:620.179.2

BIBLID 0352-678X (2002) 19:2 p. 63-67

OCENA INTEGRITETA REZERVOARA SA PRSLINOM U ZAVARENOM SPOJU

Mr Radomir Jovičić, dipl. inž.,
prof. dr Aleksandar Sedmak, dipl. inž.,
Mašinski fakultet Beograd, i Svetlana Štrbački, dipl. inž., i
Živko Štrbački, dipl. inž., “KonMat” d.o.o. Beograd

Prikazan je postupak za ocenu integriteta zavarenih spojeva koji imaju prsline. Spojevi se nalaze na rezervoaru koji služi za skladištenje tečnog ugljen-dioksida, u kome su radne temperature do -50°C . Spojevi su zavareni između dva različita osnovna materijala, danca izrađenog od mikrolegiranog čelika Č RN 460 i priključaka izrađenih od čelika. 4572. Ispitivanjima bez razaranja otkrivene su mikroprslina u zoni uticaja toplote (ZUT) u mikrolegiranom čeliku.

Primenom postupka prikazanom u standardu BSI, PD 6493 “Uputstvo za ocenu prihvatljivosti grešaka u zavarenim konstrukcijama” [1], ocenjen je uticaj ovih mikroprslina na integritet zavarenih spojeva, a time i na integritet rezervoara.

Ključne reči: zavareni spojevi; rezervoar; prsline; integritet

ESTIMATION OF INTEGRITY OF A STORAGE TANK WITH CRACKED WELDMENTS

The procedure of estimation of the integrity of cracked weldments in a storage tank for carbon-dioxide, operating at -50°C , has been shown. The weldments were made from two different base metals, one of them being micro-alloyed, ferritic steel CRN460 and the other one high alloyed, austenitic steel C4572.

The micro-cracks have been detected by the non-destructive testing in heat-affected-zone in micro-alloyed steel. By applying the procedure explained in standard BSI, PD 6493, the influence of these micro-cracks on storage tank integrity has been estimated.

Key words: weldments; storage tank; cracks; integrity

1. Uvod

Tokom eksploatacije rezervoara za skladištenje tečnog ugljen-dioksida ukazala se potreba za ugradnjom dva priključka preko kojih bi se povezali spoljna freonska jedinica i unutrašnji toplotni razmenjivač. Ugljen-dioksid se u ovim rezervoarima skladišti na temperaturama između -30 i -50°C . I pored toplotne izolacije rezervoara dolazi do zagrevanja ugljen-dioksida u njemu, usled čega raste isparljivost tečne faze ugljen-dioksida, što dovodi do porasta pritiska njegove gasne faze, koja onda dostiže pritisak pri kome se otvara ventil sigurnosti i ugljen-dioksid se ispušta u atmosferu. Tako što je temperatura u rezervoaru viša, veći su i gubici ugljen-dioksida. Ovi gubici se mogu smanjiti sniženjem temperature u rezervoaru, poboljšanjem njegove toplotne izolacije ili hlađenjem ugljen-dioksida preko toplotnog razmenjivača koji je povezan sa jednom spoljnom rashladnom freonskom jedinicom.

2. Podaci o rezervoaru

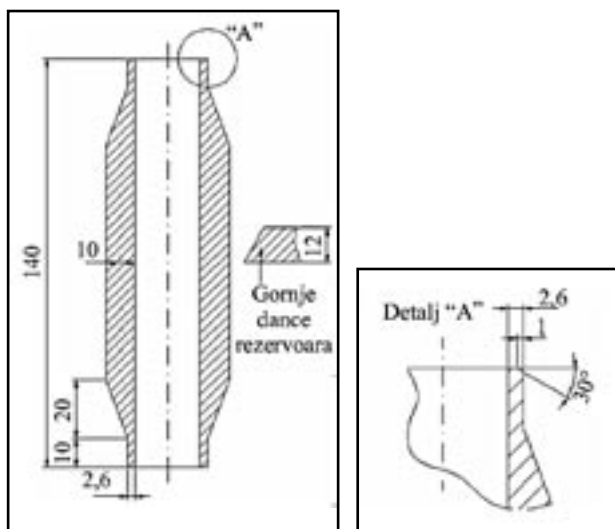
Rezervoar je vertikalna, cilindrična, toplotno izolovana posuda pod pritiskom, izrađena od mikrolegiranog čelika ČRN 460, JUS C.B0.502 (oznaka proizvođača nioval 47), debljine 12 mm. Osnovni podaci o rezervoaru su: spoljni prečnik 2000 mm, ukupna visina 10080 mm, zapremina 25 m^3 , radni pritisak 25 bara, ispitni pritisak 32,5 bara, klasa posude II, najniža radna temperatura -50°C [2].

3. Izrada priključaka

S obzirom da je najniža radna temperatura rezervoara -50°C , za njegovu izradu su upotrebljeni čelici sa garantovanim žilavošću na ovoj temperaturi. Pošto čelik nioval 47 zadovoljava ovaj uslov, upotrebljen je za izradu plašta i danaca. Međutim, zbog specifičnog postupka proizvodnje mikrolegiranih čelika, pa i čelika nioval 47, od ovog čelika se ne proizvode cevi i prirubnice, pa je proizvođač rezervoara za izradu priključaka upotrebio cevi i prirubnice od austenitnog čelika, Č 4572, oznaka prema JUS C.B0.600 [2]. Za izradu dva nova priključka, odabran je takođe čelik Č 4572. S obzirom da je razme-

njivač predviđen za pothlađivanje gasne faze, smešten je u gornji deo rezervoara, pa su novougrađeni priključci postavljeni u gornje dance (slika 1) [3].

Prema proračunu [3] za radne pritiske u rezervoaru i razmenjivaču, zadovoljavaju priključci prečnika 26,9 mm i debljine zida 2,6 mm izrađeni od čelika Č 4572. Međutim, kako je teško ostvariti kvalitetan zavareni spoj između materijala sa ovolikim razlikama u debljinama, usvojeno je da se za dance zavaruju ojačanja debljine približne debljini danca i da se onda za ojačanja zavaruju priključne cevi (slika 1). U daljem tekstu će biti reči samo o zavarenim spojevima ojačanja i danca. Ojačanja su izrađena mašinskom obradom iz tuljka, od materijala Č 4572, prema dimenzijama prikazanim na slici 1.



Slika 1. Izgled i dimenzije ojačanja priključaka i žlebova zavarenog spoja

4. Zavarivanje priključaka

Ojačanja su zavarena za dance E postupkom (zavarivanje obloženim elektrodama), dodatnim materijalom E 29 9 R 12, oznake prema standardu EN 1600 (rutilno obložena elektroda sa 29% Cr i 9% Ni). Oblik i dimenzije žlebova su prikazani na slici 1.

Žlebovi su napravljeni tako što su gasnim rezanjem u dancu prosečeni otvori prečnika jednakog prečniku priključaka, a zatim je brušenjem odstranjena zona uticaja toplote od gasnog rezanja i ivice su obrađene na zadate mere.

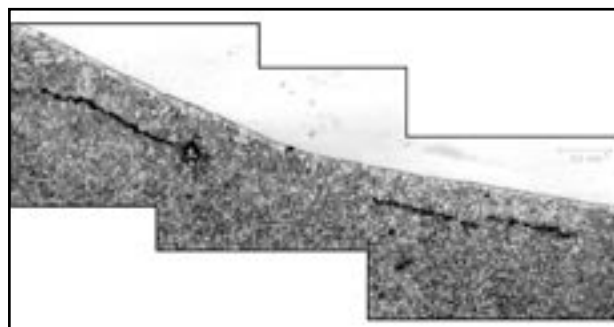
Pre početka zavarivanja elektrode su osušene na temperaturi 300°C u toku 2 h. Takođe, čelik nioval 47 je predgrejan na temperaturu 230°C (izračunato prema metodi Itto-Bessyo-a). Tokom zavarivanja održavana je međuprolazna temperatura od 200 do 220°C. Temperatura predgrevanja i međuprolazna temperatura su kontrolisane pomoću kontaktnog termometra, merenjem u čeliku nioval 47 na rastojanju od oko 30 mm od ivice žleba sa spoljne strane rezervoara.

Zavarivanje je izvedeno sa spoljne strane rezervoara. Nakon potpune popune žlebova, sa korene strane spojeva su brušenjem odstranjene sve greške i zavarena su još po dva korena prolaza. Nakon potuno završenog zavarivanja spojevi su održavani na temperaturi od 150°C u toku 1 h, u cilju smanjenja koncentracije vodonika u zavarenim spojevima.

5. Rezultati ispitivanja zavarenih spojeva priključaka

Nakon hlađenja spojevi su ispitani metodama bez razaranja (IBR). Potrebni nivo kvaliteta zavarenih spojeva i kriterijum prihvatljivosti za otkrivene greške definisani su klasom C prema standardu JUS C.T3.010/95 [4]. Vizuelnim pregledom i dimenzionom kontrolom lica i naličija spojeva nisu konstatovane nedozvoljene greške. Takođe, zavareni spojevi su ispitani penetrantima, magnetima i ultrazvukom. Parametri ispitivanja su navedeni u literaturi [5]. Ispitivanjima, osim pojedinačnih manjih ivičnih zajedaja, nisu otkrivene druge greške. Osim navedenih IBR primenjena su i ispitivanja mikrostrukture i merenja tvrdoća. Mikrostrukture su ispitane metodom replike. Na svakom priključku urađena je po jedna replika sa spoljne strane rezervoara, tako da su obuhvaćeni osnovni materijal, njegov ZUT i metal šava. Rezultati ispitivanja mikrostrukture su izneseni u [5]. Ispitivanjima je utvrđeno sledeće:

- mikrostrukture grubozrne zone ZUT, u oba priključka, su beinitne sa relativno finim zrnom. Nije konstatovana pojava martenzita;
- na obe replike u grubozrnim zonama ZUT su uočene mikroprslinje. Na slici 2 su prikazane tri mikroprslinje koje su blizu jedna drugoj, tako da se može pretpostaviti da su ostatak veće mikroprslinje koja je delimično uklonjena brušenjem prilikom metalografske pripreme;
- mikrostrukture oba metala šava su austenitne sa oko 25% δ -ferita.



Slika 2. Mikroprslinje u grubozrnoj zoni ZUT u čeliku nioval 47 zavarenog spoja priključaka

Tvrdoće su izmerene u čeliku nioval 47 i njegovom ZUT, na mestima ispitivanja mikrostrukture, na ispoliranoj i nagriženoj površini nakon uklanjanja replika. Za merenje je korišćen uređaj mikrodur proizvođača "Krautkramer"-a. Na osnovu razlike u obojenju osnovnog metala, ZUT i metala šava, tačno su određene lokacije mesta merenja. U osnovnom materijalu su izmerene tvrdoće 166–190 HV [5], a u ZUT zavarenih spojeva tvrdoće 210–260 HV. Ove vrednosti ne ukazuju na prisustvo tvrdih i krkih struktura u ZUT.

6. Ocena prihvatljivosti mikroprslina

Rezultati ispitivanja mikrostrukture pokazuju prisustvo više površinskih mikroprslina u grubozrnoj zoni ZUT oba priključka. Na osnovu toga se može pretpostaviti da mikroprslinje postoje i u ostalim neispitanim površinskim delovima ove zone ZUT oba priključka. Za odstranjivanje mikroprslina bilo bi potrebno odstraniti priključke i njihove zavarene spojeve i zatim zavariti nove. Da bi se to

izbeglo, ocenjen je uticaj postojećih mikroprslina na integritet zavarenih spojeva. Za ocenu je korišćen postupak izložen u standardu [1].

Za primenu ovog postupka, potrebno je svesti prslina na neki od oblika za koje postoje analitička rešenja proračuna naponskog stanja. Na osnovu opisa mikroprslina i slike 2 može se zaključiti da se radi o površinskim prslinama, koje leže u ravni upravnoj na pravac glavnog napona. Sve tri mikroprslina sa slike 2 će se, s obzirom na malo međusobno rastojanje, tretirati kao jedna površinska polueliptična prslina.

Takođe, jasno je da se na slici 2 u stvari vidi nešto izmenjeno stanje u odnosu na početno, jer je tokom metalografske pripreme odstranjen površinski sloj čelika debljine oko 0,5 mm. Imajući sve ovo u vidu, za proračun kojim treba oceniti prihvatljivost mikroprslina usvojena je dužina prslne 2,1 mm (1,1 mm ukupna dužina prslina sa slike 2 uvećana za po 0,5 mm, koliko iznosi skraćivanje dužine prslina sa oba kraja pri metalografskoj pripremi). Takođe, dubina prslina nije poznata niti je moguće izmeriti, pa će ona biti procenjena.

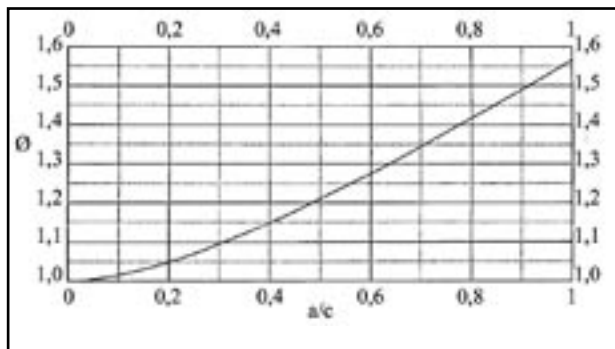
S obzirom da mikroprslina nisu odstranjene tokom metalografske pripreme može se zaključiti da je u početnom stanju dubina mikroprslina bila veća od 0,5 mm. Na osnovu dužina mikroprslina koje se vide na slici 2, i koje iznose 0,2 do 0,4 mm, i njihovog pretpostavljenog polueliptičnog oblika, može se očekivati da im dubina nije veća od 0,2 mm, pa će na osnovu izloženog, za proračun, biti usvojena dubina prslina od 0,7 mm. S obzirom da su se mikroprslina pojavile u gruboznoj zoni ZUT, za ocenu opasnosti od loma bitne su karakteristike materijala u ovoj zoni.

Za ocenu su korišćene vrednosti mehaničkih osobina materijala navedene u [6], dobijene ispitivanjem uzoraka istog čelika od koga je izrađen i ispitivani rezervoar i na kojima je simuliran termički ciklus zavarivanja.

Dokument PD 6493 predviđa tri nivoa pouzdanosti procene opasnosti od loma pri postojanju prslina. Nivo I je najniži, a III je najviši nivo pouzdanosti i odnosi se na pojavu plastičnog kolapsa. Za ocenu opasnosti od loma u ovom slučaju je usvojen nivo II (sl. 3), jer se prema osobinama materijala i zavarenog spoja ne može očekivati plastični kolaps. Za primenu nivoa II potrebno je poznavati vrednosti parametara S_r i K_r (ili δ_r). Parametar S_r se izračunava kao:

$$S_r = \sigma_n / \sigma_f \quad (1)$$

gde je σ_n efektivni napon u neto preseku, a σ_f napon ojač-



Slika 3. Faktor uvećanja napona M_m za površinsku prslinu izloženu zatezanju

avanja materijala, poluzbir napona tečenja σ_Y i zatezne čvrstoće σ_m , a koji se za nivo II procene uzima do najviše $1,2 \cdot \sigma_Y$. Efektivni napon u neto preseku se izračunava iz izraza:

$$\sigma_n = 1,2 \cdot M_s \cdot P_m \quad (2)$$

gde je P_m membranski napon usled pritiska u posudi, a M_s je koeficijent oblika. S obzirom da se zavareni spojevi nalaze na dancu sferičnog oblika, membranski napon P_m se određuje po formuli:

$$P_m = p \cdot D / (4 \cdot B) \quad (3)$$

gde je $p = 32,5$ bar ispitni pritisak, $D = 2000$ mm prečnik danca, a $B = 12,2$ izmerena debljina danca na mestu sa prslinom, tj. na mestu zavarenog spoja, pa je $P_m = 133$ MPa. Koeficijent oblika M_s se izračunava kao:

$$M_s = [1 - (a/BM_t)] / [1 - (a/B)]$$

gde je $B = 12,2$ mm – debljina zida na mestu prslina, $a = 0,7$ mm procenjena dubina prslina, $c = 1,05$ mm poludužina prslina, i faktor $M_t = [1 + 3,2(c^2/DB)]^{0,5}$.

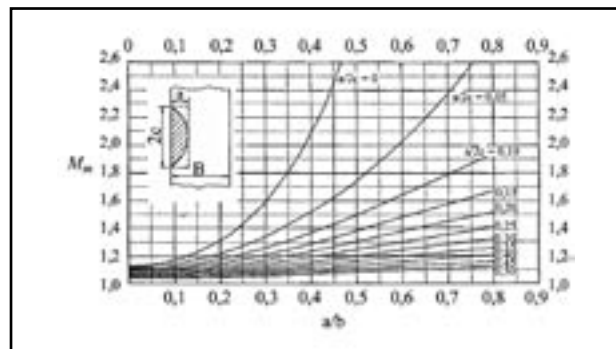
Proračunom se dobijaju sledeće vrednosti: $P_m = 133$ MPa; $M_t = 1,000$; $M_s = 1,000$; $\sigma_n = 160$ MPa.

Napon ojačavanja σ_f je poluzbir napona tečenja metala i zatezne čvrstoće u okolini vrha prslina. Prslina se nalazi u gruboznoj zoni ZUT. U ovoj situaciji nije moguće ispitivanjima preciznije utvrditi u kojoj temperaturnoj zoni ovog dela ZUT se nalazi prslina. Zato će integritet biti ocenjen za dva slučaja, prvi, za zonu najviše čvrstoće i najniže žilavosti (A) i drugi, za zonu najniže čvrstoće i visoke žilavosti (B).

Vrednosti napona tečenja, zatezne čvrstoće, energije loma i otvaranja prslina za ove zone su date u [6]. Sa koeficijentom sigurnosti za efektivni napon, koji prema [1] za ovaj slučaj iznosi 1,6 i zamenom u izrazu (1) dobija se za:

- slučaj A, temperaturna zona 1350°C; $\sigma_f = (\sigma_y + \sigma_m)/2 = 1101$ MPa, gde je: $\sigma_y = 1101$ MPa i $\sigma_m = 1101$ MPa dato u [6], zamenom u izrazu (1) $S_{r(A)} = 1,6 \cdot 160/1101 = 0,233$;
- slučaj B, temperaturna zona 850°C; $\sigma_f = (\sigma_y + \sigma_m)/2 = 798$ MPa, gde je: $\sigma_y = 660$ MPa i $\sigma_m = 936$ MPa dato u [6], zamenom u izraz (1) $S_{r(B)} = 1,6 \cdot 160/798 = 0,321$.

Vrednost otvaranja prslina δ_r se za nivo ocene II izračunava iz izraza:



Slika 4. Eliptični integral Φ u funkciji a/c za proračun K_t za površinsku prslinu

$$\sqrt{\delta_r} = \sqrt{(\delta_I/\delta_{mat})} + \rho \quad (4)$$

gde je δ_I delujuće otvaranje prsline, koje se izračunava iz izraza:

$$\delta_I = K_I^2/\sigma_Y E, \quad (5)$$

u kome je K_I faktor intenziteta napona, δ_{mat} kritično otvaranje prsline za materijal (δ_c), a ρ je faktor korekcije zbog međudejstva primarnih i sekundarnih napona; E je modul elastičnosti čelika.

Faktor intenziteta napona za površinske prsline se izračunava iz izraza:

$$K_I = (M_m/\Phi)\sigma_I\sqrt{\pi a} \quad (6)$$

gde je M_m faktor uvećanja napona koji uzima u obzir oblik prsline (sl. 3), Φ je eliptični integral (sl. 4). Za prslinu dužine $2c = 2,1$ mm, dubine $a = 0,7$ mm i koja se nalazi u zidu posude debljine $B = 12,2$ mm je $M_m = 1,05$; $\Phi = 1,32$.

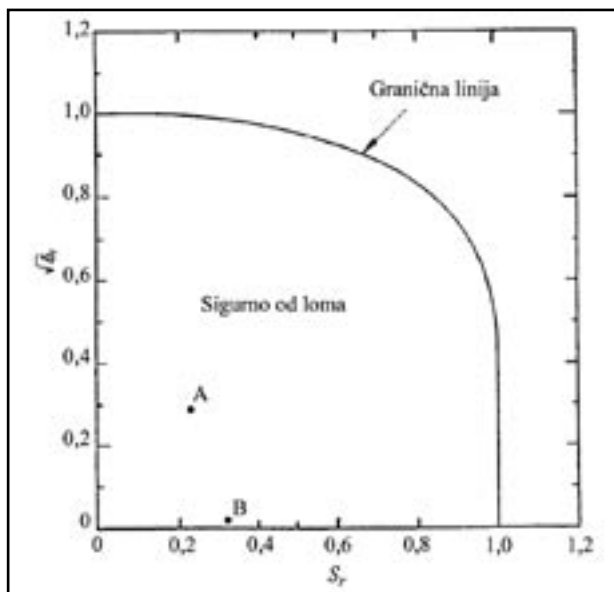
Maksimalni zatezni napon σ_I jednak je zbiru ($P_m + P_b + Q + F$), gde je P_b napon savijanja koji je posledica smaknuća ivica omotača i danca; Q je sekundarni, zaostali naponi u zavarenim spojevima; F je vršni napon. S obzirom da spojevi nisu naponski žareni, treba računati sa zaostalima naponima na nivou napona tečenja osnovnog metala, koji u ovom slučaju iznosi 469 MPa, što se vidi iz atesta osnovnog materijala segmenta gornjeg danca sa priključkom, datog u [2].

Napon savijanja P_b i vršni napon F mogu da se zanemare u uprošćenoj varijanti proračuna.

Prema tome, u analiziranom slučaju uzeti su u obzir naponi usled opterećenja, tj. pritiska u rezervoaru (133 MPa) i zaostali naponi u zavarenim spojevima (469 MPa), čiji je zbir 602 MPa, na osnovu čega se, zamenom u izraz, (6) za K_I dobija:

$$K_I = 1,05/1,32 \cdot 602 \cdot \sqrt{(0,7\pi)} = 710 \text{ MPa mm}^{0,5}$$

zamenom u izrazu (5) dobija se za:



Slika 5. Dijagram ocene loma za nivo II

- slučaj A, temperaturna zona 1350°C; $\delta_{I(A)} = 710^2/1101 \cdot 207000 = 0,002$ mm, gde je $K_I = 710 \text{ MPa mm}^{0,5}$, $\sigma_{Y(a)} = 1101 \text{ MPa}$, $E = 207 \text{ GPa}$;
- slučaj B, temperaturna zona 850°C; $\delta_{I(B)} = 714^2/660 \cdot 207000 = 0,004$ mm, gde je $K_I = 710 \text{ MPa mm}^{0,5}$, $\sigma_Y = 660 \text{ MPa}$, $E = 207 \text{ GPa}$.

Kritične vrednosti za otvaranje prsline δ_c za razmatrane temperaturne zone su date u [6] i iznose $\delta_{c(A)} = 0,007$ mm za slučaj A i $\delta_{c(B)} = 0,130$ mm za slučaj B. Faktor korekcije ρ za ovaj slučaj ima vrednost blisku nuli. Iz izraza (4) sledi:

- za slučaj A, zamenom gore navedenih vrednosti za $\delta_{I(A)}$ i $\delta_{c(A)}$, $\sqrt{\delta_{r(A)}} = \sqrt{(0,002/0,007)} = 0,286$,
- za slučaj B, zamenom gore navedenih vrednosti za $\delta_{I(B)}$ i $\delta_{c(B)}$ $\sqrt{\delta_{r(B)}} = \sqrt{(0,004/0,130)} = 0,031$.

Unošenjem vrednosti za S_r i $\sqrt{\delta_r}$ za oba slučaja u dijagram za ocenu loma (slika 5), vidi se da opasnost od loma ne postoji.

Osim nemogućnosti tačnog utvrđivanja zone ZUT u kojoj se nalaze mikroprsrline i nepreciznih osobina materijala u toj zoni, nesigurnost u analizu unosi i to što nisu poznati nivoi vršnih i termičkih napona. Vršni naponi su posledica konstrukcijskih diskontinuiteta, npr. postojanja priključaka i otvora.

Termički naponi u ovom slučaju mogu biti značajni, npr. pri puštanju posude u pogon nakon ispitivanja, tj. pri zahlađivanju sa ambijentalne na radnu temperaturu. Sa druge strane, u pravcu rasta prsline nalazi se finožrna struktura osnovnog materijala, daleko veće žilavosti.

Ako prsline raste u ravni prostiranja ZUT (slika 1), onda se ugao između ravni prostiranja prsline i pravca glavnog napona smanjuje, zbog čega se smanjuju i delujućii naponi. Na taj način može se očekivati da će, ako dođe do rasta mikroprsrline, na određenoj dubini ovaj rast prestati, ili zbog porasta žilavosti materijala, ili zbog smanjenja delujućiih napona.

Povoljni uslovi za rast ostaju u bočnom pravcu. Povećanjem dužine prsline povećavaju se vrednost faktora intenziteta napona, delujućiih otvaranja prsline i parametra δ_r .

7. Zaključci

Na osnovu rezultata prikazanih u ovom radu, može da se zaključii sledeće:

- Primenom postupka za ocenu prihvatljivosti grešaka u zavarenim spojevima, izloženom u BSI standardu PD 6493, ocenjeno je da mikroprsrline otkrivene u ZUT zavarenih spojeva priključaka rezervoara za skladištenje tečnog ugljen-dioksida ne ugrožavaju njegov bezbedan rad. Zbog toga je rezervoar pušten u dalju eksploataciju sa ovim mikroprsrlinama.
- Izvesnu nepouzdanost u ocenu prihvatljivosti grešaka unelo je nepoznavanje tačnih karakteristika materijala i tačnog naponskog stanja ispred vrha prsline. Zbog toga je predviđeno da se tokom eksploatacije rezervoara zavareni spojevi priključaka periodičii ispituju metodama bez razaranja.

Literatura

- [1] ***: BSI, PD 6493 *Uputstvo za ocenu prihvatljivosti grešaka u zavarenim konstrukcijama*.
- [2] ***: Tehnička dokumentacija rezervoara, tipa SRU V 25, f.b. 1503, proizvođač TPO Gorazde, 1983.

- [3] ***: *Projekat ugradnje freonske jedinice u rezervoar za skladištenje tečnog ugljen-dioksida*, Tehnogas – Inženjering, Beograd, oktobar 2001.
- [4] ***: *Tehnologija ugradnje priključaka za freonsku jedinicu u rezervoar za skladištenje tečnog ugljen-dioksida f.b.1503*, Mašinski fakultet, Beograd, novembar 2001.
- [5] ***: *Elaborat o zavarivanju i ispitivanju priključaka za freonsku jedinicu na rezervoaru za skladištenje*

tečnog ugljen-dioksida f.b.1503, Mašinski fakultet, Beograd, mart 2003.

- [6] **Gerić, K., S. Sedmak:** *Eksperimentalna analiza svojstava i otpornosti prema prslinama zone uticaja toplote*, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, br. 1/1997.

PROCESNA
TEHNIKA

HEMIJSKI ELEMENTI

Gustina. Najlakši metal je litijum ($\rho = 0,534 \text{ g/cm}^3$), a najteži osmijum ($\rho = 22,5 \text{ g/cm}^3$). Najlakši gasovi su vodonik ($\rho = 0,534 \text{ g/cm}^3$) i helijum ($\rho = 0,178 \text{ g/cm}^3$). *Najteži element u gasovitom stanju je radon* ($\rho = 9,73 \text{ g/cm}^3$).

Tačka topljenja. Ugljenik ima najvišu tačku topljenja od svih elemenata (3800°C), a helijum najnižu (-272°C). Među metalima najvišu tačku topljenja ima volfram – na 3410°C , a živa najnižu $-38,9^\circ\text{C}$.

Reaktivnost. Element koji se najlakše jedini–reaguje – jeste fluor. Inertni gasovi se praktično ne jedine. U nor-

malnim uslovima oni ne stvaraju nikakva hemijskih jedinjenja. Najplemenitiji metal je iridijum, a najmanje plemenit cezijum.

Fizičko (agregatno) stanje. Na normalnoj temperaturi (20°C), 11 elemenata je gasovito, 75 je u čvrstom stanju, a brom i živa su u tečnom stanju.

Na nešto višim temperaturama, u tečno stanje prelaze i cezijum (tačka topljenja $28,5^\circ\text{C}$) i galijum (tačka topljenja $29,8^\circ\text{C}$).

Veštački elementi. Elementi sa atomskim (rednim) brojem 93 i višim (transuranski elementi) dobijeni su veštačkim putem. Oni se ne javljaju u prirodi.

TABELA ELEMENATA PO ABECEDNOM REDU

m = metal; n = nemetal; g = gas

Element	Simbol – oznaka	Vrsta – tip	Atomski broj	Atomska težina	Valenca – valentnost	Godina otkrića	Otkrio-li
Ajnštajnijum	Es	–	99	246	–	1955.	Seaborg i saradnici
Aktinijum	Ac	m	89	227	3	1899.	Debiegne
Aluminijum	Al	m	13	26,98	3	1827.	Woehler
Americijum	Am	m	95	243	3; 4; 5; 6	1945.	Seaborg, Morgan
Antimon ¹⁾	Sb	m	51	121,75	3; 5	Stari vek	
Argon	Ar	g	18	39,95	0	1894.	Ramsay, Rayleigh
Arsen	As	n	33	74,92	3; 5	1649.	Schroeder
Astat	At	n	85	210	1; 3; 5; 7	1940.	Karlik & Bernert
Azot	N	g	7	14,01	2; 3; 5	1772.	Scheele
Bakar ²⁾	Cu	m	29	63,54	1; 2	Stari vek	
Barijum	Ba	m	56	137,34	2	1808.	Davy
Berilijum	Be	m	4	9,01	2	1827.	Woehler
Berklijum	Bk	m	97	245	3; 4	1950.	Seaborg
Bizmut	Bi	m	83	208,9	3; 5	1546.	Agricola
Bor	B	n	5	10,81	3	1808.	Gay–Lussac, Thénard
Brom	Br	n	35	79,91	1; 5	1826	Balard
Cerijum	Ce	m	58	140,12	3; 4	1814.	Berzelius
Cezijum	Cs	m	55	132,9	1	1860.	Bunsen, Kirchoff
Cink	Zn	m	30	65,37	2	Stari vek	
Cirkonijum	Zr	m	40	91,22	4	1824.	Berzelius
Disprozijum	Dy	m	66	162,5	3	1866.	Lecoq de Boisbaudran
Erbijum	Er	m	68	167,26	3	1843.	Mosander
Europijum	Eu	m	63	151,96	3	1892.	Lecoq de Boisbaudran
Fermijum	Fm	–	100	250	–	1955.	Seaborg i saradnici
Fluor	F	g	9	19,00	1	1887.	Moissan
Fosfor	P	n	15	30,97	3; 5	1669.	Brandt
Francijum	Fr	m	87	223	1	1939.	Perey
Gadolinijum	Gd	m	64	157,25	3	1880.	Marignac
Germanijum	Ge	m	32	72,59	2; 4	1886.	Winkler

(Nastavak na sledećoj strani)

Element	Simbol – oznaka	Vrsta – tip	Atomski broj	Atomska težina	Valenca – valentnost	Godina otkrića	Otkrio-li
Gvožđe	Fe	m	26	55,85	2; 3; 6	Stari vek	
Hafnijum	Hf	m	72	178,49	4	1923.	Hevesy & Coster
Hanijum	Ha	m	105	–	–	1970.	USA
Helijum	He	g	2	4,003	0	1894.	Ramsay, Rayleigh
Hlor	Cl	g	17	35,46	1; 3; 5; 7	1774.	Scheele
Holmijum	Ho	m	67	164,93	3	1911.	Holmberg
Hrom	Cr	m	24	52,00	2; 3; 6	1797.	Vauquelin
Indijum	In	m	49	114,82	3	1863.	Reich & Richter
Iridijum	Ir	m	77	192,2	3; 4	1863.	Tennant
Iterbijum	Yb	m	70	173,04	3	1907.	Auer von Welsbach
Itrijum	Y	m	39	88,90	3	1843.	Mosander
Jod	I	n	53	126,9	1; 3; 5; 7	1811.	Courtois
Kalaj ³⁾	Sn	m	50	118,69	2; 4	Stari vek	
Kadmijum	Cd	m	48	112,4	2	1818.	Strohmeyer
Kalcijum	Ca	m	20	40,08	2	1808.	Davy
Kalijum	K	m	19	39,10	1	1807.	Davy
Kalifornijum	Cf	m	98	246	–	1950.	Seaborg
Kirijum	Cm	m	96	243	3; 4; 5; 6	1950.	Seaborg & James
Kiseonik	O	g	8	16,00	2	1774.	Priestley, Scheele
Kobalt	Co	m	27	58,93	2; 3	1735.	Brandt
Kripton	Kr	g	36	83,30	0	1898.	Ramsay
Ksenon	Xe	g	54	131,3	0	1898.	Ramsay
Lantan	La	m	57	138,91	3	1839.	Mosander
Litijum	Li	m	3	6,94	1	1817.	Arfvedson
Lorencijum	Lr	m	103	257	–	1961.	Lawrence i saradnici
Lutecijum ⁴⁾	Lu	m	71	174,97	3	1905.	Auer von Welsbach
Magnezijum	Mg	m	12	24,31	2	1808.	Davy
Mangan	Mn	m	25	54,94	2; 3; 4; 6; 7	1780.	Gahn, Scheele
Mendeljevijum	Md		101	256		1955.	Seaborg
Molibden	Mo	m	42	95,94	3; 4; 6	1782.	Hjelm
Natrijum	Na	m	11	22,99	1	1807.	Davy
Neodimijum	Nd	m	60	144,24	3	1885.	Auer von Welsbach
Neon	Ne	g	10	20,18	0	1898.	Ramsay, Travers
Neptunijum	Np	m	93	237	3; 4; 5; 6	1938.	Fermi, Hahn, Millan
Nikl	Ni	m	28	58,71	2; 3	1751.	Cronstedt, Bergmann
Niobijum	Nb	m	41	92,91	3; 5	1801.	Hachet
Nobelijum	No	m	102	254	–	1957.	Švedsko-engleska grupa
Olovo ⁵⁾	Pb	m	82	207,19	2; 4	Stari vek	
Osmijum	Os	m	76	190,2	2; 3; 4; 8	1803.	Tennant
Paladijum	Pd	m	46	106,4	2; 4	1803.	Wollaston
Platina	Pt	m	78	195,1	2; 4	1748.	Ulloa
Plutonijum	Pu	m	94	242	3; 4; 5; 6	1940.	Seaborg
Polonijum	Po	m	84	210	6	1898.	Pierre & Marie Curie
Prazeodijum	Pr	m	59	140,91	3	1885.	Auer von Welsbach
Prometijum	Pm	m	61	145	3	1926.	Hopkins, Yntema
Protaktinijum	Pa	m	91	231	5	1917.	Hahn & Meitner
Raderfordijum ⁶⁾	Rf	m	104	261	–	1964.	SSSR
Radijum	Ra	m	88	226,0	2	1898.	Pierre & Marie Curie
Radon	Rn	g	86	222	0	1900.	Dorn
Renijum	Re	m	75	186,2	3; 4; 5; 6; 7	1925.	Noddack
Rodijum	Rh	m	45	102,9	3	1803.	Wollaston
Rubidijum	Rb	m	37	85,47	1	1860.	Bunsen, Kirchhoff
Rutenijum	Ru	m	44	101,07	4; 8	1848.	Klaus
Samarijum	Sm	m	62	150,35	3	1879.	Lecoq de Boisbaudran
Selen	Se	n	34	78,96	2; 4; 6	1817.	Bercelijus
Silicijum	Si	n	14	28,09	4	1823.	Bercelijus
Skandijum	Sc	m	21	44,96	3	1879.	Nilson

(Nastavak na sledećoj strani)

Element	Simbol – oznaka	Vrsta – tip	Atomski broj	Atomska težina	Valenca – valentnost	Godina otkrića	Otkrio-li
Srebro	Ag	m	47	107,87	1; 2	Stari vek	
Stroncijum	Sr	m	38	87,62	2	1808.	Davy
Sumpor	S	n	16	32,08	2; 4; 6	Stari vek	
Talijum	Tl	m	81	204,37	1; 3	1861.	Crookes
Tantal	Ta	m	73	180,95	5	1802.	Eckeberg
Tehnecijum	Tc	m	43	99	7	1937.	Perrier, Segré, Wu
Telur	Te	m	52	127,6	2; 4; 6	1879.	Klaproth
Terbijum	Tb	m	65	158,92	3	1842.	Mosander
Titanijum	Ti	m	22	47,90	2; 3; 4	1791.	Gregor
Torijum	Th	m	90	232,04	4	1828.	Berzelius
Tulijum	Tm	m	69	168,93	3	1879.	Cleve
Ugljenik	C	n	6	12,01	2; 4	Stari vek	
Uran	U	m	92	238,03	3; 4; 5; 6;	1786.	Klaproth
Vanadijum	V	m	23	50,94	2; 3; 4; 5;	1830.	Sefstroem
Vodonik	H	g	1	1,008	1	1766.	Cavendish
Volfram	W	m	74	183,85	2; 3; 4; 5; 6	1785.	d'Elhuyard
Zlato	Au	m	79	196,97	1; 3	Stari vek	
Živa ⁷⁾	Hg	m	80	200,59	1; 2	Stari vek	

¹⁾ Antimon ima simbol **Sb** od svog latinskog imena *Stibium*.

²⁾ Bakar ima simbol **Cu** od svog latinskog imena *Cuprum*.

³⁾ Kalaj ima simbol **Sn** od svog latinskog imena *Stannum*.

⁴⁾ Lutecijum je ranije imao naziv **kasiopijum (Cp)**.

⁵⁾ Olovo ima simbol **Pb** od svog latinskog imena *Plumbum*.

⁶⁾ Raderfordijum se u literaturi nalazi i pod imenom *kurčatovijum (Ku)*. Naziv je dobio po Igoru Vasiljeviču Kurčatovu, ocu sovjetske atomske bombe.

⁷⁾ Živa ima simbol **Hg** od svog latinskog imena *Hydrargyrum*.

HEMIJSKI ELEMENTI PO ABECEDNOM REDU SIMBOLA

Ac	aktinijum	Er	erbijum	Mg	magnezijum	Rn	radon
Ag	srebro	Es	ajnštajnijum	Mn	managan	Ru	rutenijum
Al	aluminijum	Eu	europijum	Mo	molibden	S	sumpor
Am	americijum	F	fluor	N	azot	Sb	antimon
Ar	argon	Fe	gvožđe	Na	natrijum	Sc	skandijum
As	arsen	Fm	fermijum	Nb	niobijum	Se	selen
At	astat	Fr	francijum	Nd	nedoimijum	Si	silicijum
Au	zlato	Ga	galijum	Ne	neon	Sm	samarijum
B	bor	Gd	gadolinijum	Ni	nikl	Sn	kalaj
Ba	barijum	Ge	germanijum	No	nobelijum	Sr	stroncijum
Be	berilijum	H	vodonik	Np	neptunijum	Ta	tantal
Bi	bizmut	Ha	hanijum	O	kiseonik	Tb	terbijum
Bk	berklizijum	He	helijum	Os	osmijum	Tc	tehnecijum
Br	brom	Hf	hafnijum	P	fosfor	Te	telurijum
C	ugljenik	Hg	živa	Pa	protaktinijum	Th	torijum
Ca	kalcijum	Ho	holmijum	Pb	olovo	Ti	titanijum
Cd	kadmijum	I	jod	Pd	paladijum	Tl	talijum
Ce	cerijum	In	indijum	Pm	prometijum	Tm	tulijum
Cf	kalifornijum	Ir	iridijum	Po	polonijum	U	uranijum
Cl	hlor	K	kalijum	Pr	prazeodimijum	V	vanadijum
Cm	kirijum	Kr	kripton	Pt	platina	W	volfram
Co	kobalt	La	lantlan	Pu	plutonijum	Xe	ksenon
Cr	hrom	Li	litijum	Ra	Rradijum	Y	itrijum
Cs	cezijum	Lr	lorencijum	Rb	rubidijum	Yb	iterbijum
Cu	bakar	Lu	lutecijum	Re	renijum	Zn	cink
Dy	disprozijum	Md	mendeljevijum	Rf	raderfordijum	Zr	cirkonijum

PERIODNI SISTEM ELEMENATA

U periodnom sistemu elemenata (periodične tabele D. Mendeljejeva, 1868. i L. Majera, 1869), svi hemijski elementi su svrstani po svom rastućem atomskom broju (vodoravni redovi = "periode") i po periodičnom ponavljanju svojih hemijskih osobina (uspravne kolone = "grupe"). Počevši od periode N, grupe su podeljene u "a" i "b" serije. (U nekim naučnim radovima serija "a" je označena kao serija "b", a serija "b" je označena kao serija "a".) Grupe sadrže elemente koji imaju slična hemijska i fizička svojstva. Po periodama elementi su poređani po

rastućem atomskom broju. Ovaj broj i broj elemenata kroz periode su povezani sa atomskom strukturom. Na kraju svake periode, u grupi "0" je nulavalentni inertni gas. Lantanidi (retke zemlje), njih 14, i transuranski elementi su slični po drugoj osnovi atomske strukture. Elementi 19, 37, 43, 61, 62, 71 i od 84 i dalje imaju svojstvo prirodne radioaktivnosti.

Elementi sa parnim atomskim brojem rasprostranjeniji su u prirodi od onih sa neparnim atomskim brojem.

Perioda	Broj elemenata u svakoj periodi	Grupa I		Grupa II		Grupa III		Grupa IV		Grupa V		Grupa VI		Grupa VII		Grupa VIII	Grupa 0
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b				
K	$2 \cdot 1^2 = 2$	1 H														2 He	
L	$2 \cdot 2^2 = 8$	3 Li		4 Be		5 B		6 C		7 N		8 O		9 F		10 Ne	
M	$2 \cdot 2^2 = 8$	11 Na		12 Mg		13 Al		14 Si		15 P		16 S		17 Cl		18 Ar	
N	$2 \cdot 3^2 = 18$	19 K 29 Cu		20 Ca 30 Zn		21 Sc 31 Ga		22 Ti 32 Ge						26 Fe 27 Co 28 Ni		36 Kr	
O	$2 \cdot 3^2 = 18$	37 Rb 47 Ag		38 Sr 48 Cd		39 Y 49 In		40 Zr 50 Sn		41 Nb 51 Sb		42 Mo 52 Te		43 Tc 53 I		44 Ru 45 Rh 46 Pd 54 Xe	
P	$2 \cdot 6^2 = 32$	55 Cs 79 Au		56 Ba 80 Hg		57 La ¹⁾ 81 Tl		72 Hf 82 Pb		73 Ta 83 Bi		74 W 84 Po		75 Re 85 At		76 Os 77 Ir 28 Pt 86 Rn	
Q		87 Fr		88 Ra		89 Ac		90 Th		91 Pa		92 U ²⁾					

¹⁾ Od 58 do 71 su "lanthanidi": 58 Ce, 59 Pr, 60 Nd, 61, Pm, 62, Sm, 63 Eu, 64 Gd, 65 Tb, 66 Dy, 67 Ho, 68 Er, 69 Tm, 70, Yb, 71 Lu

²⁾ Od 93 do 106 su "transuranski elementi" koji su dobijeni veštački: 93 Np, 94 Pu, 95 Am, 96 Cm, 97 Bk, 98 Cf, 99 Es, 100 Fm, 101 Md, 102 No, 103 Lr, 104 Rf, 105 Ha, ...