

<https://doi.org/10.24867/JPE-1993-10-155>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Sabo B.\*

HIPOTEZA O NAČINU DELOVANJA VIBRACIONE OBRAD  
NA SMANJENJE ZAOSTALIH NAPONA U ZAVARENIM  
KONSTRUKCIJAMA

RESIDUAL STRESSES RELAXATION IN WELDED STRUCTURES BY  
VIBRATION TREATMENT - A HYPOTHESIS OF ACTING MECHANISM

Summary

*Energetic level of a welded structure is proportional to the level of residual stresses. Reduction of the energetic level can be achieved by means of activation energy. Activation energy is introduced using the thermodeformation and deformation methods. Thermodeformation methods introduce the higher effects in residual stresses reduction relating the deformation methods.*

*In this paper, a hypothesis of acting mechanism of vibration treatment is given. The hypothesis is based on the adding the activation energy realized by a number of vibrating cycles. Residual stresses reduction depends on the starting level of residual stresses and intensity of the activation energy.*

*The hypothesis has been verified experimentally by vibration treatment of the welded I-beam.*

---

\*Doc.dr Bela Sabo, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

## Rezime

*Energetski nivo zavarene konstrukcije proporcionalan je nivou zaostalih napona. Smanjenje energetskega nivoa odnosno smanjenje zaostalih napona može se postići unošenjem energije aktivacije. Energija aktivacije može se uneti termodeformacionim i deformacionim metodama za smanjenje zaostalih napona. Termodeformacione metode pokazuju veće efekte smanjenja zaostalih napona od deformacionih metoda.*

*U radu je prikazana hipoteza o načinu delovanja vibracione obrade (deformaciona metoda) na smanjenje zaostalih napona u zavarenim konstrukcijama. Hipoteza je bazirana na unošenju energije aktivacije određenim brojem ciklusa vibriranja. Efekti smanjenja zaostalih napona zavise od početnog nivoa zaostalih napona i veličine energije aktivacije.*

*Validnost prikazane hipoteze potvrđena je eksperimentalno na primerima vibracione obrade zavarenih I-nosača.*

## 1. TEORIJSKE OSNOVE HIPOTEZE

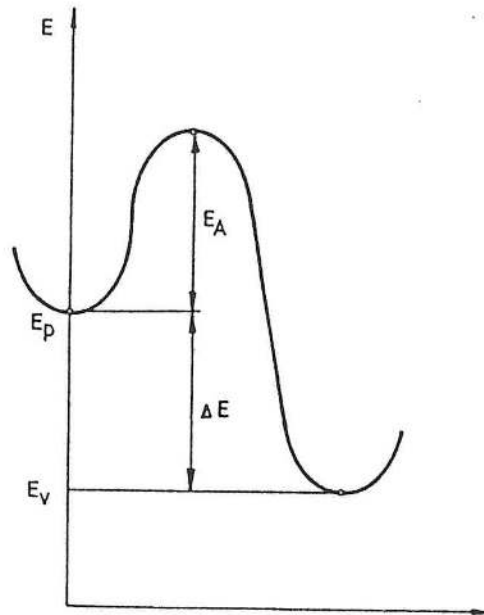
Hipoteza o načinu delovanja vibracione obrade na smanjenje zaostalih napona u zavarenim konstrukcijama bazirana je na energiji aktivacije koja se unosi određenim brojem ciklusa vibracione obrade. Na slici 1. šematski je prikazano smanjenje energetskega nivoa zavarene konstrukcije unošenjem energije aktivacije.

Na slici 1. sa  $E_p$  je označen početni energetski nivo odnosno nivo zaostalih napona, sa  $E_A$  je označena energija aktivacije koja se unosi određenim brojem ciklusa vibracione obrade a sa  $E_v$  energetski nivo zaostalih napona posle sprovedene vibracione obrade. Smanjenje energetskega nivoa zavarene konstrukcije odnosno smanjenje zaostalih napona označeno je sa  $\Delta E$  pa se može napisati relacija:

$$\Delta E = E_p - E_v \quad (1)$$

Efekti smanjenja zaostalih napona zavise od početnog nivoa zaostalih napona i veličine energije aktivacije. Eksperimentalni rezultati su pokazali da su efekti veći kod većeg početnog nivoa zaostalih napona i veće energije aktivacije /1/.

Rezultati se dobro slažu sa istraživanjima Bühler-a /4/ Sutyrin-a /5/, Sagalevič-a /6/, Zubčenko-a /7/, Kudinov-a /8/, Sendek-a /9/, Solomatina /10/, Rappen-a /11/, Polnov-a /12/, Wohlfanrt-a /13/ i Pattison-a /14/.



Slika 1. Smanjenje energetskeg nivoa  
Fig.1. Reduction of the energetic level

## 2. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Validnost hipoteze o načinu delovanja vibracione obrade na smanjenje zaostalih napona potvrđena je eksperimentalno na primerima vibracione obrade zavarenog I-nosača /2/. U eksperimentalnim istraživanjima je korišćena vibraciona oprema "VSR Martin Engineering" USA /3/.

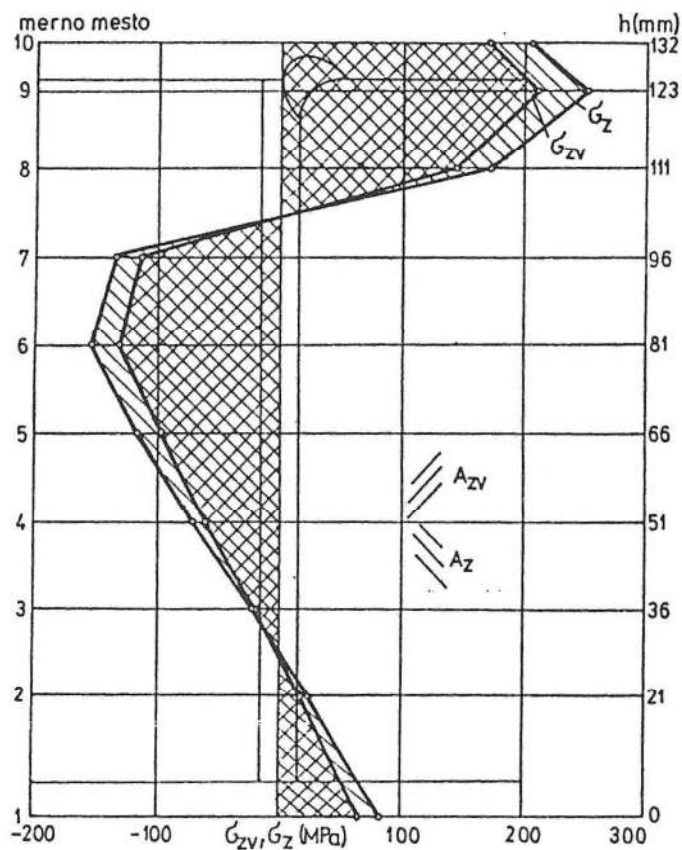
Za eksperimentalni I-nosač je čvrsto vezan vibrator i ceo sistem okačen o elastično (gumeno) uže. Parametri vibracione obrade su bili:

Amplituda	$A = 0,8-2,4 \text{ mm}$
Frekvencija	$f_r = 20-80 \text{ Hz}$
Vreme vibriranja	$t = 10-20 \text{ min}$

Za plan eksperimenta je usvojen trofaktorni ortogonalni plan prvog reda sa četiri ponavljanja u centraloj tački plana /15/.

Ukupna, elastična i plastična deformacija mernih mesta određena je mehaničkim deformometrom uz primenu metode izrezivanja mernih mesta /16, 17/. Zaostali napon mernih mesta određen je na osnovu elastične deformacije.

Na slici 2. prikazan je raspored uzdužnog zaostalog napona rebra I-nosača pre i posle vibracione obrade (I-nosač br.5). Uzdužno zaostalo naponsko stanje rebra I-nosača pre vibracione obrade određeno je površinom  $A_z$  a posle vibracione obrade površinom  $A_{zv}$ . Raspored zaostalog napona rebra I-nosača obeleženo je sa  $\sigma_z$  a posle vibracione obrade sa  $\sigma_{zv}$ .



Slika 2. Raspored zaostalog napona I-nosača  
Fig.1. Distribution of residual stress in the I-beam

Efekat vibracione obrade na smanjenje uzdužnog zaostalog napona stanja rebra I-nosača određeno je prema relaciji:

$$e_{\sigma} = \frac{A_z - A_{zv}}{A_z} \cdot 100, \% \quad (2)$$

U tabeli 1. prikazani su efekti vibracione obrade na smanjenje uzdužnog zaostalog naponskog stanja I-nosača u zavisnosti od broja ciklusa vibriranja. Broj ciklusa vibriranja određen je iz relacije:

$$N = f_r \cdot t \quad (3)$$

gde je:

$f_r$  - frekvencija vibriranja, u  $s^{-1}$

$t$  - vreme vibriranja, u s.

Tabela 1.

Broj nosača	$N = f_r \cdot t$	$e_\sigma, \%$	$100 - e_\sigma, \%$
1	12.000	10,2	89,8
2	24.000	12,0	88,0
3	33.600	13,1	86,9
4	48.000	14,2	85,8
5	96.000	16,8	83,2

Na slici 3. prikazani su efekti vibracione obrade na smanjenje uzdužnog zaostalog naponskog stanja rebra I-nosača u zavisnosti od broja ciklusa vibriranja (eksperimentalni rezultati).

Linije efekata vibracione obrade za I-nosača 1, 2, 3, 4 i 5 (slika 3.) u stvarnosti nisu prave već krive. Merenjem smanjenja struje elektromotora vibratora je utvrđeno da u početnim ciklusima je efekat vibracione obrade veći nego u završnim što znači da gradijent smanjenja uzdužnog zaostalog naponskog stanja rebra I-nosača nije konstantan unutar odredjenog broja ciklusa vibriranja.

Na slici 4. prikazani su efekti vibracione obrade na smanjenje uzdužnog zaostalog naponskog stanja rebra I-nosača u zavisnosti od broja ciklusa vibriranja (upotpunjeni eksperimentalni rezultati).

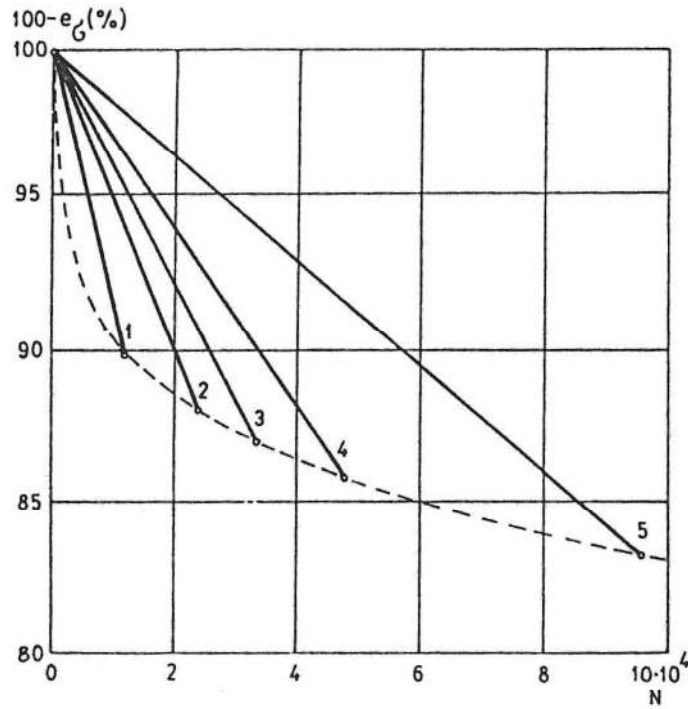
Efekat vibracione obrade na smanjenje uzdužnog zaostalog napona mernih mesta na rebu I-nosača odredjuje se prema relaciji:

$$\Delta\sigma = \sigma_z - \sigma_{zv}, \text{ MPa} \quad (4)$$

U tabeli 2. prikazani su efekti vibracione obrade na smanjenje uzdužnog zaostalog napona mernih mesta na rebu I-nosača.

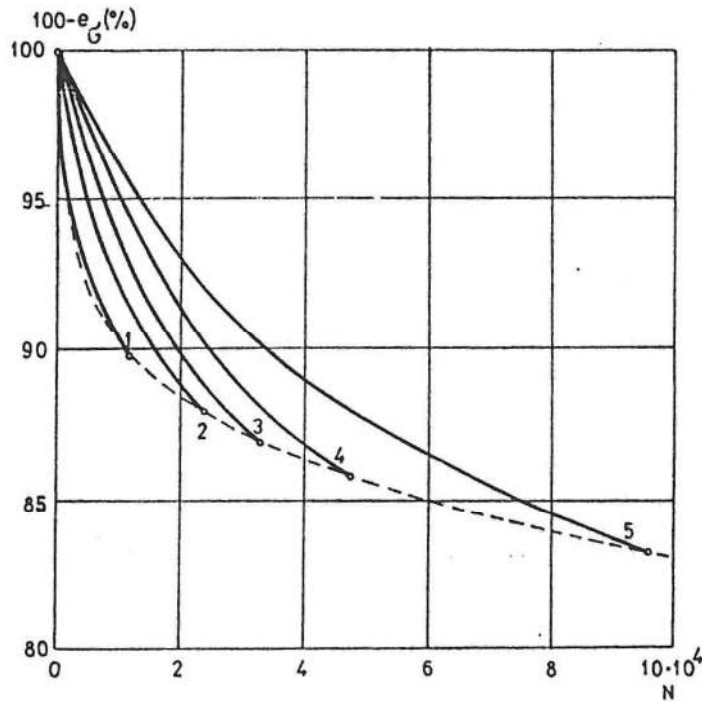
Tabela 2.

Broj nosača	Merno mesto										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		9,7	3,2	-1,9	-6,0	-11,6	-16,0	-14,6	16,0	25,0	18,5
2		12,2	3,7	-1,4	-7,0	-13,6	-20,0	-14,6	23,0	32,0	23,0
3		12,2	3,5	-2,7	-9,3	-15,6	-20,0	-18,6	19,5	32,5	26,8
4		13,7	4,2	-3,4	-10,6	-17,6	-20,0	-18,6	23,5	35,5	28,5
5		17,2	5,7	-2,9	-11,0	-19,1	-24,0	-20,6	29,0	42,5	34,0



Slika 3. Efekti vibracione obrade zavisno od broja ciklusa (eksperimentalni rezultati)

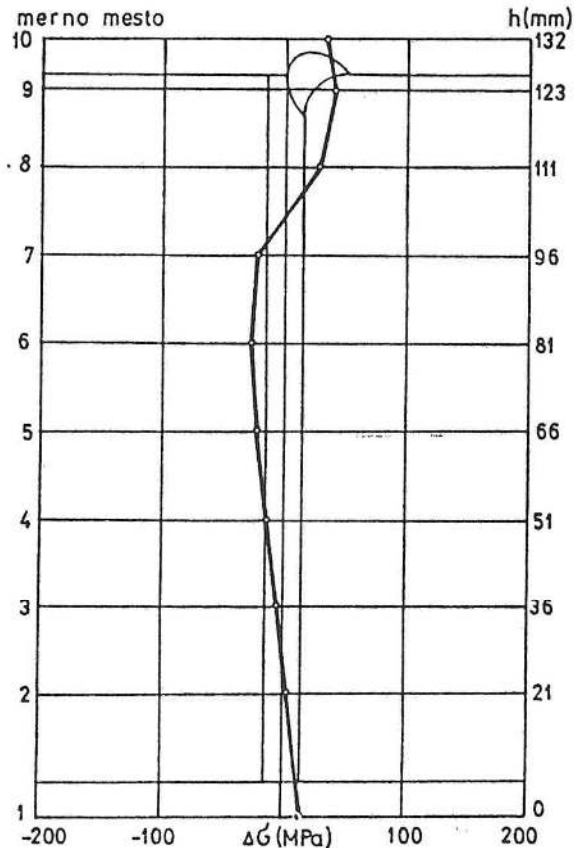
Fig.3. Vibration treatment effects with respect to the number of cycles (experimental results)



Slika 4. Efekti vibracione obrade zavisno od broja ciklusa (upotpunjeni eksperimentalni rezultati)

Fig.4. Vibration treatment effects with respect to the number of cycles (completed experimental results)

Na slici 5. prikazani su efekti vibracione obrade na smanjenje uzdužnog zaostalog napona mernih mesta na rebro I-nosača (I-nosač br. 5 ). Na osnovu podataka iz tabele 2. može se dati prikaz efekata vibracione obrade za I-nosače br.1, 2, 3 i 4 na isti način kako je to učinjeno za nosač br.5.



Slika 5. Efekti vibracione obrade na zaostale napone mernih mesta (I-nosač br.5 )

Fig.5. Vibration treatment effects on residual stresses on the measuring places (I-beam No.5 )

### 3. ANALIZA VALIDNOSTI HIPOTEZE

#### 4.1. Uticaj veličine energije aktivacije (unete odredjenim brojem ciklusa) na efekte vibracione obrade.

Iz tabele 1. i slika 3. i 4. zaključuje se da su efekti vibracione obrade srazmerni veličini energije aktivacije pa je validnost hipoteze u tom delu dokazana.

#### 4.2. Uticaj početnog nivoa zaostalih napona na efekte vibracione obrade

Iz tabele 2. i slike 5. zaključuje se da su efekti vibracione obrade srazmerni veličini početnog nivoa zaostalih napona pa je validnost hipoteze u tom delu dokazana.

## 4. ZAKLJUČAK

Validnost postavljene hipoteze o načinu delovanja vibracione obrade na smanjenje zaostalih napona je potvrđena eksperimentalnim rezultatima. Na osnovu sprovedenih analiza zaključuje se da se vibracionom obradom ne mogu zaostali naponi u potpunosti ukloniti već samo smanjiti do određenog nivoa. Povećanjem broja ciklusa vibriranja efekti se asimptotski približavaju određenom nivou kao što to pokazuje obvojnica na slici 3. i 4. U primeru vibracione obrade zavarenog I-nosača nije racionalno ići na broj ciklusa iznad  $10^5$ .

## 5. LITERATURA

- /1/ Sabo B.: Prilog istraživanju uticaja vibracione obrade na ostatne deformacije i napone zavarenih I-nosača, doktorska disertacija, Novi Sad, 1988.
- /2/ Sabo B.: Istraživanje uticaja vibracija na smanjivanje deformacija pri zavarivanju, istraživačka tema, Novi Sad, 1986.
- /3/ Sabo B.: Istraživanje uticaja vibracija na smanjivanje deformacija pri zavarivanju, Zbornik radova IPM. Spec.br.. 61-75. Novi Sad, 1986.
- /4/ Bühler H. i dr.: Untersuchungen über die Verminderung von Schweissspannungen durch mechanisches Rütteln, SCH+SCH, br. 5, Düsseldorf, 1964.
- /5/ Sutyryn G.V. i dr.: Vlijenie vibracij nizkoj častoty na veličinu ostatočnyh naprjaženij i deformacij pri svarke, Svaročnoe proizvodstvo, br.7., Moskva, 1975.
- /6/ Sagalevič V.M. i dr.: Ustranenie deformacij svarnyh baločnyh konstrukcij, Svaročnoe proizvodstvo, br.9., Moskva, 1979.
- /7/ Zubčenko O.I. i dr.: Primenenie vibracionnogo nagruženija dlja snjatija ostatočnyh naprjaženij v svarnyh ramach, Avtomatičeskaja svarka, br.9., Kiev, 1974.
- /8/ Kudinov V.M. i dr.: Primenenie elektrogidroimpuljsnoj obrabotki dlja sniženija ostatočnyh naprjaženij v svarnyh soedinenijah, Avtomatičeskaja svarka, br.1, Kiev, 1977.
- /9/ Sendek P.: Naši eksperimenti u oblasti dimenzione stabilnosti zavarenih konstrukcija, Zbornik savetovanja "Naponi i deformacije u zavarenim konstrukcijama", Zagreb, 1982.
- /10/ Solomatin V.E. i dr.: Vlijanie nizkočastotnoj vibroobrabotki na svojstva svarnyh soedinenij stali 16D, Svaročnoe proizvodstvo, Moskva.
- /11/ Rappen A.: Verringerung von Schweisseigenspannungen durch Vibration zu Erzielung von Mass- und Formgenauigkeit von Maschinenteilen, DUS-Bericht, Band 74, Düsseldorf, 1982.



- /12/ Polnov V.G. i dr.: Opređenje režimov vibracionoj obratki svarnyh konstrukcij s celju sniženija ostatočnyh naprjaženij, Svaročnoe proizvodstvo, br.2, Moskva, 1984.
- /13/ Wohlfahrt H.: Zum Eigenspannungsabbau bei der Schwingungsbeanspruchung von Stählen, Härtereitechnischen Mitteilungen 28, 1973.
- /14/ Pattison E.J. i dr.: Fading of Residual Stress due to Repeated Loading, Metallurgija, Nov.1962.
- /15/ Box G.P., Vilsson K.B.: On the Experimental Attainment of Optimum Conditions, J.Roy.Stat.Soc.B., 131, 1, 1951.
- /16/ Sabo B.: Naponsko-deformaciono stanje I-nosača kao posledica zavari-  
vanja ugaonog šava, Zbornik radova IPM, br.2., 85-96, Novi Sad, 1985.
- /17/ Sabo B.: Eksperimentalno određivanje distribucije ostatnih deformacija  
i napona zavarenog I-nosača, časopis ZAVARIVANJE, br.3-4, 97-101,  
Zagreb, 1990.