



Jasmina Lozanović Šajić, Aleksandar Sedmak

PRIMENA STEREOMETRIJSKOG MERENJA ZA PROCENU INTEGRITETA ZAVARENE KONSTRUKCIJE

STEREOMETRIC MEASUREMENT FOR ASSESSING STRUCTURAL INTEGRITY OF WELDED STRUCTURES

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 621.791:620.172.24

Rad primljen / Paper received:

02.08.2012.

Adresa autora / Author's address:

Dr Jasmina Lozanović Šajić, dipl.ing.

Prof. dr Aleksandar Sedmak, dipl.ing.

Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, Beograd, Srbija.

Ključne reči: stereometrijsko merenje, integritet i vek zavarene konstrukcije.

Keywords: stereometric measurement, integrity and life of welded structures.

Izvod

Ovaj rad predstavlja mobilni sistem u kome su implementirane teorije upravljanja i masinskog vida u sprezi sa teorijom procene integriteta i veka zavarenih konstrukcija. Tehnički sistem koji je korišćen sastoji se od dve video kamere čijom je upotrebom obezbeđen stereometrijski vid, odnosno dobijanje trodimenzionalne slike u realnom vremenu. Prednost ove metode nad ostalima je u brznoj obradi podataka, postizanja veće efikasnosti i sniženje troškova projektovanja.

Abstract

This paper presents a mobile system in which are implemented control theory and machine vision in conjunction with theory of integrity and life assessment of welded structures. The technical system is system with two video cameras, by which is provided stereometric vision, to obtain three - dimensional image in real time. The advantage of this method is the faster data processing, achieving greater efficiency and cost reduction design.

UVOD

Sistemi mašinskog vida se upotrebljavaju za obradu video zapisa u industrijskim uslovima, upravljanje robotskim sistemima, praćenje saobraćaja, biomedicinskom inženjerstvu, dok je u ovom radu sistem veštačkog stereometrijskog vida primenjen kao podsistem ekspertskog sistema za procenu integriteta i veka zavarenog spoja.

Snimanje sa dve video kamere je prikladna bezkontaktna metoda, za dobijanje podataka o ponašanju konstrukcije tokom rada. Da bi se pomeranje odredilo, potrebno je da se digitalnom video kamerom neprekidno prati površina komponente zavarene konstrukcije u kritičnom delu. Na površinu konstrukcije čije se ponašanje prati, se sprejom kontrastne boje nanose tačkice koje računarski program diskretizuju poput otiska prsta u jedinstven diskretan zapis površine, koji je radi lakšeg definisanja prekriven mrežom. Kada se konstrukcija optereti, dolazi do pomeranja tačaka, odnosno deformisanja mreže. Softver za snimanje u unapred definisanim vremenskim intervalima beleži parove digitalizovanih slika koje se još u toku eksploatacije mogu porediti, i na osnovu razlika u pomeranjima pojedinih tačaka mreže, može se proračunati deformacija.

Ovom metodom moguće je dobiti potpune informacije o deformacijama elemenata zavarene konstrukcije, tako što se u realnom vremenu prati promena prostornih

koordinata (x,y,z) , što obezbeđuje stereometrijsko merenje. Koordinate izabranih tačaka se menjaju zbog pomeranja tih tačaka, a izazvane su povećanjem opterećenja.

Mehanika loma je brojnim teorijskim rešenjima problema prslina omogućila razvoj pristupa za ocenu integriteta konstrukcija. Brojni su primeri gde se procena integriteta i veka uspešno koristi, i jos uvek postoje mogućnosti usavršavanja postupaka radi postizanja veće efikasnosti i daljeg sniženja troškova projektovanja, izrade i eksploatacije konstrukcije.

POSTAVLJANJE EKSPERIMENTA I IZRADA NUMERIČKOG MODELA

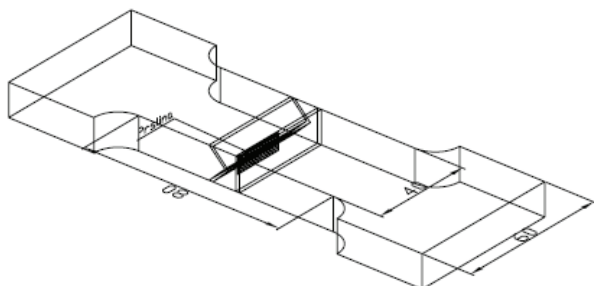
U [1] urađena su sledeća ispitivanja epruveta:

- eksperimentalno (u laboratoriji za mehanička ispitivanja)
- stereometrijskim merenjima (praćenje deformacija u realnom vremenu primenom metoda masinskog vida)
- numerički (primenom licenciranog softvera za proračun MKE)
- analitički (FAD i CDF dijagrami)

Na slici 2 su date raspodele ekvivalentnog Von Mises-ovog napona dobijene za modele sa grubom i finom mrežom KE (prslina se nalazi u ZUT). Dobijeni rezultati su preliminarni, jer su zatezne osobine



marijala koji čine spoj, modelirane upotrebom pojednostavljene bilinearne krive ojačavanja, a za ZUT su usvojene iste zatezne osobine kao i za metal šava.



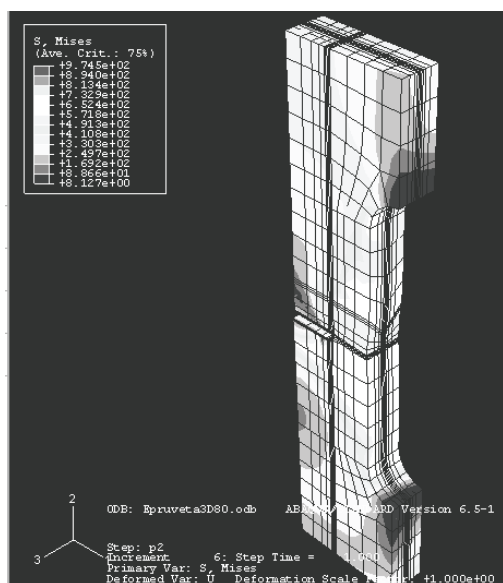
Slika 1: Model za numeričku analizu

REZULTATI DOBIJENI STEREOMETRIJSKIM MERENJEM I ANALITIČKIM METODAMA

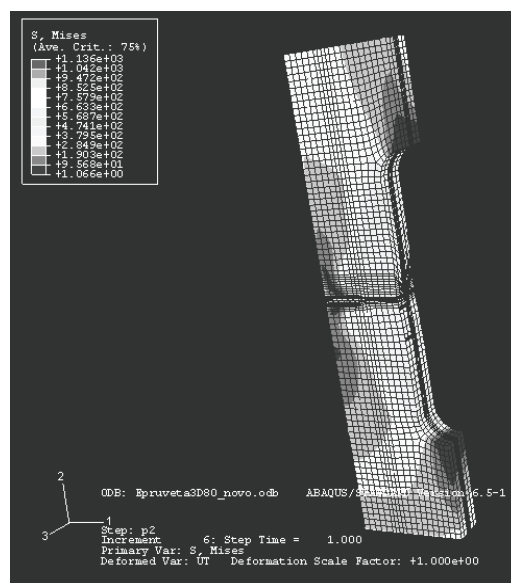
Stereometrijsko merenje je obavljeno na dve epruvete (slika 3), zbog snage kidalice i dobijanja boljih rezultata stereometrijskim merenjem, epruvete su podvrgnute daljoj obradi.

Ispitivanja su rađena na zavarenim spojevima niskolegiranog čelika povišene čvrstoće, mikrolegirani čelik, API X60, koji je namenjen za izradu uzdužno zavarenih cevi izloženih visokim pritiscima, kao i za izradu posuda pod pritiskom.

Hemijski sastav i mehaničke osobine čelika date su u tabelama 1 i 2.

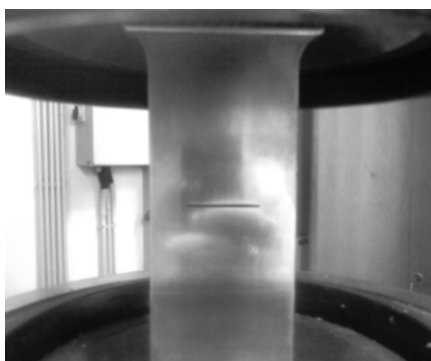


a)



b)

Slika 2: Raspodela Von Mises-ovog napona na modelima sa grubom a) i finom b) mrežom KE, za epruvetu PE-ZUT



Slika 3: Zatezanje epruvete u kidalici uz kontrolisan rast sile i stereometrijsko praćenje rasta prsline

Tabela 1: Hemijski sastav mikrolegiranog čelika X60

Mas. %						
C	Mn	P	S	Co	V	Nb
0,12	0,33	0,020	0,010	0,35	0,045	0,056



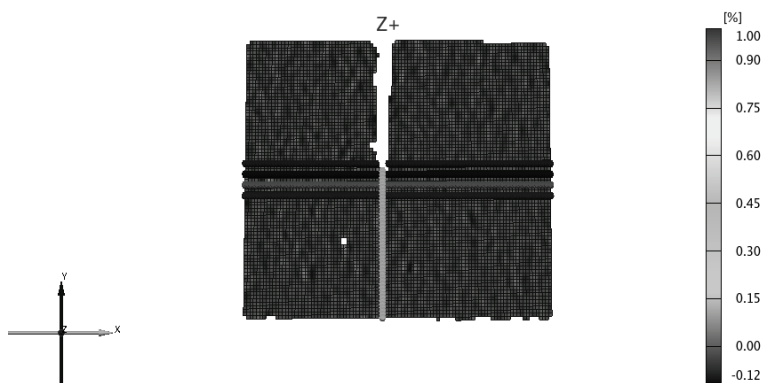
Tabela 2: Mehaničke osobine mikrolegiranog čelika X60

Napon tečenja $R_{P0,2}$ [MPa]	Zazezna čvrstoća R_m [MPa]	Izduženje A [%]	Kontrakcija Z [%]	Energija udara KV2 [J]
448	596	22,7	55,6	73

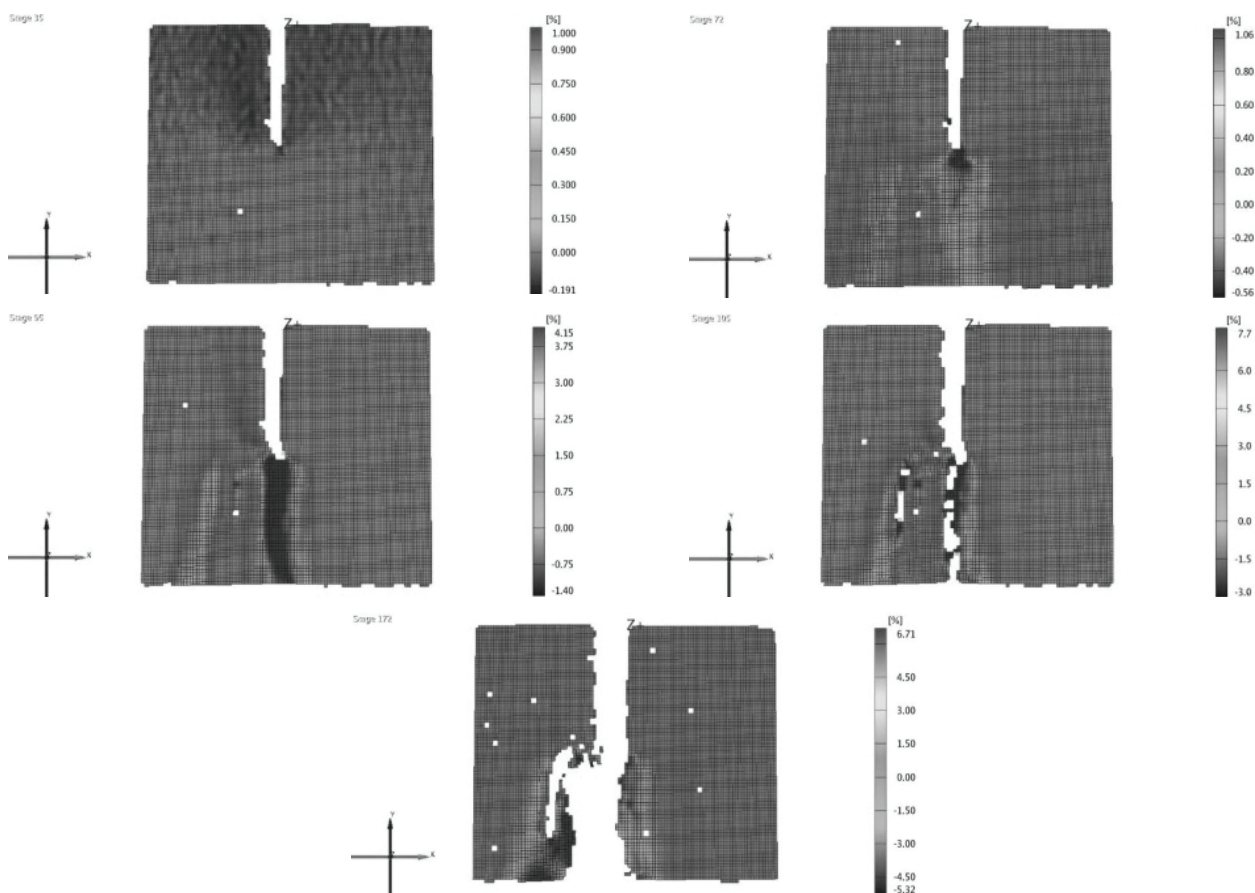
Pločaste epruvete sa prslinom su epruvete za ispitivanje otpornosti materijala prema lomu i definisane su standardima. Početne prsline u ispitivanim epruvetama sa K zavarenim spojem urađene su elektroerozijom i dinamički promenljivim opterećenjem.

Ispitivanje je sprovedeno na elektromehaničkoj kidalici i upotrebljavana je stereometrijska metoda.

Povećanjem sile na kidalici, nastavlja se stereometrijsko merenje i posle završetka merenja dobija se potpuna slika o stanju deformacija i napona na epruveti, duž sve tri ose koordinatnog sistema, što merenjem na realnoj konstrukciji omogućava procenu njenog integriteta.



Slika 4: Otvaranje usta prsline (CMOD), dobijeno programskim paketom aramis za PE-MŠ

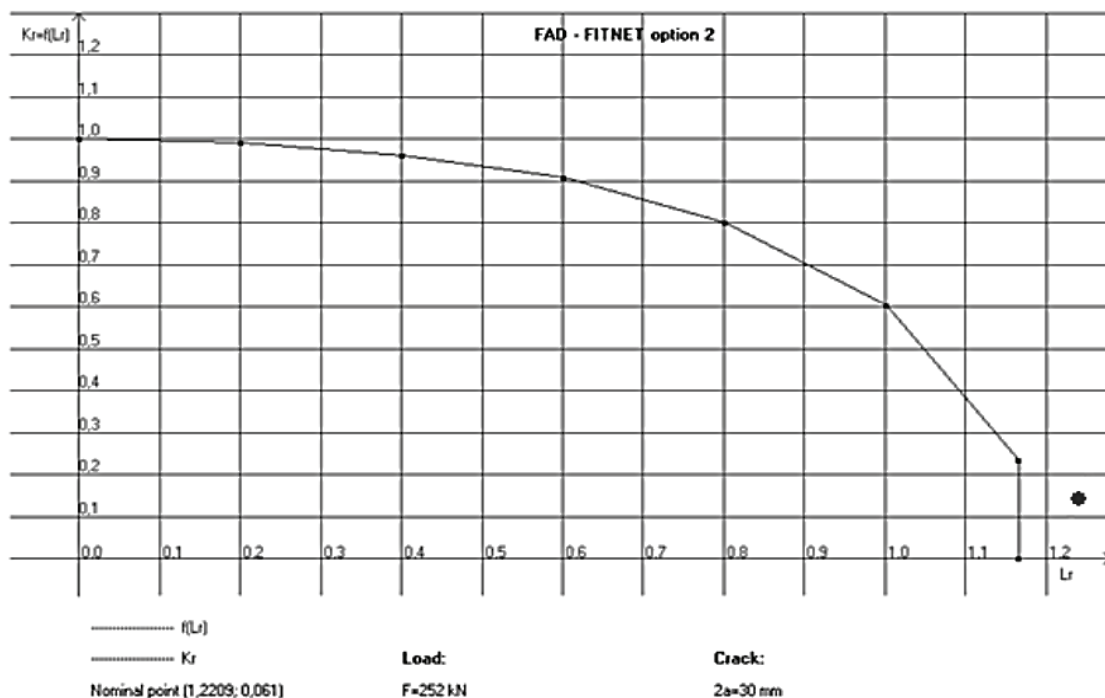


Slika 5: Rezultati stereometrijskog merenja, samo odabrana stanja

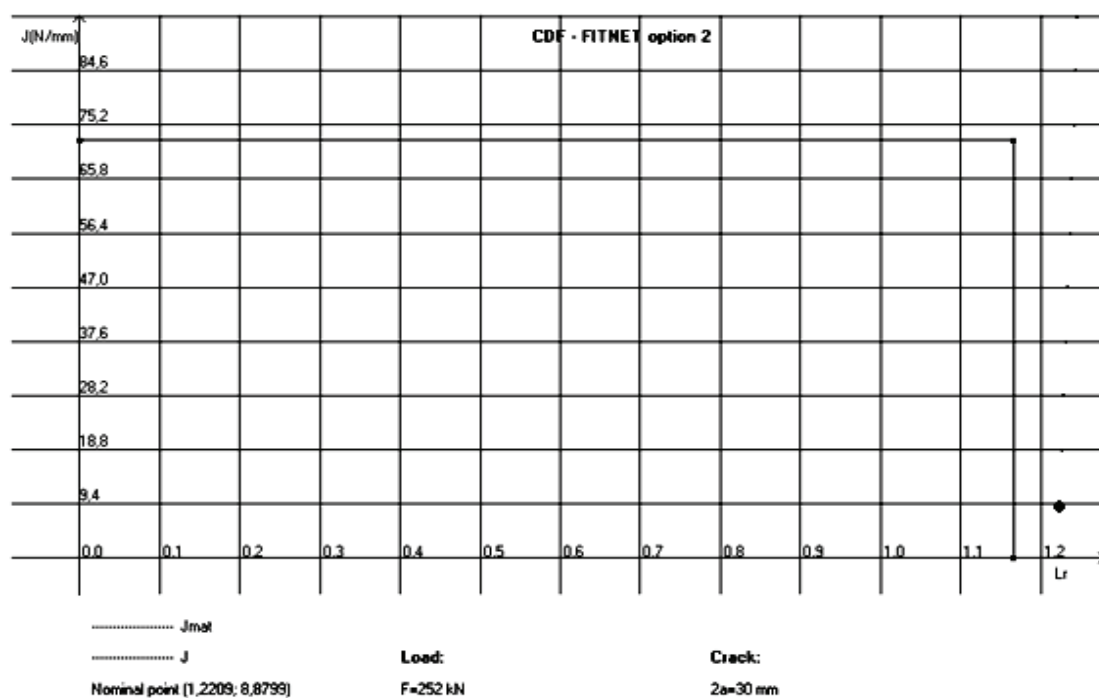


Na osnovu obavljenog stereometrijskog merenja, daju se odgovarajući dijagrami radi analize u cilju procene integriteta konstrukcije. Ono što je svakako potrebno uočiti na osnovu slike 5, je, da se pažljivom analizom razvoja prsline po stanjima mogu uočiti unutrašnje prsline, kao i njihov rast, koje numeričkim metodama nije moguće tačno predvideti.

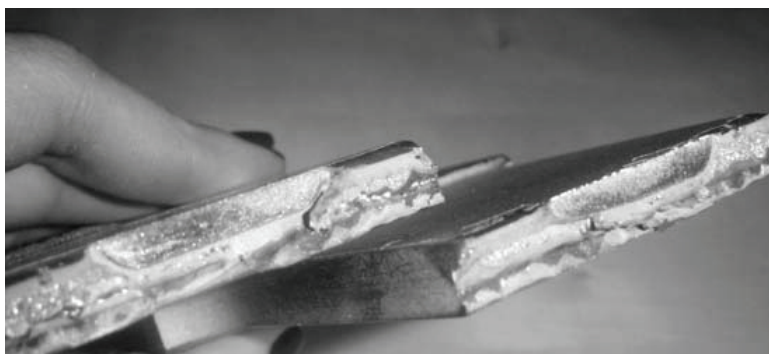
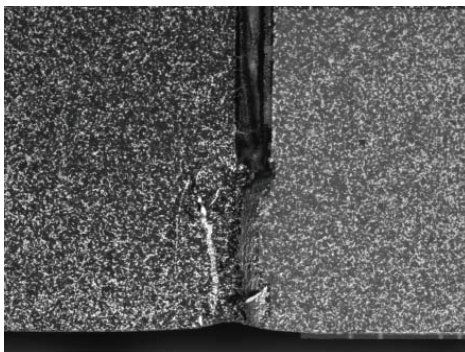
Na osnovu rezultata stereometrijskog merenja jasno se vidi da je došlo do loma epruvete plastičnim kolapsom. Ovi rezultati potvrđeni su i analitičkim proračunom parametara mehanike loma i prikazani su na CDF I FAD dijagramima, -slika 6 i 7, gde se vidi da se epruveta nalazi u zoni kolapsa.



Slika 6: FAD dijagram za ispitivanu epruvetu



Slika 7: CDF dijagram za ispitivanu epruvetu



Slika 8: Lom epruvete

Osnovna karakteristika loma ispitivane epruvete, PE-MŠ, je razvoj deformacije koji je prvo išao u pravcu dubine prsline (debljine epruvete), a zatim u pravcu dužine prsline (širine epruvete). Drugim rečima, prvo je dolazilo do tečenja ligamenta, a onda do tečenja neto preseka. Pri tome je rast prsline zanemarljiv, što je posledica nedovoljne oštine njenog vrha (naročito u pravcu dužine) i velike otpornosti materijala prema početku rasta prsline, odnosno njegove sposobnosti da se plastično deformiše.

Maksimalni napon kod epruvete sa prslinom u metalu šava (PE-MŠ) je posledica razvoja plastične deformacije u pravcu dužine prsline. Kod ove epruvete, plastična deformacija je išla prvo pod uglom od 45° u odnosu na pravac dužine prsline, a zatim paralelno tom pravcu. Ovakva deformacija je posledica heterogenosti materijala zavarenog spoja, a posledica ovakve deformacije je povećan maksimalni napon kod epruvete sa prslinom u metalu šava.

Raspodela deformacija pločaste epruvete pokazuje da je stereometrijska metoda određivanja deformacija bolja u odnosu na korišćenje mernih traka, koje ne pokrivaju dovoljno veliko rastojanje od prsline. Naime, vrednosti deformacija izmerene u krajnjim mernim trakama ne dostižu udaljenu deformaciju, što kod stereometrijskog metoda merenja video kamerama ne predstavlja problem.

Treba napomenuti da je broj naponskih stanja daleko veći nego što je prikazano na slici 5. Na prethodno pomenutoj slici prikazana su samo „karakteristična“ naponska stanja, iako je analiza sprovedena na osnovu celokupnog broja naponskih stanja tokom eksperimentalnog ispitivanja.

Pažljivijom analizom stanja na slici 5, može se pretpostaviti postojanje i unutrašnjih prsline. Ova pretpostavka se pokazala tačnom tokom ispitivanja epruvete čiji lom je prikazan na slici 8, jer je došlo do plastičnog kolapsa usled rasta i spajanja brojnih šupljina u zavarenom spoju.

ZAKLJUČAK

Parametri mehanike loma i granična opterećenja su izračunata analitički, a zatim i eksperimentalno verifikovana opremom za merenje pomeranja i deformacija na površini ispitivane komponente. Poređenja eksperimentalnih, analitičkih i numeričkih rezultata su pokazala da je moguće pratiti ponašanje komponente sa prslinom pod dejstvom spoljnog opterećenja. Takođe, treba napomenuti bitno zapažanje tokom eksperimentalnih ispitivanja da je moguće pretpostaviti i proceniti položaj, dimenzije i uticaj unutrašnjih prsline na ponašanje epruvete, odnosno komponente, pri lomu.

Rezultati ispitivanja epruveta sa prslinama uz primenu stereometrijskog merenja pokazuju da se ovaj postupak može iskoristiti za automatizaciju procene integriteta konstrukcije. Istraživanja su pokazala dobro slaganje eksperimentalnih, analitičkih i numeričkih analiza deformacionog ponašanja konstrukcijskih komponenti s različitim konfiguracijama prsline i različitim načinima opterećenja.

Parametri mehanike loma i granična opterećenja su bila izračunata analitički i numerički, a zatim i eksperimentalno verifikovani opremom za merenje pomeranja i deformacija po površini ispitivane komponente. Poređenja između analitičkih i numeričkih



rezultata na površini i odgovarajućih eksperimentalnih rezultata su pokazala da je moguće pratiti ponašanje konstrukcijske komponente sa prslinom, i pretpostaviti postojanje, položaj, dimenzije i razvoj unutrašnjih prslina.

Slaganje između analitičkih, numeričkih i eksperimentalnih rezultata je dobro za površinske prsline, što je istraživanje i pokazano. Manja slaganja numeričkih i eksperimentalnih rezultata su kod unutrašnjih prslina jer njih nije moguće tačno pretpostaviti. Razlog leži u anizotropnosti materijala ili nehomogenosti materijala, kao što je to kod zavarenih spojeva, koja se obično ne uzima u obzir pri numeričkom modelovanju osnovnog materijala, ali se uzima u obzir kod zavarenih spojeva kad razlike u čvrstoći prekorače neki procenat (npr. u SINTAP - Structural Integrity Assessment Procedures for European Industry - u više od 10%).

Utvrđen je drugi cilj da je moguće odrediti unutrašnje prsline što bi moglo automatizovati postupak procene integriteta konstrukcije, što se jasno vidi stereometrijskom eksperimentalnom metodom, a na osnovu određenog naponskog stanja u ovom eksperimentu. Automatizacija postupka procene integriteta konstrukcije uz metode razvoja ekspertskog sistema ovog procesa, a na osnovu snimljene slike tačno pozicioniranim kamerama uz primenu stereometrijske metode, moguće je koristiti kako u

mašinstvu, tako i u građevinarstvu gde je proces procene integriteta teško moguć nekom drugom metodom. Takođe, dobijeni rezultati su pokazali da se rezultati dobijeni stereometrijskim metodom dobro poklapaju sa numerički i analitičkim rezultatima što opravdava uvođenje ovakvog ekspertskog sistema.

U uslovima našeg okruženja, takvu tehnologiju već primenjuju veliki proizvođači automobila za zavarivanje karoserija.

LITERATURA

- [1] Jasmina Lozanović, „Automatizacija stereometrijskog merenja prilikom određivanja naponskog stanja oko vrha prsline i procena integriteta konstrukcije“, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2009.
- [2] Gubeljak, N. (2006) Primena stereometrijskog merenja na integritet konstrukcija. Integritet i vek konstrukcija, vol. 6, br. 1-2, str. 65-74
- [3] Jasmina Lozanović, Aleksandar Sedmak, Marko Rakin, Nenad Gubeljak, Programski paket za analizu deformacija i procenu integriteta konstrukcije, JUPITER 34., Jupiter konferencija, Konferencija sa međunarodnim učešćem, Beograd, Srbija, 4-5, jun, 2008, p.p. 5.28-5.33.
- [4] Jasmina Lozanović, Primena stereometrijskog merenja na mikro i makro nivou (Application of stereometric strain measurement at macro and micro level), Integritet i vek konstrukcija (Structural Integrity and Lifre), Vol. 7, num. 3, pp 201-208. (in English and in Serbian)

TAKMIČENJE MLADIH ZAVARIVAČA U ESENU

Izveštaj sa sastanka u Kembridžu

Sastanak je održan u Kembridžu, Velika Britanija, 29. i 30.10.2012. Prisustvovali su predstavnici: Nemačke, Španije, Engleske, Portugalije, Italije, Belgije, Švajcarske, Rumunije, Turske i Srbije. Razmatrano je šta je do sada urađeno - a to je *web site* sa linkovima, a odlučeno je da se uradi fejsbuk stranica - *weldcup facebook page*, kao i da se pošalju slike ili video zapisi sa nacionalnih takmičenja.

Na sastanku su izabrane sudije za takmičenje (uglavnom po ISO 5817) a među njima i naš predstavnik, Aleksandar Đorđević (za TIG postupak) - aleksandar.djordjevic@messer.rs

Uslov za učešće na takmičenju je da učesnici moraju imati od 16 do 23 godine, tj da su rođeni u periodu od 1. januara 1990. do 31. decembra 1996. godine.

Tim čine 4 takmičara; 1 osoba u pratnji (ta osoba treba da bude odgovorna za decu i da služi kao prevodilac) i 1 sudija iz svake zemlje i to je plaćeno. Deca dobijaju svu zaštitnu opremu, osim cipela. Smeštaj i hranu obezbeđuje DVS.

Termin održavanja je: dolazak u Esen u utorak, 17. septembra pre 19h, a odlazak je u subotu, 21. septembra. Smeštaj je u hotelu A&O u Dortmundu.

U Esenu je obezbeđeno 15 zavarivačkih mesta. Svi zavarivači iz istog postupka će se takmičiti u isto vreme.

Aleksandar Đorđević, član UO DUZS