

**ZAVARIVANJE I REZANJE METALA PODVODNOM
TEHNOLOGIJOM**
WELDING AND METAL CUTTING WITH UNDERWATER
TECHNOLOGY

S. Ju. MAKSIMOV, V. S. BUT, O. I. OLEINIK,
INSTITUT ELEKTROZAVARIVANJA E. O. PATON, KIJEV, UKRAJINA,
D. BAJIĆ,
MAŠINSKI FAKULTET, UNIVERZITET CRNE GORE, PODGORICA

Pouzdanost konstrukcija u velikoj mjeri zavisi od mogućnosti njihovog održavanja i remonta. Eksploatacijom u uslovima vodene sredine ovaj faktor posebno dobija na značaju. Fabrički nedostaci zavarenih spojeva, korozija ili mehanička oštećenja, uzročnici su nastajanja havarije sa posledicama ekološke katastrofe. Kao pouzdan postupak rješavanja ovakvih problema može se smatrati podvodno mokro zavarivanje. U Institutu elektrozavarivanja E. O. Paton, u Kijevu, razvijena je tehnologija remonta podvodnih konstrukcija. Karakteristični objekti na kojima je primjenjena ova tehnologije su cjevovodi tazličite namjene, trup broda, lučka oprema itd. U radu su prezentirani elektroodni materijali i oprema razvijeni u Institutu, kao i opis sanacija cjevovoda primjenom ove tehnologije.

Ključne reči: *elektrolučno zavarivanje; podvodno mokro zavarivanje; elektroda; punjena elektroodna žica*

Construction reliability greatly depends on the possibility of their maintenance and overhaul. Exploitation in underwater environment emphasises this factor to an even greater extent. Fabrication defects of welded joints, corrosion, or mechanical damages cause failures or even environmental disasters. A reliable solution to these problems is underwater wet welding. The E. O. Paton Electric Welding Institute, Kiev, developed the underwater construction overhaul technology. Characteristic objects and structures to which this technology has already been applied are, pipelines of various purpose, ship's body, harbour equipment, etc. In the paper the authors present electrode materials and equipment developed in the Institute, and a description of pipeline repairment by using this technology.

Key words: *arc welding; underwater wet welding; electrode; cored electrode wire*

1. UVOD

Cijevni transport predstavlja jedan od osnovnih i najvažniji načina za rješavanje energetskih problema, dopremanja energenata do krajnjih korisnika. Na teritoriji bivšeg SSSR-a magistralnim cjevovodima transportuje se oko 70% potrebnih energenata: praktično sav proizvedeni i eksploatisani gas i više od 93% nafte. Kao bitan i neophodan uslov javlja se potreba obezbjeđenja uslova za pouzdan i funkcionalan rad ovih cjevovoda. Dakle, nesmetano funkcionisanja cjevovoda i njegova pouzdanost u radu su stalno aktuelni.

Institut elektrozavarivanja E.O.Paton, Kijev je institucija koja se bavi problematikom zavarivanja pri izradi i montaži cjevovoda, kao i pri njihovom remontu kako na suvom, tako i pod vodom. U nastavku rada sadržane su informacije o dostignućima i perspektivi u oblasti remonta cjevovoda (naftovoda) koji prolaze kroz vodene prepreke.

Tradicionalno se metode zavarivanja, koje se primjenjuju pod vodom, dijele na:

- suvo zavarivanje i
- mokro zavarivanje.

Za razliku od suvog podvodnog zavarivanja, mokro zavarivanje se izvodi neposredno u vodenoj sredini, bez bilo kakve zaštite elemenata koji se zavaruju, elektrode kojom se vrši zavarivanje i električnog luka od vode. Bez obzira na složenost zadatka, vezanih za kvalitet metala šava i spoja u cjelini, mokro zavarivanje je stalno tema istraživanja i unapređenja zahvaljujući svojoj mobilnosti, svojoj jednostavnosti implementacije i ekonomskoj izvodljivosti.

2. PRAKTIČNI PRIMJERI I DISKUSIJA

Rezultati brojnih naučno-istraživačkih ispitivanja u Institutu, omogućili su ne samo osnovu za naučni razvoj ovog postupka zavarivanja, već i razvoj široke lepeze elektrodnog materijala za brzi remont podvodnih konstrukcija tipa platformi, cjevovoda, lučkih konstrukcija itd [1-4]. Pri ovom razvoju išlo se u dva pravca:

- mehanizaciji zavarivanja korišćenjem punjene elektrodne žice i
- REL zavarivanju pomoću elektroda specijalne obloge po sastavu i vodootpornosti.

U skladu sa potrebnim karakteristikama elektrodnih materijala, a u cilju ocjene nivoa kvaliteta i njihove sertifikacije, istraživači Instituta su se 1993.godine orjentisali na metode ispitivanja i kriterijume ocjenjivanja u saglasnosti sa američkim standardom ANSI/AWS D3.6-93 "Specification for underwater welding".

Nezavisno od postupka zavarivanja ili korišćenoj tehnologiji, ovaj standard vrši podjelu zavarenih spojeva prema nivou svojstava na 4 klase:

- **Klasa A** – zavareni spoj ima iste karakteristike kao osnovni metal po svim pokazateljima;
- **Klasa B** - nešto niže vrijednosti karakteristika u odnosu na osnovni metal, ali u dozvoljenim granicama zateznih karakteristika uz obezbjeđenje ugla savijanja od 180° sa manje strožijim uslovima ispitivanja uzoraka;
- **Klasa C** – najniže vrijednosti pokazatelja čvrstoće spoja što je dopušteno za manje odgovorne konstrukcije i
- **Klasa O** - takođe kao klasa A, no dopunski uslov je ispunjenost jednog ili više zahtjeva za specifične uslove, kao što je povećana koroziona postojanost i tome slično.

Elektrodni materijali razvijeni u Institutu, o kojima će se govoriti u nastavku ovog rada, zadovoljavaju zahtjeve nivoa ne manjeg od klase B.

Elektroda ЭИП-АН2 (tehnički uslovi zadovoljeni standardom ТУУ 28.7-05416923-081:2006) proizvodi se prečnika Ø2,0-5,0 mm. Metal šava je feritnog tipa. Namijenjena je za mokro elektrolučno zavarivanje u svim prostornim položajima čelika Ст.3, 09Г2, 09Г2С (niskougljenični čelici se ekvivalentom ugljenika do 0,32) kako jednoprolaznim tako i višeslojnim zavarivanjem. Zatezna čvrstoća zavarenih spojeva kod ovih čelika je do 500 MPa.

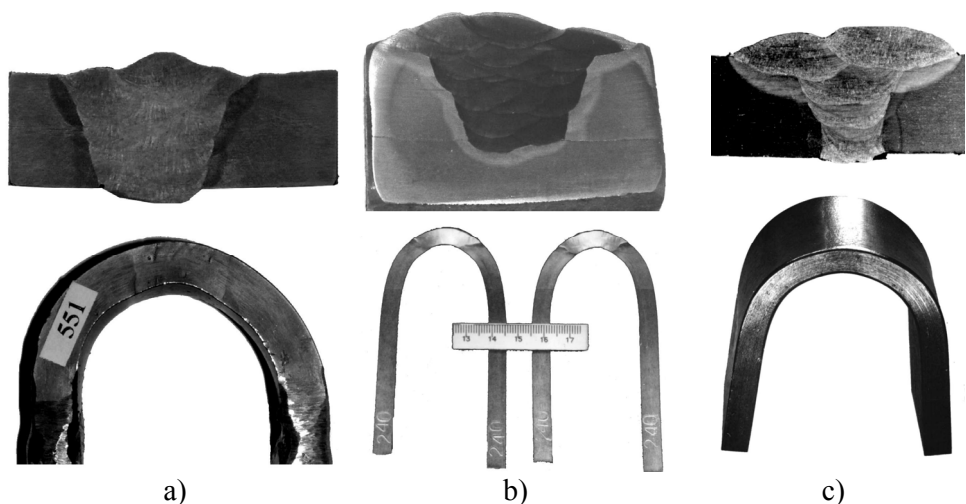
Ova elektroda ispunjava kriterijume za klasu B (tab.1). Ispitivanja stabilnosti električnog luka vršena su u slatkoj i slanoj vodi na dubini do 60 m. Stabilnost električnog luka i kvalitet formiranja šavova u rječnim i jezerskim uslovima pri brzini strujanja do 0,2 m/h i vidljivosti ne manjoj od 0,25 m mogu se sa sigurnošću garantovati. Izgled makroizbruska šava i epruvete nakon ispitivanja na savijanje po metodici standarda ANSI/AWS D3.6-93 prikazani su na slici 1a.

Elektroda se koristi za remont korita brodova, lučkih kapaciteta i podvodnih cjevovod za razne namjene.

Tabela 1. Mehanička svojstva metala šava

	R_E , MPa	R_M , MPa	A_5 , %	Z, %	KCV^* , J/cm ²	Ugao savijanja	Klasa po ANSI/AWS D3.6-93
Elektroda ЭПС-АН2	≥370	≥445	≥12	≥27	≥25	180°	B
Elektroda ЭПС-АН2А	410	662	34	38	130	180°	A
Punjena elektroda ППС-АН2	≥360	≥450	≥14	≥30	≥35	180°	B+

* Ispitivanje na sobnoj temperaturi +20°C



Slika 1. Makroizbrusak i epruveta za ispitivanje na savijanje zavarenih spojeva realizovanih pod vodom primjenom različitih elektrodnih materijala:

- a) Elektroda ЭПС-АН2;
- b) Elektroda ЭПС-АН2А,
- c) Punjena elektroda ППС-АН2

Elektroda ЭПС-АН2А (tehnički uslovi zadovoljeni standardom ТУУ 28.7-05416923-081:2006). Metal šava je austenitnog tipa. Namijenjena je za mokro elektrolučno zavarivanje u svim prostornim položajima niskolegiranih čelika povišene čvrstoće tipa X60, X70, 17Г1С sa vrijednostima zatezne čvrstoće do 600 MPa. Austenitni tip metala šava obezbjeđuje visoku postojanost metala ZUT-a protiv formiranja okošavnih prslina i potrebne karakteristike čvrstoće zavarenih spojeva prethodno pomenutih materijala. Metal šava je kompaktan (homogen), bez pora i uključaka troske. Kao poseban kvalitet ove elektrode ističemo istovremeno obezbjeđenje visokih vrijednosti i čvrstoće i plastičnosti metala šava. Izgled makroizbruska šava i epruvete nakon ispitivanja na savijanje po metodici standarda ANSI/AWS D3.6-93 prikazani su na slici 1b. Nivo svojstava zavarenih spojeva odgovara klasi A ovog standarada.

Punjena elektrodna žica ППС-АН2 (tehnički uslovi zadovoljeni standardom ТУУ 05416923.039-98). Namijenjena je za mehanizovano zavarivanje neposredno u vodi otvorenog električnog luka debelozidnih čelika uobičajenog nivoa mehaničkih svojstava ($R_E \leq 350$ MPa). Visoka homogenost metala šava i spoja u cjelini, nepostojanost krupno

izraženih pora i uključaka šljake u zoni zavarivanja, takođe nepostojanje zajeda na granici šava, garantuju se pri zavarivanju ovom elektrodom u položaju na dolje (slika 1c). Nivo mehaničkih svojstava odgovara nešto višem nivou nego što je to definisano klasom B standarda ANSI/AWS D3.6-93 (tab.1), a obezbjeđuju se isključivo pri zavarivanju na dolje.

Postupak mehanizovanog zavarivanja punjenom elektrodom žicom značajno se razlikuje od ručnog zavarivanja, u prvom redu visokom proizvodnošću, značajnim smanjenjem vremena ostvarenja dugih šavova u položaju na dolje. Zavarivanje se vrši pomoću specijalnog poluautomata marke A-1660 koji je proizvod Instituta elektrozavarivanja E.O.Paton iz Kijeva.

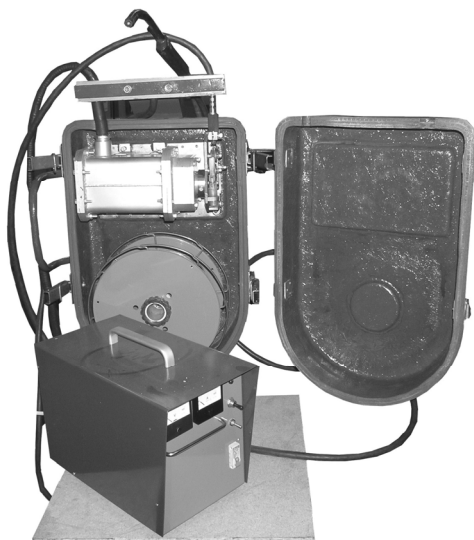
Poluautomat se sastoji iz dva segmenta (bloka) koji su kablovski povezani:

- potopljenog bloka sa zavarivačkom glavom i
- bloka upravljanja.

Svakako, ova dva bloka funkcionišu kao cjelina, s napomenom da se blok upravljanja nalazi iznad vodene površine. Zamjena kasete sa punjenom žičanom elektrodom vrši se pod vodom od strane ronioca-zavarivača. Dakle, nije neophodno izvlačenje uređaja na suvo kako bi se zamijenila kasete, čime se vrši ušteda na ukupnom vremenu rada.

Do sada je razvijen, laboratorijski testiran i zvanično atestiran veći broj elektroda za mokro elektrolučno zavarivanje.

Istovremeno sa ispitivanjima i osvajanjem recepture elektrodnog materijala, vršena su intenzivna istraživanja u cilju optimizacije tehnoloških režima zavarivanja, kao i tehnika mokrog podvodnog zavarivanja tim novo proizvedenim elektrodama. Za realizaciju postupka mehanizovanog mokrog elektrolučnog zavarivanja punjenom žičanom elektrodom, u Institutu je izrađen specijalan poluautomat (slika 2).

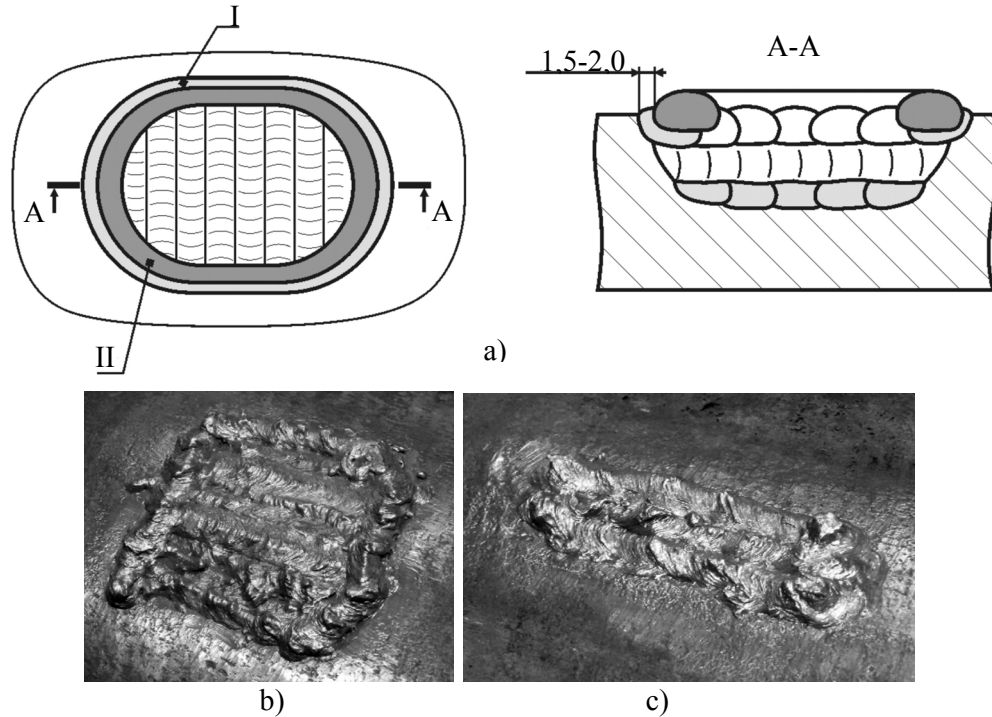


Slika 2. Specijalizovani poluautomat za izvođenje mokrog elektrolučnog zavarivanja punjenom žičanom elektrodom na dubini do 300 m

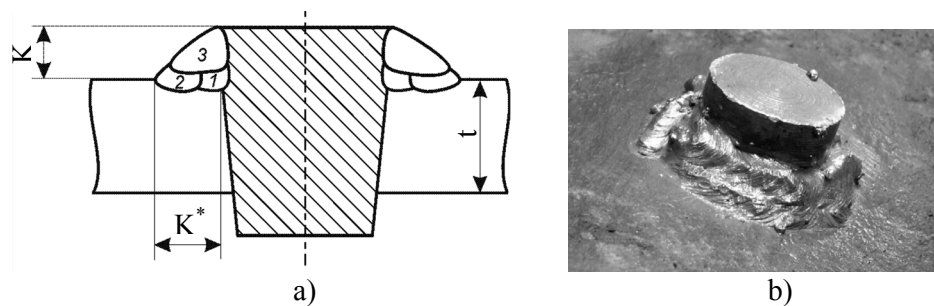
Blok upravljanje se za vrijeme rada nalazi na palubi broda ili platforme u neposrednoj blizini mjesta izvođenja podvodnih zavarivačkih radova i služi za kontrolu i upravljanje procesom zavarivanja. U potopljenom bloku nalazi se kalem i mehanizam za dopremanje punjene elektrodne žice. Konstrukcija bloka omogućava nesmetan rad na dubino do 300 m. Kada je to potrebno, ronilac-zavarivač može nesmetano zamijeniti kalem s punjenom elektrodom žicom, ne vadeći potopljeni blok iznad vodene površine.

Ekperimentalno su definisani najpovoljniji položaji i tehnologije za konkretno korišćenje mokrog elektrolučnog zavarivanja pri remontu najčešćih oblika defekata na cjevovodima: površinska lokalna koroziono-mehanička oštećenja i otvori.

Za eliminaciju ovih grešaka korišćene su već poznate i primjenjivane metode remontra, kao što su navarivanje praznina u metalu izazvanih koroziono-mehaničkim oštećenjima (sl.3) i postavljanje čepa u otvor i njegovo zavarivanje uz cijev (sl.4).



Slika 3. Uklanjanje površinskog korozionog oštećenja: a) šema postupka navarivanja; b) velika površina; c) podužna orijentacija; I – konturni navar; II – otpuštajući navar



Slika 4. Otklanjanje otvora na cjevovodu: a) šema postupka zavarivanja; b) primjer izvršenog zavarivanja; K, K* - katete šava; t – debljina stjenke cijevi

U Institutu je izvršena ocjena efektivnosti cijevnih sekcija s prethodno pripremljenim oštećenjima oblika o kojima je ranije govoreno. Ova oštećenja su otklonjena u podvodnim uslovima korišćenjem elektrode ЭПЦ-АН2. U Institutu G.S.Pisarenko, NAN Ukraine izvršena su ciklična ispitivanja unutrašnjim pritiskom cijevnih sekcija NO 377x9 s lokalnim poznatim defektima izazvanim metodom mokrog elektrolučnog zavarivanja po tehnologiji definisanoj od strane Instituta E.O.Paton. Na cijevnoj sekciji defekti su bili raspoređeni po

obimu (sl.5): dva otvora Ø10 mm i Ø 30 mm, žljeb 150x10x4 mm duž cijevi, žljeb 80x20x4 mm i dva žljeba dimenzija 80x80x4 mm.



Slika 5. Cijevne sekcije s poznatim defektima koji su remontovani pod vodom

Cijevna sekcija je ispitana složenim cikličnim opterećenjem sa maksimalnim unutrašnjim pritiskom od 8,5 MPa i brojem ciklusa od 4700, što je ekvivalentno radnom pritisku od 6,4 MPa kom sa 12500 ciklusa. Prema rezultatima ovih ispitivanja, u pomenutim uslovima znaci slabljenja funkcionalnosti zavarenih spojeva na mjestima remonta nijesu primjećeni niti registrovani. Hermetičnost sekcije sačuvana je i u drugoj etapi ispitivanja s postepenim povećanjem pritiska od 8,5 MPa na 12 MPa, kad je napon kod zavarenih elemenata prelazio granicu tečenja metala.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu dugovodišnjeg iskustva istraživača Instituta E.O.Paton Kijev, Ukraina i velikog broja eksperimentalnih rezultata primjene podvodnog mokrog elektrolučnog zavarivanja, Institut je osposobljen da kvalitetno:

- realizacije kompleksan pristup obezbjeđenja neophodnog nivoa kvaliteta remonta podvodnih cjevovoda i drugih konstrukcija u vodi, kako slatkoj, tako i slanoj;
- definiše osnovne tehničke zahtjeve za zavarivačku opremu koja se koristi za tehnološke operacije u toku vršenja remonta (ispitivanje oštećenja, definisanje parametara oštećenja, obrada i priprema metalnih površina za zavarivanje, mokro elektrolučno zavarivanje elektrodama ili punjenom elektrodnom žicom, kontrolom kvaliteta izvršenih radova);
- razradi projekte koji obuhvataju izbor metodologije i tehnologije remonta podvodnih konstrukcija metodom mokrog elektrolučnog zavarivanja.

LITERATURA

- [1] Савич И.М., Новые способы подводной сварки, Судостроение, (1979), №9, pp.47-49.
- [2] Зайцева Н.В., Захаров С.М., Максимов С.Ю. и др., Свойства аустенитного металла шва, выполненного под водой, Автомат. Сварка, (2003), №4, pp.19-23.
- [3] Ющенко К.А., Лебедев В.А., Максимов С.Ю. и др., Совершенствование узлов и систем сварочного оборудования для подводной механизированной сварки и резки, Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин, Сборник научных статей, Киев: ИЭС им. Е.О.Патона, Украина, (2009), pp.585-588.

- [4] Бут В.С., Олейник О.И., Стратегия развития технологий ремонта действующих магистральных трубопроводов, *Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин*, Сборник научных статей, Киев: ИЭС им. Е.О.Патона. Украина, (2006), pp.491-496.