

N.J. Woodward, D.Yapp, S.Blackman, I.M.Richardson, D.Widgery, M.A.P.Armstrong, R.L.P.Verley, J.O.Berge

Prevod: Aleksandar Đorđević, IWT

DOKUMENT IIW SCUW -207-04

PODVODNO MAG REPARATURNI ZAVARIVANJE CEVOVODA BEZ RONIOCA KORIŠĆENJEM UGAONO ZAVARENE OBUJMICE

DIVERLESS UNDERWATER GMA WELDING FOR PIPELINE REPAIR USING A FILLET WELDED SLEEVE

Adresa autora / Author's address:

N J Woodward, Isotek Electronics Ltd, 9 Clayton Wood Bank, West Park Ring Road, Leeds, U.K., LS16 9QZ.

D Yapp, Welding Eng Research Centre, Building 46, Cranfield University, Bedford, U.K., MK43 0AL.

S Blackman, Welding Eng Research Centre, Building 46, Cranfield University, Bedford, U.K., MK43 0AL

I M Richardson, Dept of Mat Is Sci and Tech, Delft University of Technology, Rotterdamseweg 137, 2628 AL Delft, The Netherlands.

D Widgery, ESAB Group (UK) Ltd, Hertford Road, Waltham Cross, Herts, EN8 7RP, UK.

M A P Armstrong, Isotek Electronics Ltd, 9 Clayton Wood Bank, West Park Ring Road, Leeds, U.K., LS16 9QZ.

R L P Verley, Statoil, Rotvoll, 7005 Trondheim, Arkitekt Ebbellsvei 10, Norway.

J O Berge, Statoil, Forusbeen 50, N-4035 Stavanger, Norway.

Ključne reči: Hiberbarično, reparatura, zavarivanje, spajanje, cevovodi, bez ronioaca, MIG/MAG

Izvod

Opisan je razvoj hiberbaričnog MAG postupka zavarivanja za reparaturu podvodnih cevovoda korišćenjem ugaono zavarene obujmice. Ugaono zavarena obujmica za reparaturu nudi veću saosnost i instalacionu tolerancije nego pri primeni V sučeonog spoja. U poređenju sa hiberbaričnim TIG postupkom, koji se sada primenjuje na platformama uz pomoć ronioaca, MAG postupak zavarivanja nudi relativno veće brzine nanošenja materijala i veoma je pogodan za ugaone spojeve. Opisan je razvoj parametara potrebnih za stabilno nanošenje dugačkih ugaonih spojeva uz dodatni zahtev ponovljivosti kvaliteta spoja kao i rezultati ispitivanja osobina materijala. Pozicionirano linearno zavarivanje ugaonih spojeva izvedeno je na cevovodu i obujmici od materijala API 5L X65, korišćenjem specijalno razvijene metalom punjene žice na dubinama do 2.500 m. Razvijeni postupak čini deo programa za daljinski upravljano reparaturno zavarivanje cevovoda (PRS), projektovanja, izrade i ispitivanja hiberbaričnog podvodnog reparaturnog MAG zavarivanja bez ronioaca, koje se odvija sa potpuno daljinskim upravljanjem.

UVOD

Eksploatacija svetskih rezervi nafte i zemnog gasa iz nalazišta ispod mora dovela je do dobro utvrđenog inženjerskog znanja o izvođenju zavarenih spojeva u plitkim vodama. Dobro su utvrđene tehnologije koje pokrivaju većinu podvodnih operacija od pličaka do dubina od oko 250 m.

Istorijski posmatrano, ronionci su zapošljavani za kontrolisanje, rukovanje i popravke u plićim vodama, što nije slučaj na većim dubinama jer okolni pritisak ima onesposobljujuće dejstvo na ljudsko telo. Funkcionalnost i koordinacija tela se pogoršavaju, a vreme rada je izuzetno smanjeno zbog ubrzane malaksalosti. Sa ravnomernim razvojem eksploatacije rezervoara ugljovodonika u dubljim vodama, rastu i ponude rešenja popravki kao i razvoj novih inženjerskih metoda koje moraju da obuhvataju potpunu automatizaciju procesa.

Sadašnje hiperbarično zavarivanje uz pomoć ronioaca

Povezivanje i popravka zavarenih cevovoda u moru su do sada izvođeni u dubinama koje su pristupačne ronioncima, korišćenjem ručnih ili poluautomatizovanih postupaka zavarivanja. Postojeći stepen mehanizacije omogućava popravke cevovoda zavarivanjem u dijapazonu koji je dostupan ronioncima i takvi sistemi su uspešno primenjivani na dubinama do \approx 250m (820 stopa). Celina za popravku cevovoda (CPC) upravljana "Statoil"-om koja radi u Severnom moru, imala je bitnije korisćenje poluautomatizovanog (sa učešćem ronilaca) TIG postupka. U tipično podvodnom radu, područje oko cevovoda mora biti iskopano i očišćeno kao deo pripreme za podizanje [1]. Dva velika (CPC) H

rama, svaki tezine 70 tona sa kapacitetom podizanja od 120 tona, koriste se za manipulaciju cevovodom i mogu ga pomerati u horizontalnom i vertikalnom pravcu, kao i podužno [2]. Kombinovani alat seče cev koristeći vodeni mlaz visokog pritiska [3]. Kada je cevovod presečen, alat se menja i prave se dva podužna reza i jedan kružni po oblozi za opterećenje, koji se nakon toga odstranjuje. Mlaz vode visokog pritiska se takođe koristi za otklanjanje antikorozijskog premaza.

Deo koji se zamenjuje (deo u obliku kalema), se spušta i grubo linijski pozicionira sa cevovodom koristeći hidraulične "H" ramove i ležište se spušta na krajeve cevi. Daljnji upravljani zatvarači cevi sa savitljivim zaptivajućim "suknjicama" zatvaraju svaku cev, dozvoljavaju ubrizgavanje komprimovanog gasa koji izbacuje vodu iz unutrašnjosti komore. Radovi se do ove tačke mogu izvoditi bez intervencije ronioca. Koristeći modularno integrisani alat (IMT), nesaoosnost cevi je svedena na minimum aktiviranjem hidrauličkih stega, koje kružno stežu cevovod. Alat za mašinsku obradu pripojen za IMT, omogućava da se mašinski obrade ivice na cevi kako bi se poklopile sa delom koji se zamenjuje. IMT omogućava kružno kretanje oko cevovoda. Sav rad sa alatom, uključujući postavljanje i ukljanjanje glave za zavarivanje, izvodi ronilac koji se nalazi unutar komore.

Zajedno sa ležištem, za reparaturu je ključan i ram za fino pozicioniranje. Specifirano je pozicioniranje pripremljenih krajeva cevi do oko 0,+1mm zazora u korenu i 0,+2mm gore/dole pod kontrolom ronioca [3]. Postizanje ovakve tolerancije je ključni faktor za integritet izvođenja sučeonog spoja. Kada su krajevi cevi u ravni, ronilac postavlja glavu za zavarivanje, opremu za predgrevanje i kablove za odvođenje gasa, tako da je sve spremno za početak zavarivanja [2]: operatori koji se nalaze na površini tada preuzimaju vođenje zavarivanja. Parametri za svaki prolaz su dobijeni probama koje su rađene na kopnu u hiperbaričkoj komori. Po završetku zavarivanja, oprema za ispitivanje bez razaranja se kači na IMT i spojevi se proveravaju standardnom ultrazvučnom metodom [2]. Da bi se završila reparatura, zaštitni omotač se ponovo nanosi na repariranu oblast, komora se poplavi i sva oprema se podiže na površinu.

Osnova hiperbaričnog MIG postupka

Okolni pritisak ima uticaja na ponašanje električnog luka, izvođenje procesa zavarivanja i na rezultujuće osobine zavarenog spoja [4- 6]. Povećanje pritiska vodi ka destabilizaciji plazme električnog luka zbog povećanja turbulencije u stubu luka. Brzina plazme opada, i koren električnog luka se pomera prateći sve nestabilniju putanju po površini elektrode [7]. Razlika u gustini struje između korena i stuba luka vodi ka obrazovanju suprotnih elektromagnetno vođenih mlazova plazme, koji se neminovno obrazuju na pritiscima većim od nekoliko bara, stvarajući otežan prenos metala, prskanje i nestabilnost procesa [8].

Na povećanim pritiscima, zavarivanje sa relativno malom dužinom električnog luka, reda veličine jednog milimetra ili manje, osigurava izvesnu kontrolu nad jačinom mlaza plazme. Razlika između gustine struje na površini elektrode i u stubu električnog luka je prema tome smanjena i iznos snage je umanjen. Tako kratak električni luk može se održavati ukoliko se primenjuje odgovarajući samopodešavajući izvor struje [9-13]. Step en samopodešavanja mora biti izabran tako da osigura optimalni nivo promene struje u odnosu na promenu dužine luka, nezavisno od radnog pritiska. Kriva statičke karakteristike izvora struje je prema tome zavisna od pritiska jer treba da odrazi zavisnost napona električnog luka od pritiska. Detaljna objašnjenja ovakvog ponašanja mogu se naći u literaturi [14].

Kao rezultat razvoja odgovarajućih kontrolnih algoritama isporuke struje, MIG postupak se smatra odgovarajućim za zavarivanje u širokom dijapazonu pritisaka. Izvođenje nalazi prednost u neusklađenosti između relativno visokog dijapazona učestanosti nestabilnosti električnog luka i niže učestanosti reagovanja zavarivačke kupke [7-10]. Promena u ravnoteži snage takođe rezultuje povećanjem prenosa toplote na osnovni materijal i smanjenjem nastajanja greške - nespojenosti.

Značajan napredak u kontroli i primeni postupka na povećanim pritiscima je postignut poslednjih godina. Pogodnost postupka za sučeone spojeve na cevovodima od materijala X65 dokazana je više puta za pritiske u granicama koje odgovaraju dubinama vode od 200m do 2.500m, bez nagoveštaja gornje visine pritiska za taj postupak. Postignuti su zadovoljavajući zavareni spojevi sa minimalnim vizuelnim odstupanjima, velika žilavost, čvrstoća spojeva i relativno mala vrednost tvrdoće [10-20]. Takođe je bilo izveštaja o orbitalno (5G) zavarenim spojevima, ukazujući na položajne mogućnosti MIG postupka. Orbitalno zavareni spojevi kod materijala cevovoda X65 pokazuju prihvatljiv nivo tvrdoće i više nego odgovarajući napon tečenja i zateznu čvrstoću, iako je došlo do znatnog rasipanja vrednosti energije udara na nižim temperaturama, ukazujući na dvojno ponašanje. Međutim, takvi problemi nisu primećeni kod 13% Cr materijala za cevovode [17] gde je udarna energija po Šarpiju uvek preko 80 J na -40°C i preko 100 J na -20°C.

Novija istraživanja su ispitivala ostvarljivost izrade ugaonih spojeva, pokazujući znatnu toleranciju postupka na okolni pritisak i konstrukciju spoja. Utvrđeno je da je MIG postupak zavarivanja praktično neosetljiv na koreni zazor ugaonog spoja i da izbor parametara praktično ne varira tokom zavarivanja u svim položajima. Ugaoni spojevi su od značaja u širokom dijapazonu konstrukcija i reparaturnim aktivnostima, uključujući reparaturu na "vruće" (sa umetanjem čepa) i vertikalnih vodova [19, 20], kao i zavarivanje uboda cevovoda, što je i žiža sadašnjih istraživanja i programa razvoja.

PRIMENA

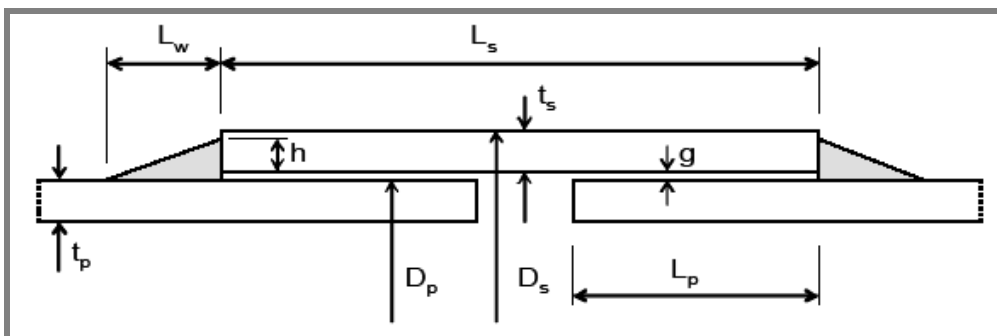
Strategija i oprema za reparaturu obujmicom - daljinska popravka cevovoda

Statoil trenutno razvija novu opremu korišćenjem hiperbaričkog MIG zavarivanja ugaonih spojeva obujmica kojom se i upravlja daljinski, bez ronilaca: celinu za daljinsku reparaturu cevovoda (CDPC). Pregled ove filozofije zavarivanja obujmica prilikom reparature, obujmica i angažovanja opreme i razvoja prikazali su Berge, Armstrong i Varley [21]. Korišćenje obujmica pri reparaturi pruža mnogo veću fleksibilnost pri radu nego kod sučeonih spojeva, u pogledu zahtevane ovalnosti cevi, kao i radijalnog nepoklapanja i ugaone saosnosti krajeva cevi, jer je obujmica dizajnirana tako da uključuje i koreni zazor. Očekuje se da će dizajn obujmica obuhvatiti i nepropusnost koja bi sprečila ulazak vode pri izvođenju zaptivnih prolaza i da će unutrašnji prečnik obujmice dozvoliti zahtevanu ovalnost, saosnost i instalacijske tolerancije. Kao što je već opisano, hiperbaričko MIG zavarivanje idealno odgovara zahtevanom nanošenju materijala i izvođenju ugaonog zavarenog spoja.

Sadašnji program kvalifikacije razmatra primenu zavarivanja obujmica za reparaturu Asgard transportnog cevovoda od cevi X 65 prečnika 42", debljine zida 29 mm, i predstavlja dovoljan izazov novoj tehnologiji u slučajevima relativno visokog naponskog stanja (tokom ispitivanja pritiskom), ili cevovoda za kisele fluide, u rasponu dubina od 180m do 360m.

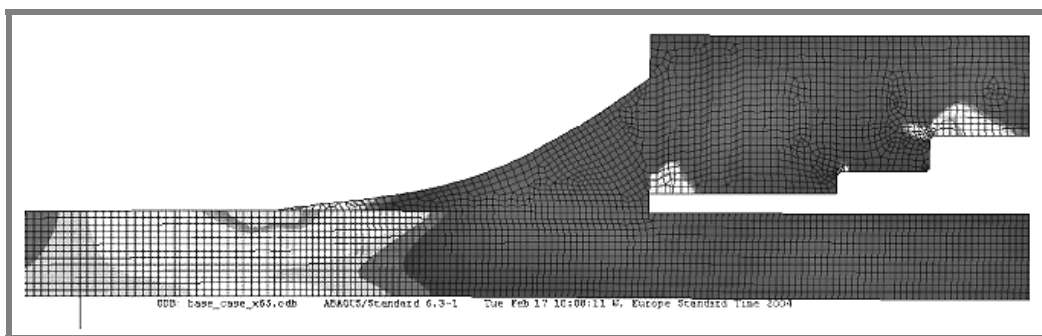
Osnova dizajna

Paralelno sa razvojem postupka, Statoil investira i upravlja dizajniranjem obujmica i opreme za zavarivanje i izradom odgovarajućih programa. Osnovna geometrijska linija reparature obujmicama prikazana je na slici 1, i trenutno se predviđa da dužina obujmice L_s , bude 600mm, da koreni zazor, g , bude 5mm i da dužina cevi unutar rukava, L_p , bude 250 mm. To dozvoljava 100 mm razmaka između krajeva cevi. Očekuje se da dizajn obujmice dozvoljava radijalna odstupanja od približno 2mm između krajeva cevi i ugaono odstupanje od 2 stepena.



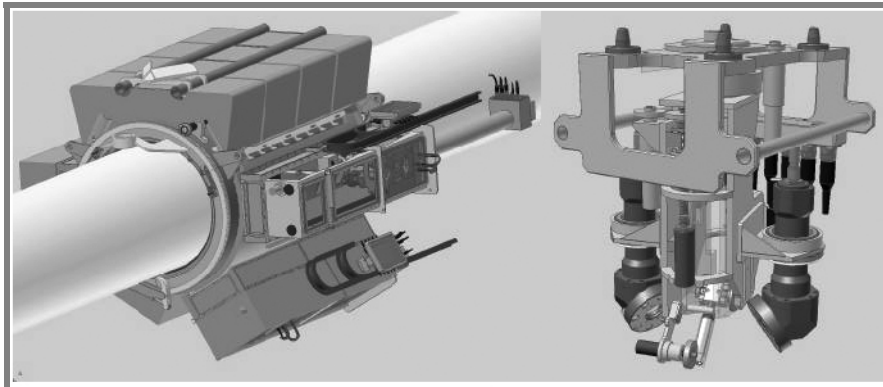
Slika 1: Slučaj dizajna reparaturno ugaono zavarene obujmice

Dvodimenzionalni model konačnih elemenata je prikazan na sl.2 sa rezultujućim naponom od odgovarajućeg kritičnog pritiska (test sistema pritiskom od 242 bar diferencijalnog pritiska) i dizajniranog opterećenja savijanjem. Može se uočiti da opterećenje i geometrija obujmice rezultuju u dve zone relativno visokih napona: korena zona ugaonog spoja, i na samom cevovodu, kod lica zavarenog spoja. Veličina zavarenog spoja određenog za primenu zavisi uglavnom od napona izazvanih u samoj cevi, a veća dužina stope zavarenog spoja se koristi za ravnomerniji raspored opterećenja unazad prema cevi. Za Asgard transportni cevovod, prema projektnim opterećenjima, zahtevana dužina kraka treba da je 120 mm sa visinom zavarenog spoja do 30 mm. Većina površine metala šava ugaonog zavarenog spoja, sa izuzetkom korene zone, nije pod posebno visokim naponskim stanjem. Slika pokazuje optimalnu geometriju korišćenjem ugaonog spoja sa konkavnim profilom.



Slika 2: 2D model konačnih elemenata reparaturno ugaonog šava pod zahtevanim opterećenjem

Prikaz dizajna opreme celine za daljinsku reparaturu cevovoda, alat za zavarivanje sa daljinskim upravljanjem (ROWT) i glava za zavarivanje su prikazani na sl.3. ROWT objedinjuje dve odvojene glave za zavarivanje sa opremom za odvođenje lokalnih isparenja, dok odvojena alatna korpa (nije prikazana) sadrži spremnik za žicu, dodavač žice, izvor struje i svu opremu za kontrolu procesa. Glava za zavarivanje se sastoji od: vazdušno hlađenog Binzel gorionika za MIG zavarivanje na ugaonom zglobu i ose njihanja, lokalni alat za čišćenje kontaktnog vrha i dve odvojene kamere za posmatranje električnog luka i kontrolu zavarenog spoja. Sav rad pod vodom biće pod nadzorom operatera na površini korišćenjem kontrolne opreme sa interfejsom: gornja stanica, paneli kamera, itd.

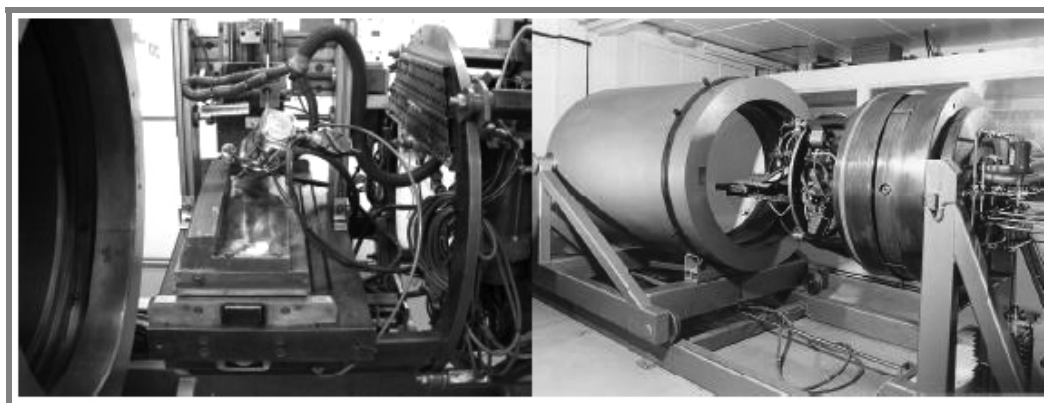


Slika 3: Daljinski PRS–Daljinski upravljani alat za zavarivanje (ROWT) i izgled glave za zavarivanje

RAZVOJ PROCESA

Eksperimentalna oprema

Prostor za eksperimente u Cranfield-u sačinjava komora pod pritiskom od 250 bar unutrašnje zapremine oko 102 m³, koja sadrži sistem upravljanja; ili tro-osni “Cartesian” manipulator za linijsko zavarivanje u svim položajima ili četvorosnu orbitalnu glavu za zavarivanje u 5G položaju, obe prikazane na sl.4. Komora je opremljena sistemom hlađenja vodom pod pritiskom, recirkulacijom čistog gasa, odvođenjem isparenja, zalihama zaštitnog gasa i svim neophodnim delovima električne opreme [11-13]. Modifikovani invertorski izvor struje se koristi za sva MIG zavarivanja, sačinjen je od tri “Fronius Trans” džepna TP 450s koji radeći u seriji mogu da isporuče do 450 A i do 200 V. Kontrola izvora struje se postiže kombinovanjem digitalnog i analognog kompjutera. Analogni sistem stvara izlazne karakteristike dok digitalna kontrola omogućava kontrolu interfejsom i stvaranje impulsa, poboljšavajući izlazne vrednosti na stalnoj frekvenciji od 10 kHz. Sistem za unošenje podataka se koristi za isporuku napona električnog luka i struje zavarivanja talasnim oblikom.



Slika 4: Linijski manipulator u položaju 12 sati i hiperbarička komora od 250 bar u Cranfield-u

Metalurški razvoj punjene žice sa metalnim jezgrom

Prethodna istraživanja hiperbaričkog MIG zavarivanja i razvoj su potpuno pokazali mogućnosti postupka za orbitalno sučeono zavarivanje [17-18], sa veoma zadovoljavajućim uvarivanjem (sa izuzetno malim nedostacima) i pokazateljima zateznih karakteristika. Međutim, uzorci izvađeni iz korene zone sa spojeva debljine zida od 29 mm korišćenjem komercijalne pune žice i materijala cevovoda X 65, podvrgnutih Sharpy-jevom testu dozvolili su prostor za poboljšanje. Tokom proteklih dvadeset godina, punjene žice su specijalno razvijene za hiperbarično zavarivanje i neke od njih su bile komercijalno dostupne. Nove eksperimentalne žice je isporučio ESAB i ispitivane su sa drugim komercijalnim žicama u toku pređašnjih programa da bi se, pre svega, utvrdila njihova žilavost.

Dok su ranije komercijalne žice za hiperbarično zavarivanje, sadržale jedinjenja barijuma, delimično zato što omogućavaju smanjenje zahtevanih radnih napona, današnja oprema ne pati od ograničenja napona. U međuvremenu, pogledi zaštite na radu u vezi sa barijumom su postali strožiji i barijum nije potreban u modernim žicama. U poslednjem programu, punjene žice sa metalnim jezgrom, prečnika 1.0 mm, isporučene od ESAB-a su bile specijalno formulisane da reše dva osobena aspekta prirode hiperbaričnog zavarivanja: potpuno inertna atmosfera argona, zajedno sa visokim brzinama hlađenja metala šava, zbog povećanja gustine gasa sa radnim pritiskom. Lekcije naučene pri razvoju dodatnog materijala za lasersko zavarivanje, koje ima slične karakteristike, bile su primenjene ovde da potpomognu nastanak optimalne mikrostrukture. Zavareni spojevi izvedeni punim žicama imali su sadržaj kiseonika u granicama 180-250 ppm, oko polovine koja bi se očekivala na atmosferskom pritisku koristeći konvencionalan zaštitni gas kao što je 80%Ar, 20%CO₂. Tokom 1978. god. je pokazano da smanjenje sadržaja kiseonika može sprečiti stvaranje acikularnog ferita [22], poželjne mikrostrukture metala šava kod čelika sa naponom tečenja od oko 650MPa. Uključci oksida, posebno onih sa titanom, deluju kao nukleus u građi acikularnog ferita. U njihovom odsustvu, međutim, mogu nastajati proizvodi niže temperaturne transformacije sa većom čvrstoćom i manjom žilavošću.

Komercijalne punjene žice sa metalnim jezgrom za uobičajenu upotrebu su sa većim sadržajem kiseonika od punih žica, jer oksidacija na površini kapljice smanjuje površinski napon i unapređuje prelaz finih kapi kroz električni luk. Prva serija žica proizvedenih za hiperbarički program dala je zavarene spojeve sa sadržajem kiseonika od 700 - 800 ppm. Bile su uspešne u proizvodnji acikularne strukture, ali one imaju malu brzinu deformacionog ojačavanja, što vodi ubrzanom padu žilavosti kada sadržaj uključaka pređe optimalnu vrednost. Dobljene mehaničke osobine nisu bile bolje od onih dobijenih punom žicom. Daljim unapređenjem, korišćenjem više žica za optimizaciju sadržaja nikla, titana i kiseonika u šavu, uputilo je ka žici HBX12, sada sa 485 ppm kiseonika u metalu šava, kao što je prikazano u tabeli 2. Ova žica dala je prosečne Sharpy vrednosti od 106 J na -30°C, ali napon tečenja i zatezna čvrstoća su bolji od zahtevanih koji treba da odgovaraju X65 na 672 i 724 MPa ponaosob. Finalna, dalje optimizirana verzija, oznake HBX13, ima manji nivo mangana sa naponom tečenja i zateznom čvrstocom od 612 i 673 MPa, a žilavost po Sharpy-ju još uvek bolju od 100 J na 30°C.

Rad u prošloj godini potvrdio je da je žilavost metala šava sada u proseku bolja i ravnomernija od one dobijene punom žicom. Ispitivanjem sastava u tom periodu, žilavost je pokazivala dređeni nivo, bez i jednog zabeleženog rezultata Sharpy-jevog testa ispod 76J na -50°C u granicama 0.05 - 0.95%Ni, 0.01 - 0.04%Ti i 216 - 485 ppm kiseonika u metalu šava. To vodi nekom samopouzdanju proizvođačke i izvođačke tolerancije koje neće ugroziti žilavost šava.

Razvoj procesa i parametara

Budući da se radi o daljinskoj primeni pod morem, bez ručne intervencije ronioca, zahtevanim velikim brzinama dobavke materijala pri zavarivanju, glavni napor je usmeren na razvoj najrobusnijih radnih parametara, u prvom slučaju u nadglavnom položaju. Bilo je potvrđeno da ovi parametri omogućavaju zadovoljavajući rad za položaje zavarivanja 12 sati na-dole i 3 sata vertikalno na dole. Parametri koji su razvijeni za kvalifikacioni program bazirani su na onim, razvijenim tokom ranijih faza hiperbaričnog programa kod Cranfield-a [17,18] i već su se pokazali krajnje tolerantnim pri opsegu dubina vode do 2.500 m ili 250 bar.

Zavari pri pulzirajućem zavarivanju izvedeni na međupovršini obujmice su se pokazali optimalnim u pogledu uvarivanja, imajući na umu kritičnost međupovršine obujmica/šav.

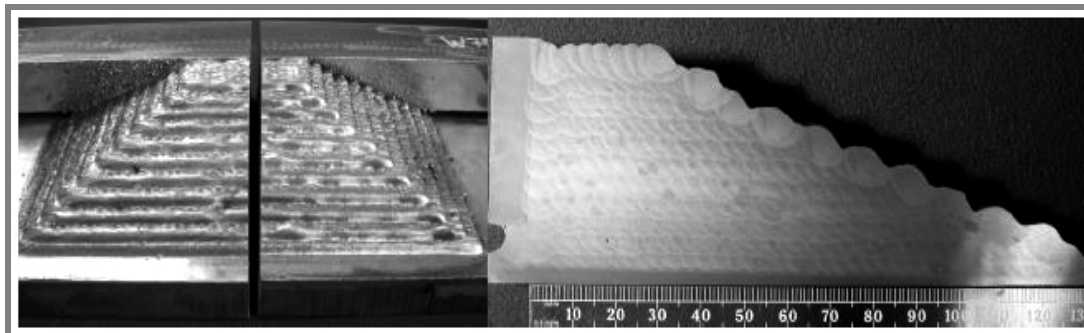
Ovi pulzirajući uslovi zavarivanja omogućavaju uglavnom sprej prenos sa strujama kratkog spoja, prosečnih vrednosti napona i struje zavarivanja okvirno od 25 V i 220 A ponaosob. Pošto se ovi uslovi koriste samo u prvom prolazu prema obujmici, potpora za zavar je dobra, što pomaže održavanju stabilnosti zavara i minimalizuje prskanje. Ovi uslovi nisu optimalni za prolaze popune jer kada opada podrška zavara, nastaje nedopustivo povećanje prskanja i stabilnosti zavara. Stanje kratkog spoja, zasnovano na nepulzirajućem zavarivanju i bržem dodavanju žice se primenjuje u prolazima popune. Ovi parametri daju relativno niski nivo prskanja i dobru stabilnost zavara u nadglavnom položaju. Nešto malo uključaka troske je zabeleženo kod prolaza popune, obično u okviru 0,3 do 0,8 mm, ali se one ocenjuju prihvatljivim, uzimajući u obzir veličinu i nivo napona u šavu i ostalim kritičnijim područjima, kao što je zona korena sa velikim zaostalim naponima. Na sl.8 prikazano je radi ilustracije talasnih oblika, oba uslova zavarivanja u roku od 0.5 sekundi na 36 bara. Nepulzirajući talasni oblici imaju sličan izgled u uslovima dobro kontrolisanog 1-atmosferskog prenosa. Oba ova uslova su takođe pokazala visoku toleranciju ka promeni razdaljine od kontaktnog vrha do radnog komada (± 3 mm na dole), sa kojima će se najverovatnije sretati u praksi.

Razvoj parametara je rađen sa sledećim projektnim ciljevima: potpuno daljinska primema, malo posredovanje kontaktnog vrha, maksimum trajanja kontaktnog vrha, minimum prskanja i pravilna stabilnost tečnog kupatila. Osnovni parametri korišćeni pre početka ugaonog zavarivanja su dati u tabeli br.1. U sadašnje vreme specijalni CuCrZn obloženi M8 kontaktni vrh kod Binzel-a se ispituju da se isproba njihova dugovečnost u smislu habanja. U slučaju zaglavlivanja žice u zavarivačkoj kupki na kraju prolaza, kratak "clear" program se koristi za sagorevanje viška žice bez njenog očvršćavanja na kontaktnom vrhu. Dimenzije rasprskavanja iz najgoreg slučaja u nadglavnom položaju,

ukazuju da do 3% žice za zavarivanje može biti izgubljeno zbog rasprskavanja i isparavanja. Ova brojka se smanjuje kod vertikalnog položaja na dole na 0.5% jer se rasprskavanje više zadržava unutar zone metala šava.

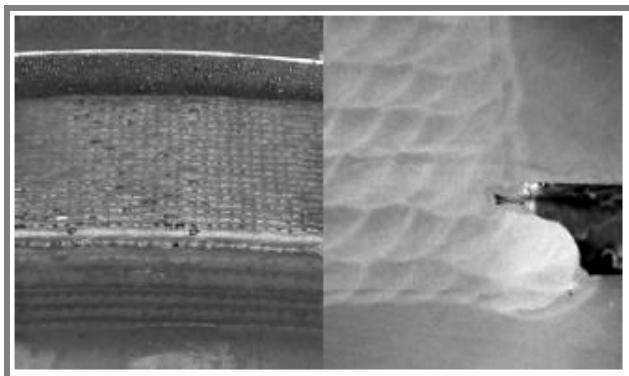
Dugački ugaoni zavareni spojevi i mogućnosti zavarivanja u određenom položaju

Nakon razvoja parametara, odgovarajući primerci dimenzionisani za daljinski CPC su izvedeni u nadglavnom položaju. Na sl.5 prikazan je ugaoni spoj na čeličnom limu sa dužinom kraka od 120 mm i sa visinom od 43 mm (uključujući 5 mm korenog zazora) na 30 bara, sa 255 prolaza. Makrografski snimak prikazuje dobar profil šava, sa dobrom mešavinom na ivici ugaonog spoja ostvarenog sa poslednjim pulzirajućim prolazom na svakom sloju, dobro uvarivanje u zoni materijala obujmice i nekoliko nedostataka.

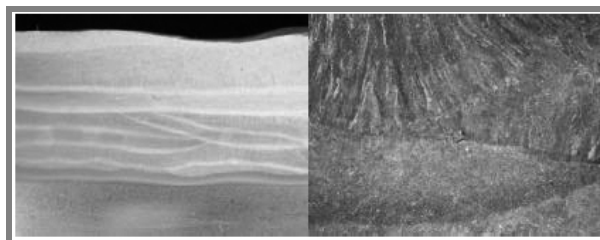


Slika 5: MIG ugaoni spoj u nadglavnom položaju u makro izgled za RPRS

Na sl.6 prikazano je slaganje ugaonog šava na materijalu X65 Asgard transportnog cevovoda, sa makro izgledom korenog područja ugaonog spoja. Sa datim dizajnom ugaonog spoja, tolerancije ugrađivanja i neophodnog korenog zazora, koji će verovatno biti promenljiv u praksi, jer obujmica leži na cevima, predviđa se nastajanje greške u korenu. To je uključeno u modeliranje šava kao i principi mehanike loma, uključujući rast greške, i takođe u kvalifikacionom programu. Na sl.7 prikazuje se kvalitet šava na tipično preklapnom području - 12 ili 6 sati, sa malim uključkom od 0,2mm kod korena na početku dva prolaza. Ovaj nedostatak nije veći od drugih uključaka troske u šavu i smatra se prihvatljivim. Poduzni uzorci Sharpy-jevih epruveta uzeti su sa sa preklapnih područja i rezultati su potpuno dosledni sa uobičajenim odlikama metala šava, kao što je prikazano na sl.5.



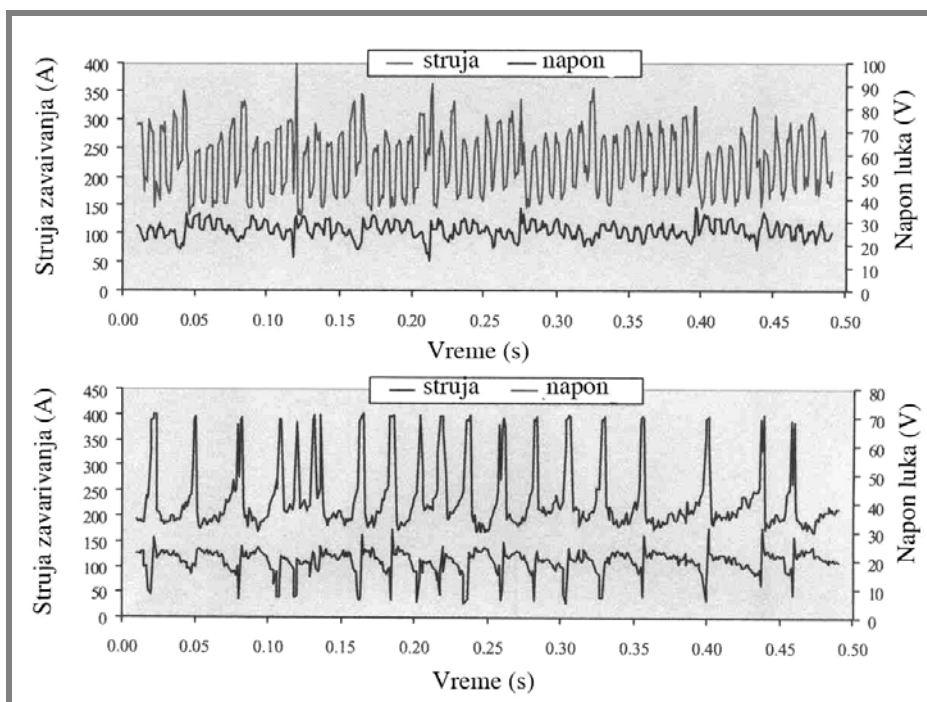
Slika 6: MIG ugaoni spoj u nadglavnom položaju – Obujmica od X65 na delu cevi i makro izgled korena



Slika 7: Preklapni zavari u položaju – 6 sati (makro) i 12 sati (mikro) sa greškom od 0,2 mm

KARAKTERISTIKE POSTUPKA ZAVARIVANJA

Dosledna stabilnost geometrije zavara je postignuta razvojem parametara u nadglavnom položaju, služeci se uslovima prenosa u kratkom spoju i odgovarajućom brzinom pomeranja za brojne prolaze ispune, kao što je gore opisano. Pokazatelj karakteristika postupka zavarivanja može se dobiti praćenjem napona luka i struje zavarivanja. Mnogi radovi [23, na primer] su opisali prednosti korišćenja statističke obrade naponskih i strujnih signala za dobijanje podataka u pogledu uslova stabilnosti i prelaza dodatnog materijala kod zavarivanja MIG - postupkom. Na sl.8 prikazani su podaci uzeti za 0.5 s u uslovima pulzirajućeg i prenosa u kratkom spoju koristeći punu žicu na 36 bara. Električna stabilnost ovih talasnih oblika se odmah uočava, posebno u pravilnosti kratkospojenih uslova prenosa. U prvom trenutku, male vrednosti podataka o naponu luka i struje zavarivanja su uzeti sa punog 6 mm talasnog ciklusa u cilju praćenja (prozor od 10s). Te škrte vrednosti dozvoljavaju procenu prihvatljivosti planirane putanje gorionika preko tako izrađenog metala šava. Preterani ili nedovoljni nivoi napona električnog luka se povremeno koriste da usklade putanju gorionika da dozvole održavanje ciljanih vrednosti. Test program je trenutno na putu da poveže prihvatljive granice tolerancije postupka i električne parametre.



Slika 8: Prikaz oblika talasa (presek V/I) za koren (uslovi prenosa -pulsirajući) i zavare ispune (uslovi prenosa-sa potapanjem)

Osobine materijala

Prethodno dobijene osobine materijala pri hiperbaričnom MAG, korišćenjem komercijalne Thyssen K-Nova žice su objavljene [17,18]. Ova žica je uopšteno korišćena kao pogodna popuna kod X65 cevovoda u Cranfieldu. Nedavna ispitivanja osobina materijala su obavljena na spojevima izvedenim MIG-om sa specijalno formulisanim ESAB HBX žicom prečnika 1,0 mm, na materijalu obujmice WT X65 od 44.5 mm na cevi WT X65 od 30mm, koja uključuju sledeća ispitivanja:

- Makrostruktura i tvrdoća,
- Ispitivanje zatezanjem metala šava i poprečno na šav,
- Sharpy test na -30°C (najmanja predviđena temperatura umanjena za 20°C),
- Žilavost loma, CTOD, na -10°C
- Ispitivanje korozije u kiseloj sredini prema zahtevima evropskog udruženja za koroziju EUK 16 (30 dana, 0,1bar H₂S), i
- Utvrđivanje sadržaja ugljenika u metalu šava u uslovima nadpritiska.

Zbir osnovnih radnih parametara, hemijska analiza šavova proizvedenih sa dve nedavno optimizirane žice HBX12 i HBX13, i podaci o osobinama materijala su dati u tabelama 1 – 5.

Tabela 1: Osnovni radni parametri za položaje – 12, 3 i 6 sati

Žica	Ø1,0 punjena žica sa metalnim 7,5 m/min za 1-i prolaz bez njihanja jezgrom ESAD HBX – pulsirajuće zavarivanje 8,0 m za popunu sa njihanjem – nepulsirajuće zavarivanje
“TS”	6,0 mm/s za 1-i prolaz bez njihanja 6,5 mm/s za prolaze popune sa njihanjem – 6mm širina njihanja
Način popune	Preko 3,5 mm između prolaza, do 3,5 mm između slojeva
Kontrola izvora	Kontrolor za fleksibilnu kontrolu oblika talasa i 3 uređaja Fronius TPS 450 koji daju 200V, 450A Mogućnost rada sa elektrodom na negativnom polu

Tabela 2: Hemijski sastav metala šava

Element	Šav sa HBX12 (tež %)	Šav sa HBX13 (tež %)
C	0.073	0.074
Si	0.42	0.38
Mn	1.86	1.40
P	0.012	0.012
S	0.01	0.012
Cr	0.03	0.03
Ni	0.52	0.51
N2	42ppm	485ppm
O2	80ppm	360ppm

Tabela 3: Zatezne osobine dodatnih materijala HBX12 i HBX13

Zatezne osobine metala šava	Napon tečenja (MPa)	Zatezna čvrstoća (MPa)	Izduženje (%)	Odnos napona tečenja/zatezna čvrstoća
HBX12	671,7	724,3	17,5	0,93
HBX13	611,8	673,3	23,0	0,91

Tabela 4: Vrednosti tvrdoće – Dodatni materijal HBX13

KOREN		Tvrdoća (HV10)	Popuna		Tvrdoća (HV10)
ŠAV	Maksim.	245	ŠAV	Maksim.	235
	Srednji	236		Srednji	222
ZUT	Maksim.	249	ZUT	Maksim.	240
	Srednji	233		Srednji	219

Tabela 5: Energija udara po Sharpy-ju sa V zarezom na -30°C

Energija udara po Sharpy-ju	Cv(J)	Popuna	Cv(J)
Metal šava u oblasti korena	130	12 sati	120
	116	Preklop	128
	102	Podužni	98
srednja vrednost	116	srednja vrednost	115
		6 sati	104
		Preklop	110
		Podužni	114
		srednja vrednost	109

Vrednosti pri ispitivanju zatezanjem i tvrdoće metala šava izvedenih korišćenjem žice HBX12 ukazivali su da je čvrstoća ove žice bila neznatno previsoka (672MPa 0.2% napon tečenja), da odgovaraju X65 cevima i naglancima, i smanjenjem nivoa mangana, ESAB je osigurao bolje poklapanje korišćenjem žice oznake HBX13 (612MPa 0.2% napon tečenja, vidi tabelu 3), uz održavanje nivoa žilavosti.

Vrednosti tvrdoće za koren i završni sloj, date su u tabeli 4, koristeći ovaj dodatni materijal u prihvatljivim granicama za kvalifikaciju spoja pri 1 atm i takođe u preporučenim granicama za rad u kiselim sredinama (u saglasnosti sa DNV-OS-F101, podvodni cevovodni sistemi, januar 2003).

Udarne čvrstoća po Sharpy-ju iz korenog dela (najkritičnijeg) ugaonog spoja, 4mm od linije topljenja, i 12 i 6 sati preklopne zone zavara korišćenjem podužne epruvete, dosledno pokazuju visoke i prihvatljive vrednosti na projektovano zadatoj temperaturi, kao što je dato u tabeli 5. Sve epruvete za metal šava su uzete iz korene zone.

Osobine materijala na žilavost loma (CTOD) su ustanovljene za spojeve izvedene korišćenjem oba dodatna materijala HBX12 i HBX13. Očekivano je da je jedna od najkritičnijih zona, linija topljenja šava/obujmice i u skladu sa tim, 30mm debele epruvete su uzete t.j. ciljan je rast prslina po liniji stapanja. Ispitivanja su izvedena po BS7448: deo 2 korišćenjem odnosa od 0.5 između dubine prslina i širine uzorka sa željenom ciljanom vrednosti od 0.2mm. Dobijene su vrednosti žilavosti loma od 0.15, 0.36 i 0.58 mm za spojeve sa HBX12 (koristeći standardne laboratorijske uslove), dok su potpuno zadovoljavajuće vrednosti od 1.12, 0.65 i 0.54 mm dobijene za spojeve sa HBX13. Ispitivanje korozije u kiseloj sredini je takođe izvođeno na uzorcima napregnutim na 90% naponu tečenja materijala zavarenim u najtežem položaju: nadglavnom. Iako je bio prisutan mali pokazatelj porasta greške na kraju ispitivanja, prihvatljivo ponašanje je pokazano posle 30 dana ispitivanja u H₂S pod 0.1 bara prema EUK 16.

Korišćenjem suvog zaštitnog gasa i kupatila od etanola i suvog leda u komori visokog pritiska, uzorci su izvedeni pod uslovima nadpritiska (18 bara), koristeći pulzirajuće i nepulzirajuće uslove zavarivanja sa žicom HBX13. Nivo difundovanog vodonika od oko 5 ml/100gr Fe je utvrdjen Strohlen Instruments H-2500 analizatorom na 400°C za 30 min. Dalji rad će obuhvatiti uslove veće vlažnosti koji bolje predstavljaju realne uslove upotrebe.

ZAKLJUČCI

Istraživački rad i razvoj postupka o kome je ovde izveštavano je potvrdio da je hiperbarično MIG zavarivanje pogodno za spojeve dobrog kvaliteta na dubini vode ekvivalentnoj onoj koja je značajna za vađenje nafte i gasa. Razvijeni su parametri za linijsko i orbitalno (kružno) zavarivanje, koje su u osnovi nezavisni od položaja zavarivanja. Pređjašnji rad je pokazao sposobnost sučeonog zavarivanja, dok je sadašnji rad fokusiran na izradu dugačkih ugaonih spojeva. Na osnovu tog rada, mogu se izvesti sledeći zaključci :

- Hiperbarično MIG zavarivanje pruža izvodljivo rešenje za upotrebu sistema popravke cevovoda obujmicama bez ronilaca
- Razvijeni parametri zavarivanja dozvoljavaju stabilnu izradu i nanošenje zahtevane veličine šava za reparaturu obujmicama korišćenjem ugaonih zavarenih spojeva za primenu kod Asgard transportnog cevovoda.
- Mehaničke osobine postignute do danas pokazuju prihvatljivost u skorije vreme unapređenog dodatnog materijala (HBX13) i njegovo dobro uklapanje sa čelicima za cevovode klase X65.

Zasnovano na obećavajućim rezultatima istraživanja hiperbaričnog MIG zavarivanja, intenzivan razvoj tehnologije zavarivanja zajedno sa istovremenim dizajnom opreme i programom izgradnje, sa ciljem realizacije potpuno daljinskog sistema bez angažovanja ronilaca, obrađenom kao daljinski sistem za popravku cevovoda (PRS), financiran od strane Statoil-a, je već na dobrom putu.

ZAHVALNOST

Stalna podrška i stručni saveti tehničara hiperbaričnog zavarivanja, Ray Newman-a, Ruben Marino-a, trenutno na Subsea 7, Sintef Materials Tehnology u Norveškoj, Stolt – Subsea 7, Združeni poduhvat, kao i tehnička podrška i saradja sa John Nixon-om, na Cranfield univerzitetu, motiv su za izražavanje zahvalnosti na ovom mestu.

Rad na razvoju RPRS tehnologije zavarivanja je sponzorisan od Statoil-a. Pređjašnji sponzori programa istraživanja hiperbaričnog zavarivanja u dubokim vodama su takođe značajni zbog njihove podrške i uključuju: BP-Amoco, EPSRC, Subsea7, Isotek Electronics, Hidro i Texaco. Takođe bismo želeli da odamo priznanje tehničkoj pomoći i uputstvima dobijenim od kolega i predstavnika industrije koji učestvuju u programu.

LITERATURA

- [1] Anon., Pipelines: All You Ever Wanted To Know, Pipeline Industries Guild, London, 1994.
- [2] Håbrekke T, Berge J O and Armstrong M, Deep Water Pipeline Welding and Repairs Using Modern Computer Technology to Create a Diverless Future for Statoil, Proc. Int. Conf. Comp. in Welding, San Fransisco, USA, 1997.
- [3] Styve K and Andersen K, Hyperbaric Pipeline Repair System - Current Achievements and New Deep Water Challenges, Proc. Int. Conf. - OPT'94 "Offshore Pipeline Technology", Oslo, Norway, pp1-13, 3-4 Feb. 1994.
- [4] Richardson I M 'Properties of the Constricted Gas Tungsten (Plasma) Welding Arc at Elevated Pressures' Ph.D Thesis, Cranfield University, 1991.
- [5] Hoffmeister H 'The Effect of Pressure on Process Parameters and Mechanical Properties in Hyperbaric Underwater Welding', State of the Art Report on Underwater Welding Pt.2, IIW Doc CREAU 87 86, 1987.
- [6] Knagenhjelm H O and Ovland S 'Deep Ex 81', Norsk Hydro Report No. 47/82 Oct. 1982.
- [7] Richardson I M and Nixon J H 'Deepwater Hyperbaric Welding - Initial Process Evaluation' Proc. 7th International Conf. on Offshore and Polar Engineering (ISOPE), Honolulu, Hawaii, May 1997.

- [8] Richardson I M and Nixon J H 'Open Arc Pulsed Current GMAW: Application to Hyperbaric Welding Operations' ASM International Welding Conference, Toronto, Canada, paper 8513-009, Oct. 1985.
- [9] Richardson I M, Nixon J H, Nosal P, Hart P and Billingham J 'Deepwater Hyperbaric GMA Welding', IIW Doc SCUW 176-99, 1999.
- [10] Richardson I M, Nixon J H, Nosal P, Hart P, and Billingham J 'Hyperbaric GMA Welding To 2,500m Water Depth', Proc. Joint International Conf. ETC/OMAE 2000, paper OMAE 2000 - 2160, New Orleans, USA, February 14-17 2000.
- [11] Hart P R, Richardson I M, Billingham J, Nosal P and Nixon J H 'Underwater Joining to 8,200ft - An Alternative to Mechanical Connectors', Proc. Int. Conf. Deepwater Pipelines and Risers Technology, Houston, Texas, 6-8th March 2000.
- [12] Hart P, Richardson I M and Nixon J H 'The Effects of Pressure on Electrical Performance and Weld Bead Geometry in High Pressure GMA Welding', IIW Doc SCUW 187-00, 2000.
- [13] Richardson I M, Nixon J H, Billingham J and Hart P R 'Fusion Welding to 2,500m Water Depth' Paper presented at the international conference IOCE Subsea 2000, Aberdeen, 3-5th October 2000.
- [14] Nixon J H, Hart P R and Richardson I M 'Diverless Underwater Welding: Theory and Operation', Proc. Int. Conf. ICAWT 2000: Gas Metal Arc Welding For The 21st Century, Orlando, Florida, December 6-8, 2000.
- [15] Hart P, Richardson I M and Nixon J H 'The Effects of Pressure on Electrical Performance and Weld Bead Geometry in High Pressure GMA Welding', Welding in the World, Vol. 45, No. 11/12, pp25-33, 2001.
- [16] Nosal P 'Metallurgical Investigation of Hyperbaric Welding at Pressures to 250bar for Repairs to Deep Sea Pipelines', Ph.D Thesis, Cranfield University, February 2002.
- [17] Richardson I M, Woodward N J and Billingham J 'Deepwater Welding for Installation and Repair - A Viable Technology' Proc. 12th Int. Conf. on Offshore and Polar Engineering (ISOPE), Kita-Kyushu, Japan, May 2002.
- [18] Richardson I M, Woodward N J, and Billingham J 'Diverless Underwater GMA Welding' SCUW-197-02, June 2002.
- [19] Blackman S A, Richardson I M and Woodward N J 'Hyperbaric Repair and Hot Tapping of Deepwater Pipelines and Risers', Proc. 2nd Int. Conf. 'Recent Developments and Future Trends in Welding Technology', Cranfield University, 4-5 Sept. 2003.
- [20] Mariño R D 'Metallurgical Investigation of Welds Produced Under Deepwater Hyperbaric Conditions of 160 Bar', M.Sc Thesis, Cranfield University 2003.
- [21] Berge J O, Armstrong M A P and Verley R L P 'Deep Water Remote Pipeline Repair Using Welded Sleeve Technique', IPC04-0583, International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, Canada, Oct 4 - 8, 2004.
- [22] Abson D J, Dolby R E and Hart P H M, 'The role of non-metallic inclusions in ferrite nucleation in carbon steel weld metals', Trends in Steels and Consumables for Welding, The Welding Institute, 1978, pp 75-89
- [23] Ogunbiyi B, Norrish J 'Monitoring Indices for Metal Transfer in the GMAW Process', Sc. and Technology of Welding and Joining, Vol 2 No 1, 1997.

MT-KOMEX d.o.o.

Preduzeće za proizvodnju, promet i usluge

Peći za sušenje elektroda:



Tip MT-100

Tehnički podaci :

1. Dimenzije : 790 x 600 x 650 mm
2. Sušenje se obavlja uz prirodnu cirkulaciju vrelotog vazduha
3. Temperatura sušenja do 400 C
4. Proces sušenja vodi elektronski termoregulator sa očitavanjem temperature na displeju
5. Kapacitet do 100 kg elektroda
6. U komori se može sušiti prah za EPP postupak
7. Snaga uređaja 5 kW
8. Napon 380 V, 50 Hz



Tip MT-20

Tehnički podaci :

1. Dimenzije : 220 x 220 x 700 mm
2. Komora je toplotno izolovana
3. Sušenje se obavlja uz prirodnu cirkulaciju vrelotog vazduha
4. Temperatura sušenja do 300 C
5. Proces sušenja je automatizovan
6. Kapacitet do 20 kg elektroda
7. Snaga uređaja 1.65 kW
8. Napon 220 V, 50 Hz



Tobolac

Tehnički podaci :

1. Sušenje se obavlja uz prirodnu cirkulaciju vrelotog vazduha
2. Kapacitet do 10 kg elektroda
3. Snaga uređaja 125 W
4. Napon 75 V, (uređaj radi na zavarivačkom naponu aparata za zavarivanje)

Delatnost preduzeća u oblasti zavarivanja

- Servis i rezervni delovi svih proizvođača opreme za zavarivanje
- Proizvodnja uređaja i rezervnih delova
- Reparturno zavarivanje u svim postupcima
- Iznajmljivanje aparat za MIG/MAG zavarivanje