



JDGK

**JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO
GRAĐEVINSKIH KONSTRUKTERA**

12. KONGRES VRNJAČKA BANJA
27-29. SEPTEMBAR **2006.**

12

**K
O
N
G
R
E
S**



U SARADNJI SA
INŽENJERSKOM KOMOROM SRBIJE

**TEORIJSKA I
EKSPERIMENTALNA
ISTRAŽIVANJA**

TEHNIČKA REGULATIVA

**KNJIGA
2**

POVODOM TRIDESETOGODIŠNJICE POSTOJANJA
A ZA NAROČITE ZASLUGE I USPEHE POSTIGNUTE
U RAZVIJANJU I UNAPREĐENJU GRAĐEVINSKOG
KONSTRUKTERSTVA I DOPRINOS UZDIZANJU
STRUČNIH KADROVA

ukazom broj 38 od 29. aprila 1983. godine

PRESEDNIŠTVO SFRJ

ODLIKOVALO JE

SAVEZ DRUŠTAVA GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKTERA JUGOSLAVIJE

ORDENOM RADA SA SREBRNIM VENCEM

Izdavač: **Jugoslovensko društvo građevinskih konstruktora**
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/1

Urednik: prof. dr **Mirko Ačić**

Tehnički
urednik: **mr Dragana Čukić**

Tehnička
priprema: **Saška - Stoja Todorović**

Priprema za
štampu: **DC Grafički centar**

Štampa: **PUBLISH**

Tiraž: 350 primeraka

Beograd, septembar 2006.

Tabela 1 - Brojni primeri za svih pet mogućih slučajeva polja napona kod veza pod uglom sa čeonom pločom i kontinuitet lamelom u zategnutoj zoni

| Red. broj | Slučaj sa slike | Sile u preseku u preseku na mestu veze | | k | Nepoznate veličine i njihove jedinice mere | Vrednosti nepoznatih veličina |
|-----------|-----------------|--|--------|---|--|-------------------------------|
| | | N | M | | | |
| | | /kN/ | /kNcm/ | | | |
| 1 | 1.a | 100. | 5000. | 3 | Z_1 /cm/ | 9,33 |
| | | | | | σ_{z1} /kN/cm ² / | 4,84 |
| 2 | 1.b | - 300. | 500. | 0 | Z_2 /cm/ | 38,32 |
| | | | | | σ_{z2} /kN/cm ² / | 0,13 |
| 3 | 1.c | - 550. | 400. | 0 | Z_3 /cm/ | 41,45 |
| | | | | | σ_{z3} /kN/cm ² / | 0,03 |
| 4 | 1.d | - 2500. | 100. | 0 | σ_{pr} /kN/cm ² / | 0,54 |
| | | | | | σ_{pd} /kN/cm ² / | 9,73 |
| 5 | 1.e | 150. | 200. | 4 | σ_{zr} /kN/cm ² / | 0,17 |
| | | | | | σ_{zn} /kN/cm ² / | 15,19 |

LITERATURA

- [1] "Osnovi čeličnih konstrukcija", M. Milosavljević, M. Radojković i B. Kuzmanović, Građevinska knjiga, Beograd, 1978.
- [2] "Čelične konstrukcije", D. Veličković, Građevinski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš, 1994. i 2004.
- [3] "Čelične konstrukcije u zgradarstvu", D. Budjevac, Medifarm i Građevinska knjiga, Beograd, 1992.
- [4] "Metalne konstrukcije, osnove proračuna i konstruisanja", D. Budjevac, Z. Marković, D. Bogavac, i D. Tošić, Građevinski fakultet, Beograd, 1999.
- [5] "Metalne konstrukcije, specijalna poglavlja i tehnologija izrade", D. Budjevac, Z. Marković, D. Bogavac, i D. Tošić, Građevinski fakultet, Beograd, 1999.
- [6] "Čelične konstrukcije u industrijskim objektima", M. Debeljković, Građevinska knjiga, Beograd, 1995.
- [7] "Prilog proračunu veza pod uglom ostvarene čeonom pločom u zakovanoj izradi", D. Veličković, Simpozijum 2004., Jugoslovensko društvo građevinskih konstruktera, Vrnjačka Banja, 2004., 2. knjiga od 441. do 446. stranice.
- [8] "Prilog proračunu veza pod uglom u čeličnim konstrukcijama u zakovanoj izradi ostvarene čeonom ili ležišnom pločom", D. Veličković, Materijali i konstrukcije, N¹⁻², Novi Sad, 2006. od 20. do 23. stranice.



JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO
GRAĐEVINSKIH KONSTRUKTERA

JDGK 12. KONGRES VRNJAČKA BANJA
27-29. SEPTEMBAR 2006.

T-29

Miodrag Arsić¹⁾, Vujadin Aleksić¹⁾, Živče Šarkočević^{2)*}

UTICAJ POVIŠENIH MEHANIČKIH SVOJSTAVA METALA ŠAVA I ZUT NA ČVRSTOĆU ZAVAREN OG SPOJA

Rezime:

U radu je razmatran uticaj promene tvrdoće metala šava i zone uticaja toplote (ZUT) na mehanička svojstva zavarenih spojeva čelika za poboljšanje. Na povećanje ili smanjenje izdržljivosti zavarenih spojeva u uslovima eksploatacije pored heterogenih mehaničkih osobina utiče i veličina tih slojeva, prisustvo koncentratora napona u tim slojevima, zaostali naponi i drugi uticajni faktori. U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanja čelika za poboljšanje Č.1530.

Ključne reči: mehaničke osobine, tvrdoća zavarenih spojeva, zona uticaja toplote

INFLUENCE OF ENHANCED MECHANICAL PROPERTIES THE WELD METAL AND HAZ ON THE STRENGTH OF JOINT

Summary:

Influence of modifying hardened weld metal and heat affected zone (HAZ) on the endurance welded joint of low alloyed steel has been presented in the paper. On the increasing or the decreasing of endurance welded joint at exploitation beside heterogeneous of mechanical properties respond and thickness of these layers, presence concentration of stresses in these layers, residual stresses and other interests of factors. In this paper is presented results of testing of low alloyed steel, Č.1530.

Keywords: mechanical properties, hardened welding joints, heat affected zone

* Adresa autora:

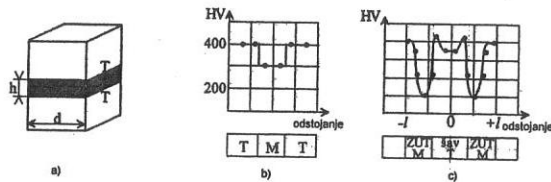
¹⁾dr Miodrag Arsić, naučni saradnik, mr Vujadin Aleksić, istraživač saradnik
Institut za ispitivanje materijala IMS, Bulevar Vojvode Mišića 43, Beograd,
e-mail: miodrag.arsic@institutims.co.yu, vujadin.aleksic@institutims.co.yu
²⁾mr Živče Šarkočević, dipl.inž.mas., Srednja tehnička škola, Štrpce.

1. UVOD

Za zavarene spojeve konstrukcijskih čelika karakteristične su: zona stapanja, zona pregrevanja, zona potpune i zona nepotpune normalizacije. Sve te zone nazivaju se zona uticaj toplote - ZUT. Struktura i mehanička svojstva pojedinih zona u ZUT obično su različiti od struktura i mehaničkih svojstava osnovnog metala i metala šava, pri čemu mehanička svojstva i struktura metala šava i ZUT zavarenih spojeva konstrukcijskih čelika zavisi od režima zavarivanja i hemijskog sastava osnovnog i dodatnog materijala. Sa povećanjem brzine hlađenja u intervalu subkritičnih temperatura, čvrstoća i napon tečenja metala šava i ZUT rastu i u zavisnosti od hemijskog sastava čelika mogu biti i 1.5-2 puta veće nego kod osnovnog metala /1/.

2. UTICAJ TERMIČKOG CIKLUSA ZAVARIVANJA NA MEHANIČKU NEHOMOGENOST ZAVAREN OG SPOJA

Za zavarene spojeve je karakteristično prisustvo raznorodnih zona, uglavnom mekih slojeva-delova sa nižom tvrdoćom od tvrdoće osnovnog metala i tvrdih slojeva-zona sa tvrdoćom većom od tvrdoće osnovnog metala. Ti slojevi mogu biti u metalu šava, zoni difuzije neposredno uz zonu stapanja i u zoni uticaja toplote naročito kod metala koji su termički, odnosno termomehanički očvršnuti. Raspodela tvrdoće u zavarenom spoju je šematski prikazan na slici 1.



Slika 1. Raspodela tvrdoće poprečno na makrošlif zavarenog spoja
a) prikaz položaja i dimenzija mekog (M) i tvrdog (T) sloja
b) šematski prikaz raspodela tvrdoće u mekom i tvrdom sloju
c) šematski prikaz raspodela tvrdoće u zavarenom spoju

Relativna debljina mekog sloja κ jednaka je:

$$\kappa = \frac{h}{d} \quad (1)$$

gde je: h – širina sloja, mm

d – debljina ili prečnik uzorka, mm.

Uzroci nastanka ovih nehomogenih slojeva su difuzija legirajućih elemenata iz šava u osnovni metal, veće učešće čvršćeg metala u šavu blizu linije stapanja, prisustvo temperaturnog gradijenta i dr.

Na slikama 1b i 1c prikazane su karakteristične raspodele tvrdoće za dva zavarena uzorka. Meki sloj kod prvog uzorka, slika 1b, je šav dobijen od martenzitnog čelika sklonog omekšavajućem starenju. Za drugi uzorak, dobijen od termički očvršnutog čelika, meki sloj predstavlja ZUT. Kako se na slici 1b i 1c može uočiti, tvrdoća se oštro menja od neke minimalne vrednosti, uslovljene konstruktivno tehnološkim karakteristikama zavarenih spojeva, do tvrdoće karakteristične za osnovni metal.

Statička izdržljivost zavarenih spojeva (σ) sa promenljivim mehaničkim osobinama mekog sloja (ili tvrdog) pri čistom smicanju može se napisati u obliku /2/:

$$\sigma_{SM} = 2 \cdot R_{SM} \cdot k_{\kappa}$$

$$\sigma_{ST} = 2 \cdot R_{ST} \cdot k_{\kappa} \quad (2)$$

ili pri zatezanju

$$\sigma_{ZM} = R_{ZM} \cdot k_{\kappa}$$

$$\sigma_{ZT} = R_{ZT} \cdot k_{\kappa} \quad (3)$$

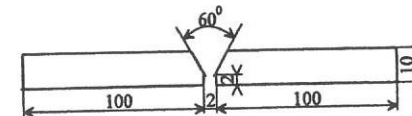
gde je: R_{ZM} – napon tečenja mekog sloja,

R_{ZT} – napon tečenja tvrdog sloja,

k_{κ} - koeficijent mehaničke nehomogenosti (koeficijent kontaktnog ojačanja).

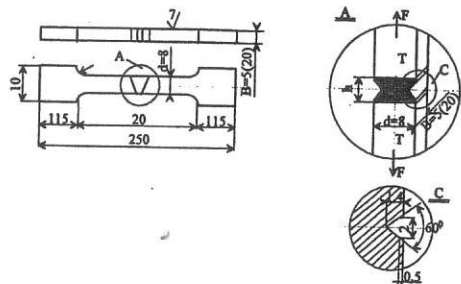
3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

Ispitivanja su urađena za čelik za poboljšanje Č.1530. Sučeoni spojevi dimenzija 100x200x10 mm, slika 2, 3 i ugaoni spojevi dimenzija 200x90x10 mm, slika 4, zavareni su ručnim elektro-lučnim postupkom zavarivanja obloženom elektrodom.

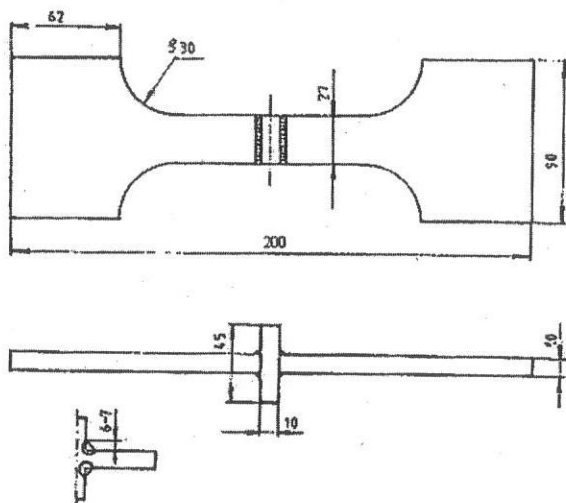


Slika 2. Priprema limova za sučeoni spoj

Čelik Č.1530 je loše zavarljivosti zbog velikog sadržaja ugljenika $C_E > 0.45$. Da bi se dobio pouzdan zavaren spoj neophodno je predgrevanje limova pre zavarivanja. Međutim, zavarivanje je izvedeno bez predgrevanja, a razlog je sagledavanje promena tvrdoće u zavarenom spoju bez uticaja termičke obrade.



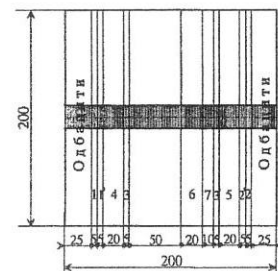
Slika 3. Epruvete za ispitivanje zatezne čvrstoće
 $d > B$ – za osnosimetričnu deformaciju,
 $d << B$ – za ravansku deformaciju



Slika 4. Priprema limova za ugaoni spoj (merenje tvrdoće)

Zavarivanje je izvedeno E postupkom, elektrodom E 51 5B 262, prečnika $d_e = 3.25$ mm i parametrima zavarivanja: $I = 130$ A, $U_f = 25$ V, struja jednosimerna (=), polaritet (+), napon praznog hoda 70 V u svim položajima zavarivanja osim u položaju vertikalno naniže.

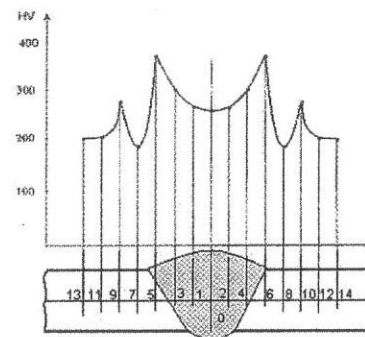
Posle zavarivanja su izrezani uzorci prema slici 5.



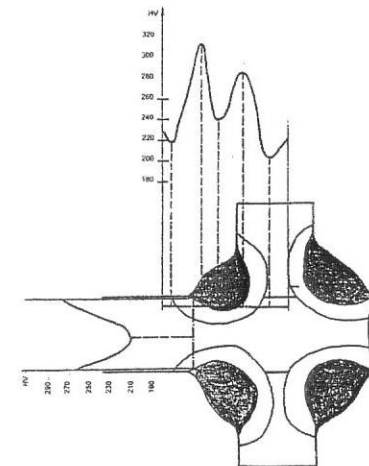
Slika 5. Način izrezivanja uzoraka sa sušionog spoja za izradu epruveta i ispitivanja

- 1,2,3 – uzorci za ispitivanje zatezanjem za osnosimetričnu (linearnu) deformaciju – meki sloj,
- 4,5,6 – uzorci za ispitivanje zatezanjem za ravansku deformaciju – meki sloj,
- 1',2',3' – uzorci za ispitivanje zatezne čvrstoće sloja,
- 7 – uzorak za merenje tvrdoće

Površina uzoraka 7 je prebrušena i na njoj je izmerena tvrdoća po Vikersu HV_{10} . Rezultati merenja na rastojanjima od 2 mm od ose šava prikazani su na slikama 6 i 7.



Slika 6. Dijagram promene tvrdoće sušionog spoja



Slika 7. Dijagram promene tvrdoće zavarenog ugaonog spoja

Na epruvetama 1,2,3 urezani su žlebovi prema slici 3 (detalji A i C), u mekom sloju (M), a na epruvetama 1', 2', 3', u tvrdom sloju (T) sloju. Širina epruveta je 5 mm. Epruvete 4,5,6 su izrađene sa širinom 20 mm i sa zarezom u mekom (M) sloju.

Uporedni rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće na epruvetama 1,2,3,1',2',3' sa zarezima u mekom, odnosno, tvrdom sloju prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1 Rezultati eksperimentalnih istraživanja zatezne čvrstoćena na epruvetama sažarezom u mekom, odnosno u tvrdom sloju

| Epruvete | Žleb u mekom sloju | 1 | 2 | 3 | Srednja vrednost |
|--|---------------------------|-----|-----|-----|------------------|
| | Žleb u tvrdom sloju | 1' | 2' | 3' | |
| Zatezna čvrstoća za osnosimetričnu deformaciju $d > B$ | Mekog sloja, R_M [MPa] | 550 | 540 | 542 | 544 |
| | Tvrdog sloja, R_M [MPa] | 670 | 675 | 680 | 675 |
| Zatezna čvrstoća mekog sloja za ravansku deformaciju $d \ll B$, R_M [MPa] | | 650 | 590 | 620 | 620 |

Iz rezultata merenja zatezne čvrstoće mekog i tvrdog sloja zavarenog spoja zaključuje se da čvrstoća mekog sloja ima većeg uticaja na izdržljivost zavarenih spojeva u uslovima statičkog naprezanja. To je potvrđeno i mestom preloma uzoraka.

4. ZAKLJUČAK

Pri ispitivanju uticaja povećane tvrdoće sloja zavarenog spoja na zateznu čvrstoću zavarenog spoja u celini, u uslovima statičkog naprezanja, konstatovan je pozitivan uticaj. Smanjena tvrdoća mekog sloja zavarenog spoja ima veći uticaj na zateznu čvrstoću zavarenog spoja u uslovima statičkog osnosimetričnog naprezanja. Takođe, na osnovu sprovedenih ispitivanja, konstatovano je da deformacija i čvrstoća zavarenog spoja u uslovima ravnog stanja napona povećava zateznu čvrstoću pri statičkom opterećenju.

Primena čelika sa $R_M > 400$ MPa svrshodna je samo ako je niska koncentracija napona ($\alpha_s \leq 2$) i ako nema zaostalih napona.

LITERATURA

- [1] Шахматов М.В., Ерофеев В.В. : *Напряженное состояние и прочность сварных соединений с переменными механическими свойствами металла мягкого участка*, Сварочное производство, 3/1982, стр.6 - 7.
- [2] Бакши О.А., Зайцев Н.Л., Вайсман Л.А. : *Прочност на статическом растяжении сварных соединений с наружной трещиной в мягкой прослойке*, Сварочное производство, 3/1982, стр.3 - 6.



Ljubomir Vlajić¹, Danijel Kukaras²

KOEFICIJENT TRENJA KOD BETONSKIH KONSTRUKCIJA SPOJENIH VISOKOVREDNIM ZAVRTNJIMA

Rezime:

U radu su prikazani rezultati niza eksperimenata koji su sprovedeni u cilju određivanja koeficijenta trenja u spojevima betonskih konstrukcija izvedenih visokovrednim zavrtnjima. Tarne površine i uzorci su oblikovani tako da se dobije što širi uvid u ponašanje ovakvih spojeva. Rezultati eksperimenata pokazuju da je primena spojeva sa visokovrednim zavrtnjima i različito obrađenim tarnim površinama kod betonskih nosača moguća kao i da predstavlja pouzdan i efikasan način spajanja montažnih betonskih nosača.

Ključne reči: koeficijent trenja, visokovredni zavrtnaj, tarne površina, epoksid

FRICION COEFFICIENT FOR JOINTS WITH PRETENSIONED BOLTS IN CONCRETE STRUCTURES

Summary:

This paper presents a number of experiments aimed at finding the friction coefficient for joints in concrete structures constructed with prestressed bolts. Friction surfaces and samples were designed so that they can give a good insight into possible behavior such joints. Results show that application of prestressed bolts combined with different friction surfaces is possible and that it represents reliable and efficient method for joining prefabricated concrete structures.

Key word: friction coefficient, pretensioned bolts, friction surface, epoxy

¹ Dr, redovni profesor, Grad. fakultet Subotica, Kozaračka 2a, 24000 Subotica, 024-554-300, vlajic@gf.su.ac.yu

² Mr, asistent, Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, 24000 Subotica, 024-554-300, dkukaras@gmail.com