

## PROCENA INTEGRITETA BALANS CEVI TURBINSKOG POKLOPCA

### INTEGRITY ASSESSMENT OF TURBINE FLAT COVER PIPE

Originalni naučni rad / Original scientific paper  
UDK /UDC: 620.172.24:621.643  
Rad primljen / Paper received: 27.09.2018

Adresa autora / Author's address:  
<sup>1</sup> University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Serbia email: [asedmak@mas.bg.ac.rs](mailto:asedmak@mas.bg.ac.rs)

#### Ključne reči

- integritet konstrukcije
- faktor intenziteta napona
- cev turbinskog poklopca
- proračun debljine zida cevi

#### Izvod

Analiziran je integritet cevi turbinskog poklopca (dimenzija bešavne cevi  $\varnothing 219,1 \times 12,7$  mm, materijal cevi STPG-38), jer su prilikom redovne kontrole otkrivene nepravilnosti u vidu neprovara. Proračunom prema EN 13480-3:2012 određena je minimalna potrebna debljina zida bešavne cevi. Analitički je određen faktor intenziteta napona za analiziranu prslinu, a dobijena vrednost je upoređena sa kritičnom vrednošću faktora intenziteta napona kako bi se procenio integritet konstrukcije.

#### UVOD

Balans cev turbinskog poklopca (dimenzija bešavne cevi,  $\varnothing 219,1 \times 12,7$  mm, materijal cevi STPG-38), koja je izložena dejstvu unutrašnjeg pritiska  $p = 52$  bar, ispitana je 2016. godine metodama bez razaranja (IBR) od strane akreditovane laboratorije. Otkrivena je nepravilnost u vidu neprovara dužine 200 mm, širine 2 mm i dubine 2 mm. Kako bismo utvrdili da li pomenuta nepravilnost utiče na integritet konstrukcije tretiraćemo je kao prslinu dužine 200 mm i dubine 2 mm. Na sl. 1 je prikazana nepravilnost zavarenog spoja.

#### ODREĐIVANJE POTREBNE DEBLJINE ZIDA BEŠAVNE CEVI PREMA EN 13480-3:2012

Balans cev turbinskog poklopca je izrađena od materijala STPG-38 /1/, koji karakterišu hemijski sastav i mehaničke osobine date u tab. 1 i 2, respektivno.

Tabela 1. Hemijski sastav materijala u % mas.

Oznaka	C	Mn	Si	P <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
STPG-38	≤ 0,157	1,39	0,3	0,013	0,021

Tabela 2. Mehaničke osobine materijala.

Oznaka	Standard	R <sub>p0,2</sub> [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	Izduženje ε [%]
STPG-38	JIS G 3454	215	370	30

Određivanje dozvoljenog napona za materijal STPG-38:

$$f = \min \left( \frac{R_m}{2,4}; \frac{R_{p0,2}}{1,5} \right), \quad (1)$$

$$f = 143,33 \text{ MPa} . \quad (2)$$

#### Keywords

- structural integrity
- stress intensity factor
- turbine flat cover pipe
- pipe wall thickness calculation

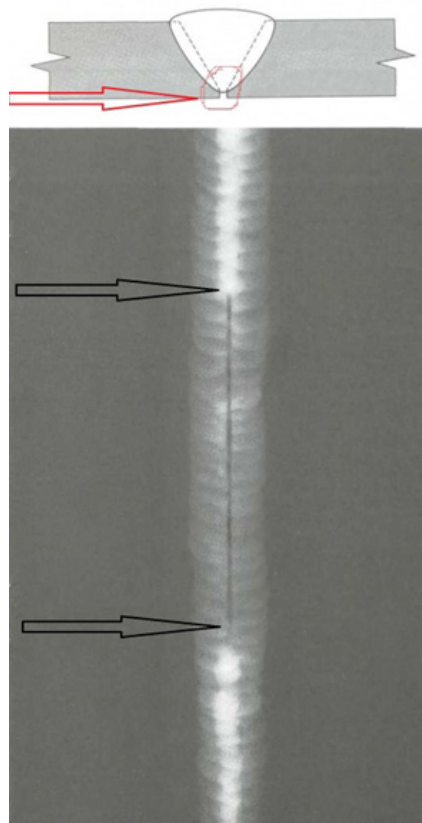
#### Abstract

The turbine flat cover pipe (dimension  $\varnothing 219.1 \times 12.7$  mm, and material STPG-38) is tested and cracks are found. Determination of the required wall thickness for a pipe exposed to internal pressure is done according to EN 13480: 3-2012. An analytically determined stress intensity factor for the analysed crack is compared with the critical value of the stress intensity factor to assess the integrity of the analysed structure.

Određivanje dozvoljenog napona za materijal STPG-38 za lokalne uslove:

$$\sigma_{dl} = 1,5f, \quad (3)$$

$$\sigma_{dl} = R_{p0,2} = 215 \text{ MPa} . \quad (4)$$



Slika 1. Nepravilnost zavarenog spoja.

Proračun cevovoda prema EN 13480-3:2012 /2/, gde su:

- $p = 51,97$  bar – proračunski pritisak,
- $D_0 = 219,1$  mm – spoljašnji prečnik cevi,
- $D_i = D_0 - 2e_n = 193,7$  mm – unutrašnji prečnik cevi,
- $D_m = D_0 - e_n = 206,4$  mm – srednji prečnik cevi,
- $e_n = 12,7$  mm – nazivna debljina zida cevi,
- $Z = 1$  – koeficijent slabljenja zavarenog spoja,
- $c_1 = 12,5\% \cdot e_n = 1,587$  mm – vrednost negativne tolerancije za nazivnu debljinu zida,
- $c_2 = 1,0$  mm – dodatak na koroziju i habanje.

Uslov za primenu standarda  $D_0/D_i < 1,7$ :

$$\frac{D_0}{D_i} = 1,13. \quad (5)$$

Najmanja zahtevana debljina zida cevi bez dodatka za unutrašnji pritisak:

$$e = \frac{pD_i}{2fZ - p} = \frac{5,197 \cdot 193,7}{2 \cdot 143,33 \cdot 1,0 - 5,197} = 3,58 \text{ mm}. \quad (6)$$

Najmanja usvojena debljina zida cevi bez dodatka:

$$e_a = e_n - c_1 - c_2 = 10,11 \text{ mm}. \quad (7)$$

#### PRIMENA LINEARNO ELASTIČNE MEHANIKE LOMA

Primena LEML /3/ se zasniva na faktoru intenziteta napona,  $K_I$ , koji s jedne strane predstavlja opterećenje i geometriju konstrukcije, uključujući oblik i veličinu prsline, a s druge strane, njegova kritična vrednost, nazvana žilavost loma,  $K_{Ic}$ , predstavlja svojstvo materijala. Na osnovu ovog tumačenja parametara LEML dobijaju se jednostavne zavisnosti kojima se procenjuje integritet konstrukcije:

- $K_I \leq K_{Ic}$  – integritet konstrukcije nije ugrožen,
- $K_I > K_{Ic}$  – integritet konstrukcije jeste ugrožen jer je moguć krti lom.

Prslina koja je izdvojena kao kritična je analizirana metodom mehanike loma, primenjujući konzervativni pristup. Da bi se odredili faktori intenziteta napona potrebno je znati opterećenje i geometriju, a žilavost loma nije bilo moguće odrediti, već je korišćena konzervativna procena njene vrednosti. Takođe je vođeno računa o mogućnosti pojave korozije i zamora, uticaju zaostalih napona i uticaju blizine priključaka. Analiza kritičnih prsline je data u daljem tekstu pojedinačno. Podaci bitni za analizu prsline su:

- geometrija cevi (debljina  $s = 10,11$  mm, poluprečnik cevi  $r = 109,55$  mm),
- geometrija prsline (dužina  $l = 200$  mm, širina  $b = 2$  mm, dubina  $a = 2$  mm, lokacija – na sučeonom zavarenom spoju prave deonice balans cevi, daleko od priključaka),
- opterećenje (unutrašnji pritisak  $p = 51,97$  bar, zaostali napon  $\sigma_R = 200$  MPa, najveća vrednost poprečno na šav, uzeto na osnovu iskustva sa sličnim materijalom i posudama),
- žilavost loma metala šava  $1580 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ , uzeto kao minimalna vrednost, /4/.

Za faktor intenziteta napona se dobija:

$$K_I \approx 1,12 \left( \frac{pR}{2s} + \sigma_R \right) \sqrt{\pi a} = 1351,97 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}, \quad (8)$$

što je 85,6 % kritične vrednosti ( $K_{Ic} = 1580 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ ) i ne dovodi posudu u opasno stanje.

#### DIJAGRAM ANALIZE LOMA

Konstrukcije napravljene od žilavih materijala nisu podložne krtom lomu, ali zato mogu plastično da se slamaju (kolaps) ako su preopterećene. Za analizu mehanizma plastičnog kolapsa neophodan je opštiji dvoparametarski pristup, realizovan preko dijagrama analize loma (*Failure Assessment Diagram - FAD*) /3/, odnosno, granične krive, koja se dobija na osnovu modifikovanog modela trake tečenja za prolaznu prslinu u beskonačnoj ploči, /5/:

$$\frac{K_{eff}}{K_I} = \frac{\sigma_c}{\sigma} \left[ \frac{8}{\pi^2} \ln \sec \frac{\pi \sigma}{2 \sigma_c} \right]^{1/2}, \quad (9)$$

gde je:  $K_I = \sigma \sqrt{\pi a}$ ;  $K_{eff}$  uvedeno umesto  $\alpha K_{eff}^2 = \delta \sigma_Y E$ ; i napon tečenja  $\sigma_Y$  zamenjen naponom kolapsa  $\sigma_c$ , kao pogodnijim kriterijumom tečenja kod realnih konstrukcija. Kao završni korak, definišu se bezdimenzione promenljive,  $S_r = \sigma/\sigma_c$  i  $K_r = K_I/K_{Ic}$ , pri čemu je usvojeno da je  $K_{eff}$  jednako žilavosti loma materijala,  $K_{Ic}$ , pa prethodna jednačina postaje:

$$K_r = S_r \left[ \frac{8}{\pi^2} \ln \sec \left( \frac{\pi}{2} S_r \right) \right]^{-1/2}. \quad (10)$$

Ako je materijal potpuno žilav, konstrukcija se lomi plastičnim kolapsom pri  $S_r = 1$ , dok je za lom konstrukcije od potpuno krtog materijala  $K_r = 1$ . U svim ostalim slučajevima postoji međudejstvo plastičnog kolapsa i krtog loma, pa su  $K_r$  i  $S_r$  manji od 1, a parovi odgovarajućih vrednosti čine graničnu krivu koja je definisana prethodnom jednačinom.

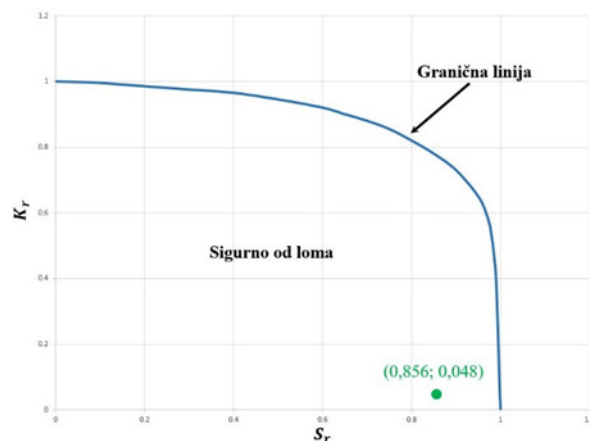
Za ilustracije primene FAD može da se koristi problem već predstavljen analizom uočene nepravilnosti u vidu neprovara. Parametar  $K_r$  se određuje prema predstavljenoj jednačini:

$$K_r = K_I/K_{Ic} = 1351,97/1580 = 0,856. \quad (11)$$

Za izračunavanje parametra  $S_r$  treba odrediti napon u neto preseku od primarnog opterećenja (unutrašnji pritisak). Parametar  $S_r$  se određuje preko sledećeg izraza:

$$S_r = \frac{\sigma_n}{\sigma_F} = \frac{pR}{R_{p0,2} + R_m} = 0,048. \quad (12)$$

Na osnovu dobijenih vrednosti za  $K_I/K_{Ic}$  i  $\sigma_n/\sigma_F$  u dijagramu analize loma (FAD) je ucrtana tačka sa koordinatama (0,856; 0,048), koja se nalazi u sigurnom delu dijagrama, predstavljenog na sl. 2.



Slika 2. Dijagram analize loma.

## ZAKLJUČAK

Analiziran je integritet cevi turbinskog poklopca, jer je otkrivena prslina geometrije  $l \times b \times a = 200 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ . Primenom LEML, analitički je određen faktor intenziteta napona čija vrednost iznosi 85,6 % od kritične vrednosti i ne dovodi balans cev u opasno stanje.

## LITERATURA - REFERENCES

1. JIS G 3454 material standard
2. EN 13480-3:2012 Metallic industrial piping - Part 3: Design and calculation
3. Sedmak, A., Primena mehanike loma na integritet konstrukcije, (*Fracture Mechanics Applied to Structural Integrity*, in Serbian), University of Belgrade, Faculty of Mechanical engineering, Belgrade, 2003.
4. Gerić, K., Pojava i rast prslina u zavarenim spojevima čelika povišene čvrstoće (*Crack formation and growth in welded joints of high strength steels*, in Serbian), Doctoral thesis, University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, 1997.
5. Bednar, H. H., Pressure Vessel Design Handbook, Van Nostrand Reinhold Comp., New York, 1986.

© 2018 The Author. Structural Integrity and Life, Published by DIVK (The Society for Structural Integrity and Life 'Prof. Dr Stojan Sedmak') (<http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/home.html>). This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](#)



Podsećamo vas da su detaljnije informacije o radu DIVK dostupne na Internetu <http://divk.org.rs>

We remind you that detailed information on the activities of DIVK are located on the Internet <http://divk.inovacionicentar.rs>

## INTEGRITET I VEK KONSTRUKCIJA

## STRUCTURAL INTEGRITY AND LIFE

Zajedničko izdanje

Društva za integritet i vek konstrukcija (DIVK) i Instituta za ispitivanje materijala

Joint edition of the Society for Structural Integrity and Life and the Institute for Materials Testing

<http://divk.org.rs/ivk> ili/or <http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/home.html>

## Cenovnik oglasnog prostora u časopisu IVK za jednu godinu

## Advertising fees for one subscription year—per volume

Pomažući članovi DIVK imaju popust od 40% navedenih cena.

DIVK supporting members are entitled to a 40% discount.

Kvalitet*Quality	Dimenzije * Dimensions (mm)	Cene u din.	EUR
Kolor*Colour	• obe strane * two pages 2xA4	40.000	700
	• strana * page A4/1	25.000	450
Dostava materijala: CD (Adobe Photoshop/CorelDRAW) Submit print material: CD (Adobe Photoshop/CorelDRAW)			
Crno/belo*Black/White	• strana * page A4/1	12.000	250
	• ½ str A4 * 1/2 page A4(18x12)	8.000	150
Dostava materijala: CD (Adobe Photoshop/CorelDRAW) Submit print material: CD (Adobe Photoshop/CorelDRAW)			