



## ZAVARIVANJE LEGURE MONEL 400 TIG POSTUPKOM ZAVARIVANJA

## WELDING OF ALLOY MONEL 400 WITH TIG WELDING PROCESS

Josip PAVIĆ<sup>1)</sup>, Miroslav DUSPARA<sup>2)</sup>, Marko HORVAT<sup>1)</sup>

**Ključne riječi:** zavarljivost , MONEL 400, TIG postupak zavarivanja

**Key words:** weldability, MONEL 400, TIG welding process

**Sažetak:** U radu je iznijet osvrt na zavarivanje legure nikla – MONEL 400 s opisom mehaničkih i kemijskih svojstava, primjene, proizvodnje i parametara zavarivanja. Rad sadrži i opis postupka atestiranja zavarivanja. Kod ispitivanja zavarenog spoja obuhvaćena su i ispitivanja provedena na probnom uzorku popraćena sa slikama zavara i mikrostrukture zavara.

**Abstract:** The paper presents welding process of MONEL 400 alloy with included descriptions of mechanical and chemical alloy properties, details of application and manufacturing and welding parameters necessary for successful welding. Paper contains details of welding procedure specification, also. Examination of welded joint consists of performed tests on prepared specimen and results are shown at figures of weld joint as well as microstructure of weldment.

---

<sup>1)</sup> ĐĐ Kompenzatori d.o.o., Dr. M. Budaka 1, 35000 Slavonski Brod

<sup>2)</sup> Strojarski fakultet u Slavskom Brodu, Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku



## 1. UVOD

Nikal je po svojim mehaničkim i magnetskim svojstvima sličan željezu jer je u periodičnom sustavu elemenata blizak Fe. Dobra svojstva su mu antikorozivnost, vatrootpornost (otpornost na oksidaciju pri visokim temperaturama), čvrstoća na visokoj temperaturi i dobar otpor na puzanje. Upravo zbog ovih svojstava se nikal i njegove legure koriste u kemijskoj i naftnoj industriji, parnim i plinskim turbinama, industrijskim pećima za električne otpornike, u elektronici i drugim granama tehnike.

Nikal ima plošno centriranu kubnu rešetku odnosno austenitnu strukturu, pa su mu svojstva slična austenitnim čelicima. Struktura nikla i njegovih legura je austenitna od sobnih temperatura do tališta pa nije moguće toplinskom obradom smanjiti zrno. Zrno se može usitniti hladnom deformacijom i naknadnom toplinskom obradom. Radi austenitne strukture nikel posjeduje dobru istezljivost i zavarljivost.

Sa stajališta postizanja čvrstoće Ni legure se mogu podijeliti u dvije grupe [1]:

1. Legure koje postižu mehanička svojstva legiranjem elementima koji se rastvaraju u krutom stanju tvoreći s Ni supstitucijske kristale mješance. Prema USA normama to su materijali grupe 200, 400, 600, 800.
2. Legure koje postižu mehanička svojstva naknadnom termičkom obradom – dozrijevanjem. Prema USA normama to su materijali grupe 300, 500, 700 i 900.

U grupu materijala 1 se ubraja upravo MONEL 400 legura.

Tablica 1.1 Tipični materijali grupe 1 Ni legura [1]

Tip	USA Grupa	Primjer sastava	Naziv
Ni 99-99.8	200	99.5 Ni	NIKL
Ni-Cu	400	66.5Ni 31.5Cu	MONEL 400
Ni-Cr	600	76Ni 16 Cr 8Fe	INCONEL 600
Ni-Cr-Fe	800	32.5 Ni 21 Cr 46Fe	INCOLOY 800
Ni-Mo		61 Ni 28 Mo 2.5Co	HASTELLOY B
Ni-Cr-Mo		54 Ni 15.5 Cr 16 Mo	HASTELLOY C
Ni-Si		82 Ni 9Si 3Cu	HASTELLOY D

Na zavarljivost Ni legura uvelike utječu pojedini elementi. Što je veći udio aluminija i titana to je čvrstoća veća, ali je zavarljivost slabija. Za primjer navedimo da je granica razvlačenja MONEL 400 legura 280 MPa, a MONEL K-500 s dodatkom Al i Ti nakon termičke obrade dozrijevanjem dvostruka – 560 MPa.

Zavarivanje Ni i Ni legura je moguće svim postupcima zavarivanja koji se koriste za čelike. Više pažnje treba pri zavarivanju legura, koje se očvršćavaju termičkom obradom. Čvrstoća materijala pri zavarivanju i toplinskoj obradi je veoma važna, pa ove operacije smiju započeti tek nakon temeljitog čišćenja od stranih materijala. Legure nikla su osjetljive na prisustvo S, P, Cl, Bi, Pb i nekih drugih niskotaljivih materijala. Budući da su ovi elementi često prisutni u ulju, mastima, bojama, sredstvima za obilježavanje (markeri), uljima za hlađenje pri obradi odvajanjem čestica, radioničkoj prašini, potrebno je potpuno očistiti sve površine, koje će biti zagrijavane za zavarivanja ili druge toplinske operacije. Potrebno je i trosku poslije zavarivanja brižljivo očistiti, a posebno ako zavar radi na visokim temperaturama jer se u troski skuplja sumpor. Oksidi se moraju odstraniti s površina, koje se zavaruju, jer imaju višu tališnu temperaturu nego osnovni materijal, pa može doći do greške vezivanja, nepotpune penetracije ili uključaka oksida. Oksidi se odstranjuju brušenjem, pjeskarenjem, kemijskim sredstvima ili

obradom odvajanjem čestica. Svi alati koji se koriste za čišćenje moraju biti čisti. Ne smiju se prije koristiti za druge materijale jer će zaostale čestice drugih metala na alatu uzrokovati onečišćenje.

MONEL 400 svojstva: [2]

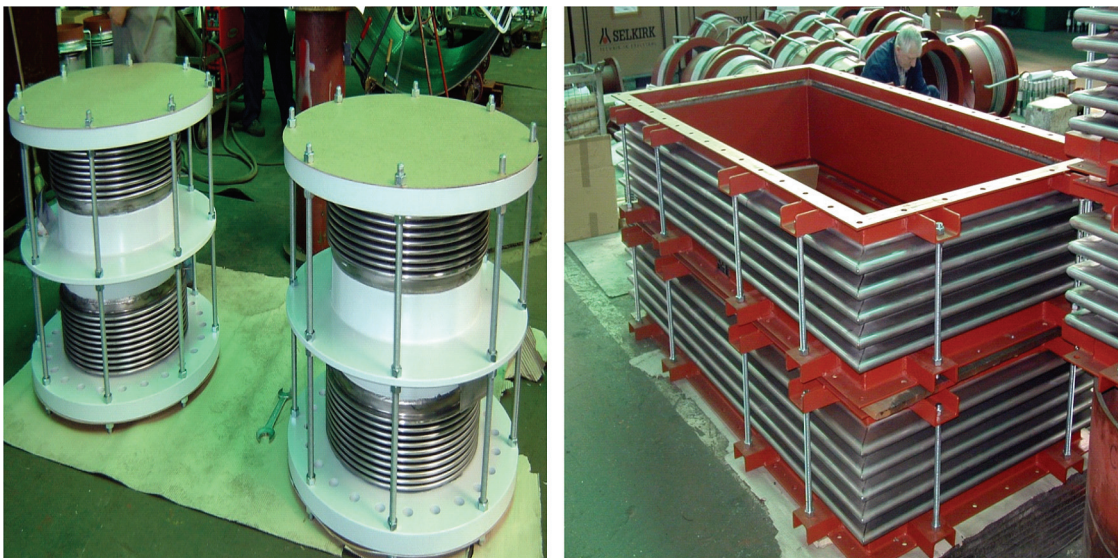
- može se preoblikovati samo hladnim preoblikovanjem
- ima visoku tvrdoću i čvrstoću u širokom rasponu temperatura
- ima odličnu otpornost prema koroziji
- otporan na utjecaj morsku vodu i pare pri povišenim temperaturama
- otporan na sve vrste kiselina na bazi klora i natrija
- ima odličnu otpornost prema abrazivnim medijima.

Tablica 1.2 Kemijski sastav MONEL 400 legure [2]

C	Mn	S	Si	Ni	Cu	Fe
0,30	2,0 max.	0,24 max.	0,50 max.	0,63 max.	28,0-34,0	2,5 max.

MONEL 400 se može veoma lako proizvoditi, tj. uz pravilnu kontrolu toplog i hladnog preoblikovanja se dobiva legura širokog spektra mehaničkih svojstava za prilagodbu različitim uvjetima eksploatacije. Prije svake operacije preoblikovanja mora se obratiti pažnju na prilagodbu parametara za takav proces – ovisno o svojstvima koje se želi postići. Bez obzira da li se radi o hladnom ili toplom preoblikovanju mora se napraviti toplinska predobradba kako bi se dobila optimalna kombinacija tvrdoće i duktilnosti te smanjenje distorzije prilikom mehaničke obrade. Žarenjem se legura može potpuno popustiti, a vrijeme i temperatura koji su potrebni ovise o količini prethodnog preoblikovanja. Općenito, legura 400 se žari držanjem na temperaturi od 850 – 1000 °C u vremenu od 2 do 10 minuta (otvorena metoda), ako se drži na temperaturi 760 – 820 °C tada govorimo o zatvorenoj metodi. [3]

MONEL 400 legura se u izradi kompenzatora primjenjuje za izradu harmonika koje zahtjevaju otpornost prema posebnom mediju ili uvjetima eksploatacije. Neki od kompenzatora napravljenih od ove legure nalaze se na slici 1.



Slika 1.1 Primjer kompenzatora od MONEL 400 legure



## 2. POSTUPAK ZAVARIVANJA MONEL 400 LEGURE

Najbolji način zavarivanja ovoga materijala je primjena TIG, MIG ili MAG postupka koristeći odgovarajući dodatni materijal. Nakon zavarivanja nema potrebe za naknadnom toplinskom obradom, ali posebnu pažnju moramo obratiti na čišćenje zavarenog spoja nakon zavarivanja kako bi postigli što bolju antikorozivnu zaštitu. U tvornici "ĐĐ Kompenzatori" MONEL 400 se zavaruje automatskim TIG postupkom (TA) za debljine harmonika od 0,13 mm do 3 mm. Kod pripreme za zavarivanje ove vrste materijala posebna pažnja se obraća na pripremu stroja. Letve moraju biti besprijekorno izbrušene, a stroj potpuno ispravan i čist. Održavanje letava u ispravnom stanju je vrlo važno zbog kvalitete zavara i trajnosti samih letava. Bitno je da i rubovi lima budu pripremljeni na odgovarajući način što se vrši brusnim papirom, turpijom i acetonom.

Razmak letava na početku je nula, a na kraju limova razmak je jednak debljini lima koji se zavaruje. Navedeno pravilo je približno, a stvarnu vrijednost utvrđuje operater na stroju zajedno s kontrolorom. U slučaju da se ne postavi dovoljno veliki razmak prilikom zavarivanja može doći do nasjedanja ruba na rub što rezultira nezadovoljenim zadebljanjem zavara. Ova pojava je naročito izražena kod tanjih limova (do 0,6 mm). Prevelik razmak ima za posljedicu veliko stanjenje zavara, u odnosu na debljinu osnovnog materijala, ili čak može dovest do propaljivanja.

Na automatima za TIG zavarivanje zavaruju se najčešće tanki korozijski postojani ASME SA i SB čelici. Zavarivanje se izvodi u zaštiti argona bez dodatnog materijala. Najčešće pogreške u zavarenim spojevima koji su ostvareni na ovim automatima su: [3]

- uključci plina,
- nedostatak provara,
- zajedi,
- centralno stanjenje,
- preveliko nadvišenje.

Uzrocima nastajanja uključaka plina smatraju se :

- nečistoće na mjestu zavarivanja (vlaga, masnoća, razni premazi, oksidi na površini, itd.),
- slaba zaštita kupke zavara,
- neodgovarajući parametri i uvjeti zavarivanja.

Uzroci nastajanja nedostatka provara su:

- nedovoljno unošenje energije (neodgovarajući parametri zavarivanja),
- neodgovarajuća priprema za zavarivanje.

Zajedi, centralno stanjenje i preveliko nadvišenje pojavljuju se uslijed:

- neodgovarajući parametri zavarivanja (struja, brzina zavarivanja, itd.)
- neodgovarajuća tehnika rada.

Pogreške zavarenih spojeva izvedenih na automatima za TIG zavarivanje eventualno se mogu otkloniti zavarivanjem još jednog prolaza. U pravilu, ako su zavari izvedeni na cijevima manjeg promjera (do 300 mm) te cijevi predstavljaju škart. Na cijevima većeg promjera zavari se isjecaju. Vršiti se navarivanje kako bi se osigurala razvijena dužina cijevi.

Kao prilog zavarivanju ovog materijala "ĐĐ Kompenzatori" su napravili atest postupka TA 10/09 A. Pripremljeni limovi se zavaruju podužno, a parametri su definirani atestom postupka. [4]

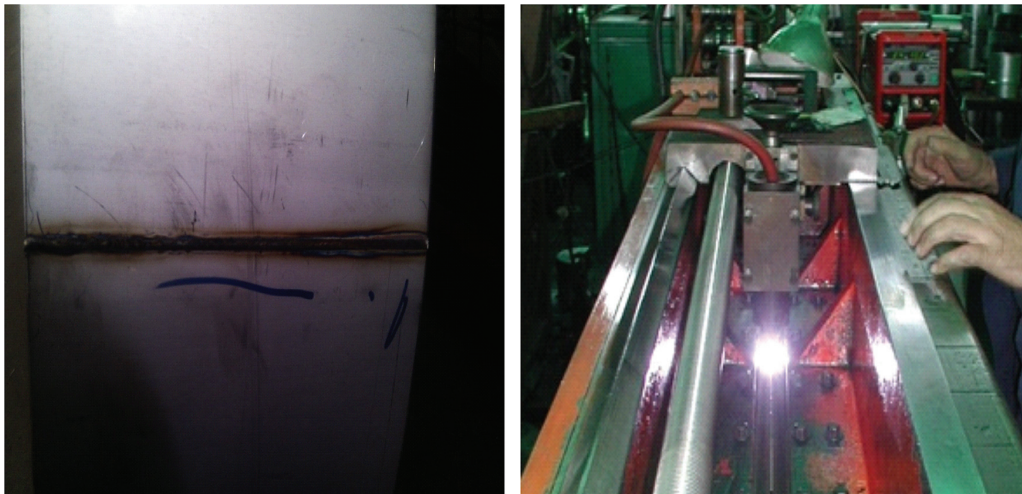
Tablica 2.1 Parametri zavarivanja kod zavarivanja MONEL 400 legure

Welding parameters Parametri zavarivanja									
Pass No. Prolaz br.	Process Postupak	Size of filler Promjer DM (mm)	Current Jakost struje (A)	Voltage Napon (V)	Type/polarity Vrsta/polaritet	Gas flow rate Protok plina (l/min)	Travel speed Brzina zavarivanja (cm/min)	Wire speed Brzina zice (m/min)	Heat input Unos topline (KJ/cm)
1	GTAW	---	60-65	9-11	DC (-)	14-16	20-22	---	---
2	GTAW	---	60-65	9-11	DC (-)	14-16	20-22	---	---
3	GTAW	---	60-65	9-11	DC (-)	14-16	20-22	---	---

Kod podužnog zavarivanja na automatima dodatnog materijala nemamo, a kao elektrodu imamo 3,2 mm W elektrodu. Kao zaštitni plin koristimo mješavinu Argon Ar 98 % + vodik H<sub>2</sub> 2 %. Zaštita korijena se vrši protokom plina 20 – 22 l/min.

Tokom samog zavarivanja ako se radi o višeprolaznom zavarivanju pažnju treba obratiti i na količinu unosa topline.

Izgled zavarenog spoja prikazan je na slici 2.1 i 2.2.



Slika 2.1 Zavareni spoj na podužnom zavarivanju

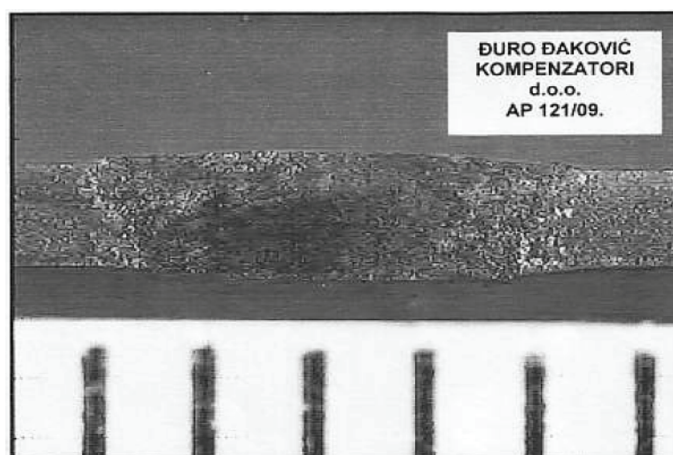


Slika 2.2 Provar korjena na podužnom zavarivanju

Nakon zavarivanja rađeni su testovi sa svrhom dobivanja vrijednosti mehaničkih svojstava.  
 Test zatezne čvrstoće [4]:

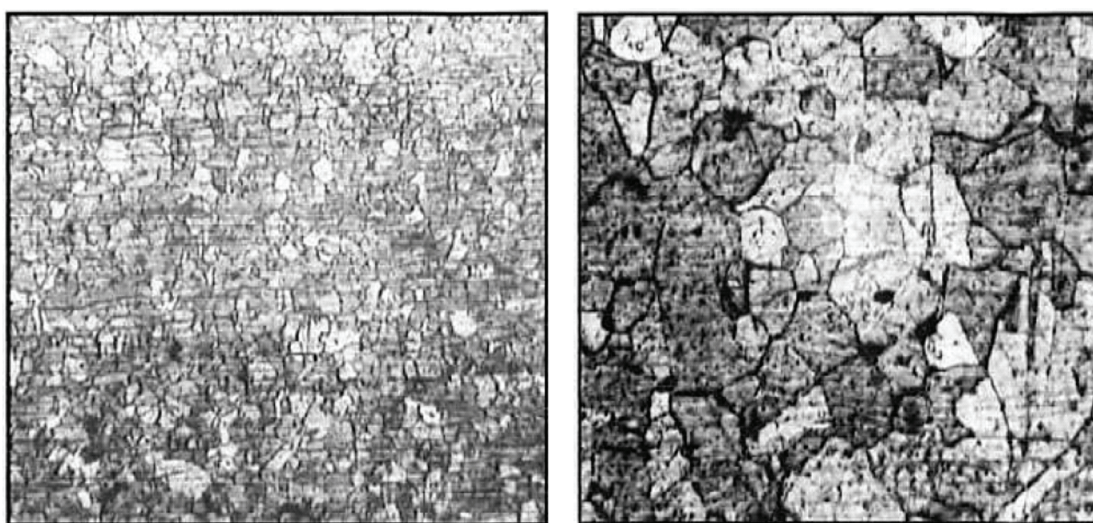
Speciment No. Uzorak br.	Width Širina (mm)	Thickness Debljina (mm)	Area Presjek (mm <sup>2</sup> )	Ultimate Total Load Ukupna sila kidanja (N)	Ultimate Uni Stress Zatezna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Charakter of Failure Location Mjesto i lokacija loma
1.1	19,20	1,04	19,968	10960	549	OM (BM)
1.2	19,16	1,04	19,926	10960	544	OM (BM)

Ispitivanje žilavosti nije moguće provesti radi male debljine osnovnog materijala.  
 Izgled makrouzorak je prikazan na slici 2.3.

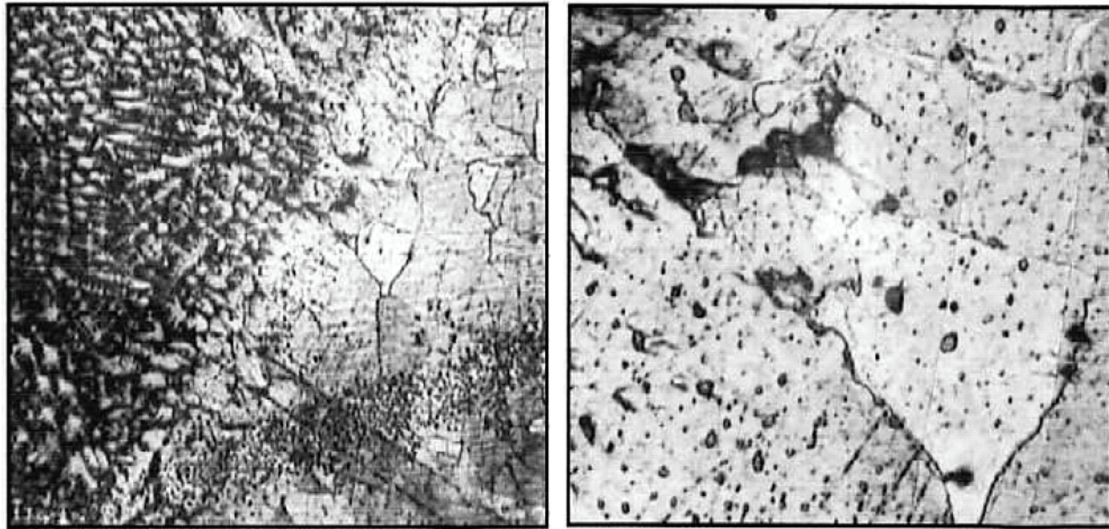


Slika 2.3 Makrouzorak zavarenog spoja TA 10/09 A [4]

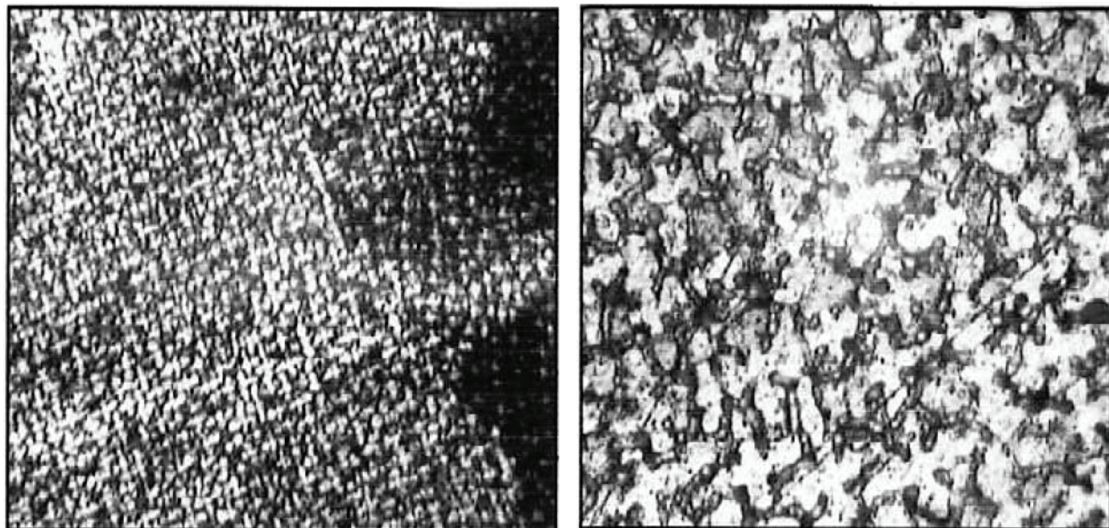
Na makrouzoraku su rađena ispitivanja strukture za osnovni materijal (slika 2.4, slika 2.5 i slika 2.6).



Slika 2.4 Struktura osnovnog materijala [4]



Slika 2.5 Struktura osnovnog materijala (ZUT)[4]



Slika 2.6 Struktura zavarenog spoja [4]

### 3. ZAKLJUČAK

MONEL 400 legura se pokazala kao izuzetno dobro rješenje radi svojih kemijskih i mehaničkih svojstava, posebno u primjeni za izradu harmonika na kompenzatorima. Proces zavarivanja ove legure predstavlja izazov za tehnologa jer se pažnja mora obratiti na velik broj faktora koji mogu utjecati na kvalitetu zavarenog spoja. Posebna pažnja se mora pridodati čišćenju kod pripreme zavarenog spoja jer svaka, pa i najmanja nečistoća će se očitovati u kvaliteti zavarenog spoja. Kvalitetnom obukom operatera na stroju za podužno zavarivanje i dobrom razradom procesa zavarivanja limove od ove legure se zavaruju brzo i bez grešaka.



---

#### 4. LITERATURA

- [1] Samardžić Ivan i suradnici.: *Projektiranje tehnologije zavarivanja*, [digitalni udžbenik uz projekt MZOŠ Informacijski sustav za projektiranje tehnologije zavarivanja], 2005.  
URL: <http://brod.sfsb.hr/kth/zavar1/files/IP%202005%20-%20PDF/8-2.pdf> (05.09.2011.)
- [2] Lukačević, Zvonimir: *Zavarivanje*, Strojarski fakultet u Slav. Brodu, Slavonski Brod 1998. (242 str.)
- [3] Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o.: *RI-541 rev.0 - Podužno zavarivanje*, (Radne instrukcije), Slavonski Brod, 2008.
- [4] Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o.: *Atest postupka TA 10/10 A*, (Interni dokument), Slavonski Brod, 2009.