

<https://doi.org/10.24867/JPE-1992-09-115>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Palić V., Sabo B., Alanović J.*

UTICAJ SUPERPOZICIJE ZAOSTALIH NAPONA SA EKSPLOATACIONIM
NA NAPONSKO STANJE KRUŽNOG ŠAVA VAGON CISTERNE**

THE EFFECT OF SUPERPOSITION OF RESIDUAL AND EXPLOITATION
STRESSES ON THE STATE OF STRESS OF THE CIRCULAR WELDED
SEAM OF A TANK-WAGGON

Summary

This paper presents results of investigation of the effect of superposition of residual and exploitation stresses on the state of stress of the circular welded seam of a tank-waggon. Residual state of stress of the circular welded seam caused by welding was determined experimentally by cutting of measuring elements method. Analysis was made for superposition of residual and calculating exploitation stresses and also for superposition of residual and calculating test pressure stresses. Values of exploitation and test pressure stresses are from producer's documentation of the tank-waggon.

Results of investigation show that superposition of residual and exploitation stresses causes exceeding of the permissible stress in the axis of the weld. Superposition of residual and test pressure stresses causes exceeding not only the permissible stress but also the yield strenght in the axis of the weld.

Basing on investigation and analysis the conclusion was deduced: superposition of residual and exploitation stresses, and particulary residual and test pressure stresses, results with state of stress of the circular welded seam that has a great significance on the exploitation security of a tank-waggon.

Measured and calculated stress values for nine measuring elements transversal to the circular welded seam are shown by tables and graphs. Investigations were made on the tank-waggon of microalloyed steel StE 500 assigned for amonia trucking.

*Palić dr Vlastimir, red.prof.; Sabo dr Bela, doc.; Alanović J., dipl.ing., asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

**Rad finansirao Pokrajinski fond za nauku

REZIME

U radu su prikazani rezultati istraživanja uticaja superpozicije zaostalih napona sa eksploatacionim na naponsko stanje kružnog šava vagon cisterne. Naponsko stanje kružnog šava usled zavarivanja određeno je eksperimentalno, metodom izrezivanja mernih mesta. Analiza uticaja superpozicije zaostalih napona izvršena je sa proračunskim eksploatacionim naponima kao i sa proračunskim naponima usled probnog pritiska. Vrednosti eksploatacionih i napona usled probnog pritiska uzeti su iz dokumentacije proizvođača vagon cisterne. Rezultati istraživanja pokazuju da se kod superpozicije zaostalih sa eksploatacionim naponima kao i sa naponima usled probnog pritiska prekoračuje vrednost dozvoljenog napona u osi kružnog šava.

Na osnovu istraživanja i analiza izveden je zaključak da superpozicija zaostalih sa eksploatacionim a naročito sa naponima usled probnog pritiska, dovodi do takvog naponskog stanja kružnog šava koje značajno utiče na eksploatacionu sigurnost vagon cisterne. Merene i izračunate vrednosti napona, za 9 mernih mesta poprečno na kružni šav, prikazane su tabelarno i grafički. Istraživanja su vršena na vagon cisterni od mikrolegiranog čelika StE 500 namenjene za prevoz amonijaka.

1. U V O D

Istraživanja veličina zaostalih napona, deformacija i pomeranja su od posebnog značaja kod određivanja eksploatacione pouzdanosti i sigurnosti zavarenih konstrukcija. Superpozicija zaostalih napona sa eksploatacionim može dovesti do prekoračenja vrednosti dozvoljenog napona (σ_{doz}) u kritičnim mestima zavarene konstrukcije. Ova kritična mesta su po pravilu u osi šavova gde su zaostali (zatezni) uzdužni naponi usled zavarivanja najveći /1/. Prekoračenjem dozvoljenog napona u kritičnim mestima smanjuje se koeficijent eksploatacione pouzdanosti i sigurnosti konstrukcije. Od veličine zaostalih napona zavisi i potreba za potpunom ili lokalnom termičkom (ili drugom) obradom u cilju smanjenja veličine zaostalih napona u zavarenim konstrukcijama.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja se sastojao u određivanju uticaja superpozicije zaostalih napona sa eksploatacionim na naponsko stanje kružnog šava vagon cisterne. Za analizu je izabran kružni šav zbog većeg nivoa zaostalih i eksploatacionih napona u odnosu na uzdužni šav vagon cisterne. Analiziraće se uticaj superpozicije zaostalih napona sa eksploatacionim a takodje i sa naponima usled probnog pritiska. Postoji značajna razlika između eksploatacionih i napona usled probnog pritiska u veličini kao i u vremenu

trajanja. Eksploatacioni naponi su manje veličine a dužeg vremena trajanja dok je kod napona usled probnog pritiska to obrnuto. Istraživanjem se želi utvrditi dali je u nekim delovima poprečnog preseka kružnog šava vagon cisterne prekoračena veličina dozvoljenog napona (σ_{doz}). Na osnovu rezultata istraživanja izvešće se zaključak o eksploatacionoj pouzdanosti i sigurnosti vagon cisterne.

3. ZAOSTALI NAPONI KRUŽNOG ŠAVA

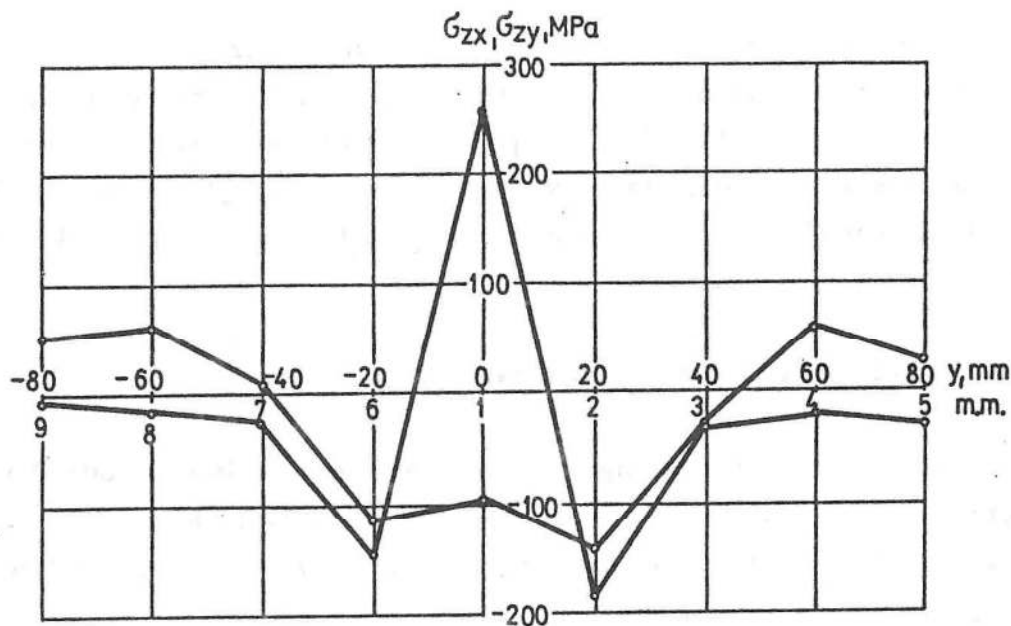
Zaostalo naponsko stanje kružnog šava vagon cisterne određeno je metodom izrezivanja mernih mesta /2/. U tabeli 1. prikazane su vrednosti zaostalog uzdužnog (σ_{zx}) i poprečnog (σ_{zy}) napona za 9 mernih mesta poprečno na kružni šav.

Tabela 1.

merno mesto	σ_{zx} (MPa)	σ_{zy} (MPa)
1	+256	-95
2	-191	-143
3	-35	-25
4	-21	+61
5	-31	+31
6	-146	-115
7	-26	+5
8	-16	+60
9	-11	+51

Na slici 1. prikazan je raspored zaostalog uzdužnog (σ_{zx}) i poprečnog (σ_{zy}) napona za poprečni presek kružnog šava vagon cisterne.

Analizom slike 1. uočava se izuzetno visoka vrednost zaostalog (zateznog) uzdužnog napona u osi kružnog šava koji iznosi $\sigma_{zx1}=+256$ MPa. Na osnovu ovoga se zaključuje da verovatno nije radjena termička obrada u cilju smanjenja zaostalih napona usled zavarivanja.



Slika 1. Raspored zaostalog uzdužnog i poprečnog napona
Fig.1. Longitudinal and transversal residual stress distribution

4. EKSPLOATACIONI NAPONI KRUŽNOG ŠAVA

Prema Ispravi suda vagon cisterne 1077/9, zapremine 95 m³ za prevoz amonijaka, proračunski eksploatacioni, uzdužni i poprečni, naponi kružnog šava iznose /3/:

$$\sigma_{ex} = +234 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ey} = +127 \text{ MPa}$$

5. NAPONI KRUŽNOG ŠAVA USLED PROBNOG PRITISKA

Prema Ispravi suda vagon cisterne 1077/9, proračunski naponi kružnog šava, uzdužni i poprečni, usled probnog pritiska od 26 bara iznose /3/:

$$\sigma_{px} = +297 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{py} = +149 \text{ MPa}$$

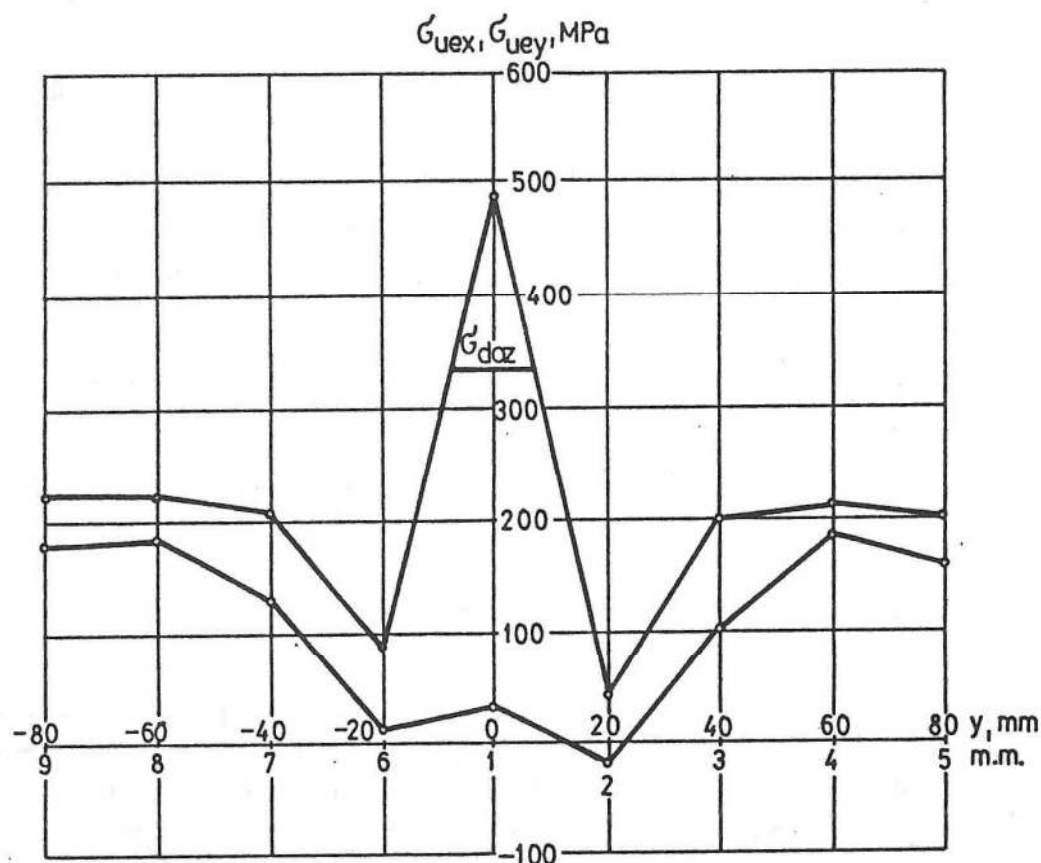
6. SUPERPOZICIJA ZAOSTALIH SA EKSPLOATACIONIM NAPONIMA

U tabeli 2. prikazane su izračunate vrednosti ukupnih napona kao rezultat superpozicije zaostalih sa proračunskim eksploatacionim naponima.

tabela 4.

merno mesto	σ_{uex} (MPa)	σ_{uey} (MPa)
1	+490	+32
2	+43	-16
3	+199	+102
4	+213	+188
5	+203	+158
6	+88	+12
7	+208	+132
8	+218	+187
9	+223	+178

Na slici 2. prikazan je raspored ukupnog uzduznog (σ_{uex}) i poprečnog (σ_{uey}) napona za poprečni presek kružnog šava nastao kao rezultat superpozicije zaostalih sa proračunskim eksploatacionim naponima.



Slika 2. Raspored ukupnog uzduznog i poprečnog napona usled superpozicije zaostalih sa proračunskim eksploatacionim naponima.

Fig.2. Longitudinal and transversal total stress distribution (superposition of residual and calculated service stresses)

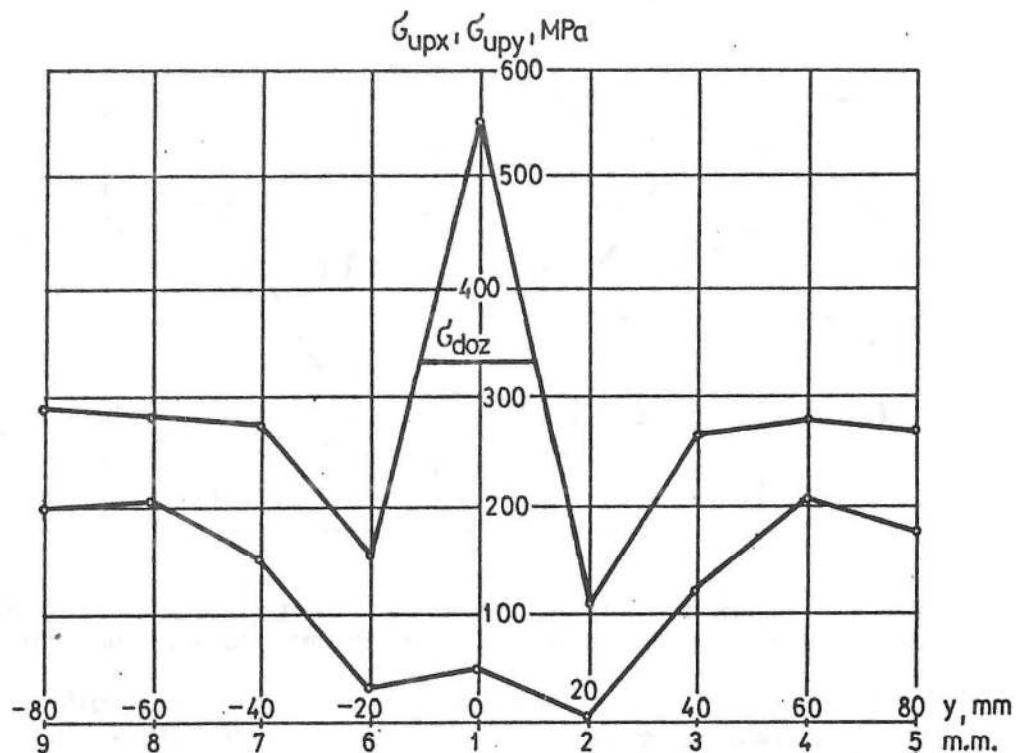
7. SUPERPOZICIJA ZAOSTALIH SA NAPONIMA USLED PROBNOG PRITISKA

U tabeli 3. prikazane su izračunate vrednosti ukupnih napona kao rezultat superpozicije zaostalih sa proračunskim naponima usled probnog pritiska.

Tabela 3.

merno mesto	σ_{upx} (MPa)	σ_{upy} (MPa)
1	+553	+54
2	+106	+6
3	+262	+124
4	+276	+210
5	+266	+180
6	+151	+34
7	+271	+154
8	+281	+209
9	+286	+200

Na slici 3. prikazan je raspored ukupnog uzdužnog (σ_{upx}) i poprečnog (σ_{upy}) napona za poprečni presek kružnog šava nastao kao rezultat superpozicije zaostalih sa proračunskim naponima usled probnog pritiska.



Slika 3. Raspored ukupnog uzdužnog i poprečnog napona usled superpozicije zaostalih sa proračunskim naponima usled probnog pritiska.

Fig.3. Longitudinal and transversal total stress distribution (superposition of residual and calculated test pressure stresses)

8. ANALIZA REZULTATA

Veličina ukupnog napona za pojedina merna mesta zavise od rezultata superpozicije zaostalih napona sa eksploatacionim, odnosno sa naponima usled probnog pritiska.

Analizom rasporeda ukupnog uzdužnog i poprečnog napona usled superpozicije zaostalog sa eksploatacionim proračunskim naponom (slika 2.) zaključuje se da se u mernom mestu 1. (osa šava) prekoračuje vrednost dozvoljenog napona odnosno da je $\sigma_{uex1} = 490 \text{ MPa} > \sigma_{doz} = 330 \text{ MPa}$. U ostalim mernim mestima je ukupni uzdužni i poprečni napon manji od dozvoljenog napona.

Analizom rasporeda ukupnog uzdužnog i poprečnog napona usled superpozicije zaostalog sa proračunskim naponom usled probnog pritiska (slika 3.) zaključuje se da se u mernom mestu 1. (osa šava) prekoračuje vrednost dozvoljenog napona, odnosno da je $\sigma_{upx1} = 553 \text{ MPa} > \sigma_{doz} = 330 \text{ MPa}$. U ostalim mernim mestima je ukupni uzdužni i poprečni napon manji od dozvoljenog.

9. ZAKLJUČAK

Superpozicija zaostalog uzdužnog sa eksploatacionim proračunskim uzdužnim naponom dovodi do prekoračenja vrednosti dozvoljenog napona u osi kružnog šava (merno mesto 1.). Za to merno mesto je koeficijent sigurnosti $\sigma_{doz} / \sigma_{uex1} = 330 / 490 = 0,67$ što znači da na tom mestu nemamo potrebnu eksploatacionu sigurnost. Prema /3/ je cisterna projektovana sa koeficijentom sigurnosti $\sigma_{doz} / \sigma_{ex} = 330 / 243 \approx 1,41$ odnosno nije uzeto u obzir postojanje zaostalih napona. Ovakvo prekoračenje dozvoljenog napona u osi kružnog šava može izazvati pojavu poprečnih prslina što je i utvrđeno pregledom cisterni /4/.

Superpozicija zaostalog uzdužnog sa uzdužnim naponom usled probnog pritiska dovodi do prekoračenja vrednosti dozvoljenog napona ali i granice tečenja u osi kružnog šava (merno mesto 1.). Za to merno mesto je koeficijent sigurnosti $\sigma_{\text{doz}}/\sigma_{\text{upx1}}=330/553\approx 0,60$ što znači da na tom mestu nemamo potrebnu sigurnost. Prema /3/ je cisterna projektovana sa koeficijentom sigurnosti $\sigma_{\text{doz}}/\sigma_{\text{px}}=330/297=1,11$ odnosno nije uzeto u obzir postojanje zaostalih napona.

Ovako prekoračenje dozvoljenog napona u osi kružnog šava može se izazvati pojavu poprečnih prslina što je i utvrđeno pregledom cisterni /4/.

Na osnovu svega iznetog smatra se da je neophodno izvršiti potpuno termičku obradu vagon cisterne posle zavarivanja u cilju smanjenja zaostalih napona usled zavarivanja, a sve u cilju povećanja koeficijenta sigurnosti na vrednost veću od 1.

10. LITERATURA

- /1/ Palić V.: ZAVARIVANJE, Univerzitetski udžbenik, Novi Sad, 1987.
- /2/ Sabo B.: Eksperimentalno odredjivanje zaostalih deformacija i napona kružnog šava, ZAVARIVAČ, br.1., 15-18, Beograd, 1991.
- /3/ "Djuro Djaković": Isprave suda pod pritiskom (vagon cisterne) br. 1077/9, Slavonski Brod, 1987.
- /4/ Kakaš D., Sabo B., Bajić V.: Elaborat o kvalitetu i upotrebljivosti vagon cisterni izradjenih od mikrolegiranog čelika namenjenih za prevoz amonijaka, Novi Sad, 1990.