

UTICAJ RADNIH USLOVA NA PRORAČUN ČVRSTOĆE POSUDE POD PRITISKOM OD AUSTENITNOG ČELIKA PREMA SRPS EN 13445

INFLUENCE OF WORKING CONDITIONS ON STRENGTH CALCULATION OF PRESSURE VESSEL OF AUSTENITIC STEEL ACCORDING TO SRPS EN 13445

Originalni naučni rad / Original scientific paper
UDK /UDC: 620.17:66-988
620.17:669.15-194.56
Rad primljen / Paper received: 01.10.2013.

Adresa autora / Author's address:

¹) Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd, Srbija

²) Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Srbija

Ključne reči

- posuda pod pritiskom
- proračun čvrstoće
- austenitni čelik
- SRPS EN 13445

Izvod

Usvajanjem zakonske regulative iz oblasti opreme pod pritiskom počinje primena serije standarda SRPS EN 13445. U radu je prikazan proračun cilindrične vertikalne posude pod pritiskom od austenitnog čelika prema standardu SRPS EN 13445-3. Proračun obuhvata cilindrični omotač i dva plitka torisferična danca izložena dejstvu unutrašnjeg pritiska od 0,5 MPa. Analiziran je uticaj radnih uslova i različitih vrednosti koeficijena zavarenih spojeva na debljinu zida cilindričnog omotača i danca.

UVOD

Serijski standard SRPS EN 13445 obuhvata izbor konstrukcionih materijala, dimenzionisanje, proračune čvrstoće, postupke izrade i kontrole posuda pod pritiskom koje nisu izložene plamenu. U radu su date osnovne jednačine za dimenzionisanje cilindričnog omotača i torisferičnog danca koji su izloženi unutrašnjem pritisku, prema standardu SRPS EN 13445-3. Mehaničko opterećenje kod posuda pod pritiskom uglavnom potiče od pritiska (unutrašnjeg ili spoljašnjeg) kome je posuda izložena. Prilikom izrade posude pod pritiskom neophodno je usvojiti konstrukcioni materijal u zavisnosti od radnih uslova (na pr. temperatura, agresivnost sredine, itd.).

U ovom radu je urađen proračun čvrstoće i dimenzionisanje cilindrične vertikalne posude pod pritiskom, koji obuhvata izračunavanje potrebne debljine zida cilindričnog omotača i dva plitka torisferična danca. Analiziran je uticaj promene radnih uslova (pritiska i temperature), kao i koeficijenta zavarenog spoja na debljinu zida omotača i danca.

TEHNIČKI OPIS POSUDE POD PRITISKOM

Posuda pod pritiskom, koja je dimenzionisana u radu, je vertikalna reaktorska posuda zapremine 1,6 m³ i spoljašnjeg prečnika 1400 mm. Uzdužni spoj omotača posude i spojevi oba danca sa omotačem su izvedeni zavarivanjem. Konstrukcioni materijal cilindričnog omotača i danaca je austenitni čelik X6CrNiTi18-10. Na gornjem dancu su izvedeni otvori za prirubnicu za mešalicu DN 125 i dva cevna

Keywords

- pressure vessel
- strength calculation
- austenitic steel
- SRPS EN 13445

Abstract

Upon the adoption of regulations for pressure equipment the series of standards SRPS EN 13445 began to apply. The paper illustrates strength calculation of a vertical cylindrical pressure vessel of austenitic steels according to SRPS EN 13445-3. The calculation includes a cylindrical shell and two shallow torispherical dish ends exposed to internal pressure of 0.5 MPa. The influence of working conditions and different values of the joint coefficient on the thickness of the cylindrical shell and dish ends is analysed.

priključka dimenzija DN 65. Otvori se nalaze u sfernom delu danca (unutar 0,4·D_e).

ODREĐIVANJE KATEGORIJE POSUDE

Pravilnik o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti jednostavnih posuda pod pritiskom (Službeni glasnik Republike Srbije br. 87/2011) se primenjuje na projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme i postrojenja pod pritiskom kod kojih je najveći dozvoljeni pritisak veći od 0,5 bar. Sva oprema za koju važi navedeni pravilnik mora da zadovolji suštinske zahteve sigurnosti i ekvivalentne važeće propise, /1-3/.

Prema navedenom Pravilniku, kategorija opreme se određuje na osnovu odgovarajućeg dijagrama, koji se primenjuje u zavisnosti od vrste radnog fluida (grupa 1 ili grupa 2), opreme (posuda ili cevovod) i proizvoda maksimalno dozvoljenog pritiska i zapremine (kod posuda), odnosno, pritiska i nominalnog prečnika cevi (kod cevovoda).

Na osnovu nivoa opasnosti, razlikuju se četiri kategorije posuda pod pritiskom, pri čemu se kategorija I odnosi na najmanju, a kategorija IV na najveću opasnost po ljude i životnu sredinu. Oprema sa niskim nivoom opasnosti, odnosno, oprema koja ne može da se razvrsta ni u jednu od kategorija, svrstava se u posebnu kategoriju i sa njom se postupa po „dobra inženjerskoj praksi“ (SEP – *Sound Engineering Practice*) /2, 4/. Prema Pravilniku o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti jednostavnih posuda pod pritiskom, na osnovu radnog pritiska 0,5 MPa, zapremine 1,6 m³ i vode kao radnog

fluida (fluid grupe 2), posuda od austenitnog čelika X6CrNiTi18-10 (Č 4572) se svrstava u SEP kategoriju.

PRORAČUN CILINDRIČNOG OMOTAČA POSUDE

- Proračun je rađen za sledeće podatke:
- Materijal posude: X6CrNiTi18-10 (Č 4572)
- Zapremina posude: 1,6 m³
- Spoljašnji prečnik posude: 1400 mm
- Najveći radni pritisak: 0,5 MPa
- Radna temperatura: 100°C
- Radni fluid: voda

Proračun cilindričnog omotača posude pod unutrašnjim pritiskom je urađen prema standardu SRPS EN 13445-3 koji definiše zahteve za projektovanje posuda pod pritiskom koje nisu izložene plamenu, /5/. U Tab. 1 su date vrednosti konvencionalnog napona tečenja austenitnog čelika X6CrNiTi18-10 pri izduženju od 0,2% i 1,0% na 20°C, 100°C i 150°C. Debljina zida cilindričnog omotača posude se izračunava prema sledećem izrazu:

$$e = \frac{PD_e}{2fz + P}, \text{ (mm)}$$

Uslov koji mora biti zadovoljen prilikom proračuna debljine zida cilindričnog omotača izloženog unutrašnjem pritisku je:

$$e/D_e \leq 0,16$$

Prilikom dimenzionisanja posude neophodno je proveriti i maksimalni dozvoljeni radni pritisak kojem može biti izložen cilindrični omotač bez otvora, prema sledećem izrazu /5, 6/:

$$P = \frac{2fze_a}{D_m}, \text{ (MPa)}$$

Tabela 1. Konvencionalni naponi tečenja austenitnog čelika X6CrNiTi18-10 na sobnoj i povišenim temperaturama

Veličina	T = 20°C	T = 100°C	T = 150°C	jedinice
R _{p0,2}	200	176	167	MPa
R _{p1,0}	240	208	196	MPa

Maksimalna dozvoljena vrednost proračunskog napona za materijal posude, austenitni čelik X6CrNiTi18-10 (Č 4572) određuje se prema sledećem izrazu:

$$f = \max \left[\left(\frac{R_{p1,0/T}}{1,5} \right); \min \left(\frac{R_{p1,0/T}}{1,2}; \frac{R_{m/T}}{3} \right) \right], \text{ (MPa)}$$

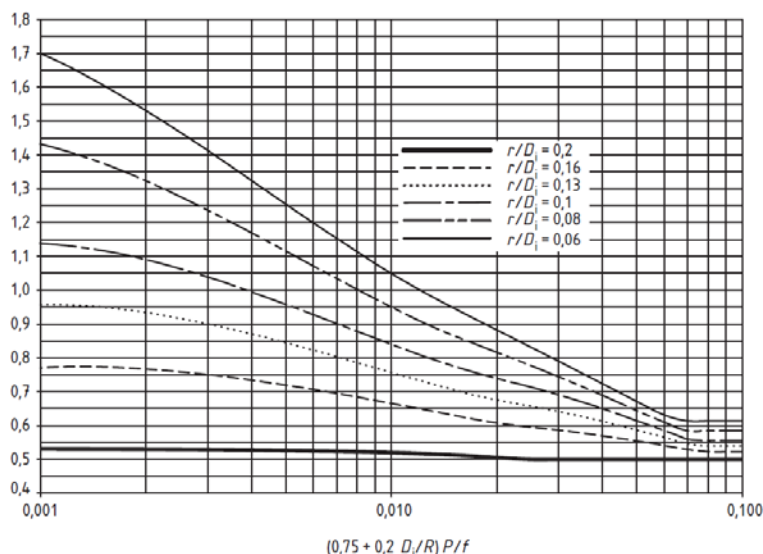
Poređenjem postupka određivanja proračunskog napona kod austenitnih čelika prema SRPS M.E2.250 i SRPS EN 13445 može se приметiti da su vrednosti dozvoljenog proračunskog napona kod SRPS EN 13445 standarda veće, jer se koristi konvencionalni napon tečenja pri izduženju od 1% za razliku od 0,2%, korišćenih kod SRPS M.E2 standarda, /7/. Izduženje pri lomu za navedeni austenitni čelik X6CrNiTi18-10 je 40%. Izrazi za određivanje maksimalne dozvoljene vrednosti proračunskog napona za radne i ispitne uslove u zavisnosti od vrste čelika i izduženja pri lomu su tabelarno prikazane u standardu SRPS EN 13445-3, u Tab. 2 su dati izrazi za austenitne čelike za radne uslove.

Tabela 2. Maksimalne dozvoljene vrednosti proračunskog napona austenitnih čelika za radne uslove prema SRPS EN 13445-3

Čelici	Radni uslovi
Austenitni čelici, 30% ≤ A ≤ 35%	$f = \left(\frac{R_{p1,0/T}}{1,5} \right)$
Austenitni čelici, A ≥ 35%	$f = \max \left[\left(\frac{R_{p1,0/T}}{1,5} \right); \min \left(\frac{R_{p1,0/T}}{1,2}; \frac{R_{m/T}}{3} \right) \right]$

PRORAČUN TORISFERIČNIH DANACA POSUDE POD PRITISKOM

U radu je urađen proračun debljine zida plitkih torisferičnih danaca (gornjeg i donjeg) prema izrazima datim u Tab. 3. Proračun debljine danca definisan standardom SRPS EN 13445-3 obuhvata određivanje debljine torusnog dela danca prema otpornosti na pojavu plastičnih deformacija i pojavu ulubljenja, kao i debljine zida sfernog (središnjeg) dela danca.



Slika 1. Dijagram za određivanje koeficijenta β za torisferično dance, /5/

Tabela 3. Prikaz matematičkih formula za proračun debljine zida danca prema SRPS EN 13445-3

SRPS EN 13445-3	
Debljina zida danca	$e_y = \frac{\beta P(0,75R + 0,2D_i)}{f}$
	$e_b = (0,75R + 0,2D_i) \left[\frac{P}{111f_b} \left(\frac{D_i}{r} \right)^{0,825} \right]^{1/1,5}$
	$e_s = \frac{PR}{2fz - 0,5P}$
	$e = \max(e_s; e_y; e_b)$

Potrebna debljina zida danca se računa kao maksimalna vrednost dobijena proračunom na osnovu izraza za e_y , e_b i e_s , Tab. 3, /5, 8/. Prilikom proračuna neophodno je uzeti u obzir proračunski koeficijent β , koji se određuje prema dijagramu datom na sl. 1.

Uslovi koji moraju biti ispunjeni da bi se primenjivali izrazi za proračun torisferičnog danca prema SRPS EN 13445-3 su:

$$0,06 \cdot D_i \leq r \leq 0,2 \cdot D_i; \quad r \geq 2 \cdot e$$

$$0,001 \cdot D_e \leq e \leq 0,08 \cdot D_e; \quad R \leq D_e$$

UPOREDNI PRIKAZ REZULTATA

Na dijagramu (sl. 2a) je prikazan uticaj povećanja radnog pritiska na debljine zida cilindričnog omotača i plitkog torisferičnog danca; sa porastom pritiska dolazi do povećanja debljine zida omotača i danca. Povećanje radnog pritiska utiče i na povećanje kategorije posude, tako da se pri pritiscima od 1,0 MPa i 1,5 MPa posuda svrstava u I kategoriju za razliku od slučaja kada je najveći radni pritisak 0,5 MPa i posuda se svrstava u posebnu kategoriju

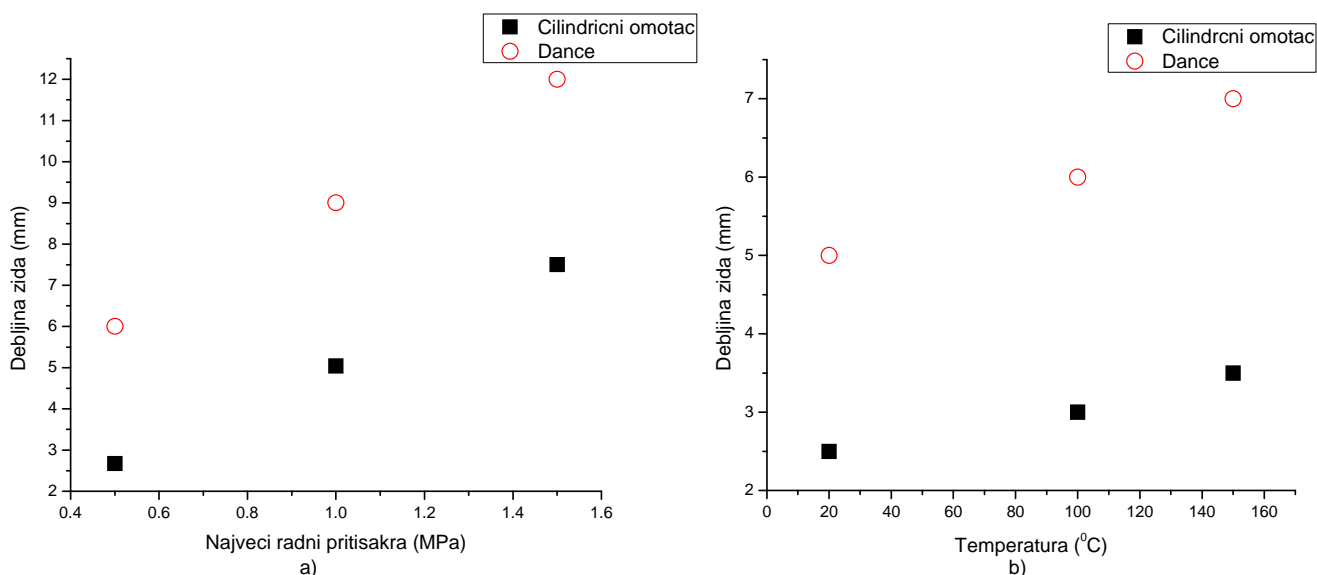
(SEP). U radu je urađena i analiza uticaja temperature (20°C, 100°C i 150°C) na debljinu zida cilindričnog omotača i torisferičnih danaca, za radni pritisak od 0,5 MPa i koeficijent zavarenog spoja 0,85, kao što je prikazano na sl. 2b.

Koeficijent zavarenog spoja se prema standardu SRPS EN 13445 usvaja na osnovu ispitne grupe, kao što je prikazano u Tab. 4.

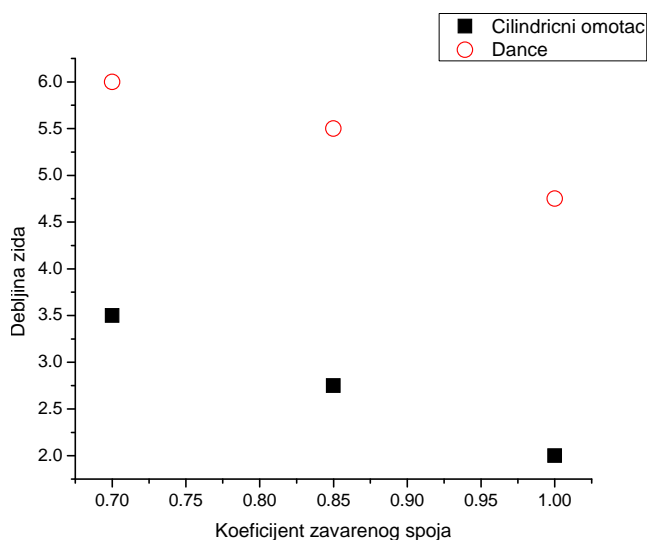
Tabela 4. Određivanje koeficijenta zavarenog spoja prema SRPS EN 13445-3

Z	1	0,85	0,7
Ispitna grupa	1,2	3	4

Ispitna grupa se određuje na osnovu materijala, kao što je opisano u delu standarda SRPS EN 13445-5, /9/. Navedene ispitne grupe se dele na odgovarajuće podgrupe. Zavisnost debljina zida cilindričnog omotača i torisferičnog danca posude pod pritiskom od vrednosti koeficijenta zavarenog spoja je data na sl. 3.



Slika 2. Dijagrami zavisnosti debljine zida cilindričnog omotača posude od: a) pritiska i b) temperature



Slika 3. Zavisnost debljine zida cilindričnog omotača i danca posude od koeficijenta zavarenog spoja

ZAKLJUČAK

Proračunom vertikalne posude pod pritiskom prema SRPS EN 13445-3, izrađene od austenitnog čelika X6CrNiTi18-10 (Č 4572), na radnom pritisku od 0,5 MPa i radnoj temperaturi od 100°C za koeficijent zavarenog spoja 0,85 određene su debljine limova: cilindričnog omotača (2,75 mm) i plitkih torisferičnih danaca (6,0 mm). Analizom uticaja pritiska (0,5; 1,0 i 1,5 MPa) na debljinu zida cilindričnog omotača i plitkih torisferičnih danaca za koeficijent zavarenog spoja 0,85, zaključeno je da sa porastom pritiska dolazi do povećanja debljina zida cilindričnog omotača i danca posude. Maksimalni dozvoljeni radni pritisak kojem može biti izložen cilindrični omotač bez otvora za analizirane vrednosti pritiska (0,5; 1,0 i 1,5 MPa) je veći od radnog pritiska i na taj način je ispunjen uslov dat standardom.

Variranjem radne temperature (20°C, 100°C i 150°C) za radni pritisak od 0,5 MPa i koeficijent zavarenog spoja 0,85, uspostavljena je zavisnost debljine zida cilindričnog omotača i danca posude od temperature. Ispitivanjem uticaja vrednosti koeficijenta zavarenog spoja (0,7; 0,85 i 1,0) za radne uslove ($P = 0,5$ MPa; $T = 100^\circ\text{C}$), izvodi se zaključak da se sa povećanjem koeficijenta zavarenog spoja smanjuje debljina zida omotača i danca.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta ON174004.

LITERATURA

1. Pravilnik o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom, Službeni glasnik Republike Srbije br. 87/11, 2011.
2. Pressure Equipment Directive (PED 97/23/EC)
3. Bredan, A., Kurai, J., *Evropska direktiva za opremu pod pritiskom (PED) i integritet konstrukcija*, Integritet i vek konstrukcija, Vol.3, br.1 (2003), str. 31-34.
4. Rakin, M., Milović, Lj., Putić, S., Zrilić, M., *Elementi opreme u procesnoj industriji-proračun vertikalne posude pod pritiskom sa mehaničkim prenosnikom za mešalicu*, priručnik za vežbe, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2013.
5. SRPS EN 13445-3 : 2010 - Posude pod pritiskom koje nisu izložene plamenu - Deo 3: Projektovanje.
6. Đerić, A., Nikolić, J., Mitrović, N., Balać, M., Petrović, A., *Uporedni prikaz proračuna i analiza rezultata za posude pod pritiskom prema srpskim i evropskim standardima – cilindrični omotači*, Integritet i vek konstrukcija, Vol.12, br.3 (2012), str. 197-200.
7. Petronić, S., *Uporedna analiza projektnih napona računatih prema pravilnicima o opremi pod pritiskom*, Integritet i vek konstrukcija, Vol.12, br.2 (2012), str.143-148.
8. Petrović, A., *Analiza proračuna delova posuda pod pritiskom prema srpski i svetskim standardima, Deo 1: Danca*, Procesna tehnika, br.1 (2009), str.26-29.
9. SRPS EN 13445-5 : 2010 - Posude pod pritiskom koje nisu izložene plamenu - Deo 5: Kontrolisanje i ispitivanje.