

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

3052/4  
(Број захтева)Већу научних области техничких наука(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно  
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)15.12.2011.  
(Датум)**ЗАХТЕВ**  
**за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације**

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

**ПРИМЕНА МЕХАНИКЕ ЛОМА НА ПРОЦЕНУ ИНТЕГРИТЕТА ЗАВАРЕНИХ КОНСТРУКЦИЈА ОД  
ЛЕГУРА АЛУМИНИЈУМА**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Технологија материјала

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ДАНИЈЕЛА (ДУШАН) ЖИВОЈИНОВИЋ2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд3. Година дипломирања: 1999.4. Назив магистарске тезе кандидата: Настанак и раст напрслине у ојачаним танкозидим конструкцијама5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: Машински факултет Београд6. Година одбране магистарске тезе: 2004.7. Назив Факултета на коме је кандидат завршио докторске студије: /Одсек, смер или група: /Година завршетка докторских студија: /Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће Факултета  
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 15.12.2011  
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТАПроф.др Милорад Милованчевић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
Број:3052/4  
Датум:16.12.2011.  
Београд, Краљице Марије 16

На захтев мр Данијеле Живојиновић, дипл.инж.маш., бр. 2316/1 од 24.08.2011. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Александар Седмак, проф.др Бошко Рашуо, др Зијах Бурзић, научни саветник, Војно-технички институт Београд, бр. 3052/3 од 09.12.2011. године, а на основу чл. 128. Закона о високом образовању, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 15.12.2011. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«ПРИМЕНА МЕХАНИКЕ ЛОМА НА ПРОЦЕНУ ИНТЕГРИТЕТА ЗАВАРЕНИХ КОНСТРУКЦИЈА ОД ЛЕГУРА АЛУМИНИЈУМА»** докторанта **Мр ДАНИЈЕЛЕ ЖИВОЈИНОВИЋ**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту **Мр ДАНИЈЕЛИ ЖИВОЈИНОВИЋ**, именује се **проф.др Александар Седмак**.

Одлуку доставити: Већу Научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност, ментору и архиви.

ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

**MAŠINSKI FAKULTET U BEOGRADU**  
**UNIVERZITET U BEOGRADU**  
**Nastavno-naučnom veću**  
**Kraljice Marije 16**  
**Beograd**

**Predmet:** Izveštaj o ispunjenosti uslova doktoranta i naučne zasnovanosti teme

Na osnovu prijave za izradu doktorske disertacije br. 2316/1 od 24.08.2011. godine, koju je podnela **mr Danijela D. Živojinović, dipl.maš.inž.**, pod radnim naslovom „**Primena mehanike loma na procenu integriteta zavarenih konstrukcija od legura aluminijuma**“ članovi Komisije u sastavu:

- **prof. dr Aleksandar Sedmak**, redovni profesor, Mašinski fakultet Beograd
- **prof. dr Boško Rašuo**, redovni profesor, Mašinski fakultet Beograd
- **prof. dr Zijah Burzić**, naučni savetnik, Vojno-tehnički institut Beograd

podnose sledeći izveštaj o ispunjenosti uslova za izradu doktorske disertacije:

## **1. Ispunjenost uslova kandidata**

### **Biografski podaci**

Danijela D. Živojinović (rođ.: Paravinja) rođena je 04.10.1974. godine u Beogradu (opština Zemun). Osnovnu školu „Mladost“ završila je u Novoj Pazovi, a IX beogradsku gimnaziju u Beogradu. Diplomirala je na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu 1999. godine, na temu: „*Kompjuterske metode proračuna nosećih struktura letelica*“ iz predmeta *Čvrstoća letelica*, na Katedri za Vazduhoplovstvo. Magistarsku tezu pod nazivom „*Nastanak i rast naprsline u ojačanim tankozidim strukturama*“ iz predmeta *Čvrstoća letelica*, odbranila je 2004. godine i time stekla zvanje magistar tehničkih nauka. Prosečna ocena tokom studija iznosi: 9.24 (devet i 24/100).

U toku studija često je nagrađivana od strane Mašinskog fakultet u Beogradu, za postignute uspehe, za svaku godinu studija pojedinačno.

Po završetku studija (od 01.10.1999. do 30.09.2000.godine) zaposlena je kao saradnik na Mašinskom fakultetu u Beogradu na predmetu *Čvrstoća letelica*, gde je angažovana u naučnim istraživanjima u oblasti čvrstoće konstrukcija.

Od oktobra 2000. do marta 2003. god. radi u firmi EdePro Beograd u svojstvu diplomiranog maš. inženjera-konstruktor, na istraživanju i razvoju mlaznih i turbo-mlaznih motora.

Od marta 2003.godine zaposlena je u svojstvu saradnika u nastavi, a posle magistriranja kao predavač na Visokoj tehničkoj školi strukovnih studija na Novom Beogradu na predmetima: „Kompjutersko projektovanje“, „Kompjutersko projektovanje II“, „Projekat mašinske konstrukcije“, „Kompjuterska analiza konstrukcije“. Takođe, angažovana je na izvođenju dela nastave iz predmeta „Operativni sistema i korisnički softveri“ kao i „Operativni sistema i korisnički softveri II“.

Takođe, povremeno je angažovana na izvođenju dela nastave na Visokoj železničkoj školi u Beogradu u svojstvu stručnog saradnika na predmetu: „Tehničko sporazumevanje sa primenom računara”.

U toku svog višegodišnjeg rada koristi numeričke metode u mašinskom inženjerstvu, kao i programske pakete bazirane na metodi konačnih elemenata. Ovladala je razvojem mašinskih delova i sklopova: počev od početne do završne faze, uz primenu spektra znanja iz oblasti mašinstva. Tokom dosadašnjeg rada veoma uspešno se služi numeričkih programa za modeliranje i analizu kao što su: AutoCAD, ProEngineer, ProMechanica, FRANC 3D, MathCAD, kako za proračun, tako i za izradu prateće dokumentacije.

Takođe, u toku svog višegodišnjeg rada sa studentima uspešno je prenela znanje i unapredila sopstveno iz oblasti primene kompjuterskih metoda i adekvatnih *software*-a u mašinstvu.

Aktivno primenjuje u radu programski jezik Visual Fortan.

Koristi ruski jezik na konverzacijskom nivou, a na osnovnom nivou vlada engleskim jezikom.

Ovladala je teorijskim i praktičnim znanjem iz oblasti ponašanja materijala i primene numeričkih metoda.

### **Naučna i stručna aktivnost**

Na osnovu dosadašnjih istraživanja i ispitivanja, objavila je nekoliko naučnih i stručnih radova, kao i udžbenika:

- [1] **Živojinović, D.**, Dihovični, Đ., Modeliranje evolventnog cilindričnog zupčanika na bazi *software*-a ProENGINEER, Tehnička dijagnostika, Beograd, 2008., broj 1, str 25-28, ISSN 1451-1975
- [2] **Živojinović, D.**, Dihovični, Đ., Kompjutersko projektovanje II, Viša tehnička škola, Novi Beograd, 2008., ISBN 978-86-866691-09-5
- [3] **Živojinović, D.**, Dihovični, Đ., Kompjutersko projektovanje, Visoka tehnička škola strukovnih studija, Novi Beograd, 2010., ISBN 978-86-866691-23-4
- [4] Kovačević, Z., Karastojković, Z., Raković, A., **Živojinović, D.**, Janjušević, Z., Evalution creeping the super heater tubes made of steel 14 Cr MOV 6 3, The 42<sup>nd</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy, University of Belgrade – Tehnical Faculty in Bor, 2010. , pp 234-237, ISBN 978-86-80987-79-8
- [5] **Živojinović, D.**, Iskustvo jednog roditelj: dete i PC, Naše stvaranje - zbornik radova sa šestog simpozijuma, Vaspitač u 21.veku“, Visoka škola za vaspitače strukovnih studija, Aleksinac, 2011., str 646-654, ISBN 978-86-88561-00-6

Član je u profesionalnoj asocijaciji: DIVK (Društvo za integritet i vek konstrukcija).

## 2. Naučna zasnovanost teze

### **Naziv prijavljene doktorske disertacije je:**

**Primena mehanike loma na procenu integriteta zavarenih konstrukcija  
od legura aluminijuma**

### **Predmet istraživanja**

Višedecenijski problem mehanike loma predstavlja pojava i širenje naprsline u konstrukciji. Pedesetih godina prošlog veka definisana su dva osnovna koncepta projektovanja u odnosu na zamor materijala:

- “safe life” – koncept bezbedne konstrukcije, koji podrazumeva projektovanje komponenti sa aspekta pouzdanosti tokom celog eksploatacionog perioda, bez popravki ili zamena istih.
- “fail safe”- koncept pouzdane konstrukcije koji podrazumeva upotrebu bilo koje komponente između dve rigorozne kontrole, pri čemu ista mora da zadovolji sa aspekta pouzdanosti. Dakle, to je pristup koji podrazumeva mogućnost korišćenja konstrukcije bez obzira što u strukturi već postoji prslina. Dakle, bitno je da je njeno širenje kontrolisano (u okviru servisnog perioda, tj. perioda inspekcije dela)

Predmet istraživanje ove doktorske disertacije predstavlja fenomen nastanka i daljeg širenja naprsline u zavarenoj konstrukciji sačinjenoj od legura aluminijuma.

Dakle, do nedavno korišćena tehnika spajanja tankozidnih struktura izrađenih od legura aluminijuma posredstvom zakivaka, u poslednje vreme se sve više zamenjuje novom tehnologijom spajanja. Reč je o zavarenim spojevima primenom frikcionog zavarivanja mešanjem - *FSW (Friction Stir Welding)*.

Kao specifičan material, koji do skoro nije razmatran kao zavarljiv jeste legura aluminijuma, koja je našla svoju primenu u vazduhoplovnoj industriji. Do sada korišćeni zakovani spojevi zamenjuju se zavarenim spojevima, ali zavarenim na jedan relativno nov način: zavarivanje frikcionim mešanjem (FSW-Friction Stir Welding). Dakle, nova tehnologija spajanja materijala omogućila je spajanje konstruktivnih elemenata na jedan nov i efikasan način, čije je realizacija prilično jednostavno. Pri tome u regiji šava ne dolazi do lokalnog zagrevanja koje dovodi do topljenja materijala, već se materijali u kontaktu mešaju i na taj način sjedinjuju ostvarujući spoj izvesnog kvaliteta. Pri tome material (legura ili legure aluminijuma) ne menjaju drastično svoja svojstva u ZUT-u (Zona Uticaja Temperature) u smislu nosivosti (čvrstoće, tvrdoća), kao što je do sad bio slučaj kod konvencionalnih metoda zavarivanja.

Takođe, na taj način (korišćenjem frikcionog zavarivanja mešanjem-FSW) omogućeno je spajanje neistorodnih materijala.

Ovaj rad se bavi ispitivanjem karakteristika šava i osnovnog materijala na nosivost konstrukcije, odnosno na radni vek iste. U daljim proučavanjima razmatraće se tankozide strukture spojene čeonim šavom, kao i T-spojevi u cilju razmatranja uticaja ojačanja.

Predmet rada ove doktorske disertacije predstavlja procena integriteta konstrukcije sačinjene od ojačanih zavarenih panela od legura aluminijuma.

Razmatraće se nastanak prsline u strukturi na osnovu preliminarno defisanog opterećenja (statičkog ili dinamičkog), a potom praćenje progresije iste do pojave loma structure (definisanje radnog veka).

Karakteristike šava i osnovnog materijala biće definisani na bazi eksperimenta, a potom korišćene kao ulazni parametri proračuna veka konstrukcije u okviru adekvatnog *software*-a. U okviru komercijalnog *software*-a modeliraće se adekvatna konstrukciona rešenja, nakon čega će se izvršiti proračun naponsko-deformacionog stanja u strukturi za preliminarno definisane parametre (navedene u okviru stavke "Osnovne hipoteze od kojih se polazi"). Celokupna analiza rasta inicijalne prsline u strukturi, kao i definisanje svih merodavnih veličina, izvršiće se na bazi aplikativnog *software*-a. Adekvatan *software* je baziran na teoriji mehanike loma i Metodi Konačnih Elemenata - MKE (*FEM-Finite Elements Method*) i koristi se za proračun nastanka i progresije prsline u konstrukciji.

U radu će biti obrađen fenomen rasta inicijalne prsline u strukturi. Analiziraće se uticaj ojačanja konstrukcije na parametre mehanike loma: faktor intenziteta napona- $K_I$ , odnosno silu rasta prsline -  $J$  u okolini vrha prsline, kao i na preostalu čvrstoću.

Analiziraće se uticaj karakteristika šava na čvrstoću konstrukcije.

U radu će se posmatrati uticaj: statičkog i dinamičkog opterećenja na rast inicijalne prsline u strukturi. Dakle, proceniće se priroda same progresije (stabilan ili nestabilan rast prsline) i na osnovu toga prognozirati radni vek konstrukcije.

## **Naučni cilj disertacije**

Cilj doktorske disertacije jeste da:

1. pokaže mogućnost spajanja konstrukcionih elemenata izrađenih od legura aluminijuma posredstvom frikcionog zavarivanja mešanjem;
2. istraži uticaj karakteristika šava i osnovnog materijala u spoju na nosivost konstrukcije, a samim tim na vek iste;
3. verifikuje primenu adekvatnog *software*-a na: proračun naponsko-deformacionog stanja; procenu mesta nastanka inicijalne prsline, kao i njenu dalju progresiju u zavarenoj strukturi; proračun parametara mehanike loma; kao i proračun radnog veka konstrukcije.

Na osnovu rezultata dobijenih posredstvom korisničkog *software*-a izvršiće se komparaciona analiza progresije inicijalne prsline za različite konstrukcione koncepte (sa i bez zavarivanja, tj. sa i bez ojačanja).

Cilj rada jeste primena ustanovljenog koncepta na predviđanje preostale čvrstoće ojačanih zavarenih panela, kao i analiza uticaja karakteristika šava na faktor intenziteta napona-  $K_I$ , odnosno silu otvaranja prsline-  $J$ , kao i na veličinu pomeranja otvora prsline-CTOD.

Na osnovu sistematske analize dobijenih rezultata kompjuterskog proračuna, na prilično komforan način doneće se validni zaključci, koji će u budućoj praksi biti primenjivani na realnim konstrukcijama bez merenja i ispitivanjima. Dakle, korišćenje virtualnog modela, kao i primena teorijskih osnova ugneždenih u samom *solver*-u programa, na vrlo efikasan način omogućiće procenu integriteta realnih konstrukcija, što će u znatnoj meri smaniti cenu koštanja, kako u fazi projektovanja, tako i u fazi eksploatacije.

Dakle, koristeći zakonitosti delovanja statičkog, odnosno zamornog opterećenja, kao i zakonitosti samog rasta prsline, a pri tome poznavajući pojave koje se dešavaju na vrhu prsline, ovaj rad daje kvalitativno i kvantitativno rešenje za niz parametara u praksi.

## Osnovne hipoteze

Osnovne hipoteze od kojih se polazi pri radu na doktorskoj disertaciji su da se na osnovu teorije mehanike loma (linearno-elastičnog i elasto-plastičnog loma), kao i definisanih osnovnih parametara neophodnih za određivanje rasta prsline u tankozidnim konstrukcijama, kao što su:

➤ sila rasta prsline:

- geometrija konstrukcije;
- veličina, oblik i položaj inicijalne prsline u strukturi;
- realno (primenjeno) opterećenje konstrukcije,
- karakteristike materijala, kao i termička obrada materijala od kog je izrađena konstrukcija (legura aluminijuma);

➤ otpornost materijala:

- karakteristike šava i osnovnih materijala;
- žilavost loma -  $K_C = f(\text{materijala})$  kako za bazne materijale, tako i za šav,
- pomeranje otvora prsline (CTOD-*Crack Tip Opening Displacement*);

može proceniti integritet konstrukcije i primeniti na heterogene materijale, kao što su zavarene konstrukcije.

## Predviđene naučne metode rada

Usled kompleksnosti problema analize, naučne metode koje će se primeniti u istraživanju tokom izrade predložene doktorske disertacije su:

- eksperimentalna metoda za definisanje R-krive;
- analitičke metode:
- numerička metoda: metoda konačnih elemenata (*FEM -Finite Element Method*) – diskretizacija strukture konačnim elementima.

Planira se primena savremenih istraživačkih postupaka i laboratorijskih merenja, uz korišćenje softverskih paketa za numeričke simulacije u cilju izrade predložene doktorske disertacije.

Predviđa se početno eksperimentalno ispitivanje i određivanje karakteristika šava u zavarenom spoju, izračunavanja parametra mehanike loma i graničnih opterećenja u kontrolisanim laboratorijskim uslovima.

## **Očekivani naučni doprinos**

Realizacijom predviđenih istraživanja u okviru predložene doktorske disertacije očekuju se sledeći rezultati, koji upravo predstavljaju naučni doprinos ovog rada:

- definisanje karakteristika šava na osnovu eksperimentalnih ispitivanja u laboratoriji;
- analiza pojave deformacije i loma u zavarenim panelima od aluminijumskih legura;
- određivanje naponsko-deformaciona stanja u zavarenoj konstrukciji na bazi aplikativnog *software*-a, kao i procena dalje progresije postojeće inicijalne prsline u strukturi (za statičko i dinamičko opterećenje);
- određivanje parametara mehanike loma: faktor intenziteta napona- $K_I$ , odnosno sila rasta prsline- $J$  na vrhu prsline formirane u zavarenom spoju, kao i veličina pomeranja otvora prsline (CTOD-*Crack Tip Opening Displacement*);
- utvrđivanje uticaja šava na čvrstoću konstrukcije;
- analiziranje fenomena rasta prsline, odnosno utvrđivanje stabilnosti/nestabilnosti rasta prsline;
- određivanje uticaja ojačanja na preostalu čvrstoću konstrukcije;
- predviđanje kritičnih uslovi kod neojačanih i ojačanih tankozidnih zavarenih panela od legura aluminijuma;
- procena radni vek konstrukcije na osnovu prethodnih analiza.

Konačan rezultat i doprinos ovih istraživanja treba da bude bolje razumevanje nastanka i rasta prsline u zavarenim konstrukcija od legura aluminijuma, kao i procena integriteta iste, pod dejstvom unapred definisanog statičkog i zamornog opterećenja.

## **Zaključak**

Na osnovu prijave za izradu doktorske disertacije **mr Danijele D. Živojinović, dipl. maš. inž.**, pod radnim naslovom **Primena mehanike loma na procenu integriteta zavarenih konstrukcija od legura aluminijuma** i dostavljenog materijala, br. 2316/1 od 24.08.2011. godine, članovi Komisije su zaključili da kandidat ispunjava sve uslove iz zakonskih propisa i odgovarajućih zahteva iz opštih akata Mašinskog fakulteta u Beogradu za izradu doktorske disertacije, kao i da je predložena tema aktuelna i da može da bude predmet doktorske disertacije. Stoga članovi Komisije predlažu Naučno-nastavnom veću Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu da kandidatu **mr Danijeli D. Živojinović, dipl. maš. inž.** odobri izradu doktorske disertacije pod navedenim radnim naslovom.

Za mentora ove doktorske disertacije predlaže se **prof. dr Aleksandar Sedmak**.

ČLANOVI KOMISIJE:

---

prof. dr Aleksandar Sedmak

---

prof. dr Boško Rašuo

---

Dr Zijah Burzić, naučni savetnik  
Vojno-tehnički institut Beograd

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата мр Данијелу Живојиновић

Име и презиме ментора: Александар Седмак

Звање: Редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Rakin, M., Gubeljak, N., Dobrojevic, M., **Sedmak, A.**: *Modelling of ductile fracture initiation in strength mismatched welded joint*, Engineering Fracture Mechanics 75 (11), pp. 3499-3510, 2008. **IF=1.319 ISSN 0013-7944**
2. Milovic, L., Vuherer, T., Zrilic, M., **Sedmak, A.**, Putic, S.: *Study of the simulated heat affected zone of creep resistant 9-12% advanced chromium steel*, Materials and Manufacturing Processes 23 (6), pp. 597-602, 2008. **IF= 0.706 ISSN 1042-6914**
3. Vojvodic Tuma, J., **Sedmak, A.**: *Analysis of the unstable fracture behaviour of a high strength low alloy steel weldment*, Engineering Fracture Mechanics, 71 (9-10), pp. 1435-1451., 2004. **IF=1.319 ISSN 0013-7944**
4. Rakin, M., Cvijovic, Z., Grabulov, V., Putic, S., **Sedmak, A.**: *Prediction of ductile fracture initiation using micromechanical analysis*, Engineering Fracture Mechanics, 71 (4-6), pp. 813-827., 2004. **IF=1.319 ISSN 0013-7944**
5. Shaji, E.M., Kalidindi, S.R., Doherty, R.D., **Sedmak, A.S.**: *Plane strain fracture toughness of MP35N in aged and unaged conditions measured using modified CT specimens*, Materials Science and Engineering A, 340 (1-1. 2), pp. 163-169. 2003. **IF=1.347 ISSN 0921-5093**

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11,M12,M13,M14,M41 и M51. )

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односно дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум \_\_\_\_\_

М.П.

\_\_\_\_\_