



POPUŠTANJE ZAOSTALIH NAPREZANJA METODOM VIBRACIJA RELAXATION RESIDUAL STRESSES BY VIBRATION

M. DUSPARA¹⁾, G. MIJUŠKOVIĆ²⁾, J. KOPAČ²⁾, M. PAVIĆ³⁾, A. STOIĆ¹⁾

Ključne riječi: zaostala naprezanja, popuštanje, metoda vibracija

Keywords: residual stresses, relaxation, vibro method

Sažetak: Metoda vibriranja koristi se za smanjenje zaostalih naprezanja. Metoda popuštanja naprezanja vibriranjem započela je prije 1950. godine, kada je Mornarica SAD-a i Njemačke obrane koristila harmonične vibracije (koje se nazivaju i rezonantne vibracije) za testiranje metalnog broskog trupova i krila aviona. Kasnije su pokušali smanjiti upotrebu toplinske obrade za popuštanje naprezanja te povećati upotrebu metode vibriranjem. Međutim kada se pokušalo popuštanje naprezanja rezonantnim vibracijama rezultati su bili nepredvidljivi i nedosljedni. Da bi metoda bila što bolje primjenjena na određeni komad u radu je pojašnjen proces nastanka zaostalih naprezanja i deformacija. Osim toga potrebno je poznavati na koje se sve materijale ova metoda može primjeniti.

Abstract: Vibration method is used to reduce residual stresses. The method of relaxation of stresses by vibration began before the 1950th, when the United States Navy and the German defense using harmonic vibrations (also known as resonant vibrations) to test the metal ship hulls and airplane wings. Later they tried to reduce the use of heat treatment for easing stress and increase the use of vibration methods. But when it tried to waver stress resonant vibrations of the results were unpredictable and inconsistent. To better method was applied to a particular piece of work has clarified the process of formation of residual stresses and strains. In addition, it is necessary to understand that all materials, this method can be applied.

¹⁾ Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, Trg I. B. Mažuranić 2, 35000 Slavonski Brod

²⁾ Strojniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija

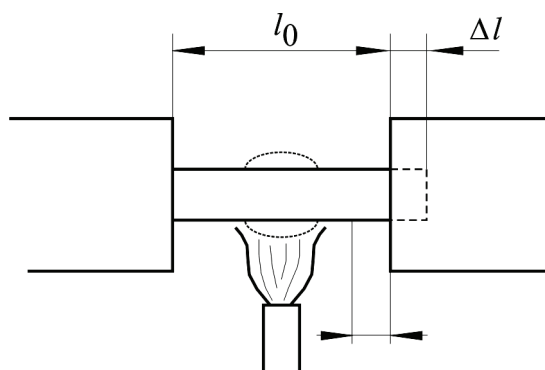
³⁾ VibroMetal, Slavonski Brod, Hrvatska

1. OPĆENITO O ZAOSTALIM NAPREZANJIMA I DEFORMACIJAMA

Deformacije nastaju prilikom zagrijavanja i hlađenja materijala. Kod nejednoliko zagrijanog metala dolazi do širenja toplog dijela, dok se hladni dio tome opire, uslijed čega nastaje plastična deformacija toplog dijela. Nakon hlađenja zagrijani dio se skraćuje, što izaziva zaostala naprezanja i deformacije.

Lokalno zagrijavanje metala izaziva plastičnu deformaciju kada toplinska dilatacija premašuje veličinu elastičnog produljenja.

Deformacije prate sve procese zavarivanja. Općenito se može smatrati da će se lokalno zagrijano područje stegnuti pri hlađenju i izazvati deformaciju prema unutra. [1]



Slika 1.1 Zagrijavanje upetog šipke u čeljustima škripca
(l_0 – početna duljina šipke, Δl – produženje šipke) [2]

Ugrijavanjem štapa na temperaturu $T+\Delta T$, štap će se produljiti za iznos:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T \quad (1.1)$$

Toplinska (temperaturna) deformacija štapa je:

$$\varepsilon_T = \frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \cdot \Delta T = \frac{\sigma}{E} \quad (1.2)$$

Naprezane:

$$\sigma_x = -\alpha \cdot E \cdot \Delta T \quad (1.3)$$

Promijena temperature:

$$\Delta T = T - T_0 \quad (1.4)$$

Da li će deformacije ili zaostala naprezanja biti veća zavisi o samoj konstrukciji.

1.1 Vrste zaostalih naprezanja i deformacija

Zaostala naprezanja možemo podijeliti na:

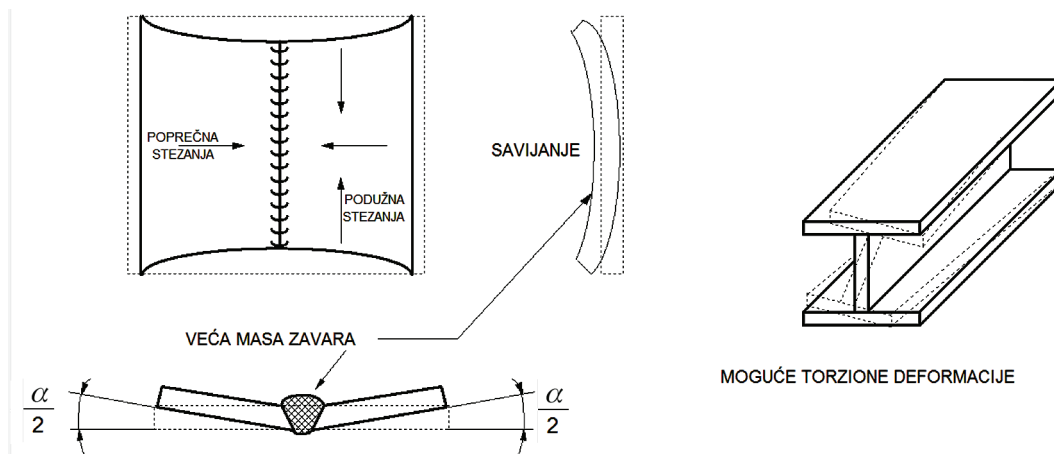
- a) Reaktivna naprezanja, σ_{ZV}
- b) Toplinska naprezanja, σ_{ZV}
- c) Strukturna naprezanja, σ_{zmikor}

Također zaostala naprezanja možemo podijeliti prema smjeru:

- σ_x – u smjeru osi zavora
 σ_y – poprečno na smjer zavora
 σ_z – okomito na debljinu zavora (u smjeru debljine lima)

Vrste zaostalih deformacija:

- a) Uzdužna deformacija
- b) Poprečne deformacije
- c) Po debljini deformacije
- d) Kutne deformacije, α
- e) Savijanje po dužini
- f) Torzijske deformacije.



Slika 1.2 Smjerovi i vrste stezanja odnosno deformacija nakon zavarivanja (α - kutne deformacije)[3]

2. METODE ZA SMANJENJE ZAOSTALIH NAPREZANJA

Zaostala naprezanja i deformacije nije moguće u potpunosti spriječiti i otkloniti ali se određenim metodama prije zavarivanja, u toku zavarivanja i poslije zavarivanja mogu smanjiti njihova djelovanja tj. razina.

1. Smanjenje naprezanja prije zavarivanja
 - a) Izborom pravilne zavarivačke konstrukcije
 - b) Izborom optimalnih oblika i dimenzija žlijeba
 - c) Izborom najpovoljnijih postupaka zavarivanja
 - d) Pred-deformacijama
 - e) Predgrijavanjem
 - f) Predsavijanjem.

2. Smanjenje naprezanja u samom procesu zavarivanja
 - a) Pravilnim redoslijedom zavarivanja
 - b) Ispravnim parametrima zavarivanja
 - c) Korištenjem steznih naprava.
3. Smanjenje naprezanja poslije procesa zavarivanja
 - a) Toplinske
 - b) Mehaničke obrade (čekičanje, vibracijama, prenaprežanjem, eksplozijom, sačmarenjem).

3. METODA VIBRIRANJEM

Tretman vibracijama prilikom zavarivanja, ili nakon zavarivanja smanjuje mogućnost nastajanja krhkog loma, tako da se u objekt pomoću niskih vibracija unosi visoka amplituda energije. Najefikasnije vibracije su rezonantne, jer su rezonantne frekvencije vibracija bolje distribuirane, ako se uspoređi s pod-rezonantnim frekvencijama.

Pri korištenju metode potrebno je slijediti dva pravila:

- a) Postavljanje komada na najbolji mogući način, izoliranje od poda ili krute strukture ostavljajući ga slobodnim za vibriranje.
- b) Vibrator treba biti izravno spojen na komad, kako bi se prenijela cijela energija vibriranja na proizvod.

Metoda se može koristiti za širok spektar obojenih metala, uključujući i ugljične i nehrđajuće čelike, ljevano željezo, aluminij, titan i sl., te za veliku raznolikost oblika. Veličina može varirati od malih zavarenih dijelova, osovina i zupčanika, do velikih zavarenih i strojnih čeličnih konstrukcija. Jedna od najvažnijih prednosti korištenja vibracijske metode je njezina sposobnost da oslobodi naprezanja u bilo kojem trenutku u proizvodnom procesu, kao što je nakon obrade: bušenjem ili brušenjem. Metodu je moguće primjeniti tijekom zavarivanja što je korisno jer se na taj način mogu spriječiti djelovanja zaostalih naprezanja koja mogu uzrokovati savijanje komada

Opis opreme:



Slika 3.1 Oprema za smanjenje naprezanja metodom vibriranja [4]

Uređaj za smanjenje naprezanja vibriranjem META-LAX Serija 2700-CC sastoji se od: konzole, davača sile, podešavača i stop ključa, izolacijske papuče, hvataljke, sonde, gumenog izolacijskog jastučića, A.C. ulaznog kabela, sučeonog kompjuterskog kabela, računala, printera i



CD–a programskog diska.

Izvođenje metode vibriranja.

Izoliranje izradak – Velike gustoće gumeni jastučići koriste se za izoliranje izratka. Ti jastučići se stavljaju pod svaki ugao izratka.

U slučaju kada želimo male komade, osovine ili cilindre podvrgnuti samoj metodi oni se ulažu u "sendvič ploče" gdje oni moraju biti čvrsto pričvršćeni i moraju se nalaziti u sredini "sendvič ploče" da bi vibracije koje se prenose na njega postigle maksimalan efekt.

Priključna šipka – Priključnu šipku koristimo u onim trenucima kada se obrađuje proizvod koji ima izdanke duže od 450 mm.

Montaža sonde – Sonde se postavljaju 1m od davača sile, međutim ne smiju se postavljati direktno iznad gumenih jastučića. Sonde moraju biti montirane u okomitom ili uspravnom položaju jer u takvim položajima daju najbolje rezultate.

Montaža davača sile – Mjesto postavljanja davača sile zavisi o geometrijskim karakteristikama konstrukcije i od prethodno urađene dinamičke analize, preko kojih se utvrđuju pokazatelji protoka energije i očekivani odziv. Četiri stvari koje treba uzeti u obzir prilikom montaže davača sile na izradak:

1. Postavke ekscentrika težine,
2. Broj lokacija davača sile,
3. Smjer baze davača sile,
4. Površini ugradnje.

3.1 Prednosti vibro metode

- Jednostavno korištenje i maksimalna točnost
- Oprema je lako prenosiva i kompaktna mogućnost primjene na terenu
- Manje pukotine tijekom zavarivanja
- Manji troškovi
- Brže zavarivanje
- Manje deformacije
- Nema dimenzionalnih ograničenja
- Poboljšanje karakteristika zavarenog spoja (bolja mikrostruktura, zrnatost samog zavara)
- Manji unos topline
- Gubi se potreba za naknadnim toplinskim obradbama
- Najbolji rezultati kod rešetkastih konstrukcija (vrlo lako dostizanje rezonantne frekvencije)
- Nedostatci vibro metode:
- Ako je konstrukcija kruta ne može se dovesti do rezonantne frekvencije
- Relativno slabo poznata i primjenjiva u svijetu.

4. PRIMJENA VIBRO METODE U PRAKSI

U proteklih 60 godina, ova metoda se zarvila od malo poznatog područja do respektivnog osnovnog procesa, koji je uspostavljen kao alternativa toplinskom tretmanu odljevaka, komada sa zahtjevom dodatne strojne obrade, te nemetalnih materijala. Bitno je napomenuti da vibro metoda nije alternativa za sve toplinske postupke, ali postoje područja gdje ovi postupci jesu i biti će predominantni.

Toplinski i vibro postupak pokrivaju tri područja; smanjenje naprezanja, dimenzijska kontrola i dimenzijska stabilizacija. Iako je potpuno rasterećenje od zaostalih naprezanja nemoguće korištenjem bilo kojeg komercijalnog postupka, vibro metoda može stabilizirati i deformacijski rasteretiti komponentu u bilo kojoj fazi strojnog ili proizvodnog procesa sa i bez utjecaja na promjene metalurškog stanja materijala, bez distorzije sa niskim cijenama koštanja i

kratkog vremena. Vibracijski proces uključuje dovođenje metalnih struktura u jedno ili više rezonantnih ili podrezonantnih stanja korištenjem pobuđivača visoke sile. Periodi tretmana su kratki, a frekvencije u opsegu od 10 do 230 Hz. Sa modernim pobuđivačima, pravilno smještenim, i komponentama virtualno neprigušenim gumenim izolatorima, jednaki ili često bolji rezultati koji se očekuju od komercijalnih toplinskih tretmana su mogući i kao takvi se često i dobiju. Tretman često traje manje od 30 min za razliku od dugotrajnog toplinskog tretmana koji uključuje korištenje velike energije. Istraživanja pokazuju uštede energije primjenom vibro metoda u nekim slučajevima i do 500:1.

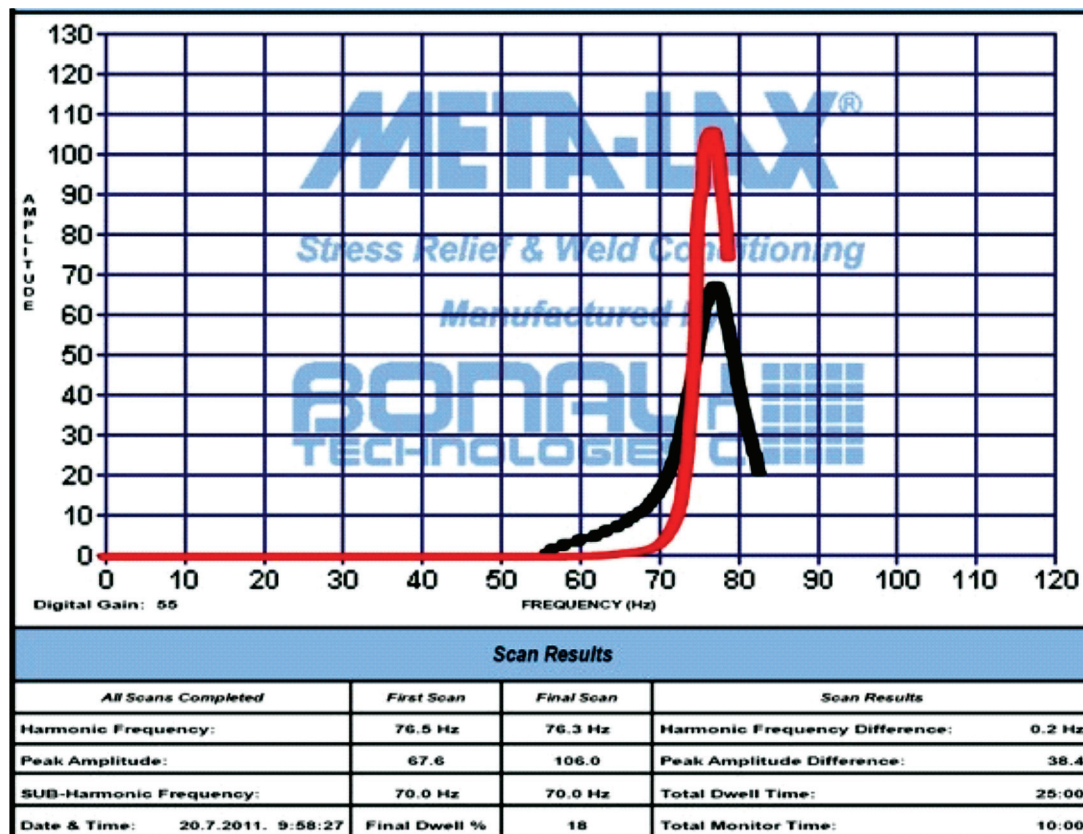
Vibro proces se može obavljati za vrijeme i nakon izvođenja tehnologije zavarivanja. Efekti umanjenja zaostalih napreznja kod dosadašnjih različitih istraživanja su širokog dijapazona i kreću se od 20 % do 95 %. Učinak primjene metode ovisi od velikog broja faktora, npr. tipa konstrukcije, dimenzija konstrukcije, mase i krutosti konstrukcije, karakteristike opreme, mjesta oslanjanja konstrukcije, itd.

Vibro metoda se može koristiti za stabilizaciju veličine odgovarajućih elemenata prije strojne obrade i eksploatacije kao zamjena za smanjenje napreznja odžarivanjem. Vibro metoda se koristi za smanjenje zaostalih napreznja i stabilizaciju veličine različitih zavarenih spojeva kao što su okviri strojeva, odljevaka od sivog ljeva, itd. koji su do sada tretirani žarenjem radi smanjenja napreznja. Ova metoda ne utječe negativno na statičko-dinamičku jačinu zavarenih spojeva i zavora, lomnu i udarnu žilavost i homogenost zavarenih spojeva. Primjena vibro metode kao zamjene za smanjenje napreznja žarenjem za stabilizaciju zavora, odljevaka i otkivaka dovodi do uštede proizvodnih troškova. Ušteda toplinske energije je evidentna jer vibro procedura ne prelazi 1 % energije zahtijevane za žarenje zavora, i prosječno samo 0,4 % produkcijskih troškova. S obzirom na znatne troškove toplinskog tretmana i transporta komada vibro postupak ima značajne prednosti sa aspekta cijene koštanja i potpunog ukidanja troškova transporta jer se proces obavlja na licu mjesta.



Slika 4.1 Složeni radni komad pripremljen za popuštanje

Na slici 4.2 možemo uočiti da smo tijekom prvog skeniranja radnog komada izmjerili frekvenciju od 76,5 Hz. Te smo radni komad podvrgnuli vibro metodi tijekom 25 min, te smo nakon toga mjerili kolika će biti frekvencija radnog komada, koja je iznosila 76,3 Hz. Gdje možemo zaključiti da je došlo do neke promjene u materijalu radnog komada, tj. došlo je do popuštanja zaostalih naprezanja. Važno je napomenuti da zbog složenosti konstrukcije ne znamo kvantitativno koliko je to popuštanje bilo. Nego možemo samo reći da je došlo do popuštanja, a koliko točno, to ne možemo utvrditi, jer nismo mjerili kolika su bila naprezanja prije i poslije vibro tretmana.



Slika 4.2 Dijagram popuštanja zaostalih deformacija prije i poslije tretmana

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu gore provedene analize utvrđeno je:

1. Da je moguća primjena metodologije vibro postupkom smanjenja zaostalih naprezanja, kao posljedice tehnologije zavarivanja složene konstrukcije, sa raspoloživom opremom odgovarajućeg raspona sile pobude.
2. Izvođenje postupka je moguće na licu mjesta. Na taj način moguće je dobiti povoljan utjecaj na raspored i veličinu smanjenja zaostalih naprezanja na segmentima strukture.
3. Primjena postupka podrazumijeva dvoravansko tretiranje, dvije lokacije oslonaca, 100 % ekscentricitet pobude i kontinuirani automatski monitoring procesa. Na taj način bi se tretirala sva zavarena mjesta u segmentu strukture.
4. Moguća je primjena tretmana korištenjem principa "vibro-stola" koja je ekonomski opravdana kod tretiranja serije uzoraka. Vibro-stol se kreira kao obična ramna struktura sa gumenim izolatorima.



5. Nakon primjene vibro metode je moguće utvrditi konačan efekt učinka metode upoređivanjem razlike deformacijskog stanja na tretiranim mjestima, prije i poslije vibro tretmana, primjenom najsavremenije opreme iz ovoga područja. Mjerenje zaostalih naprezanja se vrši samo na jednom (reprezentantnom) uzorku serije proizvoda.

6. LITERATURA

- [1] Marić Dejan: Diplomski rad
[2] www.unze.ba/am/ip/20%20Mjerenje%20zaostalih%20naprezanja.pdf (08.09.2011)
[3] Samardžić Ivan: Digitalni udžbenik, SFSB
[4] Katalog tvrtke "Vibrometal"