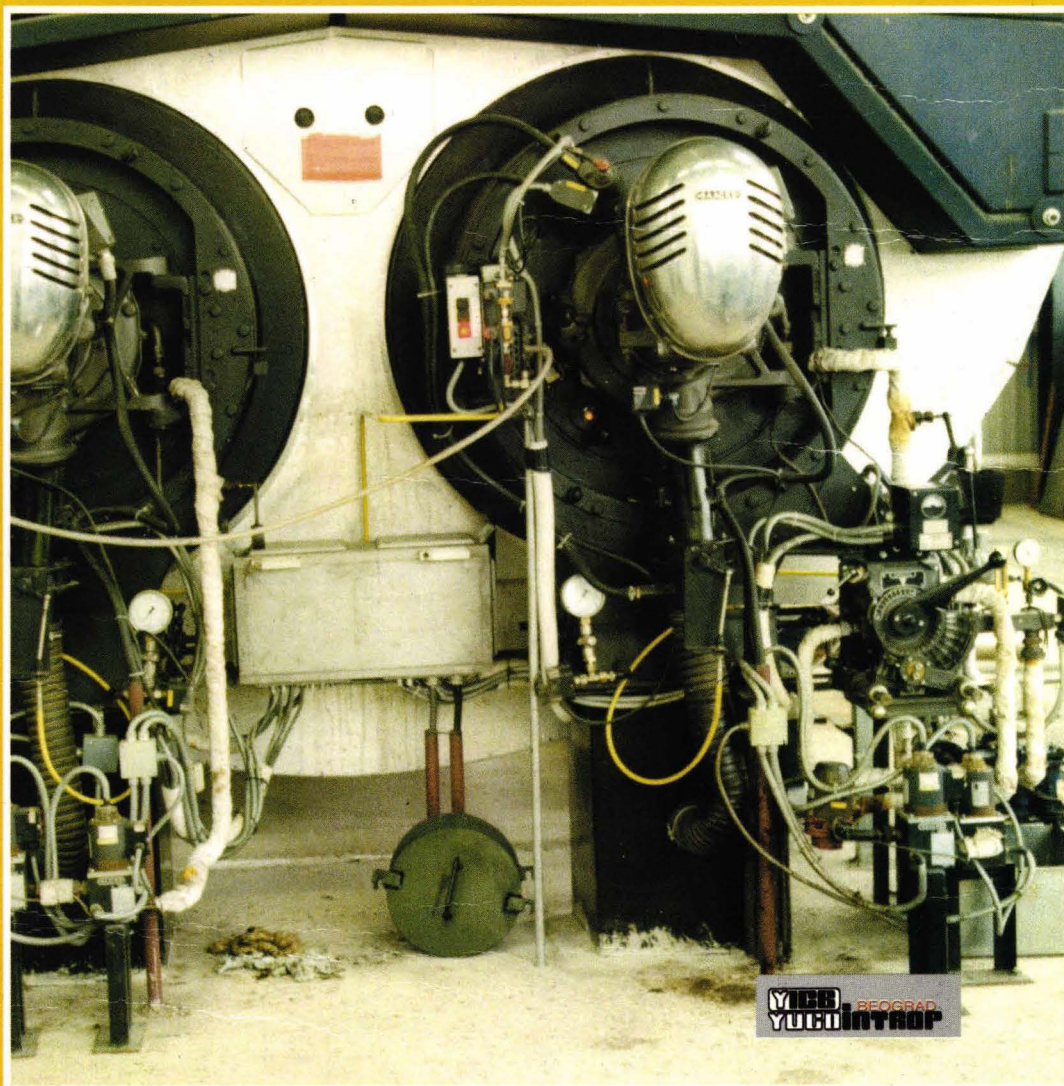


Jugoslovenski naučno-stručni časopis

YU ISSN 0352-678X

PROCESNA TEHNIKA

Broj 1
Mart
2001.
Godina
17.



σ_m – čvrstoća materijala obratka, N/mm²,
 S – debljina lima, mm,
 K – odnos izvlačenja $K = D/d$,
 H – rastojanje eksploziva od priprema, mm.

Jednačina dobijena u okviru ovih istraživanja daje dovoljno tačne vrednosti za količine eksploziva. Greška između vrednosti dobijene ovom jednačinom i eksperimentalno utvrđene količine eksploziva ne prelazi vrednost od 5%, te se može sa dovoljnom sigurnošću koristiti za inženjerske proračune.

4. Zaključak

Na osnovu izloženog mogu se izvesti sledeći zaključci:

- tehnologijom zavarivanja eksplozijom dobijaju se paketi koji imaju specifične karakteristike i u stanju su da zadovolje veoma stroge i raznovrsne zahteve procesne opreme;
- procenat ugradnje skupih i retkih materijala sveden je na najmanju moguću meru;
- armiranjem materijala poboljšavaju se mehaničke karakteristike osnovnog materijala;
- oblikovanje eksplozijom omogućava izrad elemenata velikih dimenzija, bez upotrebe skupe opreme.

Literatura

- [1] **Deribas, A.:** *Fizika uproćenija i svarki vzrivom*, Nauka, Novosibirsk, 1972.

- [2] **Dimitrov, B.:** *Primena višeslojnih materijala u procesnoj industriji*, Procesna tehnika (11) 3, 1995.
- [3] **Dimitrov, B.:** *Proces zavarivanja eksplozivom vlaknastih kompozitnih materijala*, XXVI oktobarsko savetovanje, Bor, 1994.
- [4] **Dimitrov, B.:** *Krive ojačavanja višeslojnih raznorodnih materijala*, XXIV oktobarsko savetovanje, Bor, 1992.
- [5] **Dimitrov, B., V. Stoilković:** *Plakiranje limova eksplozijom*, XVII oktobarsko savetovanje, Bor, 1985.
- [6] **Dimitrov, B.:** *Naponsko i deformaciono stanje pri dubokom izvlačenju lima eksplozijom i određivanje pritiska udarnog talasa sa analizom uticajnih faktora*, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Niš, 1987.
- [7] **Dimitrov, B., V. Stoilković:** *Mogućnost primene energije eksplozije pri oblikovanju lima*, Procesna tehnika (13) 3–4, 1997.
- [8] **Dimitrov, B., V. Stoilković:** *Izrada danaca eksplozijom*, Obrada deformisanjem u mašinstvu, br. 1, Novi Sad, 1984.
- [9] **Dimitrov, B., V. Stoilković:** *Analiza oblika i rasporeda deformacije pri izvlačenju cilindričnih elemenata eksplozijom*, SIMOD, br. 1–2, Novi Sad, 1985.
- [10] **Anučin, M.:** *Štampovka vzrivom*, Mašinstvoenije, Moskva, 1982.

PROCESNA
TEHNIKA

MEHANIČKA ISPITIVANJA ZAVARENIH SPOJEVA ŠAVNIH CEVI

Mr Živče Šarkočević, Fabrika šavnih cevi, Uroševac,
dr Aleksandar Sedmak, Mašinski fakultet, Beograd,
dr Miodrag Arsić, **dr Andreja Milovanović**,
mr Vujadin Aleksić, GOŠA Institut, Beograd

Da bi se procenila sigurnost zavarenog spoja na delu jedne konstrukcije izrađene od šavnih cevi, potrebno je ispitati mehaničke i tehnološke karakteristike materijala. Ispitivanja zatezne čvrstoće, tvrdoće, žilavosti i na savijanje izvedena su na mikrolegiranim čelicima X60 i J55. Cevi od čelika X60 su zavarene EPP i visokofrekventnim postupkom, a cevi od čelika J55 su zavarene samo visokofrekventnim postupkom.

Ispitivanja su pokazala da materijal J55 zavaren visokofrekventnim postupkom može da se koristi za odgovorne cevovode do temperature -20°C .

Materijal X60 zavaren visokofrekventnim postupkom zbog niske žilavosti zavarenog spoja ne može da se koristi na niskim temperaturama, a zavaren postupkom EPP može da se upotrebljava za odgovorne cevovode do temperature -20°C , s tim da parametri zavarivanja moraju da se usklade tako da omoguće blaži režim zavarivanja kojim bi se dobila niža čvrstoća i tvrdoća zavarenog spoja, a veća žilavost.

Gljučne reči: spiralno zavarene cevi; uzdužno zavarene cevi; EPP postupak zavarivanja; visokofrekventni postupak zavarivanja; ispitivanja razaranjem

MECHANICAL TESTING OF THE SEAM PIPES WELDED JOINTS

In order to evaluate the safety of welded joint as a crucial part of a structure made of the seam pipes, it is necessary to test certain mechanical and technological material properties. This is why the tensile strength hardness, toughness and bending testing has been performed on microalloyed steel X60 and J55. Pipes made of steel X60 are welded by submerged arc welding (SAW) and by high frequency process, whereas pipes made of steel J55 are welded only by high frequency process. These tests have shown that steel J55 could be used for pipelines at temperature up to -20°C . Steel X60, welded by high frequency process should not be at low temperatures, which the steel welded by SAW can be used up to -20°C if welding parameters are chosen so ("mild" mode) that strength and hardness are limited, while toughness is sufficiently high.

Key words: spiral welded pipes; longitudinal welded pipes; SAW welding; high-frequency welding

Uvod

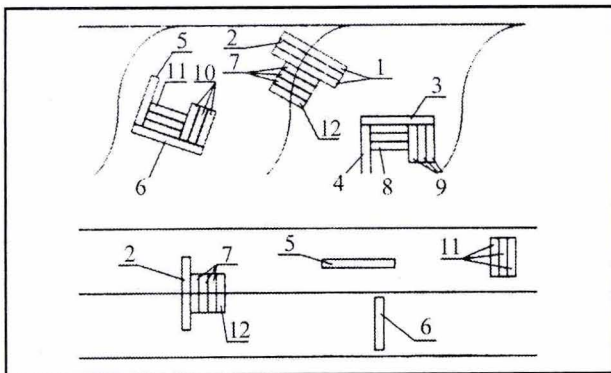
Osnovna pretpostavka koju treba uzeti u obzir prilikom projektovanja delova konstrukcije jeste predviđanje njene sigurnosti u procesu rada. To je posebno izraženo kod posuda pod pritiskom i cevovoda, zbog čega je čelicima za njihovu izradu posvećena velika pažnja.

Čelici koji se koriste za izradu šavnih cevi normirani su standardima kao što su API i DIN. Ovim standardima je obuhvaćena i sva problematika izrade cevi, uključujući i izradu visokopterećenih cevovoda od specijalnih čelika, koji pored visoke čvrstoće imaju i dobru žilavost [1].

Sigurnost šavnih cevi zavisi od niza karakteristika vezanih za konstrukciju, osnovni materijal, tehnologiju izrade i eksploatacijske uslove. Da bi se procenila sigurnost zavarenog spoja šavne cevi potrebno je ispitati njegove mehaničke i tehnološke karakteristike (ispitivanja zatezne čvrstoće, tvrdoće, žilavosti, otpornosti prema savijanju) [2].

Ispitivanja su sprovedena na spiralno i uzdužno zavarenim cevima od mikrolegiranih čelika X60 i J55, koje su prošle kroz kontrolu, u okviru proizvodnog programa „Sartida“ – Fabrike šavnih cevi. Za izradu spiralno zavarenih cevi od čelika X60 koristi se postupak zavarivanja EPP, a za izradu uzdužno zavarenih cevi od čelika X60 i J55 visokofrekventni (VF) postupak.

Položaj uzoraka za izradu epruveta iz šavnih cevi, prikazan na slici 1, i potrebna ispitivanja, izloženi su u tabeli 1, normirana su standardima API.



Slika 1. Položaj uzoraka za izradu epruveta iz zavarenih cevi

Ispitivanje zatezanjem

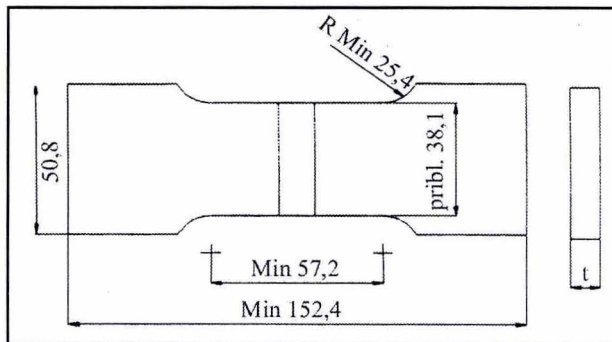
Epruveta za ispitivanje zavarenog spoja prema ASTM A370 prikazana je na slici 2.

Rezultati mehaničkih ispitivanja na zatezanje pokazuju da čelik X60 zavaren postupkom EPP ima sledeće vrednosti zatezne čvrstoće:

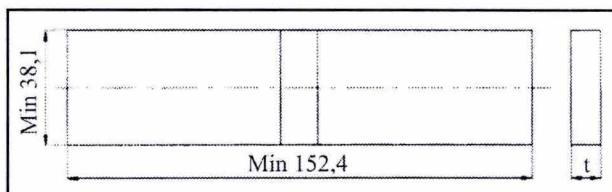
- normalno na šav $R_m = 659 \text{ N/mm}^2$,
- paralelno sa osom cevi $R_m = 587 \text{ N/mm}^2$,
- normalno na osu cevi $R_m = 594 \text{ N/mm}^2$,
- paralelno na valjanje $R_m = 597 \text{ N/mm}^2$
- normalno na valjanje $R_m = 604 \text{ N/mm}^2$.

Čelik X60 zavaren visokofrekventnim postupkom ima sledeće vrednosti zatezne čvrstoće:

- normalno na šav $R_m = 721 \text{ N/mm}^2$,
- paralelno na valjanje $R_m = 688 \text{ N/mm}^2$
- normalno na valjanje $R_m = 700 \text{ N/mm}^2$.



Slika 2. Epruveta za ispitivanje zavarenog spoja



Slika 3. Epruveta za ispitivanje savijanjem u tri tačke

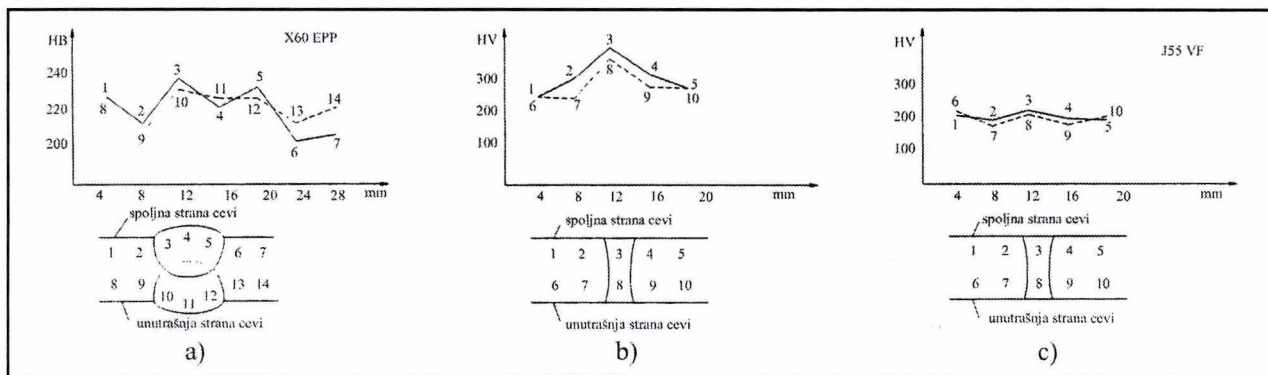
Čelik J55 zavaren visokofrekventnim postupkom ima vrednost zatezne čvrstoće paralelno sa osom cevi $R_m = 587 \text{ N/mm}^2$, izduženje $A_5 = 28,7 \%$ i kontrakciju $\psi_5 = 34\%$.

Upoređivanjem rezultata vidi se da je zatezna čvrstoća veća pri visokofrekventnom postupku i to: normalno na šav za 9%, paralelno na valjanje za 15% i normalno na valjanje za 16%.

Rezultati ispitivanja su pokazali da je srednja vrednost zatezne čvrstoće zavarenog spoja na cevima izrađenim visokofrekventnim postupkom zavarivanja od čelika X60 veća za 12,2% od srednje vrednosti zatezne čvrstoće zavarenog spoja cevi izradene postupkom EPP.

Tabela 1. Pregled predviđenih ispitivanja

Poz.	Ispitivanje	Položaj epruveta	Oznaka
1	Savijanje	Normalno na šav	NW
2	Zatezanje	Normalno na šav	NW
3	Zatezanje	Paralelno sa osom cevi	POC
4	Zatezanje	Normalno na osu cevi	NOC
5	Zatezanje	Paralelno sa pravcem valjanja	PV
6	Zatezanje	Normalno na pravac valjanja	NV
7	Žilavost	Normalno na šav	NW
8	Žilavost	Paralelno sa osom cevi	POC
9	Žilavost	Normalno na osu cevi	NOC
10	Žilavost	Paralelno sa pravcem valjanja	PV
11	Žilavost	Normalno na pravac valjanja	NV
12	Mikrošlif	Normalno na šav	NW



Slika 4. Dijagrami tvrdoće spoljašnje i unutrašnje zone šavnih cevi

Deformacione karakteristike osnovnog materijala zavarenog postupkom EPP veće su od deformacionih karakteristika materijala zavarenog visokofrekventnim postupkom, pri čemu je izduženje veće za 34,6%, a kontrakcija za 40,2%. To govori da osnovni materijal zavaren visokofrekventnim postupkom ima znatno slabije deformacione karakteristike, što za sobom povlači veću sklonost ka krtom lomu, što je potvrđeno i rezultatima pri ispitivanju žilavosti.

Zatezne karakteristike zavarenog spoja cevi izradenih od čelika J55 visokofrekventnim postupkom zavarivanja, nalaze se u propisanim granicama.

Ispitivanje savijanjem

Ispitivanje savijanjem prema standardu ASTM 370 izvodi se na epruvetama definisanim normama API (slika 3).

Sve ispitane epruvete savile su se za 180° bez pojave prslina. To se može objasniti zadovoljavajućom homogenizacijom strukture zavarenog spoja do koje je došlo pod dejstvom toplotnih uticaja kojima je bila izložena masa prvog nanetog unutrašnjeg sloja pri kasnijem formiranju spoljašnjeg sloja šava.

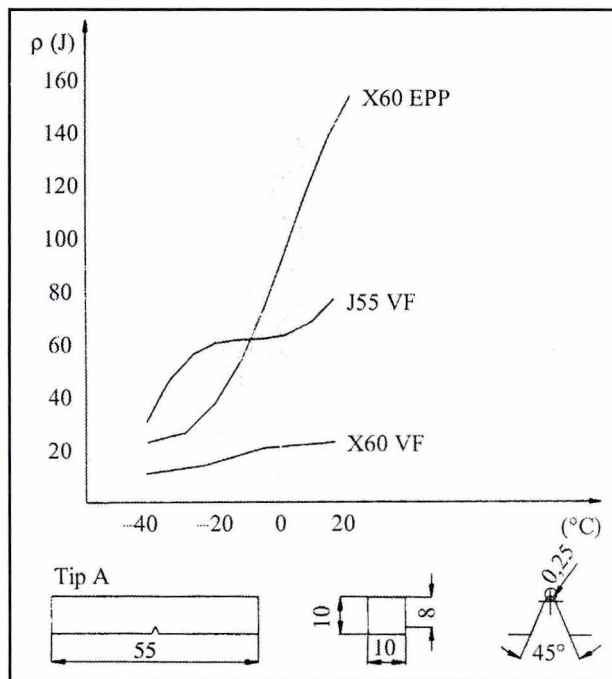
Ispitivanje tvrdoće

Ispitivanje tvrdoće na probnim uzorcima zavarenim postupkom EPP izvršena su Brinelovom metodom HBS 2,5/187,5/15, a na probnim uzorcima zavarenim visokofrekventnim postupkom Vickersovom metodom HV 30.

Ispitivanje tvrdoće materijala X60 zavarenog postupkom EPP pokazala su da je tvrdoća u metalu šava za 8 do 13% veća od tvrdoće u ZUT i osnovnom materijalu. Tvrdoća metala šava materijala X60 zavarenog visokofrekventnim postupkom veća je za 50 do 80 Vickersovih jedinica od tvrdoće osnovnog materijala i ZUT, a tvrdoća metala šava materijala J55 približno je jednaka tvrdoći osnovnog materijala, ili manja za 7 do 20 Vickersovih jedinica, a veća od tvrdoće ZUT za 2 do 17 Vickersovih jedinica. Rezultat merenja tvrdoće grafički je prikazan na slici 4.

Ispitivanje udarne žilavosti

Ispitivanja su izvedena standardnim postupkom po API 5LS, pri čemu je korišćen teg mase 15 kg, da bi se dobila dovoljna energija za lom epruvete. Udarne žilavost je određena korišćenjem epruvete sa V zarezom. Rezultati ispitivanja udarne žilavosti za određene temperature prikazani su grafički na sl. 5.



Slika 5. Rezultati ispitivanja žilavosti

Upoređujući udarnu žilavost šava zavarenog EPP i visokofrekventnim postupkom, uočava se da je udarna žilavost u postupku EPP veća: na temperaturi 20°C za 85,9%, na temperaturi 0°C za 80,2%, na temperaturi -20°C za 57,5% i na temperaturi 40°C za 44,1%, pa se može konstatovati da se cevi zavarene visokofrekventnim postupkom ne mogu upotrebiti za odgovorne cevovode.

Zaključak

Ispitivanja su pokazala da materijal J55 zavaren visokofrekventnim postupkom može da se koristi za odgovorne cevovode do temperature -20°C.

Materijal X60 zavaren visokofrekventnim postupkom zbog niske žilavosti zavarenog spoja ne može da se koristi na niskim temperaturama, a zavaren postupkom EPP može da se upotrebljava za odgovorne cevovode do temperature -20°C, s tim da parametri zavarivanja moraju da se usklade tako da omoguće blaži režim zavarivanja kojim bi se dobila niža čvrstoća i tvrdoća zavarenog spoja, a veća žilavost.

Literatura

- [1] ***: *Standardi API Std 5LS i API 5CT*
- [2] Arsić, M., Ž. Šarkočević, M. Sarvan, B. Ćirković, M. Nikolić: *Ocena sigurnosti zavarenih cevi izrađenih od čelika povećane čvrstoće na osnovu eksperimentalne analize kvaliteta*, 27. međun. savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Niš, Niška Banja, 1998.

- [3] Šarkočević, Ž.: *Analiza uticaja grešaka u zavarenim spojevima na ponašanje šavnih cevi od čelika povišene čvrstoće*, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.

PROCESNA
TEHNIKA

STRUČNI RAD • ENGINEERING PAPER

UDK 539.413

BIBLID 0352-678X (2001) 17:1 p. 137-139

OPTIMIZACIJA KRUTOSTI KONSTRUKCIJE LAMELARNOG TALOŽNIKA PRIMENOM MKE

Mr Milan Tasić, dipl. inž.,
Viša tehnička mašinska škola, Beograd, i
Rade Bjelobrck, inž., „Tehnika K. B.“, Beograd

Lamelarni taložnik je namenjen sakupljanju i prečišćavanju otpadnih voda u procesu galvanске zaštite. Zbog znatne količine vode, konstrukcija posude je opterećena na: izvijanje nosećih stubova usled težine, savijanje silama inercije pri dejstvu zemljotresa i savijanje zidova posude usled hidrostatičkog pritiska. Zbog agresivnosti sadržaja posude i osetljivosti zavarenih spojeva na uticaj korozije, osnovni zadatak projekta je bio obezbeđenje krutosti zidova posude, uz minimalnu dužinu zavarenih spojeva. U radu je prikazana primena metode konačnih elemenata u procesu konstruisanja ukrućenja zidova posude koji bi zadovoljili postavljene zahteve.

Ključne reči: otpadna voda; posuda za vodu; krutost; čvrstoća; metoda konačnih elemenata

OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION STIFFNESS OF A LAMELLAR SEDIMENTATION TANK BY USING MKE

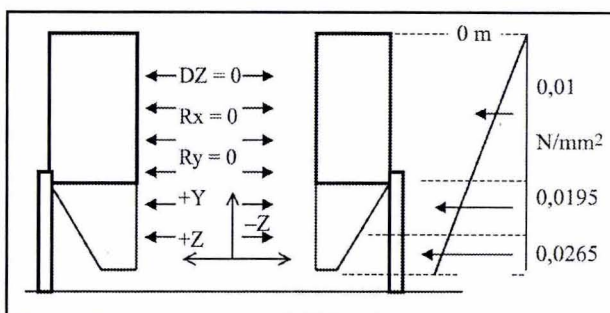
The purpose of a lamellar sedimentation tank is to collect and purify wastewater in the galvanic protection process. Due to significant quantity of water, the construction of this vessel is loaded to: buckling of supporting pillars due to heaviness, bending inertia forces due to earthquake effect and bending of vessel walls due to hydrostatic pressure. Due to aggressiveness of the vessel contents as well as the welded joint sensitivity to the corrosion effect, the main task of the project was to provide stiffness for the vessel walls with a minimal length of welded joints. The application of finite element method in the process of construction of vessel wall stiffness, which would meet the set demands, presented herein.

Key words: waste water; water tanks; stiffness; strength; finite element method

Lamelarni taložnik je namenjen sakupljanju i prečišćavanju otpadnih voda u procesu galvanске zaštite. Zbog

znatne količine vode od 20 m³, posuda je opterećena na: izvijanje nosećih stubova usled težine, savijanje silama inercije pri dejstvu zemljotresa i savijanje zidova posude usled hidrostatičkog pritiska.

Izvijanje nosećih stubova (slika 1) provereno je metodama klasične teorije izvijanja. Pretpostavljeno je da je opterećenje približno ravnomerno raspoređeno na sva četiri stuba, tako da je zanemaren uticaj savijanja zbog nesimetričnosti opterećenja. Sami stubovi su posmatrani kao slobodni na gornjem kraju (prijem opterećenja), a uklešteni na donjem kraju (oslanjanje). Primenjeni uslovi su oštrij od realnih uslova opterećenja i oslanjanja, a proračun je pokazao da nema opasnosti od izvijanja.



Slika 1. Granični uslovi na sastavu dveju polovina i promena pritiska duž zidova posude

Uticaj zemljotresa uzet je kao bočno savijanje stubova usled sila inercije koje deluju u težištu posude zbog dejstva poremećajnog ubrzanja od 1 m/s² (za drugu zonu uticaja). I u ovom slučaju je konstrukcija izvan granice koja bi se mogla smatrati kritičnom.

Pažnja rada je usmerena na analizu krutosti limova koji formiraju oblik posude. Zbog velikih površina zidova i visine (dubine) posude, uticaj hidrostatičkog pritiska na deformacije ploča je značajan. Da bi se obezbedila krutost ovih površina neophodno je njihovo orebrenje. Osnovni problem je izbor odnosa debljine zidova i broja, veličine i rasporeda rebra, jer je zbog agresivnosti sadržaja posude i osetljivosti zavarenih spojeva na uticaj korozije, zadatak projekta bio obezbeđenje zahtevane krutosti zidova posude uz minimalnu dužinu zavarenih spojeva.

Posuda u svom gornjem delu ima kanale za prelivanje čiste vode. Geometrija kanala u konstrukcionom smislu predstavlja ukrućenje ploča gornjeg dela posude, što je trebalo iskoristiti kao nosivi element konstrukcije. Da bi se sagledao uticaj ovakvih elemenata, odustalo se od iskustvenih rešenja orebravanja ravnih ploča, već se prišlo proračunu krutosti pomoću metode konačnih elemenata iz programskog paketa ALGOR.