

B. Sabo\*, J. Alanović\*\*

ORIGINALNI NAUČNI RAD

UTICAJ REDOSLEDA I NAČINA IZVODJENJA ŠAVOVA  
NA OPŠTE DEFORMACIJE T-NOSAČA

THE INFLUENCE OF SEQUENCE AND METHOD OF WELDING ON THE GENERAL DEFORMATION OF T-GIRDER

Summary

*In this paper the research of the influence of sequence and method of welding on the general deformation of T-girder is represented. There have been analysed three variants of carrying out the welded seams. Variant A results with single-fillet welded girder, variant B with staggered intermittent fillet and variant C with chain intermittent fillet. Variants B and C are both divided to subvariants 1 and 2 which have different sequence and method of welding the seams. The lengths of seams are all the same in spite of the variant so the welded girders that are analysed have the same carrying capacity. Welding procedure was hand metal arc welding. Covered electrodes have the following diameters: 2,5; 3,25; 4,0; 5,0 millimeters. The current of welding, arc voltage and active welding time have been measured during process, and the deflection of the girder after finishing welding. Measured and calculated values are tabled, while the dependence of girder's deflection from the propulsion energy is graphic. Results of analysis are following: for the propulsion energy up to 1 MJ/m minimum deflection is obtained with variant B2. Variant A gives optimum values of deflection for the propulsion energy over 1 MJ/m. Finally, the generalising of results is carried out for girders with different cross sections. Naturally, it is necessary to determine the limitary amount of propulsion energy which branches ranges with optimum values of deflection obtained by using variant B2 or variant A.*

- 
- \*) Sabo dr Bela, dipl.ing., docent  
\*\*) Alanović Jadranko, dipl.ing., asistent

Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo,  
21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

## Rezime

*U radu je prikazano istraživanje uticaja redosleda i načina izvodjenja ugaonih šavova na opšte deformacije T-nosača. Analizirane su tri varijante i dve podvarijante izvodjenja šavova. Varijanta A predstavlja nosač sa neprekidnim ugaonim šavom. Varijanta B predstavlja nosač sa naizmenično isprekidanim ugaonim šavom. Varijanta C predstavlja nosač sa uporedno isprekidanim ugaonim šavom. Varijante B i C imaju još podvarijante 1 i 2 koje se razlikuju po redosledu i načinu izvodjenja ugaonih šavova. U svim varijantama izvodjenja šavova je ista zbirna dužina šavova što znači da je analiza radjena za T-nosače približno iste nosivosti. Zavarivanje je izvršeno REL postupkom sa različitim pogonskim energijama. Zavarivano je obloženim elektrodama prečnika 2,5; 3,25; 4,0 i 5,0 mm. U toku zavarivanja je merena struja zavarivanja, napon luka i aktivno vreme zavarivanja. Posle zavarivanja je izmeren ugib na sredini nosača. Merene i izračunate veličine su prikazane tabelarno. Zavisnosti ugiba T-nosača od pogonske energije prikazane su grafički. Analizom rezultata eksperimenta je utvrđeno da je za područje pogonske energije do 1,0 MJ/m najmanji ugib kod varijante B2 a za područje pogonske energije preko 1,0 MJ/m kod varijante A. U zaključku je izvršeno uopštavanje rezultata i za T-nosače drugih geometrijskih karakteristika preseka uz potrebu odredjivanja veličine pogonske energije do koje je povoljnija varijanta B2 odnosno od koje je povoljnija varijanta A.*

## 1.0. UVOD

Neravnomerno zagrevanje elemenata pri zavarivanju dovodi do stvaranja ostatnih deformacija i napona. Prema veličini područja prostiranja, ostatne deformacije mogu biti opšte i lokalne. Usled deformacija dolazi do odstupanja oblika i dimenzija elemenata od projektovanih. Kod izrade zavarenih konstrukcija teži se da deformacije budu u dozvoljenim granicama /1/. Primenuju se različiti postupci za smanjenje deformacija nastalih pri zavarivanju. Ovi postupci se mogu, zavisno od vrste, primeniti u fazi konstruisanja, izrade i nakon izrade zavarene konstrukcije. Sa aspekta ekonomičnosti je najracionalnije primeniti ove postupke u fazi konstruisanja ili u fazi izrade zavarene konstrukcije. U najpoznatije postupke za smanjenje deformacija spadaju: smanjenje broja šavova, povoljan raspored šavova, minimiziranje jačine šavova, regulisanje brzine zagrevanja i hladjenja, regulisanje uklještenja elemenata, izvodjenje jalovih šavova, izbor pravilnog redosleda i načina izvodjenja šavova, predhodna deformacija elemenata, termička obrada, mehanička obrada i sl. /2/.

## 2.0. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja se sastojao u određivanju uticaja redosleda i načina izvodjenja šavova na opšte deformacije T-nosača. Analiza je vršena za nosače zavarene neprekidnim, naizmenično isprekidanim i uporedno isprekidanim ugaonim šavom. U svim slučajevima je zbirna dužina ugaonih šavova bila ista što znači da je analiza vršena za T-nosače približno iste nosivosti. Ugaoni šavovi su izvedeni REL postupkom uz variranje pogonske energije. Na osnovu analize eksperimentalnih rezultata određiće se najpovoljnija varijanta izrade T-nosača koja daje minimalan ugib.

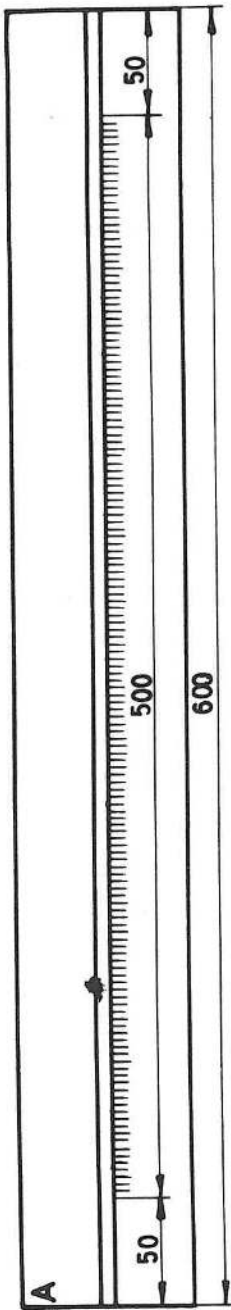
## 3.0. OPIS EKSPERIMENTA

Eksperimentalna istraživanja su vršena na laboratorijskim uzorcima od brodskog lima. Za laboratorijske uzorke je formirano 20 T-nosača dužine 600 mm, visine rebra 120 mm, širine pojasa 80 mm i debljine rebra i pojasa 6,6 mm. Nosači su formirani zavarivanjem kratkih ugaonih šavova REL postupkom. Naponi stvoreni ovim šavovima su odstranjeni termičkom obradom. Zavarivanje ugaonih šavova T-nosača izvršeno je REL postupkom sa obloženom elektrodom prečnika 2,5; 3,25; 4,0 i 5,0 mm. Struja zavarivanja je merena amper klještima. Napon luka je meren voltmetrom. Aktivno vreme zavarivanja je mereno hronometrom. Ugib T-nosača je meren na sredini nosača sa komparatorom tačnosti 0,01 mm /3/, /4/.

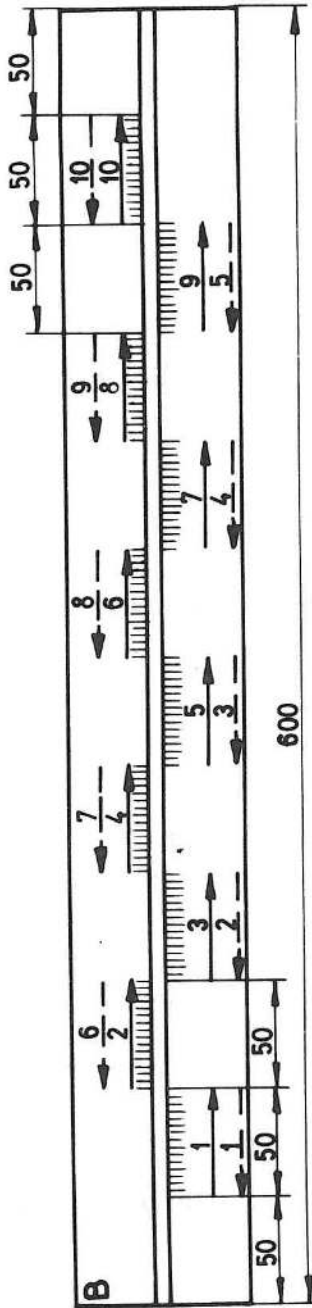
Na slici 1. je prikazan T-nosač sa neprekidnim ugaonim šavom (varijanta izrade A).

Na slici 2. je prikazan T-nosač sa naizmenično isprekidanim ugaonim šavom (varijanta izrade B). Punom linijom je prikazan redosled i način izvodjenja šavova koji se obično koristi u praksi (podvarijanta B1). Isprekidanom linijom je prikazan redosled i način izvodjenja šavova koji bi trebao dati minimalan ugib T-nosača za ovu varijantu izrade nosača (podvarijanta B2). Podvarijanta B2 se zasniva na zavarivanju povratnim korakom.

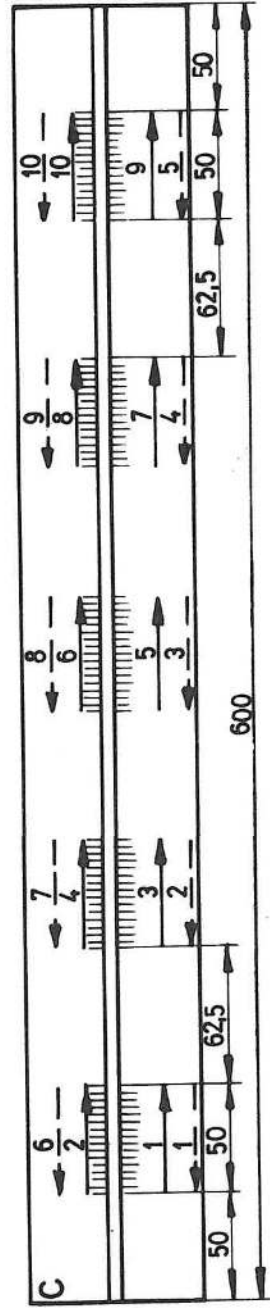
Na slici 3. je prikazan T-nosač sa uporedno isprekidanim ugaonim šavom (varijanta izrade C). Punom linijom je prikazan redosled i način izvodjenja šavova koji se obično koristi u praksi (podvarijanta C1). Isprekidanom linijom je prikazan redosled i način izvodjenja šavova koji bi trebao dati minimalan ugib T-nosača za ovu varijantu izrade nosača (podvarijanta C2). Podvarijanta C2 se zasniva na zavarivanju povratnim korakom.



Slika 1. T-nosač, varijanta A  
Figure 1. T-girder, variant A



Slika 2. T-nosač, varijanta B (— podvarijanta B1, --- podvarijanta B2)  
Figure 2. T-girder, variant B (— subvariant B1, --- subvariant B2)



Slika 3. T-nosač, varijanta C (— podvarijanta C1, --- podvarijanta C2)  
Figure 3. T-girder, variant C (— subvariant C1, --- subvariant C2)

#### 4.0. REZULTATI EKSPERIMENTA

Rezultati merenih i izračunatih veličina prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Table 1.

VAR.	Broj T-nos.	d <sub>e</sub> (mm)	I (A)	U (V)	t (s)	v (mm/s)	q <sub>p</sub> (MJ/m)	f <sub>E</sub> (mm)
A	1	2,5	90	26	127	3,94	0,4751	0,30
	2	3,25	140	28	126	3,97	0,7899	0,31
	3	4,0	190	29	117	4,27	1,0323	0,34
	4	5,0	250	27	145	3,45	1,5652	0,54
B1	5	2,5	90	25	137	3,65	0,4932	0,31
	6	3,25	140	27	114	4,39	0,6888	0,32
	7	4,0	190	27	105	4,76	0,8622	0,36
	8	5,0	250	27	128	3,91	1,3811	0,63
B2	9	2,5	90	25	123	4,06	0,4433	0,20
	10	3,25	140	28	97	5,15	0,6089	0,24
	11	4,0	190	28	112	4,46	0,9543	0,41
	12	5,0	250	27	105	4,76	1,1345	0,56
C1	13	2,5	90	25	134	3,73	0,4826	0,18
	14	3,25	140	27	130	3,85	0,7855	0,25
	15	4,0	190	28	108	4,63	0,9192	0,30
	16	5,0	250	28	106	4,72	1,1864	0,48
C2	17	2,5	90	26	139	3,60	0,5200	0,18
	18	3,25	140	28	127	3,94	0,7959	0,29
	19	4,0	190	28	103	4,85	0,8775	0,33
	20	5,0	250	29	91	5,49	1,0565	0,45

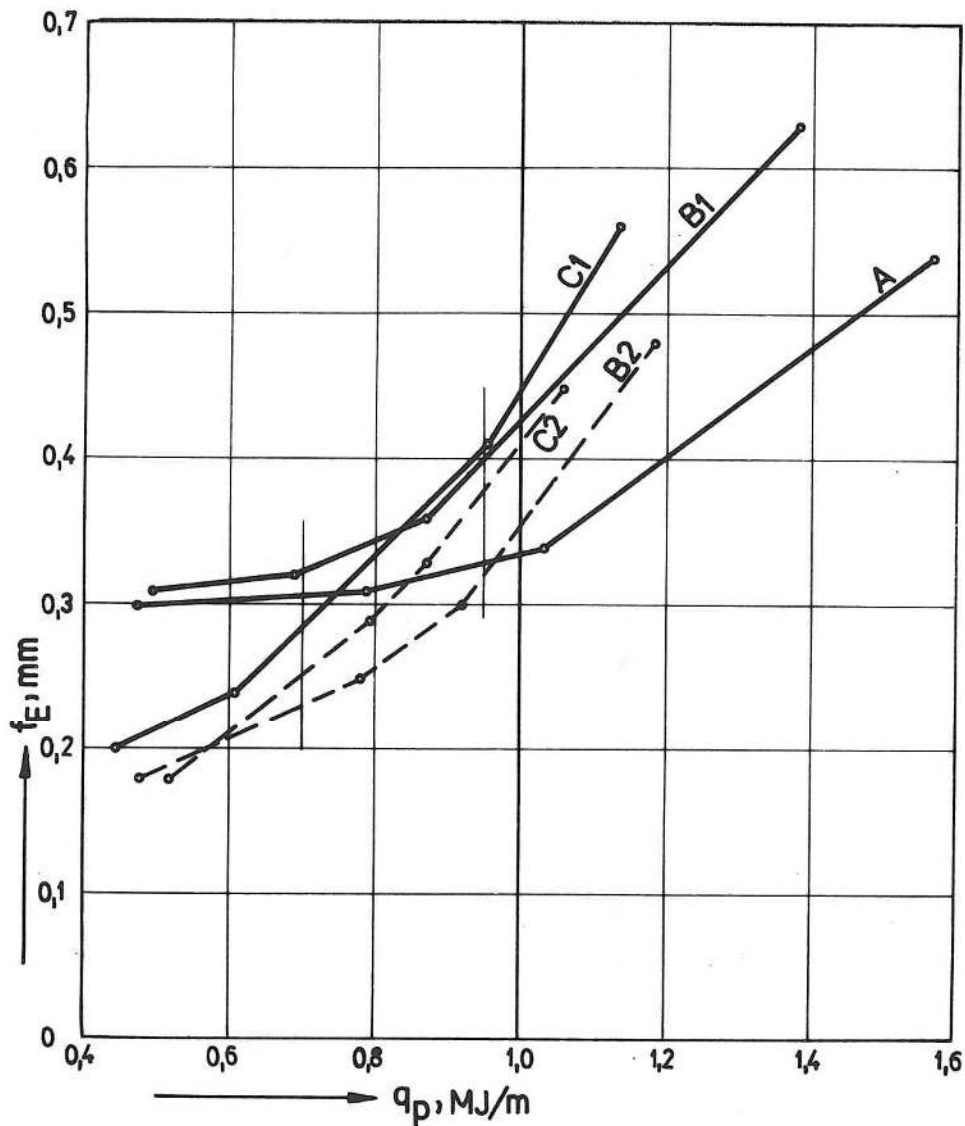
Brzina zavarivanja se izračunava iz izraza:

$$V = \frac{500}{t}, \text{ mm/s} \quad (1)$$

Pogonska energija se izračunava iz izraza:

$$q_p = \frac{I \cdot U \cdot 0,8}{10^3 \cdot v}, \text{ MJ/m} \quad (2)$$

Na slici 4. prikazane su zavisnosti ugiba T-nosača od pogonske energije za sve varijante izrade nosača.



Slika 4. Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata  
Figure 4. Graph of experimental results

#### 5.0. ANALIZA REZULTATA EKSPERIMENTA

Posmatrajući zavisnosti ugiba T-nosača od pogonske energije (slika 4.) uočavamo dva karakteristična područja pogonske energije, do 1,0 MJ/m i preko 1,0 MJ/m. U području pogonske energije do 1,0 MJ/m najmanju deformaciju T-nosača daje varijanta B2, odnosno ugib je najmanji kod izvodjenja

naizmenično isprekidanog ugaonog šava sa povratnim korakom. U području pogonske energije preko 1,0 MJ/m najmanju deformaciju T-nosača daje varijanta A, odnosno ugib je najmanji kod izvodjenja neprekidnog ugaonog šava. Ovakve rezultate objašnjavamo na sledeći način:

U području  $q_p < 1,0$  MJ/m se temperaturno polje za isprekidane šavove kreće od kvazistacionarnog (za male pogonske energije) do nestacionarnog (za veće pogonske energije).

Kvazistacionarno temperaturno polje izaziva manje deformacije od nestacionarnog. Istovremeno imamo pozitivno dejstvo povratnog koraka na smanjenje deformacije kod varijante B2.

U području  $q_p > 1,0$  MJ/m je temperaturno polje za isprekidane šavove izrazito nestacionarno što izaziva veće deformacije bez obzira na pozitivno dejstvo povratnog koraka kod varijante B2.

U području  $q_p > 1,0$  MJ/m je temperaturno polje kvazistacionarno samo za neprekidni šav (varijanta A) pa su ovde deformacije najmanje.

Uticaj povratnog koraka i redosleda zavarivanja na smanjenje deformacija T-nosača je veći kod naizmenično isprekidanih šavova (varijanta B) nego kod uporedno isprekidanih šavova (varijanta C). Ovo je izrazito za područje  $q_p < 1,0$  MJ/m. Ovi rezultati se objašnjavaju ravnomernim rasporedom temperature i ostatnog napona kod varijante B u odnosu na varijantu C. Za područje  $q_p > 1,0$  MJ/m se ovaj uticaj gubi zbog izrazito nestacionarnog temperaturnog polja.

Najmanja odstupanja ugiba po varijantama izrade T-nosača su u području pogonske energije 0,7-0,95 MJ/m i iznose 0,1 mm. Izvan tog intervala pogonske energije razlike ugiba po varijantama su veće. Izrazito su velike razlike za područje  $q_p > 1,0$  MJ/m.

## 6.0. ZAKLJUČAK

Uticaj redosleda i načina izvodjenja šavova na opšte deformacije T-nosača zavisi od veličine pogonske energije. U istraživanom slučaju, za pogonsku energiju do 1,0 MJ/m, najmanja deformacija je kod izvodjenja naizmenično isprekidanog ugaonog šava sa povratnim korakom (varijanta B2) a za

pogonsku energiju preko 1,0 MJ/m najmanja deformacija je kod izvodjenja neprekidnog ugaonog šava (varijanta A). Ovaj zaključak se može uopštiti u principu i za T-nosače drugih geometrijskih karakteristika poprečnog preseka uz ograničenje da će se razlikovati veličina pogonske energije do koje je povoljnija varijanta B2 odnosno od koje je povoljnija varijanta A.

#### LITERATURA

- /1/ Palić V.: Zavarivanje, Novi Sad, 1987.
- /2/ Okerblom N.O. i dr.: Proektirovanie tehnologii izgotovlenija svarnyh konstrukcij, Leningrad, 1963.
- /3/ Sabo B.: Eksperimentalno i računsko odredjivanje ugiba zavarenih T-nosača, Zbornik radova IPM, br.5/6, Novi Sad, 1989.
- /4/ Sabo B., Alanović J.: Odredjivanje veličine pogonske energije (specifičnog unosa toplote) na bazi analize makroizbrusaka zavarenog spoja, Zavarivač, br.1., Beograd, 1989.