

OPTIMIZAREA PROCESULUI DE SUDARE SUB APĂ ÎN MEDIUL PROTECTOR DE GAZE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE INDUSTRIALĂ
de către

Ing. Mariana Pârvu

Conducător științific: prof.dr.ing. Dorin Dehelean
Referenți științifici: prof.dr. ing. Emil Constantin
prof.dr.ing. Dănuț Mihăilescu
prof.dr.ing. Livius Miloș

Ziua susținerii tezei: 14.02.2011

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | 12. Ingineria sistemelor |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2011

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

O preocupare actuală din domeniul sudării este legată de optimizarea condițiilor de realizare prin sudare a unor structuri portante exploatate în condiții extreme. Între aceste structuri o importanță deosebită o au structurile imerse care funcționează în mediu acvatic ca, de exemplu, structurile offshore pentru exploatarea unor resurse naturale (țiței și gaze naturale), centralele eoliene offshore aflate în mediu marin, conductele submarine. Sudarea subacvatică este necesară în aceeași măsură pentru realizarea și repararea unor nave de mari dimensiuni, a unor docuri, construcții portuare și baraje.

Sudarea sub apă este cunoscută de aproape un secol fiind aplicată în ultimele 7-8 decenii cu preponderență la lucrări de reparării a structurilor imerse. Probleme legate de calitatea nesatisfăcătoare a sudurilor executate sub apă a limitat aplicarea sudării sub apă, aproape în exclusivitate, la lucrări de reparare a acestor structuri.

Progresele obținute în ultimii ani prin cercetările efectuate au condus la îmbunătățirea calității sudurilor sub apă și la posibilitatea de utilizare a acestei tehnici la realizarea unor structuri noi. În cele mai multe cazuri, se utilizează procedeul de sudare manuală cu electrozi înveliți, ceea ce face ca productivitatea și eficiența lucrărilor de sudare sub apă să fie reduse.

Teza de doctorat se înscrie în aceste preocupări, propunându-și ca obiectiv realizarea unei optimizări tehnologice a procesului de sudare sub apă în condiții umede, pentru cazul utilizării unui procedeu de sudare cu arcul electric de mare eficiență – sudarea în mediu de gaz protector.

La alegerea tematicii tezei a contribuit și activitatea îndelungată a doctorandului în domeniul lucrărilor subacvatice, inclusiv a celor de sudare. Doctorandul activează de 28 ani în Centrul de Scafandri Constanța fiind prima femeie din România brevetată ca scafandru. Rezultatele activității din domeniul sudării sunt materializate prin două brevete de invenție înregistrate la OSIM, respectiv, lucrări publicate în reviste sau comunicate.

Autorul a elaborat teza de doctorat cu speranța că lucrarea va prezenta interes în cercurile de specialiști și se va dovedi utilă în dezvoltarea pe plan național a tehnicilor de sudare subacvatică și va fi aplicată de către firmele ce au în activitate sudarea subacvatică.

Timișoara, ianuarie 2011

Mariana Pârvu

Autorul dorește să mulțumească pe această cale D-lui Prof.dr.ing. Dorin DEHELEAN, conducătorul științific al tezei de doctorat, pentru îndrumarea și sprijinul acordat pe parcursul elaborării lucrării. De asemenea, autorul își face o datorie de onoare în a aduce cele mai calde mulțumiri D-rei dr. ing. Clara BOARNĂ pentru ajutorul moral și spiritual acordat pe perioada elaborării tezei de doctorat.

Mulțumiri deosebite se cuvine a fi adresate D-nei Prof.dr.ing. Ionelia VOICULESCU de la Universitatea Politehnică din București pentru punerea la dispoziție a utilajelor și aparatelor necesare prelucrării și testării probelor sudate sub apă, D-lui Prof.dr.ing. Dănuț MIHĂILESCU de la Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați pentru materialele bibliografice trimise și colaborarea pe parcursul elaborării tezei de doctorat, D-lor dr.ing. Adrian CÂMPUREAN și dr.ing. Ștefan RIȚIU de la S.C. OMNISUD S.R.L. București pentru ajutorul acordat în realizarea standului experimental utilizat pentru efectuarea unor experimentări de sudare subacvatică și, nu în ultimul rând, colegilor de serviciu ing. Mirel CANTARAGIU și sing. IOAN Rădița pentru încurajările și sprijinul acordat pe tot parcursul elaborării lucrării.

Mulțumesc, de asemenea membrilor comisiei de doctorat, în persoanele domnilor, prof.dr.ing. Emil Constantin și celui care mi-a inspirat dorința de a aprofunda știința sudurii prof.dr.ing. Livius Miloș, în calitate de referenți ai lucrării și domnului prof.dr.ing. Liviu Bereteu în calitate de președinte al comisiei.

Aduc mulțumiri familiei mele pentru înțelegere și tuturor celor care mi-au oferit o susținere morală, profesională și materială.

Pârvu, Mariana

Optimizarea procesului de sudare sub apă în mediul protector de gaze

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr. 30, Editura Politehnica, 2011, 166 pagini, 138 figuri, 31 tabele.

ISSN: 1842-8967

ISBN: 978-606-554-250-1

Cuvinte cheie: sudare umedă; autoprotecție; calitate; certificare, structuri imerse; apă dulce, apă sărată, presiune, sudare MIG/MAG.

Rezumat, Lucrarea este structurată pe 6 capitole și doua anexe cu următorul conținut:

Capitolul 1 prezintă generalități privind sudarea subacvatică în condiții umede și uscate, precum și particularități ale diferitelor tehnici de sudare, respectiv efectele mediului acvatic asupra personalului operator.

Capitolul 2 cuprinde analiza comportării unui arc electric în apă. O atenție specială este acordată pungii de gaz care se formează în vecinătatea arcului electric.

Capitolul 3 abordează problematica procedurii de sudare MIG/MAG sub apă în condiții umede. Se prezintă modulurile de transfer al materialului la sudare insistându-se asupra transferului global specific condițiilor de sudare abordate în teză pentru cazul utilizării unei sârme tubulare cu autoprotecție.

În capitolul 4 sunt discutate aspectele de calitate specifice realizării structurilor subacvatice. Având în vedere importanța calificării corespunzătoare a sudorilor și a personalului pentru examinare nedistructivă la realizarea unor structuri sudate sub apă se discută cerințele pentru instruirea, calificarea și certificarea acestora.

În capitolul 5 se prezintă programul experimental derulat de autor ce cuprinde experimentări de sudare sub apă prin procedeul MIG/MAG în condiții umede (în apă sărată și apă dulce) și uscate în variantele cu sârmă plină și protecție gazoasă, respectiv cu sârmă tubulară cu autoprotecție, respectiv, ca bază de comparație, sudare cu electrozi înveliți.

Capitolul 6 prezintă concluziile generale și contribuțiile originale ale tezei, cât și direcții viitoare de cercetare în domeniul sudării sub apă.

Având în vedere caracterul deosebit al activităților subacvatice în anexele 1 și 2 ale tezei sunt sintetizate informații privind echipamentele, instalațiile și tehnicile de scufundare, respectiv terminologia folosită în scufundare.

CUPRINS

CUVÂNT ÎNAINTE.....	3
CAPITOLUL 1. SUDAREA SUBACVATICĂ.....	8
1. Generalități privind sudarea subacvatică.....	8
1.1. Sudarea umedă.....	9
1.2. Sudarea în mediu uscat	10
a. Sudarea în mediu uscat prin utilizarea unui batardou.....	11
b. Sudarea în mediu uscat prin utilizarea unei camere etanșe.....	12
c. Sudarea în camera hiperbară.....	13
d. Sudare cu uscare locală	14
1.3. Condiții de mediu la sudarea sub apă.....	15
1.3.1. Influența răcirii rapide asupra procesului de sudare sub apă.....	15
1.3.2. Influența creșterii presiunii la locul sudării în funcție de adâncime asupra proceselor metalurgice la sudarea sub apă.....	16
1.3.3. Influența creșterii cantității de hidrogen asupra procesului de sudare sub apă	17
1.3.4. Influența scăderii vizibilității în apă asupra procesului de sudare sub apă	18
1.3.5. Influența apei asupra procesului de sudare cu arc electric	18
1.4. Efectele mediului asupra sudurilor. Riscuri la sudarea sub apă	18
1.5. Procedee de sudare sub apă	19
1.6. Dezvoltarea sudurii sub apă în lume	20
1.7. Dezvoltarea sudurii subacvatice în România	22
CAPITOLUL 2. ARCUL ELECTRIC SUB APĂ.....	24
2.1. Generalități.....	24
2.2. Geometria arcului electric sub apă.....	24
2.3. Repartiția căderii de tensiune pe coloana arcului electric sub apă.....	26
2.4. Temperatura coloanei arcului electric sub apă.....	27
2.5. Potențialul efectiv de ionizare a gazelor în spațiul arcului electric sub apă.....	29
2.6. Punga de gaze aferentă arcului electric care arde sub apă.....	29
2.7. Influența presiunii asupra arcului electric de sudare.....	31
CAPITOLUL 3. SUDAREA MIG-MAG SUB APĂ.....	33
3.1. Generalități privind procedeul de sudare MIG-MAG subacvatic.....	33
3.2. Transferul metalului topit la sudarea MAG.....	35
3.3. Sudarea MAG cu sârmă tubulară	39

6 Cuprins

3.4. Particularități ale sudării MAG sub apă	41
CAPITOLUL 4. CALITATEA ȘI CONTROLUL ÎMBINĂRILOR SUDATE SUBACVATICE.....	43
4.1. Introducere.....	43
4.2. Procedee de control nedistructiv aplicabile la structuri imerse	44
4.3. Controlul vizual	47
4.4. Controlul cu pulberi magnetice.....	51
4.5. Controlul cu ultrasunete.....	52
4.6. Controlul cu radiații	54
4.7. Pregătirea în vederea executării controlului.....	55
4.8. Instruirea, calificarea și certificarea personalului operator pentru sudarea sub apă	56
4.8.1. Calificarea și certificarea sudorilor	56
4.8.2. Calificarea și certificarea operatorilor pentru examinare nedistructivă	59
CAPITOLUL 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU OPTIMIZAREA PROCESULUI DE SUDARE MAG SUB APĂ.....	61
5.1. Cercetări experimentale privind sudarea subacvatică umedă cu electrozi înveliți.....	62
5.1.1. Analiza influenței parametrilor de sudare asupra calității sudurilor 5.1.1.1. Depunerea prin sudare	62
5.1.1.2. Sudarea în colț prin suprapunere	66
5.1.2. Investigarea influenței adâncimii apei asupra procesului de sudare în apă	68
5.2. Sudarea MAG subacvatică cu uscare locală.....	73
5.2.1. Realizarea instalației de sudare MAG	73
5.2.2. Cercetări experimentale de sudare MIG-MAG cu uscare locală	77
5.3. Cercetări experimentale privind sudarea subacvatică mecanizată MAG în mediu uscat	82
5.3.1. Program experimental	83
5.3.2. Rezultate obținute	85
5.4. Sudarea subacvatică umedă cu sârmă tubulară cu autoprotecție.....	93
5.4.1. Echipamentul pentru sudare.....	93
5.4.2. Materiale utilizate.....	97
5.4.3. Programul experimental de sudare	98
5.4.3.1. Experiment 1: Depuneri prin sudare în apă dulce	99
5.4.3.2. Experiment 2: Depuneri prin sudare în apă sărată	107
5.4.3.3. Experiment 3: Suduri de colț în apă dulce	113
5.4.3.4. Experiment 4: Suduri de colț în apă sărată	117
5.4.3.5. Experiment 5: Suduri cap la cap în apă dulce	120
5.5. Concluzii finale	123
CAPITOLUL 6. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE.....	127
6.1. Concluzii generale.....	127
6.2. Contribuții originale.....	131
6.3. Direcții de cercetare viitoare.....	131

BIBLIOGRAFIE	133
ANEXA 1. Elemente legate de scufundare - decompresie. Tehnici de scufundare. Instalații și echipamente folosite în operațiile de scufundare pentru realizarea experimentului.....	140
ANEXA 2. TERMINOLOGIE DE SCUFUNDARE.....	161

CAPITOLUL 1

SUDAREA SUBACVATICĂ

1. Generalități privind sudarea subacvatică

Sudarea este prezentă astăzi în toate sectoarele industriale ca un procedeu tehnologic de neînlocuit, ajuns la maturitate. Au fost dezvoltate o serie de procedee și tehnici de sudare de mare eficiență care asigură îndeplinirea cerințelor de calitate la cele mai înalte standarde. În marea majoritate a situațiilor practice, procesul de sudare se desfășoară la presiunea atmosferică.

În ultimul timp a apărut însă din ce în ce mai frecvent în aplicații practice de mare importanță necesitatea realizării procesului de sudare în condiții deosebite ca, de exemplu, în apă sau în vid.

Realizarea sudării în mediul acvatic are o puternică motivație economică prin eliminarea necesității de a ridica la suprafață (andoca) o structură care funcționează în apă. Astfel de structuri care pot necesita operații de sudare sunt nave, docuri, conducte. O dată cu dezvoltarea activităților de realizare și reparare a structurilor offshore de exploatare a zăcămintelor de petrol, rezolvarea acestei probleme de mare complexitate sub aspect științific și practic, s-a pus cu o intensitate crescută.

Aplicațiile principale ale sudării sub apă se referă la construcția unor nave de mare dimensiuni, dimensiuni care depășesc capacitatea docurilor existente, repararea și mentenanța navelor, a barajelor, a construcțiilor offshore. Materialul de bază care se sudează este, în cele mai multe cazuri, oțel. Sudarea poate avea loc în apă sărată (cazurile cele mai frecvente) sau în apă dulce.

Sudarea în mediu acvatic se realizează, în general, cu dificultate mai mare decât în atmosferă datorită, în primul rând, prezenței unei presiuni mărite ca urmare a adâncimii de lucru, precum și datorită efectelor de răcire a sudurii cauzate de apă, a pericolelor de explozie asociate acumulărilor de hidrogen și oxigen, produși prin electroliza apei și, în general, a dificultăților prezenței factorului uman la locul sudării.

Lucrările de sudare în mediu acvatic pot avea loc la adâncimi relativ reduse a apei (practic, aproape de suprafața apei, „shallow”), ca în cazul reparațiilor la structuri offshore, sau la adâncime mare ce poate ajunge la câteva sute de metri (maxim peste 2500 m).

În principiu, sudarea sub apă poate fi realizată în două moduri diferite, figura 1.1:

- a) În mediu umed (sudare umedă) – caz în care procesul de sudare se realizează direct la presiunea ambientală, atât sudorul, cât și piesa care se sudează aflându-se în apă;
- b) În mediu uscat (sudare uscată) – caz în care piesa, eventual și sudorul se află într-un mediu uscat realizat prin asigurarea unei bariere care să excludă prezența apei la locul sudării.

În practică s-a încetățenit terminologia „sudare sub apă” pentru cazul sudării umede, respectiv „sudare hiperbară” pentru cazul sudării uscate. La începutul aplicării sudării subacvatice calitatea îmbinărilor sudate a fost relativ scăzută, sudurile prezentând defecte ,în primul rând, o porozitate excesivă, și caracteristici mecanice (ductilitate) scăzute. Ca urmare a cercetărilor efectuate în diferite centre de cercetare din întreaga lume, astăzi este posibilă obținerea unor suduri de calitate corespunzătoare prin utilizarea, în primul rând, a sudării în mediu uscat.

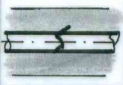
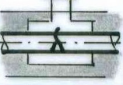

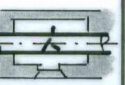
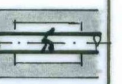
mod de sudare	SUDAREA UMEDA	SUDAREA USCATA			
procedee de sudare	umeda	utilizare batardou	camera etansa	camera hiperbara	uscarea locala
reprezentare schematica					
SUPRAFATA APEI LA MALUL APEI		~ 20 m			
SUBACVATIC	350 m ~ 450 m		300 m	450 m ~ 600 m	200 m

Figura 1.1. Tehnici de lucru la sudarea subacvatică,[80].

1.1. Sudarea umedă

Sudarea umedă este acea sudare subacvatică la care atât sudorul, cât și procesul de sudare se află în contact direct cu apa, figura 1.2. Sudorul este calificat și echipat ca scafandru.

Sudarea umedă este cel mai utilizat mod de sudare în apă și prezintă avantajul că nu necesită echipamente speciale de lucru sub apă. Sudarea umedă se poate utiliza în locuri greu accesibile și până la o adâncime de maxim 450m.

O problemă dificilă a sudării umede este determinată de dificultatea de obținere a unor îmbinări sudate de calitate înaltă și fără defecte de sudare.



Figura 1.2. Sudarea umedă

În general, sudarea umedă se realizează folosind un procedeu de sudare cu arcul electric, în primul rând, sudarea manuală cu electrozi înveliți și, mai ales în ultimii ani, sudarea MIG/MAG.

1.2. Sudarea în mediul uscat

La sudarea în mediu uscat locul sudării, eventual și sudorul, nu se află în contact direct cu apa, apa fiind îndepărtată prin mijloace speciale. Sudarea uscată poate fi realizată în următoarele variante conform figuri 1.1:

- prin utilizarea unui batardou;
- prin utilizarea unei camere etanșe;
- în cameră hiperbară;
- cu uscare locală .

Tehnica de sudare uscată poate fi aplicată într-un domeniu larg de adâncimi ale apei (de la nivelul suprafeței până la adâncimi de 600m). Această tehnică prezintă o serie de avantaje :

- se obține o sudură de calitate bună, comparabilă cu cea obținută la sudarea clasică (în aer);
- se asigură siguranța și securitatea sudorului (scafandruului sudor) prin asigurarea condițiilor de sudare într-un spațiu uscat, izolat față de mediul înconjurător (apa);
- suprafața sudurii poate fi controlată permanent;
- se poate utiliza un procedeu de sudare automată;
- se poate folosi oricare din procedeele de sudare cu arcul electric.

Există însă și câteva inconveniente:

- necesită un echipament complex (și costisitor) pentru asigurarea habitatului de lucru;
- în cazul unor adâncimi mari și foarte mari procesul de sudare este influențat de presiunea la locul sudării;
- necesită o mare susținere de la suprafață, astfel că, întotdeauna, echipa de suprafață trebuie să fie formată atât din specialiști în sudare, cât și din specialiști în scufundare în saturajie;

- pentru sudări executate la mare adâncime este necesară parcurgerea unei proceduri complicate derulate pe o instalație complexă (și costisitoare) pentru readucerea personalului sudor la condițiile atmosferice, figura 1.3.
- costul acestor lucrări este foarte mare și, de aceea, se utilizează numai pentru reparații complexe.

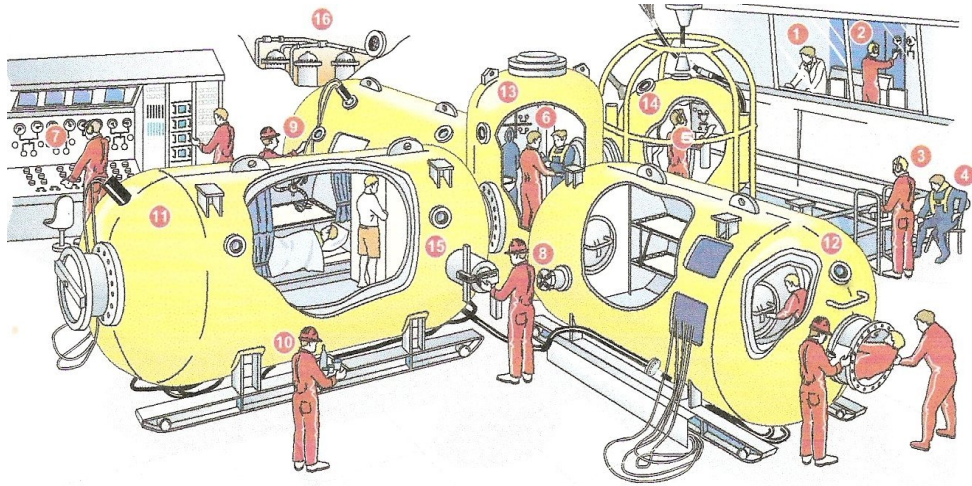


Figura 1.3. Ansamblul instalației de scufundare în saturatie, utilizată pentru sudarea hiperbară la adâncimi mari

a. Sudarea în mediu uscat prin utilizarea unui batardou

Batardoul este un recipient metalic deschis la partea superioară, utilizat curent la lucrări portuare ca, de exemplu, reparare a corpului navelor sau diferite intervenții în docuri umede realizate la adâncimi relativ reduse. În timpul lucrului apa este eliminată din batardou. Recipientele respective îmbracă structura care se sudează, locul sudării aflându-se în mediu uscat figura 1.4,[4]. Sudarea se efectuează, de regulă, la presiunea atmosferică. În felul acesta, sudorul nu este echipat ca scufandru și nu trebuie să fie calificat ca scufundător.

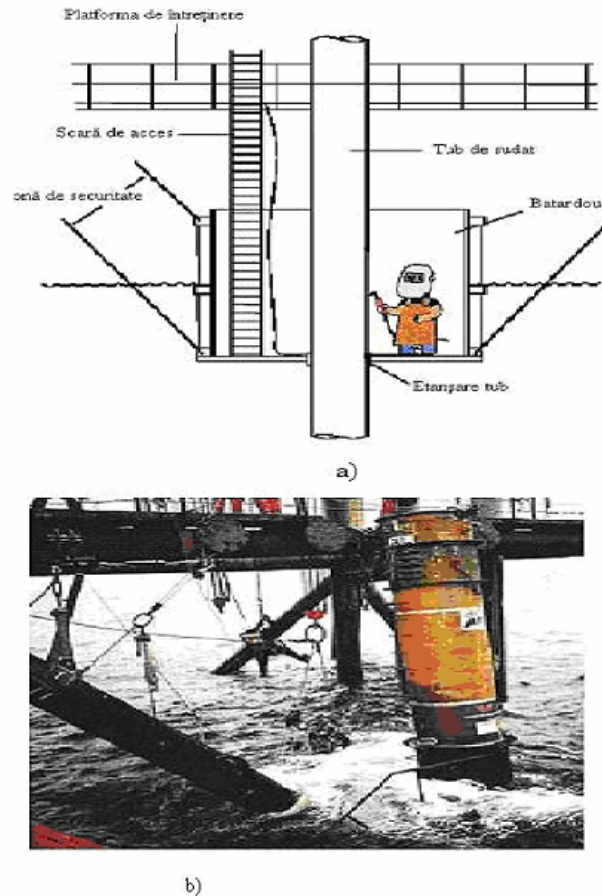


Figura 1.4. Folosirea unui batardou la sudarea subacvatică, a – principiul sudării cu ajutorul unui batardou, b - amplasarea batardoului pe o structură metalică.

Sudarea poate fi executată, de regulă, cu un procedeu de sudare cu arcul electric, în primul rând, sudare WIG, sudare manuală cu electrod învelit sau sudare MAG.

b. Sudarea în mediu uscat prin utilizarea unei camere etanșe

În acest caz, sudarea se realizează cu utilizarea unei camere etanșe, figura 1.5, [80], care acoperă complet ansamblul care se sudează. După înlăturarea apei, presiunea în interiorul acestei camere este adusă la nivelul presiunii atmosferice.

Apa este înlăturată din interiorul habitatului cu aer sau un gaz inert. Sudorul are echipament și calificare de scafandru. În funcție de mărimea camerei, scafandru sudor este introdus complet sau parțial în apă (exclusiv mâinile).

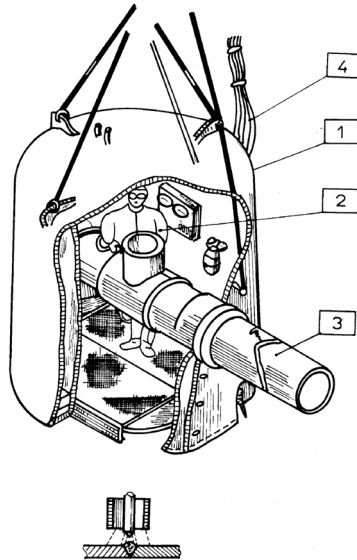


Figura 1.5. Sudarea în mediul uscat cu cameră etanșe.

1 – cameră etanșe; 2 – scafandru sudor; 3 – conductă de sudat; 4 – cabluri și furtune de alimentare.

c. Sudarea în camera hiperbară

Este o metodă de sudare uscată realizată într-o cameră în care presiunea este cu 0,5 bari mai mare decât presiunea mediului ambiant (presiunea mediului ambiant fiind dată de adâncimea la care se găsește respectiva instalație care trebuie reparată), figura 1.6.[80]. Metoda se pretează pentru utilizare la adâncimi mari și foarte mari.

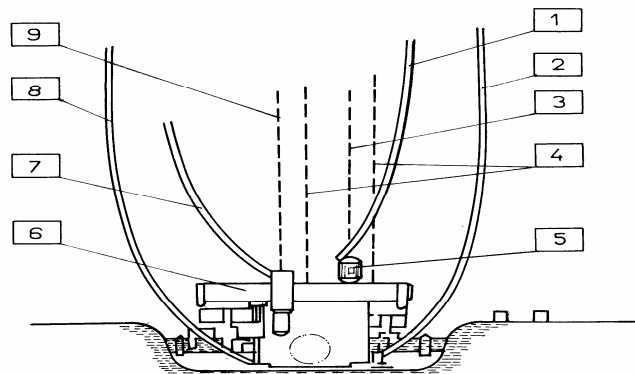


Figura 1.6 Sudarea hiperbară cu habitat închis.

1 - cablul de alimentare a clopotului; 2 - cablul hidraulic; 3 - cablul de manevră a clopotului ; 4 - cablul de ghidare a clopotului; 5 - clopot ; 6 - cadru de montare ; 7 - cablul de alimentare a camerei de evacuare; 8 - cablul de alimentare a capului de sudare; 9 - cablul de manevră a camerei de evacuare.

Sudorul nu poartă echipament de scafandru, iar în interiorul camerei fiind un mediu de gaz, de regulă, amestec de oxigen și heliu. Această atmosferă este favorabilă efectuării de lucrări în saturație, deci pentru adâncimi de apă mari și foarte mari.

Procedeele de sudare utilizate frecvent sunt sudarea WIG, sudarea MIG/MAG și sudarea manuală cu electrod învelit. Cu titlu de exemplu se prezintă sudarea unei conducte petroliere sub apă, figura 1.7, [24], caz pentru care este nevoie de o ședere sub apă mai mare de 48 ore.

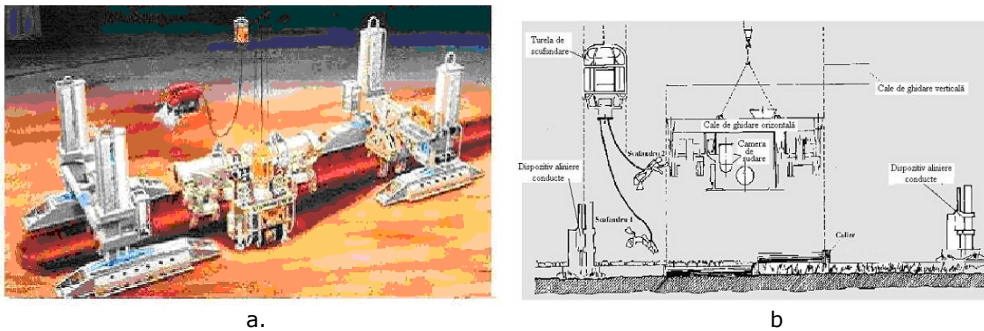


Figura 1.7. Exemplu de sudare în camera hiperbară, a – fotografia instalației de sudare hiperbară; b – schema instalației de sudare hiperbară.

d. Sudare cu uscare locală

În acest caz, piesa și sudorul se află în apă, iar în zona sudurii apa este înlăturată printr-un recipient cu un panou transparent umplut cu gaz și amplasat deasupra îmbinării, figura 1.8 [80]. Sudorul se află în apă, având doar brațele în interiorul recipientului.

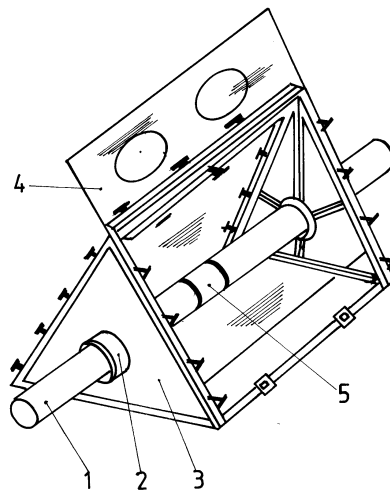


Figura 1.8. Sudarea cu uscare locală. 1 - conductă; 2 – sistem de etanșare; 3 – recipient; 4 – panou transparent; 5 – porțiune de conductă înlocuită.

Această variantă de sudare prezintă avantajul necesității unei instalații relativ simple în condițiile posibilității de realizare a unor suduri de bună calitate, specifice modului de sudare uscată.

1.3. Condiții de mediu la sudarea sub apă

Realizarea procesului de sudare în apă atrage după sine modificarea substanțială a condițiilor de mediu față de situația specifică sudării convenționale (în aer, la presiune atmosferică). Cele mai importante modificări se referă la:

- a) creștere substanțială a vitezelor de răcire în zona sudurii cu efect asupra producerii unor structuri dure, respectiv asupra condițiilor de producere a unor defecte de sudare ca porozitate sau incluziuni de zgură;
- b) creșterea substanțială a presiunii la locul sudării în funcție de adâncime;
- c) creșterea cantității de hidrogen ca rezultat al disocierii apei în cazul sudării cu arcul electric. Prezența hidrogenului combinată cu fragilizarea structurii poate favoriza producerea unor fisuri la rece;
- d) scăderea vizibilității în apă față de cea specifică în atmosferă, efectul crescând cu adâncimea, dar fiind influențat și de alți factori precum nivelul de curățenie al apei (mâl, aluviuni) sau eventuale turbulențe.

O importanță asupra procesului de sudare în apă îl are și tipul apei în care are loc sudarea. Aceasta poate fi sărată sau dulce, corespunzătoare unui mediu marin, respectiv fluvial.

În continuare se analizează influențele factorilor descriși mai sus.

1.3.1. Influența răcirii rapide asupra procesului de sudare sub apă

Răcirea materialului în zona sudurii depinde de parametrii de sudare, grosimea pieselor și temperatura apei.

Cu creșterea energiei arcului se produce o mărire a timpului de răcire ca urmare a scăderii vitezei de răcire,[69]. La aceeași energie a arcului viteza de răcire în apă este mult mai mare decât cea corespunzătoare răcirii în aer. În domeniul energiei considerate timpul are valori de cca. 6-16s în aer, dar scade la 2-7s în apă.

Creșterea grosimii materialului conduce la o mărire a vitezei de răcire. Cu scăderea temperaturii apei se produce o reducere a timpului de răcire.

Creșterea vitezelor de răcire are, așa cum s-a arătat, un efect negativ atât asupra structurii îmbinării sudate, conducând la fragilizarea ei prin constituenți structurali duri, cât și asupra pericolului de producere a unor defecte de sudare ca, de exemplu, pori sau incluziuni ca urmare a imposibilității gazelor de a părăsi materialul în timpul procesului de răcire și solidificare.

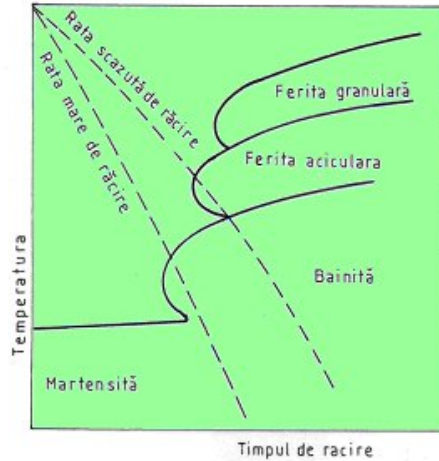


Figura 1.9. Influența vitezei de răcire rapide asupra microstructurii sudurii.

În figura 1.9.[55] se ilustrează principal pe o diagramă de transformare specifică unui oțel slab aliat efectul vitezei de răcire asupra structurii metalului. O dată cu creșterea vitezei de răcire se produce o scădere a cantității de ferită, corelată cu o creștere a cantității de bainită, ajungându-se la viteze foarte mari de răcire la o structura martensitică.

1.3.2. Influența creșterii presiunii la locul sudării în funcție de adâncime asupra proceselor metalurgice la sudarea sub apă

Așa cum s-a arătat, o dată cu creșterea adâncimii se produce o creștere a presiunii apei, creșterea fiind de cca. 1bar la fiecare 10m adâncime. Acest fapt influențează procesele metalurgice conducând la o modificare a compoziției chimice a materialului după cum urmează:

- conținutul de mangan și siliciu scade o dată cu creșterea presiunii;
- conținutul de oxigen crește o dată cu presiunea de lucru.

În figurile 1.10. și 1.11. este prezentată variația conținutului principalelor elemente de aliere în raport cu presiunea de lucru la care are loc procesul de sudare, [125].

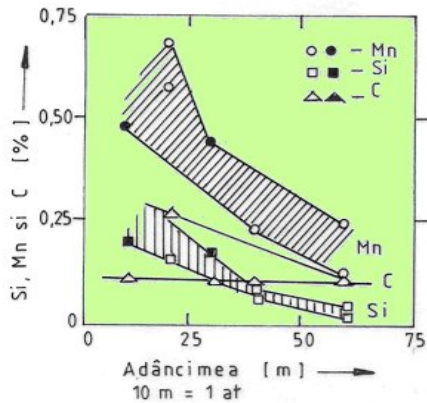


Figura 1.10. Variația elementelor de aliere în funcție de presiunea de lucru

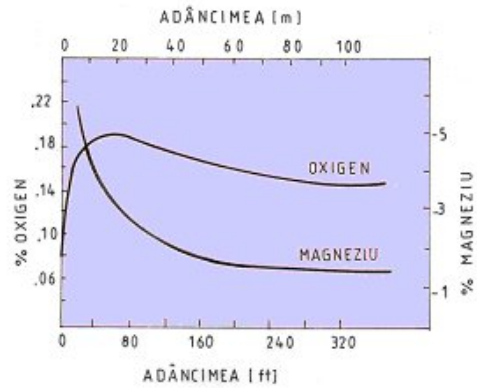


Figura 1.11. Variația conținutului de oxigen și mangan în funcție de presiunea de lucru

1.3.3. Influența creșterii cantității de hidrogen asupra procesului de sudare sub apă

Datorită reacțiilor de disociere care au loc în cursul procesului de sudare umedă se produce în zona băii metalice o acumulare masivă de hidrogen atomic și molecular. Viteza de răcire extrem de mare, specifică sudării sub apă, împiedică difuzia hidrogenului spre exterior și conduce la includerea hidrogenului atomic difuzibil în structura metalică și a hidrogenului molecular în porii care se formează în timpul solidificării băii.

În figura 1.12.este prezentat modul de difuziune al hidrogenului în metalul topit și în zona de influență termică, [53].

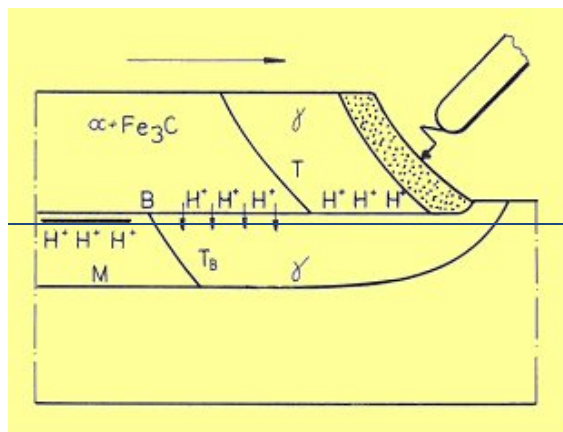


Figura 1.12. Modul de difuziune al hidrogenului în metalul topit și în zona de influență termică

Creșterea cantității de hidrogen cu creșterea adâncimii apei are ca efect o influențare negativă a stabilității arcului electric, fapt explicat de creșterea potențialului de ionizare al acestuia.

1.3.4. Influența scăderii vizibilității în apă asupra procesului de sudare sub apă

Vizibilitatea apei influențează negativ condițiile de execuție a sudării, mai ales în cazul sudării manuale sau semimecanizate. Vizibilitatea în apă este influențată de adâncimea apei și de nivelul de curățenie al acesteia. O influență negativă asupra vizibilității pot să o aibă și curenții subacvatici.

În general, vizibilitatea este mai mică în apă fluvială decât în mediu marin.

Pentru asigurarea unei vizibilități suficiente la locul sudării este necesară iluminarea corespunzătoare a acestuia.

1.3.5. Influența apei asupra procesului de sudare cu arcul electric

În cazul sudării sub apă cu arcul electric prezența apei are o serie de efecte asupra arcului electric.

Datorită presiunii hidrostatice mărite, coroborată cu efectul de răcire al volumului mare de apă adiacent sudurii, arcul electric în apă este constrâns, ceea ce are ca efect o creștere a temperaturii coloanei sale cu efecte asupra mărimii pătrunderii sudurii și a ratei de transfer a materialului de sudare.

Arcul electric este mai îngust la sudarea în apă de mare decât în apă dulce, ca urmare a influenței stabilizatoare a ionilor de sare produși în urma disocierii apei în arcul electric. Sarcina electrică suplimentară transmisă asigură o stabilitate mai mare a procesului de sudare în apă sărată comparativ cu sudarea în apă dulce. Se apreciază însă că acesta este un element minor, procesul de sudare nefiind influențat semnificativ de cele două tipuri de medii de apă [124].

Odată cu creșterea salinității apei, datorită disocierii sărurilor de magneziu, natriu, potasiu, calciu se reduce cantitatea de hidrogen și crește cantitatea de oxigen din sudură [54].

Având în vedere că, în general, sursa de putere este amplasată la suprafața apei, ceea ce înseamnă la o distanță relativ mare de locul de sudare, la sudarea sub apă sunt necesare valori mai ridicate ale puterii sursei electrice decât la sudarea în aer pentru a compensa pierderile de energie prin cablurile de alimentare de lungime mare. Sunt, necesare, de asemenea, presiuni mai mari pentru sistemele de alimentare cu gaze, aflate la suprafața.

1.4. Efectele mediului asupra sudurilor. Riscuri la sudarea sub apă

Sudarea sub apă are efecte și asupra sudurilor care sunt supuși unor condiții diferite de cele de la suprafață.

La sudarea în mediu umed sudorul trebuie să fie echipat cu echipament de scafandru. Acesta îi afectează însă negativ vizibilitatea și mobilitatea.

În general, pentru a asigura vizibilitatea necesară, mai ales la adâncimi mari, sunt necesare măsuri de iluminare a spațiului în care are loc sudarea.

Datorită vitezei mai mari de transmitere a sunetelor în apă decât în aer, sudorii în apă vor avea dificultăți în a identifica direcția sunetelor. În apă, ca urmare a absorbției luminii, fenomen cu o intensitate dependentă de lungimea de undă, spectrul culorilor este alterat cu creșterea adâncimii apei. În același timp, datorită

conductibilității mari a apei sunt necesare măsuri de izolare termică corespunzătoare a echipamentului de protecție, mai ales la temperaturi sub 10°C.

În final, se menționează că în apă se produce o mărire a dificultății de realizare a inspecției și controlului îmbinărilor sudate.

Efectuarea sudării sub apă cu arcul electric este asociată cu o serie de riscuri pentru persoanele implicate:

- a) electrocutare;
- b) pericol de explozie datorită posibilității de acumulare a gazelor (hidrogen și oxigen) produse de arcul electric în apă;
- c) efect periculos al azotului introdus în circuitul sanguin ca urmare a expunerii la presiune mare;
- d) efect al decompresiei la ieșirea din mediul acvatic a personalului. Pentru a evita acest efect cunoscut ca „boală a decompresiei” decompresia trebuie realizată urmând procedura specifică pentru scufundare în saturație, vezi Anexa 1.

La sudarea cu arcul electric sudorul trebuie să utilizeze o mască de protecție a cărei sticlă va fi mai deschisă decât la sudarea în aer datorită proprietăților de absorbție a luminii în apă. Pericolul cel mai mare pentru vederea sudorului este dat de radiația ultravioletă, radiația infraroșie fiind redusă în apă.

În ceea ce privește protecția împotriva electrocutării, echipamentul de scafandru minimizează acest pericol, sunt însă necesare măsuri speciale pentru izolarea părților din instalații aflate sub tensiune și limitarea tensiunilor de mers în gol a surselor electrice, respectiv măsuri operative de protecție prin controlul de la suprafață al surselor electrice și conectarea surselor de sudare doar pe durata efectivă a derulării procesului de sudare.

1.5. Procedee de sudare sub apă

Aproape toate procedeele de sudare existente pot fi utilizate la sudarea în apă. În decursul timpului au fost efectuate o serie de cercetări utilizând diferite procedee de sudare în urma cărora au fost stabilite măsuri specifice de utilizare în apă a acestora.

În mod practic, majoritatea aplicațiilor de sudare subacvatică este rezolvată prin sudare cu arcul electric.

Pentru sudare umedă se pretează, în special, sudarea cu electrozi înveliți, sudarea MIG/MAG și sudarea WIG.

În cazul sudării uscate se folosesc, în deosebi, sudarea cu electrozi înveliți, sudarea MIG/MAG cu sârmă plină sau tubulară, sudarea WIG și sudarea cu plasmă.

Cercetări recente au fundamentat însă și posibilitatea utilizării unor procedee de sudare moderne ca sudarea cu laser sau sudarea prin frecare cu element activ rotitor, [114]. O oportunitate deosebită o oferă procedeul de sudare prin frecare la care există posibilitatea automatizării procesului, nemaifiind necesară în acest caz, prezența sudorului (operatorului) la locul sudării.

În ceea ce privește adâncimea la care este posibilă sudarea sub apă, în general, aceasta este similară cu adâncimea care poate fi atinsă de un scufundător. O limitare a posibilității de sudare sub apă cu adâncimea apare însă la procedeele de sudare care utilizează gaze, datorită proceselor de lichefiere și descompunere a gazelor cauzate de operarea la presiuni mari și temperaturi scăzute, respectiv la procedee de sudare cu arc electric datorită valorilor ridicate ale puterii necesare pentru a produce un arc electric de lungime suficient de mare.

Procedeele de sudare utilizate în cele mai frecvente situații pentru sudarea sub apă sunt sudarea cu electrozi înveliți și sudarea MAG, ambele procedee fiind abordate în prezenta teză de doctorat. De aceea, se prezintă în continuare informații sintetice privind particularitățile aplicării procedurii de sudare cu electrozi înveliți la sudarea sub apă. Procedura de sudare MAG aplicat la sudarea sub apă este tratat în capitolul 3 al tezei.

Procedura de sudare manuală cu electrozi înveliți se aplică pe scară largă la operații de sudare sub apă, în primul rând, în varianta de sudare umedă. Din punct de vedere istoric, sudarea cu electrozi înveliți este primul procedeu de sudare aplicat la sudarea sub apă, mai ales la operații de reparare prin sudare.

Utilizarea acestui procedeu de sudare este simplă și nu presupune investiții majore în echipamentul de sudare. Scafandru sudor poate lucra liber pe orice structură aflată în apă, indiferent de complexitatea acesteia și indiferent de locul unde este ea amplasată. Calitatea sudurilor depinde însă în foarte mare măsură de îndemânarea și priceperea scafandru sudor.

Pentru sudare sunt necesari electrozi speciali având înveliș impermeabil. Prin arderea învelișului acestor electrozi se creează bule de gaz care îndepărtează apa din zona sudurii. În general, se utilizează electrozi de tip E6013 și E 7014 conform simbolizării AWS.

Sudarea se efectuează în curent continuu cu polaritate directă. Se utilizează surse de sudare standard cu adaptările necesare pentru lucru sub apă. În cazul operării la mari adâncimi se recomandă prevederea unor echipamente auxiliare pentru amorsarea și stabilizarea arcului electric.

Cu creșterea adâncimii apei alegerea parametrilor de sudare devine mai dificilă, domeniul de valori admisibile ale parametrilor de sudare restrângându-se. Pentru a menține o anumită lungime a arcului este necesară creșterea tensiunii sale. Datorită acestui aspect, precum și a pierderilor de energie pe cablurile lungi de sudare (lungimea cablurilor fiind dependentă de adâncime) sursele de curent trebuie să opereze cu tensiuni de mers în gol cât mai mari, dar sub valoarea maximă admisă în apă (65V în Europa și 110 V în SUA).

Procesul de sudare cu electrozi înveliți este caracterizat prin [96]:

- instabilități ale arcului cu efect asupra producerii unor suduri cu formă neregulată și incluziuni de zgură;
- duritate mare în zona influențată termic ca urmare a vitezei mari de răcire;
- conținut înalt de hidrogen în coloana arcului și în zona metalului depus ca rezultat al efectelor de disociere și, ca efect, pericol de fisurare la rece;
- concentrație mare de oxigen în zona coloanei arcului și în zona metalului depus având ca rezultat oxidarea materialului și scăderea concentrației elementelor de aliere, cu efect asupra caracteristicilor mecanice ale sudurii;
- dezintegrarea materialului învelișului și, ca efect, porozitate în sudură.

1.6. Dezvoltarea sudurii sub apă în lume

Dezvoltarea procedurilor de sudare și tăiere cu arcul electric în mediul subacvatic are la bază lucrările fizicianului H. Davy, care în anul 1802 a demonstrat că un arc electric poate fi amorsat și întreținut în apă. În anul 1898 Tichomicoff, Lidoff, Brening au prezentat posibilitatea de prelucrare a metalelor sub apă folosind

arcul electric. Suedezul Kjellberg care a brevetat electrozidul înveliș pentru sudare, în anul 1907 a arătat că prin folosirea arcului electric se poate depune metal sub apă. A apărut, astfel, posibilitatea efectuării unor suduri sub apă. În aceeași perioadă, Roberts și Van Nuys propun utilizarea unor gaze pentru protejarea metalului topit la sudarea în apă cu arc electric (heliu, argon, azot), [116].

În perioada interbelică din secolul trecut s-au efectuat cercetări susținute privind sudarea subacvatică în mai multe țări ca S.U.A., Germania, Anglia, U.R.S.S. și Japonia.

În timpul celui de-al doilea război mondial au fost folosiți pentru prima dată electrozi cu înveliș protejat cu un strat de lac. Aceștia au fost perfecționați mai târziu de către Van der Wiligen care a utilizat pentru înveliș diverse substanțe hidroprotectoare. După cel de-al doilea război mondial cercetările asupra sudării în apă iau amploare ca urmare a necesității reparării și scoaterii la suprafață a navelor avariate sau scufundate în timpul războiului.

Începând cu anii '60, ca urmare a dezvoltării industriei de foraj marin off-shore, crește semnificativ interesul acordat sudării subacvatice în mediu umed. În anul 1970 a fost realizată prima intervenție de sudare subacvatică în mediu umed, în apă dulce, pe construcția metalică a unui doc, de către firma Chicago Bridge&Iron Co. din S.U.A., iar în anul 1971 s-a efectuat prima reparație la o structură marină off-shore utilizându-se procedeul de sudare în mediul umed, figura 1.13, [125].

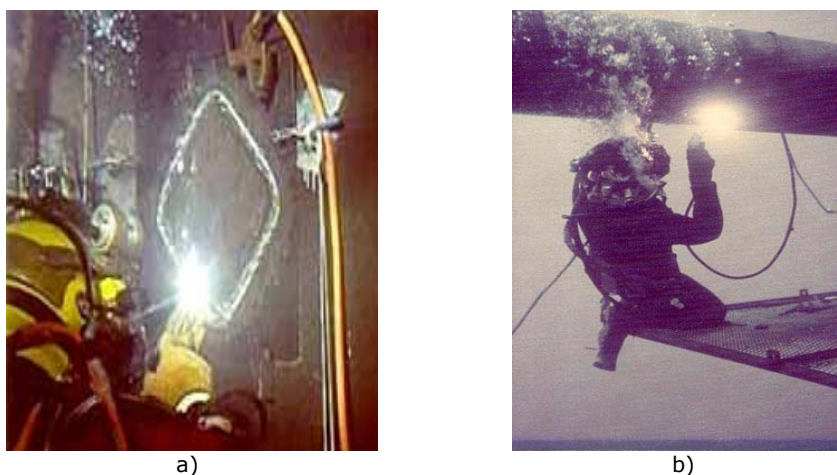


Figura 1.13. Repararea prin sudare în mediu umed: a) doc; b) conductă.

După anul 1970 au apărut firme specializate în sudarea sub apă care au utilizat în mod constant sudarea în mediu umed. Un moment important în evoluția sudării sub apă l-a constituit dezvoltarea de către Centrul de Cercetări GKSS din Geesthacht (Germania) și firma COMEX Service S.A. Marsilia (Franța) în cadrul unui proiect de anvergură suportat de Comunitatea Europeană a unui program specific pentru instruirea și calificarea scafandrilor pentru lucrări de sudare subacvatică, [16]. Mai târziu, Federația Europeană de Sudură EWF a elaborat un ghid unitar pentru calificarea personalului sudor pentru lucrări sub apă în mediu umed realizate prin sudare cu electrozi înveliși (Doc EWF 57-01).

În ceea ce privește sudarea în mediu uscat în anul 1965 se efectuează prima sudare în condiții hiperbare la adâncimea de 24 m la o magistrală de conducte submerse din Golful Mexic, [118]. De la această dată se dezvoltă preocupările

pentru dezvoltarea sudării în mediu uscat în condiții hiperbare, preocupări susținute de o serie de firme industriale ca Ocean Systems, Reading and Bates, Taylor Diving and Salvage Co., Ray McDermott, Sub Sea Int. (SUA) sau COMEX (Franța).

Au fost dezvoltate preocupări în domeniul sudării sub apă și în cadrul Institutului Internațional de Sudură IIW care a creat o comisie specială pentru această activitate.

1.7. Dezvoltarea sudării subacvatice în România.

În România primele lucrări de sudare sub apă au început în anul 1980 ele fiind realizate de către Centrul de Scafandri Constanța împreună cu I.S.I.M. Timișoara. În cadrul acestor lucrări s-au realizat o sursă specială pentru sudarea sub apă cu posibilitatea de operare la adâncimi până la 40m și electrozi de tăiere și sudare sub apă, [78].

În anul 1984 în Centrul de Scafandri a fost conceput un cap universal de tăiere și sudare sub apă, iar un an mai târziu, s-a realizat în colaborare cu IMRA București o instalație de sudare sub apă cu uscare locală în mediu protector de gaze MIG/MAG. Împreună cu DUCTIL Buzău s-au fabricat din anul 1987 electrozi speciali pentru tăiere și sudare sub apă. În perioada următoare s-au dezvoltat în Centrul de Scafandri o serie de echipamente auxiliare pentru sudarea în apă ca, de exemplu, un aparat de electrosecuritate pentru scafandri sudori montat pe sursa de sudare. Totodată, a fost conceput și realizat un simulator pentru instruirea scafandrilor, inclusiv a celor care efectuează lucrări de sudare sub apă, figura 1.14, [82].

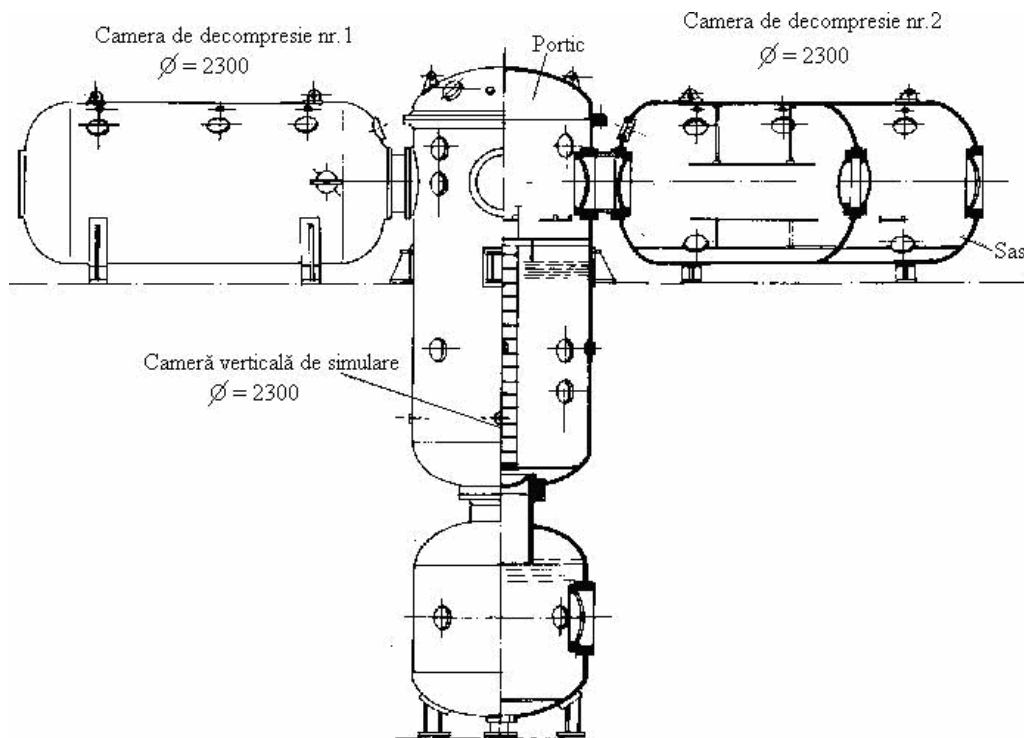


Figura 1.14. Simulator pentru experimentări sub apă în condiții hiperbare

La Universitatea „Dunărea de Jos” Galați au fost demarate în anul 1994 cercetări susținute în domeniul sudării sub apă. În mod special, s-a cercetat procesul de sudare sub apă, s-au studiat particularitățile sudării sub apă în condiții hiperbare, respectiv cu uscare locală prin procedeul MAG, [63]. A fost conceput și realizat un simulator pentru sudare sub apă în condiții mecanizate.

În perioada 2003 - 2005 la Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați s-au desfășurat cercetări privind sudarea mecanizată subacvatică hiperbarică MAG - M cu arc pulsat și sârmă tubulară, [64]. Aceste cercetări au necesitat adaptarea simulatorului de sudare subacvatică hiperbarică (realizarea unui alt pupitru de comandă, introducerea mecanismului de avans a sârmei electrod în incinta presurizată, realizarea unui dispozitiv pentru sudarea mecanizată în diferite poziții prevăzută cu un tractor de sudare).

În anul 2003 Centrul de Scafandri împreună cu Universitatea Politehnică București au realizat în cadrul unui proiect de cercetare finanțat public cu tema „Tehnologii de sudare în mediul protector de gaze MIG-MAG” o instalație modernă de sudare sub apă prin procedeul MAG.

Sudarea sub apă se aplică în prezent în România în deosebi la lucrări de reparații, procedeul utilizat cu precădere fiind sudarea manuală cu electrozi înveliți.



Figura 1.15. Repararea duzei la elicea unei corvete.

În figura 1.15 se prezintă un exemplu de reparație prin sudare sub apă a unei elice navale, [80].

CAPITOLUL 2

ARCUL ELECTRIC SUB APĂ

2.1 Generalități

Așa cum s-a arătat, H. Davy a arătat în 1802 că un arc electric poate fi amorsat și menținut în apă. Cu toate acestea, primele experiențe notabile datează de la începutul sec. XX. Cercetările efectuate la Universitatea Lehigh din S.U.A. au arătat că pentru a amorsa și întreține un arc electric în apă este necesară utilizarea curentului continuu [126].

2.2. Geometria arcului electric sub apă

Arcul electric sub apă este un arc constrâns, constricția fiind determinată de:

- acțiunea de răcire a hidrogenului și de presiunea coloanei de lichid;
- micșorarea petei catodice condiționată de mărimile geometrice ale coloanei arcului, care nu permit „împrăștierea” liberă a petei catodice odată cu creșterea curentului de sudare.

Geometria arcului electric și modul de trecere al picăturilor în spațiul arcului au fost studiate prin metode de filmare rapidă cu raze, filmarea optică rapidă a arcului electric fiind greu de realizat din cauza formării în timpul arderii arcului a unor particule de oxizi de fier care colorează apa [116]. În figura 2.1 este arătată schema de principiu a instalației de filmare rapidă cu raze a arcului electric sub apă.

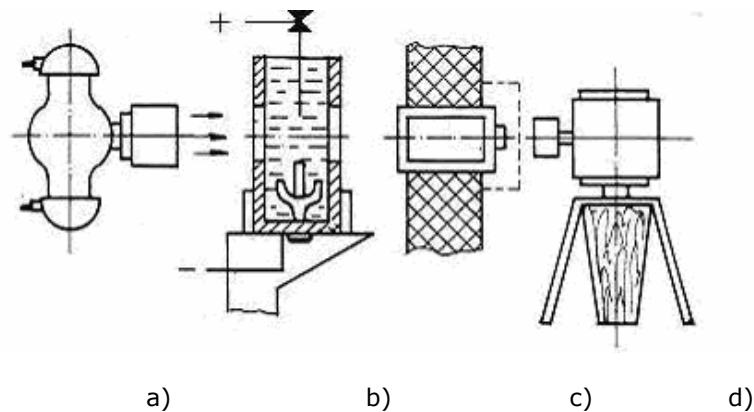
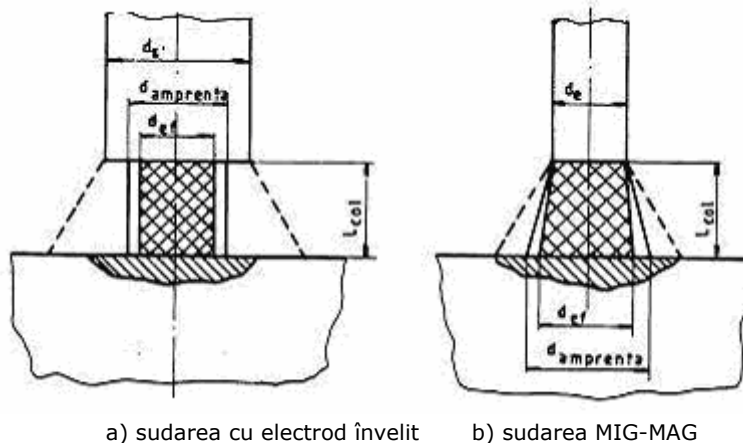


Figura 2.1. Schema de principiu a instalației de filmare rapidă cu raze.
a - sursa de raze ; b - recipientul de aluminiu în care se află piesa și apă;
c - caseta cu filmul; d - ecranul intensificator [116].

Utilizând filmarea rapidă cu raze s-au studiat particularitățile arcului electric sub apă pentru cazul utilizării a două procedee de sudare: sudare manuală cu electrozi înveliți și sudare în mediu de gaz protector MIG-MAG. Au fost obținute informații privind aspectul capătului electrozilor, al picăturilor de metal topit și al pungii de gaze care înconjoară arcul electric. S-a putut stabili astfel modul de trecere al picăturilor de metal topit în spațiul arcului electric la cele două procedee de sudare, [116]. Trecerea picăturilor prin spațiul arcului este diferită la sudarea manuală cu electrozi înveliți față de sudarea MIG-MAG. La sudarea MIG-MAG diametrul picăturilor este de 2 ... 3 ori mai mare decât diametrul sârmei electrod. Sub acțiunea curenților de gaz din interiorul pungii create în timpul arderii arcului electric, picăturile de metal topit care se desprind de sârma electrod, se mișcă un timp oarecare în interiorul pungii de gaze și apoi cad în baia topită. În același timp depunerea metalului la sudarea manuală cu electrozi înveliți are loc direct fără alte mișcări în interiorul pungii de gaz.

Prin metoda de filmare rapidă cu raze s-a arătat că, în cazul unui proces de ardere stabil și al formării corespunzătoare a sudurii, lungimea arcului electric la sudarea sub apă este de circa 2 - 3 mm, în timp ce lungimea arcului în momentul întreruperii lui este 7 - 8 mm.

Din analiza geometriei capătului electrodului, respectiv a materialului depus prin sudare sub apă s-a concluzionat că la sudarea manuală cu electrozi înveliți coloana arcului are formă cilindrică, în timp ce la sudarea MIG-MAG are forma unui trunchi de con orientat cu baza mică spre electrod (figura 2.2).



a) sudarea cu electrod învelit b) sudarea MIG-MAG

Figura 2.2. Formarea arcului electric de sudare, d_e - diametrul electrodului; d_s - diametrul sârmei electrod; d_{col} - diametrul coloanei arcului; l_{col} - lungimea coloanei arcului; d_a - diametrul amprente.

În urma măsurătorilor efectuate la sudarea manuală cu electrod învelit cu diametrul de 4.0 mm, respectiv la sudarea MIG-MAG cu diametrul de 1,2 mm, s-a stabilit că, în principiu, dependența diametrului coloanei arcului de curentul de sudare satisface relația lui Avilov

$$d_{col} = A\sqrt{I} \quad (2.1.)$$

Cea mai bună corespondență la sudarea sub apă se obține dacă $A = 0,11, [30]$.

2.3. Repartiția căderii de tensiune pe coloana arcului electric sub apă

Repartiția tensiunii arcului electric pe coloana arcului la sudarea sub apă este diferită la sudarea cu electrozi înveliți față de sudarea MIG-MAG. Aceasta se datorează modificării emisiei de electroni de la catod. Concentrarea căldurii, determinată de densitatea mare a curentului de sudare și conductibilitatea ridicată a coloanei arcului, determină creșterea gradientului potențialului arcului la sudarea cu sârmă electrod.

Modificarea gradientului de potențial al coloanei arcului la lungimi diferite ale arcului electric este specifică condițiilor de sudare sub apă și se datorează răcirii puternice a coloanei arcului și deionizării spațiului arcului ca urmare a pătrunderii hidrogenului. Pătrunderea hidrogenului în spațiul arcului electric are loc la lungimi ale acestuia care depășesc 3mm. Când lungimea arcului este mai mică, spațiului în care poate să ardă arcul electric este limitat astfel pătrunderea hidrogenului și, prin urmare, și acțiunea de deionizare a acestuia, sunt reduse.

Determinarea repartiției tensiunii în diferitele zone ale arcului electric s-a făcut cu ajutorul bilanțului energetic, luându-se în considerare un curent având intensitatea de 1A. Bilanțul energetic în zonele arcului electric se determină din ecuațiile corespunzătoare pentru catod, respectiv pentru anod [58]

$$Q_{\text{topire}} + Q_{\text{vaporizare}} = U_{\text{catod}} - \varphi \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{topire}} + Q_{\text{vaporizare}} = U_{\text{anod}} + \varphi \quad (2.3)$$

în care:

- Q_{topire} și $Q_{\text{vaporizare}}$ - energiile consumate la topirea, respectiv vaporizarea electrozilor (J)
- U_k și U_a - tensiunea în zona catodului, respectiv anodului (V)
- φ - energia consumată la ieșire (eV).

Rezolvând ecuațiile (2.2) și (2.3) se obțin:

$$U_{\text{catod}} = Q_{\text{topire}} + Q_{\text{vaporizare}} + \varphi \quad (2.4)$$

$$U_{\text{anod}} = Q_{\text{topire}} + Q_{\text{vaporizare}} - \varphi \quad (2.5)$$

Energia care se degajă în zona arcului consumată la topirea electrozilor se determină prin relația:

$$Q_{\text{topire}} = 0,575 \times K_{\text{topire}} \quad (2.6)$$

unde K_{topire} - coeficientul de topire al materialului electrodului (g/A.h)

La sudarea sub apă procesele termice se concentrează în zona arcului electric, electrodul rămânând practic rece, iar la sudarea în mediul protector de gaze lungimea capătului liber al sârmei electrod este de 12 ... 15 mm, se poate neglija consumul de energie aferent iradierii căldurii prin suprafața laterală a electrodului.

Consumul de energie la vaporizare se determină cu relația:

$$Q_{\text{vaporizare}} = 0,06 K_{\text{topire}} \frac{W_k - q}{\mu} \quad (2.7)$$

în care:

- W_k - energia de legătură a rețelei cristaline (J/kmol);
- q - energia metalului lichid ($1,14 \cdot 10^8$ J/kg.mol);
- μ - greutatea atomică a materialului electrodului.

Energia de legătură (pentru un Kmol) a rețelei cristaline se determină ca suma energiilor de sublimare W_s și de ionizare W_j :

$$W_k = W_s + W_j \quad (\text{J/kmol}) \quad (2.8)$$

Se consideră următoarele valori:

$$W_s = 9,4 \cdot 10^4 \cdot T_{\text{vaporizare}} \quad (\text{J/kmol})$$

$$W_j = 9,65 \cdot 10^7 \cdot U_j \quad (\text{J/kmol})$$

$$T_{\text{vaporizare}} = 3013 \text{ (K)}$$

$$U_j = 7,63 \text{ (V)}$$

Introducând aceste mărimi în relația (2.7) se obține o relație simplificată pentru determinarea consumului de energie la vaporizarea electrozilor cu sârma din oțel:

$$Q_{\text{vaporizare}} = 0,99 \cdot 10^6 \cdot K_{\text{topire}} \quad (2.9)$$

Înlocuind în relațiile (2.4) și (2.5) valorile obținute pentru $Q_{\text{vaporizare}}$ și Q_{topire} și considerând $\varphi = 4,18\text{V}$ se poate determina tensiunea catodică și tensiunea anodică pentru condițiile concrete,[58].

2.4. Temperatura coloanei arcului electric sub apă

La sudarea sub apă măsurarea directă a temperaturii coloanei arcului este dificilă. De aceea se preferă determinarea ei pe cale teoretică utilizând legea Ștefan-Boltzmann. Se consideră că arcul electric este un corp care își consumă energia prin radiația căldurii prin suprafața laterală. Radiația maximă are loc în domeniul celei mai mari lungimi de arc, de aceea, trebuie să se introducă un coeficient care să țină seama de capacitatea de radiație a arcului electric.

Coeficientul de absorbție pentru adâncimi mici (până la 1m), se poate considera $\alpha = 0,6$, stabilit în cazul arcului electric care arde în aer,[57].

Conform legii Ștefan-Boltzmann temperatura coloanei arcului se determină cu relația:

$$T^4 = \frac{IE \cdot L_{\text{col}}}{\alpha \cdot \sigma \cdot F} \quad (2.10)$$

unde:

L_{col} – lungimea coloanei arcului (cm);

α – coeficientul de absorbție;

F – suprafața prin care are loc radiația (cm²);

IE – puterea de radiație pentru 1 cm lungime coloană arc (W);

σ – constanta Ștefan-Boltzmann;

T – temperatura coloanei arcului (°K).

Ca suprafață de radiație a arcului se consideră suprafața laterală a unui cilindru pentru cazul sudării cu electrozi înveliți, respectiv suprafața laterală a unui con pentru cazul sudării cu sârmă electrod.

La determinarea relației de calcul a temperaturii coloanei arcului trebuie să se ia în considerare numai zona de echilibru termodinamic în care temperatura arcului și densitatea curentului nu se modifică. Zona de echilibru termodinamic este determinată cu ajutorul razei efective:

$$r_{\text{ef}} = 0,7 r_{\text{col}} \quad (2.11)$$

unde: r_{col} - este raza coloanei arcului.

Astfel temperatura coloanei arcului se determină în cazul adâncimilor mici, cu relația următoare:

$$T = \sqrt[4]{\frac{I E \cdot L_{col}}{\alpha \cdot \sigma \cdot F}} = \sqrt[4]{\frac{I E}{\alpha \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d_{ef}}} \quad (2.12)$$

Pentru calculul efectiv se adoptă următoarele valori:

- pentru cazul sudării cu electrozi înveliți:

$E = 62 \text{ V/cm}$;

$I = \text{curentul de sudare (A)}; \alpha = 0,6$;

$F = n d_{ef} L_{col}$. (arce electric de formă cilindrică) ;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12} \text{ W/cm grad}^{-4}$,

respectiv pentru cazul sudării cu sârmă:

$I E = 41 \text{ V/cm}$,

$F = L_{rupere} (R_{ef} - r_{ef})$ (arc electric de formă conică, [57]).

În tabelul 2.1 și figura 2.3 este prezentată variația temperaturii coloanei arcului în funcție de curentul de sudare și de adâncimea de scufundare a arcului sub apă.

Tabelul 2.1. Temperatura coloanei arcului la sudarea cu electrozi înveliți și sudarea în mediu de gaz protector în funcție de curentul de sudare și adâncimea de lucru

Curentul de sudare I_s [A]	Diametrul efectiv al coloanei arcului d_{ef} [cm]	Sârmă electrod			Electrod	
		L_{col} [cm]	Suprafața laterală a coloanei arcului F [cm ²]	Temperatura coloanei arcului T_{col} [K]	Lungimea coloanei arcului L_{col} [cm]	Temperatura coloanei arcului T_{col} [K]
100	0,077	0,202	0,064	8400	0,2	9300
200	0,108	0,205	0,074	9200	0,2	10200
300	0,133	0,210	0,083	9750	0,2	10700
400	0,154	0,260	0,112	10150	0,2	11100
500	0,169	0,317	0,146	10650	0,2	11500

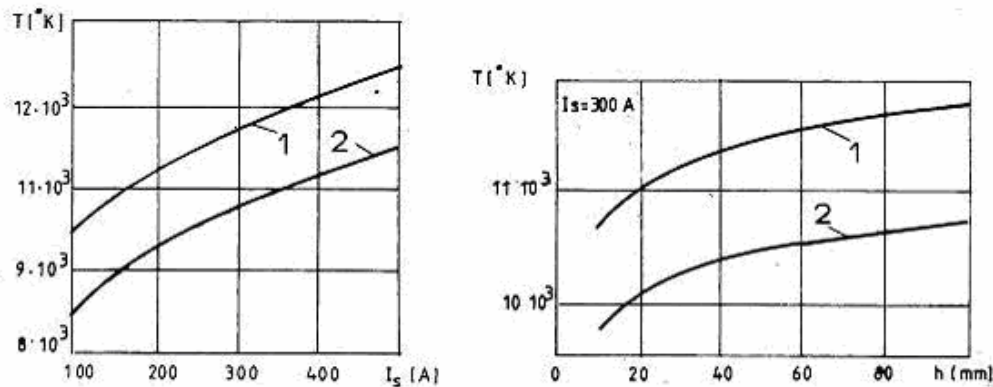


Figura 2.3. Variația temperaturii coloanei arcului în funcție de curentul de sudare și adâncimea de lucru la: 1 - electrozi de sudare; 2 - sârmă electrod

Cele prezentate anterior sunt valabile la sudarea sub apă în cazul unor adâncimi mici (până la 1m). Un interes deosebit îl prezintă însă determinarea temperaturii coloanei arcului la adâncimi peste 10 m, și anume pe un interval

cuprins între 1 ... 100 m (0,1 ... 11 at). Pentru aceasta, în relația de calcul a temperaturii coloanei arcului se introduc coeficienții c și ξ care țin seama de adâncimea la care arde arcul electric, [116].

$$T_{col} = C \cdot \xi \cdot \sqrt[4]{I} \quad (2.13)$$

în care:

$$C = \sqrt[4]{\frac{E \cdot L_{col}}{\alpha \cdot \sigma \cdot F_2}} \quad \text{coeficient care ține seama de lungimea coloanei arcului.}$$

$$\xi = \sqrt[4]{\frac{p}{p_0}}$$

În care:

- p – presiunea la care arde arcul sub apă; [MPa]
 p_0 – presiunea atmosferică. [MPa]

2.5. Potențialul efectiv de ionizare a gazelor în spațiul arcului electric sub apă

Cunoscând temperatura coloanei arcului sub apă este posibilă determinarea potențialului efectiv de ionizare a gazelor din spațiul arcului electric folosind relația, [30]:

$$T_{col} = 800U_{jef} \quad (2.14)$$

Dacă se consideră o valoare medie a temperaturii coloanei arcului la sudarea sub apă de $T_{medie} = 9550$ K la sudarea cu sârma, respectiv $T_{medie} = 10\,400$ K pentru sudarea cu electrozi înveliți se obțin următoarele valori pentru potențialele de ionizare a gazelor din spațiul arcului :

$$U'_{jef} = 12,0 \dots 12,4 \text{ V la sudarea cu sârmă electrod}$$

$$U'_{jef} = 13,0 \dots 14,0 \text{ V la sudarea cu electrozi}$$

înveliți, [31].

Aceste valori ale potențialelor de ionizare confirmă prezența în spațiul arcului electric a hidrogenului ($U_J^H = 13,6$ V), a oxidului și bioxidului de carbon ($U_J^{CO_2} = 14,5$ V). La sudarea cu electrozi înveliți cu înveliș organic hidroizolator crește conținutul de CO și CO₂ în spațiul arcului electric și, ca urmare, potențialul de ionizare a gazelor din spațiul arcului crește.

2.6. Punga de gaze aferentă arcului electric care arde sub apă

Datorită puterii termice ridicate arcul electric vaporizează și descompune mediul lichid înconjurător. Vaporii și gazele care se formează prin această reacție creează în jurul arcului electric o „pungă de gaze” care se menține în mod continuu și reduce vizibilitatea asupra procesului de ardere a arcului.

Gazul care se acumulează în „punga de gaz” se compune, în special, din oxigen și hidrogen ca rezultat al disocierii vaporilor de apă.

Vaporii de metal și particulele din înveliș aflate în contact cu apa se condensează în particule foarte fine de oxizi de fier. Aceste particule, de culoare brun închis, nu se sedimentează, rămânând în suspensie. Particulele au dimensiuni diferite, unele nu pot fi văzute cu ochiul liber, altele pot atinge un diametru de câțiva milimetri. Există și particule mai mari (stropi) care aderă la suprafața tablelor care se sudează pe o zonă extinsă până la o distanță de 15 ... 20 mm de la sudură. Picăturile de metal aflate în mișcare sunt înconjurate de un înveliș de gaze sau de vapori care formează un izolant termic, [57].

În figura 2.4, [116] este prezentat modul de formare al pungii de gaze în cazul sudării cu electrozi înveliți.

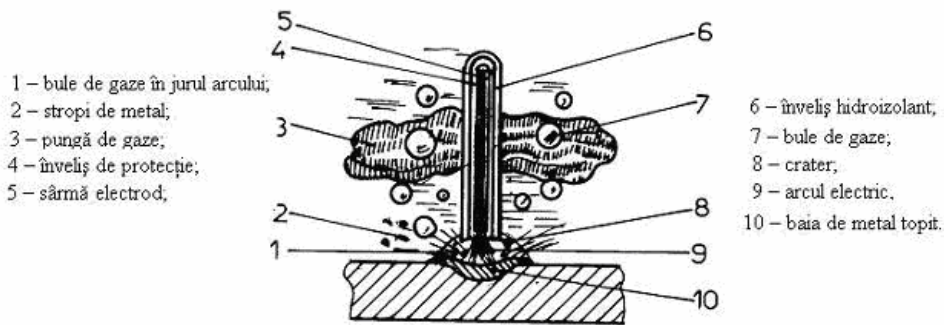


Figura 2.4. Formarea pungii de gaz la sudarea sub apă cu electrozi înveliți.

Volumul pungii de gaze variază în timp, crescând până la o anumită mărime critică, după care se produce spargerea pungii de gaz. În acest moment, o mare parte din gazul (80 ... 90 %) se ridică la suprafața apei, iar partea care rămâne reprezintă baza pentru formarea pungii următoare.

Procesul ciclic de formare a pungii de gaze se desfășoară pe întreaga durată de ardere a arcului electric sub apă. Mărimile critice ale pungii de gaze nu depind de procedeul de sudare, ci doar de caracteristicile fizico-chimice ale mediului în care se sudează. Raza pungii de gaze variază între o valoare minimă și o valoare critică, valoarea critică fiind în apă dulce de aproximativ 0,7 - 1,65 cm, iar în apă sărată de aproximativ 0,8 - 2,23 cm, [57]. Corespunzător, volumul pungii de gaz este diferit în funcție de natura apei având valori de cca. 0,64 - 9,41 cm³ în apă dulce și cca. 1,18 - 23,86 cm³ în apă sărată, [116]. Frecvența formării pungii de gaze este de circa 12 - 16 formări/secundă.

Deoarece punga de gaze are o temperatură ridicată ea tinde să se spargă; acestei tendințe de spargere a pungii i se opune apa, mediu incompresibil, ce o reține prin presiunea hidrostatică. Apa nu se poate deplasa cu aceeași viteză ca și componentele pungii de gaze. Din această cauză, în volumul de gaze care se formează în jurul arcului, presiunea este limitată, astfel încât punga se sparge numai ca rezultat al deplasării particulelor apei care o înconjoară.

Presiunea în punga de gaz este dată de relația, [57]:

$$p_p = p_{at} + p_h + \frac{2\sigma}{r} \quad [\text{N/cm}^2] \quad (2.15)$$

în care:

p_p – presiunea interioară în punga de gaze $[\text{N/cm}^2]$;

p_{at}	- presiunea atmosferică	[N/cm ²];
σ	- tensiunea superficială	[N/cm];
r	- raza pungii de gaz	[cm].

Viteza de creștere a pungii de gaze în domeniul de temperaturi (T_0 , T) poate fi exprimată cu relația, [57]:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{\lambda(T - T_0)}{H \cdot g'} \cdot \frac{3}{Dt} + \frac{2V_{p_1}}{3Dr_0} \quad [\text{cm/s}] \quad (2.16)$$

în care:

λ - conductibilitatea termică a lichidului [Kcal/m oră grad];

T, T_0 - temperatura la momentul 0 și momentul final, [K];

r_0 - raza inițială a pungii de gaze [cm];

H - căldura de vaporizare [kcal/kg];

V_{p_1} - viteza de plutire a pungii de gaz [cca. 8,25 cm/s];

D - conductibilitatea termică [cm²/s];

t - durata de creștere a pungii de gaz [s];

g' - densitatea gazelor din pungă [g/cm³].

Legea de variație a razei pungii de gaze este, [116]:

$$r = K\sqrt{t} \quad [\text{cm}] \quad (2.17)$$

Coeficientul K având valoare 6,3 pentru cazul arcului electric în apă dulce, respectiv 11,4 pentru cazul arcului electric în apă sărată, [57].

Valoarea razei pungii la care se produce spargerea acesteia, mărime denumită raza critică a pungii, se poate determina cu relația, [57]:

$$r_{cr} \cong \sqrt{\frac{3}{K_f}} \cdot \frac{\sigma}{V_{p_1}^2 \cdot \rho' \cdot \rho^2} \quad [\text{cm}] \quad (2.18)$$

unde:

K_f - coeficient având valoarea 0,72 pentru apă dulce și 0,42 pentru apă sărată;

ρ' - densitatea gazelor din pungă [g/cm³];

ρ - densitatea apei [g/cm³];

$V_{p_1} = 8,25$ [cm/s].

Formarea pungii de gaze are o influență negativă asupra calității sudurii și îngreunează urmărirea arcului electric. Cunoștințele existente la momentul actual în literatura de specialitate asupra mecanismului de formare a pungii de gaze nu sunt suficiente pentru a putea acționa în vederea evitării formării acesteia.

2.7. Influența presiunii asupra arcului electric de sudare

În figura 2.5 se ilustrează efectul adâncimii apei asupra tensiunii arcului electric în cazul sudării sub apă în mediu de gaza protector MIG și WIG (TIG), [31].

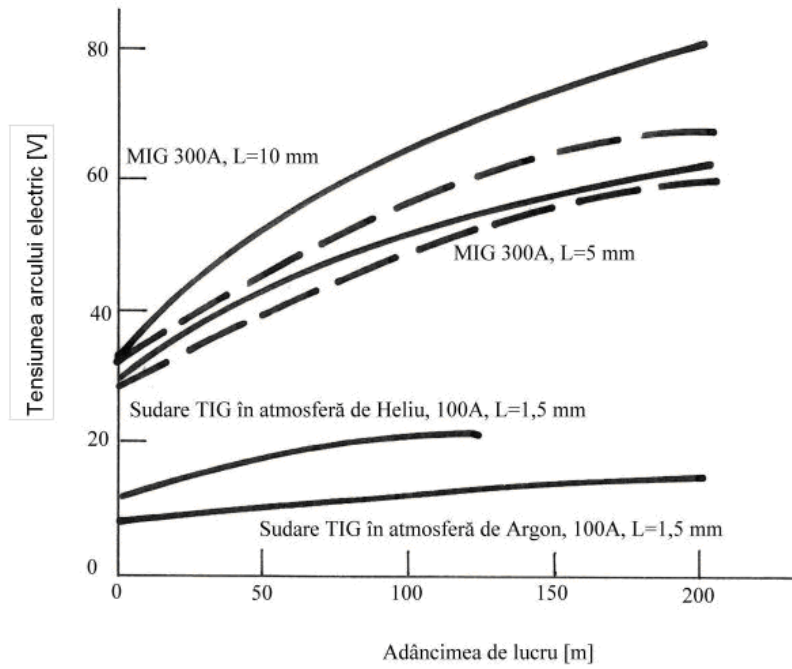


Figura 2.5. Relația dintre tensiunea arcului și adâncimea de lucru

La creșterea adâncimii apei și, ca efect, a presiunii hidrostactice, tensiunea arcului se mărește și arcul electric devine instabil.

CAPITOLUL 3

SUDAREA MIG/MAG SUB APĂ

3.1 Generalități privind procedeul de sudare MIG/MAG

Sudarea MIG/MAG este un procedeu de sudare prin topire cu arcul electric în mediul de gaz protector, cu electrod fuzibil. În funcție de caracterul gazului de protecție se disting două variante ale procedurii:

- sudarea MIG (metal – inert - gaz) în cazul unui gaz de protecție inert;
- sudarea MAG (metal – activ - gaz) în cazul unui gaz de protecție activ.

Pentru simplificare, în cadrul tezei de doctorat procedeul de sudare este simbolizat MAG, indiferent de gazul de protecție utilizat.

Schema de principiu a procedurii de sudare MIG/MAG este prezentată în figura 3.1 [5]. Sudarea poate fi realizată folosind sârmă plină sau sârmă tubulară.

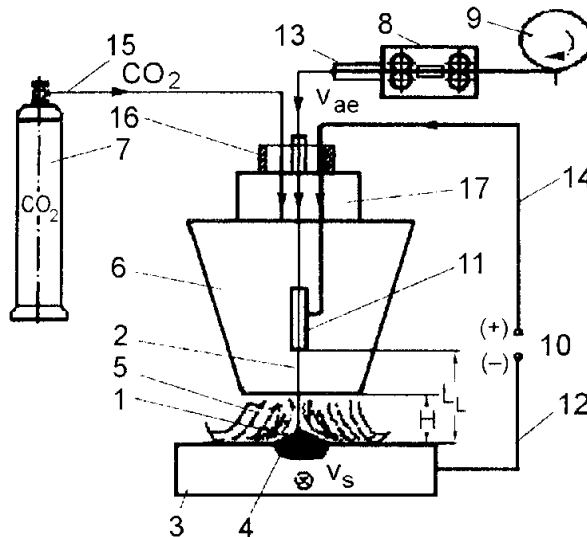


Figura 3.1. Schema de principiu a procedurii de sudare MIG/MAG

1- arcul electric; 2- sârma electrod; 3- componentele de sudat ; 4- baia de metal topit; 5- gazul de protecție; 6- duza de gaz; 7- butelia de gaz; 8- sistemul de avans a sârmei electrod; 9- bobina de sârmă; 10- sursa de curent continuu; 11- duza de contact; 12-14 cabluri de alimentare cu curent de sudare ; 13- tubul de ghidare a sârmei electrod; 15- furtun de gaz; 16- tub flexibil de cauciuc; 17- cap de sudare.

Procedeul este utilizat cel mai frecvent în varianta semimecanizată (pistoletul de sudare condus manual, iar avansul sârmei electrod realizat mecanizat), procedeul pretându-se cu ușurință și pentru sudare mecanizată, automatizată sau robotizată.

Sudarea MIG/MAG este un procedeu universal de sudare atât sub aspectul materialelor de bază care pot fi îmbinate, cât și al tipurilor de îmbinări și pozițiilor de sudare aplicabile. Acest procedeu este, de altfel, la ora actuală, procedeul de sudare cu cea mai largă utilizare industrială la nivel mondial, așa cum este prezentat în figura. 3.2. [51].

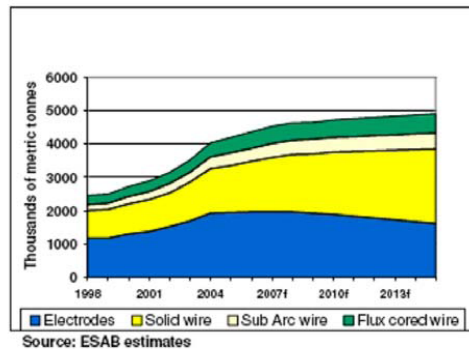


Figura 3.2 Evoluția volumului de aplicare a diferitelor procedee de sudare cu arcul electric apreciată prin cantitatea de metal depus la nivel mondial

Principalele avantaje ale sudării MIG/MAG sunt legate de productivitatea înaltă exprimată prin viteza de sudare, rata depunerii (kg/oră) și factorul operator, calitatea bună a sudurii, lipsa zgurii după sudare. Valoarea ratei depunerii este o consecință a densității mari de curent care are valori de cca. 150-350 A/mm². Rata de depunere depinde, în primul rând, de intensitatea curentului de sudare, figura 3.3,[18]. O comparație a ratei depunerii specifice sudării MIG/MAG și sudării cu electrozi înveliți este ilustrată în figura 3.4, [5].

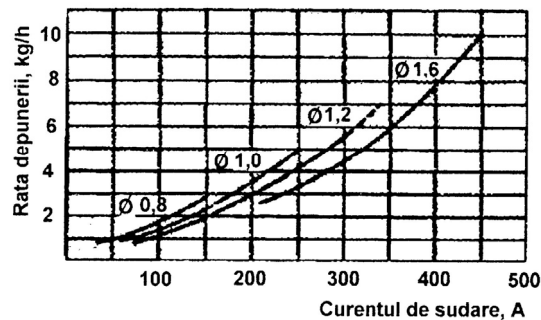


Figura 3.3. Variația ratei depunerii la sudarea MIG/MAG cu intensitatea curentului de sudare

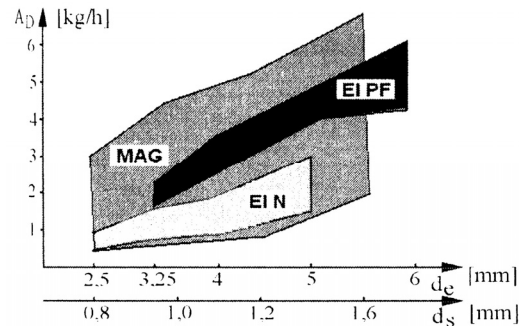


Figura 3.4. Analiza comparativă a ratei depunerii la sudarea SE și MAG
EI N – electrod normal; EI PF – electrod cu pulbere de fier în înveliș

Aplicarea sudării MIG/MAG ridică însă și o serie de inconveniente dintre care se menționează flexibilitatea mai redusă decât la sudarea cu electrozi înveliși și dificultățile de realizare a sudării în spații deschise (în zone cu curenți de aer).

3.2. Transferul metalului topit la sudarea MIG/MAG

Transferul de metal la sudarea prin topire cu arcul electric cu electrod fuzibil este un proces complex, guvernat de o diversitate mare de fenomene de natură electrică, electromagnetică, mecanică, chimică, termodinamică.

Modul de transfer a picăturii de metal este determinat de parametrii tehnologici de sudare, compoziția gazului în care are loc descărcarea în arcul electric având o influență semnificativă.

Deplasarea picăturilor prin arcul electric se face ca urmare a forțelor care acționează asupra lor, figura 3.5 [5].

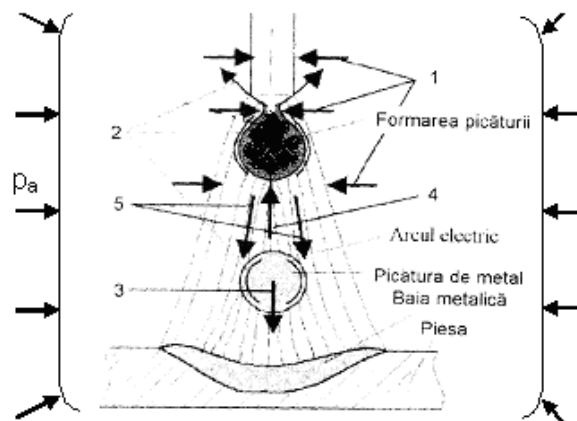


Figura 3.5. Forțele care acționează asupra arcului electric și asupra picăturii de metal topit, 1- forța electromagnetică F_{em} (forța pinch); 2- forța determinată de tensiunea superficială F_{σ} ; 3- forța gravitațională G ; 4- forța de reacție anodică F_{an} ; 5- forța jetului de plasmă F_j ; p_a - presiunea apei.

Forța electromagnetică F_{em} (forța pinch) este generată de interacțiunea liniilor de curent de același sens care parcurg un conductor electric (sârma electrod și coloana arcului), interacțiune manifestată prin tendința de apropiere a acestora.

Forța tensiunii superficiale F_{σ} apare în toate fazele de transfer a picăturii de metal topit în baia metalică.

Forța gravitațională (F_g) favorizează desprinderea picăturii, cu excepția cazurilor în care se sudează în poziție peste cap.

Forța de reacție anodică (F_{an}) este generată de presiunea vaporilor de metal care se degajă ca urmare a temperaturii locale ridicate de pe pata anodică (suprafața picăturii), datorită concentrării arcului electric pe suprafața petei anodice ($10^{-8} - 10^{-6} \text{ m}^2$)

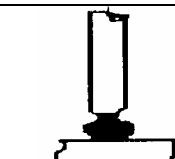

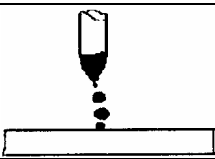

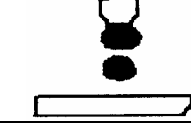
Forța jetului de plasmă (F_j) este determinată de curgerea cu viteză foarte mare a plasmă generate în coloana arcului, ca urmare a temperaturilor foarte mari atinse în miezul coloanei.

Forța electrodinamică F_{ed} apare ca efect conjugat a două acțiuni. Punctul de aplicare al forței se găsește pe interfața picătură-sârmă în axa sârmei electrod.

La sudarea sub apă acționează, de asemenea, presiunea apei (p_a), presiune ce se mărește odată cu mărirea adâncimi de lucru.

La sudarea MIG/MAG sunt posibile diferite moduri de transfer a materialului prin arc electric, acestea fiind prezentate în tabelul 3.1[5]. Modul de transfer efectiv este determinat în primul rând de tipul gazului de protecție și intensitatea curentului de sudare.

Tabelul 3.1. Moduri de transfer a picăturilor de metal topit la sudarea MIG/MAG

Tipul arcului electric	Mărimea picăturii	Aspectul transferului	Modul de transfer
Arc scurt MAG-M MAG-CO ₂	Fină		Prin scurtcircuit
Arc intermediar (de tranziție) MAG-M MAG-CO ₂	Fină până la grobă		Globular cu scurtcircuitări aleatoare
Arc spray MAG-M	Foarte fină		Prin pulverizare fără scurtcircuitări
Arc lung MAG-CO ₂	grobă		Globular cu scurtcircuitări
Arc pulsat (sinergic) MAG-M	fină		Fără scurtcircuitări (o picătură/puls)

În figura 3.6 este prezentată repartiția principalelor tipuri de transfer în funcție de curentul de sudare, respectiv influența intensității curentului de sudare și a gazului de protecție asupra modificării granițelor zonelor de transfer, respectiv asupra frecvenței scurtcircuitelor sau a picăturilor de metal transferate prin arc, [5].

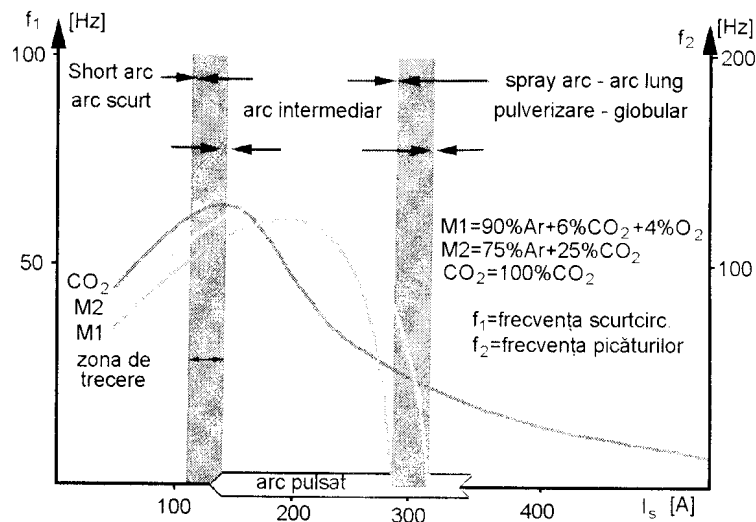


Figura 3.6. Influența curentului de sudare și a gazelor de protecție asupra zonelor de transfer

Modul de transfer al picăturii este influențat și de tipul sârmei utilizate; sârmă plină sau sârma tubulară.

Referitor la sudarea cu sârmă tubulară, procedeu care este tratat în cadrul tezei de doctorat, se menționează ca este posibil un transfer al picăturii prin scurtcircuit, pulverizare, globular, intermediar sau în curent pulsant. Modul concret de transfer depinde de tipul și caracterul miezului sârmei, de curentul de sudare, respectiv de gazul de protecție.

În figura 3.7 este exemplificată diferența dintre modul de transfer prin pulverizare la sudarea cu sârmă plină, respectiv sudarea cu sârmă tubulară, [5].

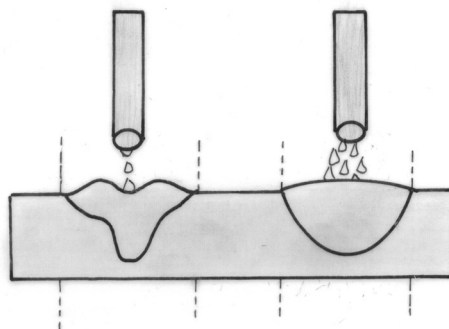


Figura 3.7. Transferul globular al picăturilor de metal topit la sudarea ST

În cazul sârmei pline, transferul axial al picăturii determină pătrunderea îngustă, sub formă de deget, a sudurii, în timp ce la sudarea cu sârmă tubulară picătura se desprinde de pe circumferința tecii metalice a sârmei, pătrunderea devine mai lată, figura 3.8 [34].

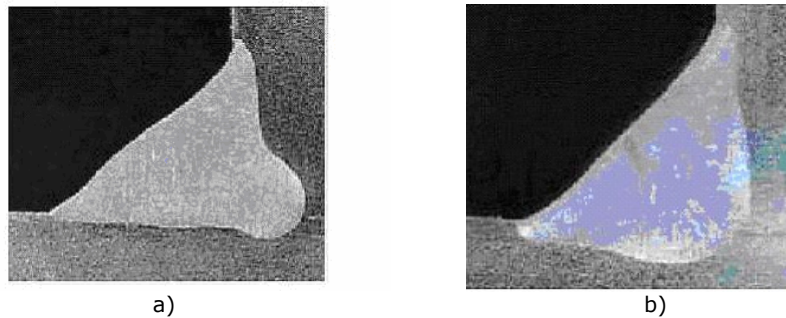


Figura 3.8. Aspectul sudurii la sudarea cu sârmă plină (a), respectiv sârmă tubulară (b).

În cadrul tezei de doctorat se studiază posibilitatea sudării sub apă cu sârmă tubulară cu autoprotecție. Întrucât în acest caz nu există un gaz de protecție și sudarea se efectuează la valori relativ mari ale intensității curentului de sudare, interesante sub aspect practic, transferul picăturilor este globular. Ca urmare, în continuare, se analizează în detaliu doar acest mod de transfer de material prin arcul electric.

Transferul globular (cu arc lung) se caracterizează prin trecerea materialului topit spre baia metalică prin picături mari, numite „globule”, fără scurtcircuitarea arcului electric..

Modul de desfășurare a procesului de transfer al picăturilor este prezentat în figura 3.9, [5].

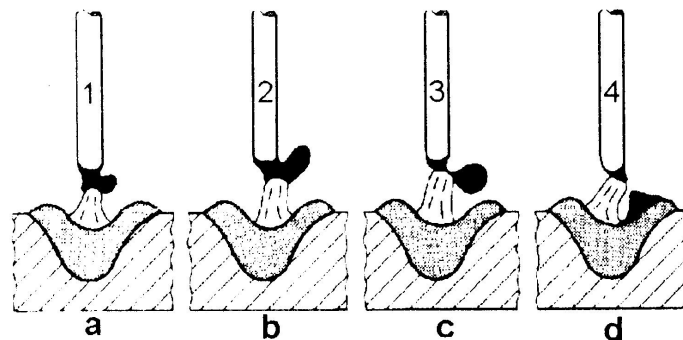


Figura 3.9. Etapele transferului globular al picăturii de metal

Puterea mare de topire a arcului electric determină acumularea rapidă, sub acțiunea tensiunii superficiale, a unui volum mare de metal topit în vârful sârmei, faza (a). Creșterea dimensiunilor picăturii fără scurtcircuitarea arcului electric se datorează lungimii relativ mari a acestuia (tensiune mare a arcului), respectiv forței de reacție anodică F_{an} de valoare ridicată, care împinge picătura în sus și lateral, dezaxând-o din axa sârmei electrod și favorizând prin aceasta și mai mult acumularea de metal topit, faza (b). Sub acțiunea forțelor electromagnetice cu

valori ridicate (curent de sudare mare) se produce strangularea picăturii de metal topit, proces însoțit de formarea unei punți de metal, faza (c). Forța gravitațională învinge forțele de tensiune superficială care țin picătura la vârful sârmei, producându-se desprinderea picăturii, care ajunge în baia metalică, faza (d), fără scurtcircuitarea arcului. Dacă volumul picăturilor crește mult se produc scurtcircuitări puternice însoțite de stropiri mari de material topit din baie, figura 3.10, [5]. Ca urmare a acestor scurtcircuitări au loc pierderi însemnate de material de adaos, respectiv sunt necesare operații costisitoare de îndepărtare a stropilor de pe suprafețele componentelor de sudat.

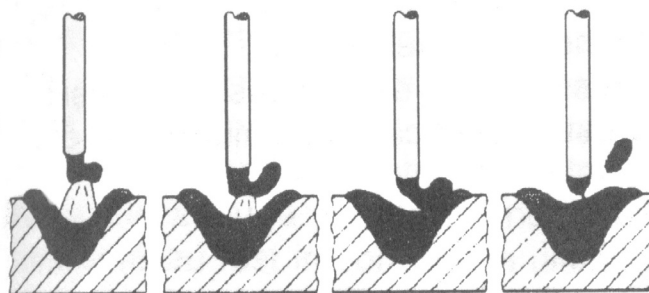


Figura 3.10. Producerea scurtcircuitelor însoțite de stropiri la sudare

În esență, transferul globular se caracterizează prin:

- puteri mari ale arcului electric (valori mari ale curentului de sudare și tensiunii arcului);
- rată de depunere și ca, urmare, productivitate ridicată;
- pierderi de material prin stropi;
- stabilitatea arcului mai mică comparativ cu celelalte tipuri de transfer;

Transferul picăturii nu este condiționat de polaritatea curentului, dar la sudarea cu polaritate directă se produce o cantitate mai mare de stropi decât în cazul polarității inverse. În același timp, reglarea parametrilor tehnologici de sudare pentru obținerea unui regim stabil de operare este mai dificilă și presupune multă dexteritate din partea sudorului.

3.3. Sudarea MIG/MAG cu sârmă tubulară

La această variantă a sudării MIG/MAG în locul sârmei pline se utilizează o sârmă tubulară în interiorul căreia se introduce o pulbere ce conține elemente dezoxidante, de aliere și zgurifiante. Din punct de vedere al posibilității de aplicare, sudarea cu sârmă tubulară constituie o alternativă favorabilă față de sudarea cu electrozi înveliți.

De cele mai multe ori, sudarea cu sârmă tubulară are loc în mediu de gaz protector. Este posibilă însă și sudarea cu autoprotecție, caz în care fluxul sârmei tubulare conține materialele necesare generării mediului de protecție.

În general, se utilizează sârme tubulare cu diametrul 1,0-1,6 (2.4) mm.

Avantajul principal pe care îl oferă sudarea cu sârmă tubulară este de natură economică, procedeul caracterizându-se printr-o rată a depunerii sensibil mai mare decât cea specifică sudării MIG/MAG clasice. În figura 3.11 se prezintă comparativ ratele de depunere corespunzătoare sudării MIG/MAG cu sârmă plină și cu sârmă tubulară [122].

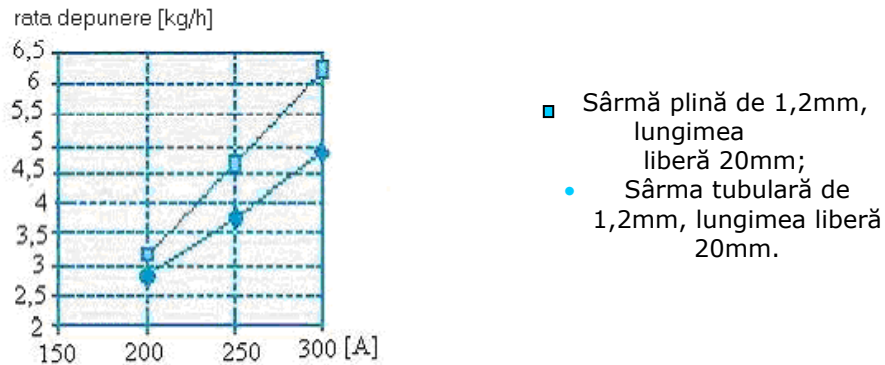


Figura 3.11. Comparatie privind rata de depunere, la sudarea MIG/MAG cu sârmă plină și cu sârmă tubulară

Comparativ cu sudarea MIG/MAG cu sârma plină, sudarea cu sârmă tubulară se distinge prin următoarele particularități:

- creștere a productivității la sudare comparativ cu sudarea MIG/MAG cu sârmă plină ca efect al densității de curent superioare (250-350 A/mm², față de 200 A/mm²): aceasta se concretizează prin creșterea ratei depunerii cu 30-50 %, creșterea pătrunderii la sudare, respectiv creșterea vitezei de sudare. Creșterea productivității la sudare se manifesta în special la sudarea în poziții dificile (verticală) ca efect al posibilității de sudare cu intensitate mare de curent și al transferului prin pulverizare în cazul sudării cu sârme tubulare rutilice;
- calitate superioară a îmbinărilor sudate, cu reducerea pericolului de formare a porilor sau de apariție a defectelor de tipul lipsei de topire sau a lipsei de pătrundere;
- caracteristici mecanice superioare ale îmbinărilor sudate, rafinare superioară a băii metalice;
- reducere a conținutului de hidrogen difuzibil din îmbinarea sudată la valori sub 5 cm³ /100g și, prin urmare, reducerea pericolului de fisurare la rece sau a pericolului de formare a porilor;
- geometrie superioară a sudurii, cu pătrundere sigură;
- stabilitatea mai bună a arcului electric;
- reducere a stropirilor, desprindere mai ușoară a acestora și, prin urmare, reducerea timpului de curățire a pieselor, respectiv a capului de sudare;
- posibilitate de aliere suplimentară a metalului depus prin intermediul miezului;
- estetică mai bună a sudurii, aceasta fiind cu solzii fini, respectiv cu supraînălțare redusă;
- insensibilitate la curenții de aer și apă și, ca efect, posibilitate de sudare în spații deschise.

Sudarea cu sârmă tubulară prezintă însă și unele inconveniente ca:

- prețul de cost mai ridicat al sârmei tubulare comparativ cu sârma plină, de 2 până la 3 ori; acest dezavantaj este compensat însă prin reducerea costurilor totale ale execuției îmbinării sudate (timp, manoperă, energie);

- necesitatea unei operații suplimentare de îndepărtare a zgurii de pe suprafața depunerilor, în special la sudarea multistrat;
- probabilitatea mai mare de apariție a defectelor de tipul incluziunilor de zgură în sudură;
- emisie mai puternică de fum și gaze nocive, ceea ce implică luarea de măsuri împotriva poluării mediului subacvatic.

Sudarea cu sârmă tubulară este aplicată cu preponderență în SUA și Japonia, fiind mai puțin aplicată în Europa.

Pentru sudarea cu sârmă tubulară sunt valabile în general, recomandările tehnologice specifice sudării cu sârmă plină. Datorită puterii de topire superioare se pot obține însă suduri cu pătrunderi mai mari.

În figura 3.12. este prezentată dependența parametrilor de sudare I_s - U_a pentru sudarea cu sârme tubulare cu diametrul 1,2 și 1,6 mm utilizând un amestec de gaze 82%Ar, 18% CO₂. [18].

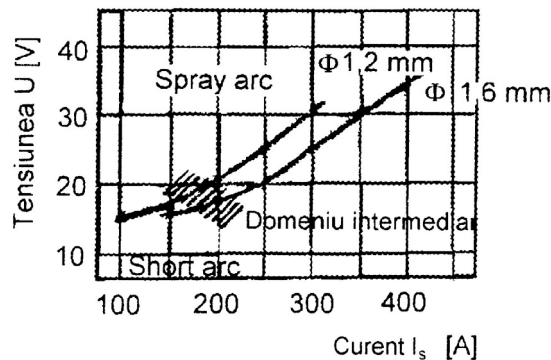


Figura 3.12. Dependența U_a - I_s la sudarea cu sârmă tubulară

Spre deosebire de sudarea MIG/MAG cu sârmă plină, unde se folosește exclusiv sudarea în curent continuu cu polaritate inversă, la sudarea cu sârmă tubulară polaritatea curentului poate să difere de la un tip de sârmă (tip de miez) la altul. De exemplu, în cazul sârmelor tubulare cu miez rutilic se recomandă polaritatea directă, deoarece la polaritate inversă există pericolul apariției porilor. În cazul sârmelor tubulare conținând pulberi metalice se poate suda atât cu polaritate inversă cc^+ , cât și cu polaritate directă cc^- în funcție de aplicația dată. În general, se preferă polaritatea inversă. La sârmele tubulare cu miez bazic se recomandă utilizarea polarității directe care îmbunătățește stabilitatea arcului și aspectul îmbinării prin reducerea cantităților de stropi, [5].

Utilizarea polarității directe conduce la creșterea ratei depunerii cu până la 50%, respectiv reducerea pătrunderii la sudare comparativ cu sudarea cu polaritate inversă.

La sudarea cu sârmă tubulară poziționarea sârmei electrod are influență asupra geometriei sudurii, a controlului băii metalice și a zgurii topite, de aceea se recomandă utilizarea tehnicii de sudare spre dreapta (cu pistol de sudare tras) și o înclinare a capului de sudare cu un unghi de 60° - 70°.

3.4. Particularități ale sudării MIG/MAG sub apă

Utilizarea procedurii de sudarea MIG/MAG sub apă implică operarea cu distanțe mari între sursa de sudare aflată la suprafața și pistolul de sudare aflat în

apă în zona sudării. Această situație conduce la necesitatea existenței unor cabluri electrice și a unor conducte de alimentare cu sârma și gaz de lungime mare, ceea ce are ca efect producerea unor pierderi considerabile în circuitul electric, respectiv complicarea sistemelor de alimentare cu sârma și gaz.

Sub aspect electric, rezistența circuitului de sudare crește față de cazul sudării în atmosferă, ceea ce are ca efect o creștere a căderii de tensiune pe circuitul de sudare între sursa electrică și pistolul de sudare. Ca urmare, pentru alimentarea arcului electric cu o tensiune suficientă sursa de sudare va trebui să opereze cu o tensiune de mers în gol superioară cazului efectuării sudării în atmosferă. Un alt efect este modificarea pantei caracteristicii externe a sursei de curent care devine „mai puțin” rigidă, ceea ce afectează calitatea fenomenului de autoreglare specific sudării MIG/MAG.

Lungimea marea a cablurilor de alimentare îngreunează procesul de alimentare cu viteză constantă a sârmei de sudare, respectiv de alimentare cu gaz de protecție. Ca urmare sunt necesare intervenții asupra sistemelor de alimentare cu sârma și gaz care devin mai complicate decât la sudarea în atmosferă.

Problemele menționate anterior se acutizează o dată cu creșterea adâncimii la care se efectuează sudarea. Este de menționat, de asemenea, ca agravantă cu creșterea adâncimii de lucru, dificultatea menținerii constante a lungimii arcului de către sudor în cazul sudării semimecanizate la adâncimi mari datorită dificultății menținerii echilibrului scafandruului în condițiile de operare. Pentru a reduce efectele negative ale acestei situații sursele de sudare sub apă trebuie să asigure un răspuns cât mai rapid la modificările lungimii arcului electric prin procesul de autoreglare.

În tabelul 3.2. sunt prezentate, cu titlu de exemplu, date privind modificarea rezistenței electrice a circuitului de sudare, respectiv a timpului de corecție prin autoreglare a lungimii arcului electric în funcție de adâncimea apei, [86]. În tabel sunt indicate, de asemenea, tensiunile de mers în gol necesare pentru sudarea la aceste adâncimi.

Tabelul 3.2. Influența adâncimii apei asupra rezistenței electrice a circuitului de sudare, respectiv a timpului de corecție prin autoreglare a lungimii arcului electric.

Adâncimea [m]	R_{EC} [Ohm]	U_{OC} [V]	t_{cor} [s]
0	0,049	39-41	0,292
40	0,108	62-65	0,429
100	0,167	80-84	0,619
160	0,226	100-104	0,811
220	0,285	118-120	1,013

În tabel s-au făcut următoarele notații:

U_{OC} - tensiunea de mers în gol a circuitului;

R_{EC} - rezistența totală a circuitului de sudare;

t_{cor} - timpul de corecție al lungimii arcului electric.

Utilizarea sudării mecanizate, în cazurile, în care este posibil acest lucru, poate elimina problemele legate de modul de acțiune al sudorului. Aplicarea sudării mecanizate este însă, în foarte multe cazuri, imposibilă având în vedere specificul lucrărilor de sudare subacvatică. Soluția sudării mecanizate presupune și o complicare semnificativă a echipamentului de sudare și de monitorizare a procesului de sudare.

CAPITOLUL 4

CALITATEA ȘI CONTROLUL ÎMBINĂRILOR SUDATE SUBACVATICE

4.1. Introducere

Funcționarea defectuoasă sau o eventuală avarie a unei structuri care operează în apă poate avea consecințe grave asupra siguranței personalului care lucrează pe structurile imerse, respectiv asupra mediului înconjurător. În același timp, o asemenea situație ar conduce la pierderi materiale semnificative. Ca atare, este necesară atât asigurarea calității cerute la realizarea structurilor imerse, deci și a îmbinărilor sudate în apă, cât și supravegherea permanentă a modului de comportarea a structurilor în exploatare. Această necesitate este întărită și de valoarea mare a investiției aferente realizării unei structuri ce funcționează sub apă. În același timp, trebuie avut în vedere nivelul înalt al solicitărilor la care pot fi supuse structurile imerse în situația unor condiții meteorologice deosebite (furtuni, vânturi puternice, valuri înalte, temperaturi scăzute etc.).

În practica mondială au fost consemnate, de-a lungul timpului, o serie de evenimente negative cu efecte majore privind funcționarea unor structuri în apă.

Asigurarea calității cerute a structurilor sudate și supravegherea funcționării acestora presupune efectuarea unor programe de control, respectiv inspecție. Aceste programe se derulează permanent, cu o periodicitate definită de importanța structurii în cauză.

Programele de control și inspecție aplicate structurilor imerse se bazează în mare măsură pe efectuarea unor operații de examinare nedistructivă. În același timp, se efectuează încercări destructive, determinări ale efectelor coroziunii și alte investigații.

Condițiile de efectuare a examinărilor în apă sunt, în general, mai dificile decât cele specifice examinărilor similare efectuate în aer la presiunea atmosferică. Ca urmare, realizarea examinărilor în apă implică formularea și aplicarea unor proceduri specifice, atât sub aspect operațional, cât și al calificării personalului.

În general, tipul și volumul examinărilor care trebuie efectuate asupra unei structuri sudate depind de importanța structurii sau elementului structurii respective. În practică se utilizează diferite metode de clasificare a structurilor sudate imerse ca, de exemplu, clasificarea introdusă de Registrul naval Det Norske Veritas, [119]. În această clasificare elementele unei structuri sunt grupate în funcție de gravitatea consecințelor avarierii acestora în următoarele categorii:

- elemente structurale speciale;
- elemente structurale principale;
- elemente structurale secundare.

În categoria elementelor speciale sunt incluse acele elemente de structură solicitate dinamic și la oboseală care prezintă implicații catastrofale în caz de rupere. Elementele structurale solicitate la oboseală, situate în zone de încărcare maximă

sau zone cu efecte multiple de degradare cu implicații majore în siguranța construcției, sunt încadrate în categoria elementelor principale. Elementele structurale solicitate static și la oboseală (periodic) în zone de încărcare reduse și fără efecte de degradare multiple pot fi incluse în categoria elementelor secundare

Încadrarea elementelor structurale într-o anumită categorie se efectuează de regulă de către proiectantul structurii prin consens cu beneficiarul construcției, registrul de supraveghere și organismul acreditat pentru inspecție.

Încadrarea elementelor structurale în grupele definite mai sus este exemplificată pentru cazul elementelor structurii portante a picioarelor de la platformele de foraj marin, [119]. Astfel, în categoria elementelor structurale speciale pot fi incluse elementele și îmbinările sudate de la nivelul orizontalelor corespunzătoare momentului maxim de încărcare peste care se suprapune un spectru complex de solicitări. Mai pot fi incluse în această categorie componentele vitale de foraj și extracție de pe platformă (recipiente, conducte de petrol și gaze sub presiune etc.). În categoria elementelor structurale principale pot fi incluse elementele și îmbinările sudate din ansamblul tronson care preia momentul maxim de încărcare, precum și elementele și îmbinările sudate din zona valurilor și zona caldă de sub apă cu vegetație marină, cu degradări de structură datorită unor coliziuni cu nave ancorate în zona picioarelor și degradări de coroziune intensă. În categoria elementelor structurale secundare pot fi incluse restul elementelor și îmbinărilor sudate din structura picioarelor platformelor, aflate cu precădere sub apă.

În urma unor accidente sau solicitări puternice ce pot apare în cazul unor furtuni sau cutremure, încadrarea elementelor și îmbinărilor sudate poate fi modificată dintr-o categorie inferioară în una superioară.

Asociația Americană de Sudură AWS a introdus o clasificare a îmbinărilor sudate executate sau exploatate sub apă. Conform acestei clasificări se definesc 4 clase de execuție, [115]:

- clasa A - există cerințe pentru execuția și calitatea îmbinărilor sudate de înaltă rezistență, similare îmbinărilor sudate din structurile deasupra apei;
- clasa B - există cerințe de execuție pentru îmbinările sudate de rezistență mai scăzută la care ductilitatea poate fi mai redusă, iar imperfecțiunile pot fi tolerate în limite mai largi;
- clasa C - există cerințe de execuție pentru îmbinările sudate fără condiții de rezistență;
- clasa O - există cerințe pe care beneficiarul sau organul de inspecție le poate prelua după alte coduri sau reguli de registru naval.

4.2. Procedee de control nedistructiv aplicabile la structuri imerse.

Indiferent de tip și destinație, o structură imersă reprezintă o investiție costisitoare plasată într-un loc nesigur. Din această cauză, elementelor sale portante trebuie să li se acorde o atenție deosebită începând din faza de proiectare și continuând cu faza de execuție și, apoi, pe întreaga perioadă de funcționare. În acest demers, controlul nedistructiv al structurii sau al părților acesteia, inclusiv a îmbinărilor sudate are o importanță deosebită. Prin control nedistructiv se urmărește identificarea și examinarea unor neconformități sau defecte.

Principial, examinarea nedistructivă se poate efectua fie direct în apă, fie într-un clopot scufundător, o încăpere de dimensiuni mai mari, din care a fost evacuată

apa. Caracteristicile clopotului scufundător se referă la adâncimea maximă de scufundare, nivelul maxim de umiditate, variațiile admisibile de temperatură și presiune, precum și la compoziția amestecului de gaze în clopot.

Exista o serie de metode de examinare nedistructivă aplicabile structurilor imerse, alegerea metodei făcându-se în funcție de importanța structurii sau elementului de structură analizat. În mod curent, la examinarea nedistructivă a structurilor imerse se utilizează următoarele metode de control nedistructiv:

- controlul vizual, realizat inclusiv prin fotografiere și filmare;
- controlul cu pulberi magnetice;
- controlul cu ultrasunete;
- controlul cu radiații penetrante.

Avantajele și dezavantajele fiecărei metode, precum și limitele aplicării acestora sunt prezentate în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Avantajele și limite de control pentru metodele de control nedistructiv

Metoda	Avantaje	Limite de control
Control vizual	Ușor de interpretat, constatările vizuale pot fi fotografiate sau filmate și transmise la suprafață	Se limitează la defectele de suprafață. Suprafața care se controlează trebuie curățată.
Control cu particule magnetice	Ușor de interpretat, constatările vizuale pot fi fotografiate sau filmate.	Se limitează la defecte de suprafață și în apropierea suprafeței.
Control cu ultrasunete	Poate detecta orice fel de defect (pori, fisuri...), aparatul este ușor manevrabil. Este mai ieftin decât controlul cu radiații penetrante.	Necesită curățare minuțioasă. Necesită calificare înaltă a scafandrului. Neregularități ale suprafeței piesei pot afecta rezultatele controlului.
Control prin radiografiere	Capacitate de a furniza rezultate și în timpul procesului de sudare. Nu necesită o curățare minuțioasă a suprafeței.	Potențial pericol de iradiere. Necesită acces din ambele părți.

Controlul structurilor imerse se efectuează pe baza unor proceduri specifice de control care trebuie să precizeze elementul care se controlează, tipul controlului, modul de efectuare al controlului. În tabelul 4.2 este dat ca exemplu un plan general de inspecție subacvatică, [71].

Tabelul nr. 4.2 Plan general de inspecție subacvatică

Nr. crt.	Categoria de inspecție	Sumarul inspecției	Motivul inspecției	Reperul pentru inspecție	Metode folosite
1	Inspectarea vizuală inițială	Traversarea întregii structuri pentru a detecta și a nota: - defecte evidente, părți rupte, lipsuri.	- slăbirea structurii	- coca navelor, galerii etc. - toate picioarele, brațele și alte componente ale structurii	- cu ochiul liber sau fotografiere și/sau TV cu circuit închis - schițe
2	Inspectarea vizuală generală	- inspectarea mării; - detectarea depunerilor marine; - inspectarea fizică a structurii.	- slăbirea reductanței proiectate	- zona de spălare a valurilor - zona corodată - cuplarea riser - starea de la suprafață a anozilor	- măsurători - documentare
3	Curățarea	Curățarea generală de depuneri marine	- eliminarea încărcăturii în exces.	- suprafețe de alternanță	Orice metodă cu: - scule manuale - scule mecanice acționate pneumatic sau hidraulic - scule cu jet de apă - scule de sablat
		O curățare specială până la luciu metalic pentru control nedistructiv	Înlăturarea tuturor materialelor: - vegetația marină - vopsea sau smoolă - produse corodate pentru a putea stabili realizarea inspecției nedistructive.	Toate sudurile nominalizate pentru: - inspecția cu TV - inspecția nedistructivă - zone cu defecte critice.	
4	Controlul coroziunii	Evaluarea integrității de protecție prin: - măsurarea dimensiunilor mostrelor anodice; - verificarea continuității electrice a anozilor; - potențialul protecției catodice; - densitatea fluxului.	Asigurarea continuității protecției împotriva coroziunii prin: - asigurarea eficienței sistemelor; - asigurarea de date privind schema de reamplasare a anozilor	Suprafețe nominalizate sau luate la întâmplare: - anozii nominalizați sau luați la întâmplare; - conexiunile anodice.	- verificări fizice - măsurători - citirea potențialului - citirea densității fluxului;
				Suprafețe nominalizate în cele 4 puncte	

		Determinarea defectelor evidente datorate coroziunii: - măsurarea grosimii; - măsurarea adâncimii punctelor corodate		Asigurarea că nu se pierd materiale prin coroziune: - grosimea materialului mai mică decât nivelul acceptat.	cardinale: picioare, conductori etc. Detectarea zonelor cel mai puternic corodate.	- măsurarea cu ultrasunete - măsurarea găurilor; - măsurarea suprafeței găurilor.
5	Control nedistructiv	TV cu circuit închis	Detectia rapidă a fisurilor	Fisurile micșorează reductanța proiectată cu un grad ridicat de pericolozitate. Fisurile ce rezultă din: stresul ciclic și/sau continuu, impactul fizic cu nave, piloni etc.	- nominalizarea îmbinărilor supuse la efort și oboseală; - cunoașterea sau inspectarea defectelor; - previziuni de reparare.	- ochiul scafandrului - fotografiere - video.
		Teste nedistructive				- controlul nedistructiv - controlul magnetic - controlul electromagnetic - alte metode adecvate
		Investigarea unor defecte noi	Detalii asupra defectelor	Dă posibilitatea proiectantului de a înțelege fenomenul și facilitează luarea deciziilor pentru reparație și alegerea metodei cele mai bune de reparație.	Defecte detectate și nominalizate.	- controlul nedistructiv - fotograme

4.3. Controlul vizual

Observația vizuală directă asupra unui obiect subacvatic este o primă informație în legătură cu caracteristicile obiectului sau a fenomenului analizat.

Avantajele acestei metode sunt:

- simplitatea metodei;
- autonomia de realizare sub aspectul sursei de alimentare cu energie;
- posibilitatea de adaptare la condițiile iluminatului local;
- lipsa cheltuielilor de întreținere și reparații a echipamentului;
- nu necesită sursă de energie externă.

Metoda prezintă însă și o serie de dezavantaje, și anume:

- necesitatea prezenței factorului uman sub apă;
- imposibilitatea înregistrării obiective a rezultatului ;
- dificultăți în aprecierea mărimilor și distanțelor;
- sensibilitatea la radiații;
- domeniul relativ restrâns de utilizare.

Pe lângă controlul sudurilor, prin control vizual se pot verifica, de asemenea, depunerile marine (vegetație marină) sau reziduale din apă, starea fundului apei, existența stratului protector al structurilor imerse.

Un mod particular de control vizual este prin fotografiere și filmare subacvatică. Utilizarea acestei variante elimină unul dintre dezavantajele menționate anterior, asigurând înregistrarea rezultatului controlului. Tehnica de control necesită utilizarea unui aparat de fotografiere sub apă care permite luarea unor imagini de ansamblu sau de detaliu (până la 0,1mm), alb-negru sau color, la mare adâncime și cu o foarte bună rezoluție. Este posibilă o multiplicare a imaginilor.

La aplicarea controlului vizual trebuie considerate dificultățile, legate de limitele fotografierii, legate de necesitatea și condițiile impuse de iluminatul artificial, cerințele de calificare a operatorului scafandru, dificultăți în interpretarea fotografiilor alb-negru. Procesul de control este influențat de caracteristicile mediului ambiant, apa, în ceea ce privește vizibilitatea, iluminarea și absorbția culorilor, ceea ce reprezintă însă probleme specifice fotografierii subacvatice.

O problemă dificilă în cazul fotografierii subacvatice este legată de asigurarea unui iluminat corespunzător al obiectului analizat. Vizibilitatea în apă este afectată de gradul de penetrare al luminii exterioare, cât și de particulele în suspensie din apă. În apă este necesară folosirea unui iluminat artificial cu lampă flash. Suspensiile existente în apă cauzează o reflectare a luminii, spre aparat – contradispersie - și apar pe fotograme sub forma unor stelute strălucitoare, figura 4.1. În acest caz nu există o rezolvare totală a problemei. Situația poate fi îmbunătățită prin poziționarea corespunzătoare a sursei de lumină artificială în același plan cu aparatul și cât mai aproape posibil de obiectul investigat, figura 4.2.

Ca rezultat al dispersiei se produce un efect asemănător cu orbirea șoferilor pe timp cu ceață.

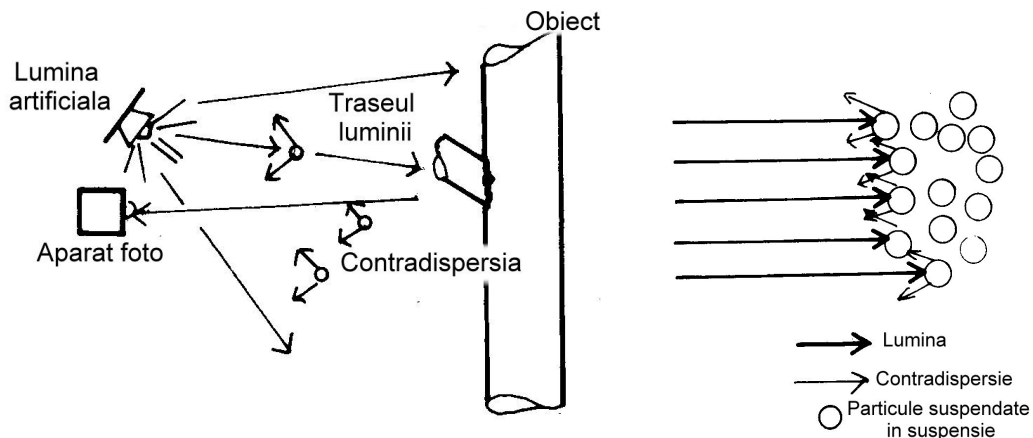


Figura 4.1 Prezentarea contradispersiei în apă.

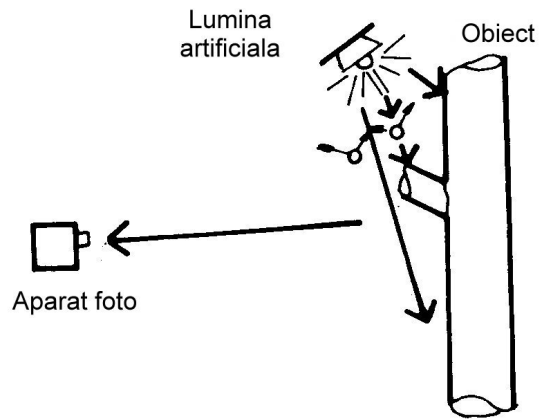


Figura 4.2 Tehnica de evitare a contradispersiei.

La atingerea suprafeței apei lumina exterioară se reflectă, reflexia fiind influențată de unghiul de penetrare în apă a luminii, așa cum se arată în figura 4. 3. Situația cea mai favorabilă este cea specifică orei 12.00 când reflexia luminii este minimală.

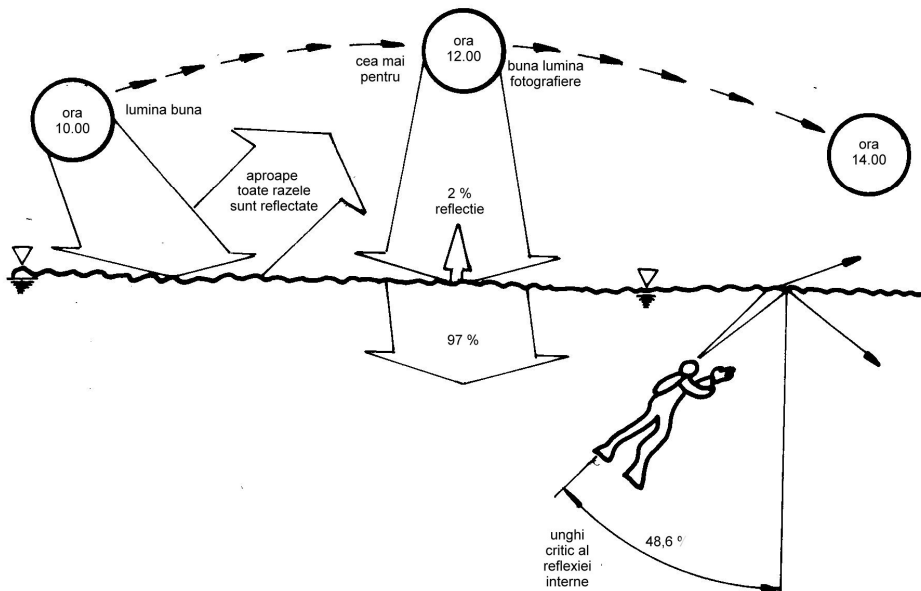


Figura 4.3 Efectul reflectiei luminii în apă.

Calitatea tehnică a fotografiei este dependentă de calitatea iluminării. Dacă detaliile se află într-o zonă întunecată este necesară mărirea iluminării. Acesta este motivul pentru care pentru o fotografie subacvatică se folosesc, în general, mai multe lămpi de iluminat. Astfel, se utilizează o lampă principală și una sau mai multe lămpi secundare de modelare a imaginii, recomandabil într-un raport al luminozității de 3/1, ceea ce înseamnă că lampa principală este de trei ori mai luminoasă decât una secundară. Folosirea mai multor surse de iluminat permite analizarea unor detalii mai fine, dar necesită un efort suplimentar. De aceea, în majoritatea cazurilor se operează cu o singură sursă de lumină.

Pentru asigurarea iluminatului subacvatic în vederea fotografierii sau filmării se pot folosi două tipuri de surse de lumină:

- lămpi fixe;
- flash-uri electronice.

Lămpile fixe sunt accesibile în mod uzual scafandrului sau vehiculelor subacvatice. Ele necesită, alimentarea cu energie de la suprafață, sunt, în general, greoaie și voluminoase, necesită folosirea exponometrului, au putere mică, motiv pentru care nu se folosesc pe scară largă în fotografierea subacvatică, cu excepția unor aplicații specializate.

Lămpile electronice (flash) sunt folosite mai des din următoarele motive:

- oferă puterea necesară pentru obținerea unor imagini de calitate;
- oferă spectrul culorii specifice filmelor destinate pentru utilizare la lumină naturală;
- sunt compacte și ușor de transportat;
- au un preț de cost redus.

Iluminatul are o mare importanță nu numai în cazul fotografierii sau transmiterii de imagini cu ajutorul televiziunii cu circuit închis, ci și în cazul utilizării celorlalte metode de control, în situațiile în care vizibilitatea este slabă.

Asigurarea stabilității mecanice a sistemului de fotografiere este o problemă importantă a fotografiatului sub apă. O eventuala mișcare a aparatului în timpul fotografierii poate face ca fotograma să fie inutilizabilă prin schimbarea cadrului sau prin neclaritate. Pentru a evita o astfel de situație sunt necesare măsuri speciale de fixare. Este, de asemenea, foarte importantă calificarea și îndemânarea operatorului.

În ceea ce privește procedura de fotografiere se recomandă următoarele:

- a) apropierea cât mai strânsă de obiectul care se fotografiază. În acest fel pe film va ajunge cea mai mare cantitate de lumină posibilă. Atunci când nu este posibil să se expună de la distanță foarte mică, când transparența apei este scăzută sau când trebuie fotografiată o porțiune mai mare și nu doar o sudură se vor folosi obiective cu unghi mare de câmp, ceea ce ajută la captarea integrală a luminii existente. Trebuie avut însă în vedere că la utilizarea obiectivelor cu unghiuri de câmp extreme apar distorsiuni evidente pe marginea fotogramei.
- b) utilizarea unei lămpi electronice (flash) ori de câte ori este posibil acest lucru. Pentru a fotografia un obiect de la o distanță redusă se montează flash-ul pe un stativ mobil, astfel încât să poată fi rotit în poziția avantajoasă. Când se filmează obiecte sau zone mai îndepărtate se va folosi un flash cu repetiție. În acest caz, este util un exponometru pentru reglajele de distanță și diafragmă.
- c) folosirea aperturii cele mai mici posibile. Aceasta va asigura o adâncime de câmp maximă, ceea ce va evita erorile de apreciere a distanței de focalizare.

- d) pentru a obține o calitate cât mai bună a fotografiei se vor face mai multe expuneri la valori diferite ale diafragmei și timpului de expunere. Trebuie avut în vedere că la efectuarea fotografierii sub apă filmul este articolul cel mai ieftin.

În ceea ce privește tipul de film care se alege se preferă în general filmul color celui alb - negru. Filmele alb-negru se utilizează doar în situații speciale în care culoarea nu este relevantă sau este necesară o rezoluție foarte înaltă. Comparând filmul alb-negru cu filmul color, cel din urmă este caracterizat printr-o „latitudine” mai îngustă și necesită un grad de precizie mai mare în timpul procesării. „Latitudinea” este toleranța filmului la sub - sau suprapunere. Un film cu latitudine strânsă este recomandabil în apă în condiții de expunere incertă. Este de relevat că filmul color negativ are o latitudine mai mare decât filmul color reversibil și permite unele corecturi de culoare pe timpul procesării.

Alegerea sensibilității filmului necesită multă experiență și presupune anticiparea condițiilor în care se execută fotografierea. În general, la fotografierea sub apă se folosește un film de sensibilitate ASA-400.

4.4 Controlul cu pulberi magnetice

Examinarea cu pulberi magnetice constă în detectarea discontinuităților într-un material feromagnetic pe baza efectelor induse de aceste discontinuități asupra unor caracteristici ale câmpului magnetic produs în obiectul de controlat. În mod efectiv, se utilizează proprietatea pulberilor magnetice de a se acumula în zona discontinuităților, ca urmare a atragerii lor de către câmpul de dispersie.

Așa cum rezultă din figura 4.4 se pot detecta prin această metodă doar discontinuități de suprafață sau aflate la mică distanță de suprafață, discontinuități, în special, de tipul fisurilor, [98]. Sub influența câmpului magnetic particulele aflate în suspensie fluorescentă se concentrează în jurul marginilor discontinuităților.

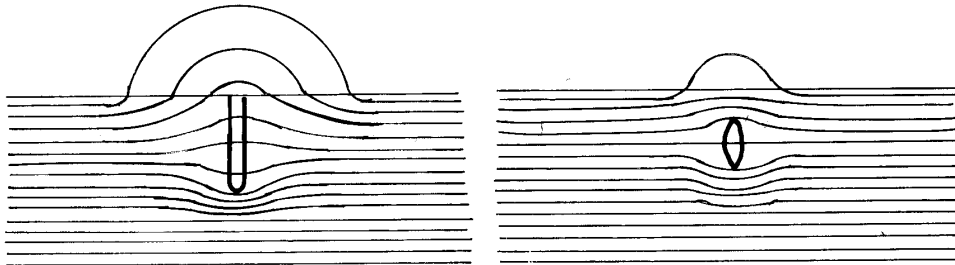


Figura 4.4. Control cu pulberi magnetice

Modificările de permeabilitate magnetică superficială și subsuperficială provocate de prezența unor discontinuități conduc la modificarea liniilor de câmp magnetic obligând ca acestea să se închidă la suprafața piesei. Astfel, se formează câmpul magnetic de dispersie ca element de bază al observării, examinării și înregistrării discontinuităților de la suprafața piesei controlate.

Multitudinea procedurilor de magnetizare conferă metodei o bună adaptabilitate la complexitatea geometrică și dimensională a pieselor. Ca sursă de câmp magnetic se utilizează atât magneți permanenți, cât și electromagneți.

Puterea magneților sau intensitatea curenților utilizați depinde de permeabilitatea oțelului testat și de posibilitățile de magnetizare.

Principalele mărimi magnetice – forța coercitivă, magnetizația de saturație, permeabilitatea și inducția remanentă – depind de caracteristicile materialului și anume compoziția chimică, formele de cristalizare, tipul structurii, cantitatea de dislocații și de incluziuni etc. Forța coercitivă este influențată, mai ales, de structură și doar în mică măsură de compoziția chimică. Magnetizația de saturație este influențată, mai ales, de compoziția chimică și în mai mică măsură de structură.

În ceea ce privește performanța de decelabilitate a discontinuităților se precizează că dacă la un control de rutină acesta se situează în domeniul 0.5 – 1mm, la un control optim coordonat se poate ajunge la detectarea unor discontinuități cu deschidere de până la 0,001mm, [25].

Examinarea cu particule magnetice se aplică în cazul îmbinărilor sudate cap la cap și de colț și se efectuează în mediu uscat, hiperbaric, utilizând aparatură de magnetizare de tip jug cu magnet permanent, jug electromagnetic, bobină sau conductor parcurs de curent, respectiv trecerea curentului de magnetizare prin piesă. Jugurile magnetice utilizate trebuie să aibă distanța între poli de 100 – 150 mm și forța de ridicare de 50 N la curent alternativ, respectiv 200 N la curent continuu sau magnet permanent. Intensitatea componentei tangențiale a câmpului magnetic trebuie să fie cuprinsă între 2400 A/m și 6000 A/m, exceptând cazul controlului cu jug, bobină sau trecere de curent prin piesă. În cazul utilizării bobinei raportul dintre tensiunea magnetomotoare și diametrul piesei trebuie să fie între 8000 și 16000 As/m. La trecerea curentului prin piesă se va lucra preferențial cu curent alternativ sau redresat monoalternanță, cu distanța între electrozii de contact între 200 și 300 mm și raportul între intensitatea curentului și distanța între electrozi 4000 – 5000 A/m, [97].

Suprafața pieselor de examinat trebuie să fie curată și uscată. Pentru evidențierea discontinuităților, indiferent de orientare, trebuie efectuată examinarea cu câmp magnetic după două direcții perpendiculare între ele. Dacă se lucrează cu particule magnetice colorate trebuie să existe un contrast bun între particule și suprafața piesei. În cazul utilizării particulelor fluorescente examinarea trebuie efectuată în întuneric, folosind o lampă de radiații ultraviolete care produce radiații în domeniul de lungime de undă 350 – 380 nm.

Examinarea cu particule magnetice se efectuează conform cerințelor specificate în standardul EN 1290, verificarea sensibilității de examinare se face cu un corp de comparație conform standardului EN ISO 9934-3 și evaluarea admisibilității indicațiilor de discontinuitate se face conform criteriilor specificate în standardul EN 1291.

Un aspect specific pentru examinarea cu particule magnetice la îmbinări sudate este faptul că după efectuarea examinării piesele respective trebuie de regulă demagnetizate, adică câmpul magnetic rezidual trebuie să fie sub 400 A/m, precum și faptul că se lucrează de regulă numai cu suspensii umede de particule magnetice preparate folosind ca fluid purtător apa.

Controlul efectiv se efectuează de scafandru care trebuie să fie instruit corespunzător ca operator pentru examinare nedistructivă.

4.5 Controlul cu ultrasunete

Metoda de control cu ultrasunete sub apă a fost dezvoltată și perfecționată în ultimii zece ani și a dovedit rezultate bune în controlul îmbinărilor sudate cap la cap ale elementelor tubulare offshore în categoria cărora intră conductele submarine de

transport și elementele structurale portante cum sunt tuburile (coloanele) verticale de la picioarele platformei și jacketului.

Controlul cu ultrasunete pune în evidență toate tipurile de discontinuități volumice și plane, cât și grosimile de materiale permițând examinarea secțiunilor de grosimi mari și foarte mari, distanțele parcurse în laminate sau forjate din oțel ajungând până la 5 – 10mm. Frecvența uzuală a ultrasunetelor este 5 MHz.

Metoda prezintă avantajul unui rezultat imediat prin identificarea cu mare precizie a coordonatelor și mărimii discontinuității.

Metoda are o sensibilitate de 0,5mm pentru defecte volumice, respectiv la nivele superioare pentru fisuri fine, care în general sunt dificil detectate prin metode radiografice, [115].

Echipamentul de control fiind ușor și autonom, metoda poate fi aplicată la produse și instalații complexe, precum și în condiții de șantier. Operația de control se pretează la mecanizare și automatizare.

În figura 4.5. este prezentat modul de realizarea a controlului subacvatic cu ultrasunete. Defectoscopul cu ultrasunete se afla la suprafața apei, controlul efectiv (manipularea palpatorului) realizându-se de scafandru aflat în apă. Interpretarea rezultatului se face de un operator aflat la suprafață.

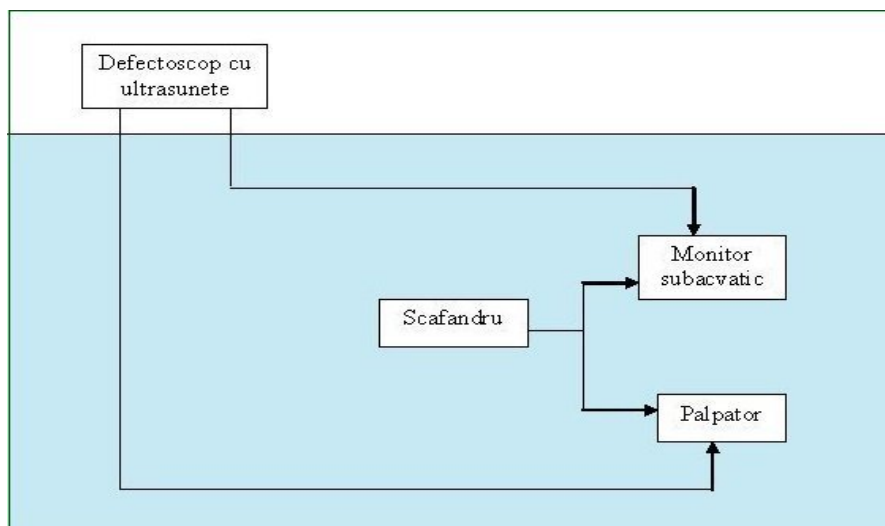


Figura 4.5. Tehnica de control subacvatic cu ultrasunete.

Examinarea cu ultrasunete în apă se aplică în cazul îmbinărilor sudate cap la cap și în colț utilizând traductori normali, de 0°, cu frecvența de lucru cuprinsă în domeniul 1 – 6 MHz, utilizând tehnica cu impuls reflectat sau eventual tehnica prin transmisie.

Pentru calibrarea corespunzătoare a echipamentelor de examinare ultrasonică se vor utiliza corpuri de calibrare de tip 1, conform EN 12223, de tip 2, conform EN 27963, sau corpuri de referință cu discontinuități de număr, dimensiuni și poziții convenabil alese, funcție de tipul și dimensiunea materialului de bază a îmbinării sudate. Parcursul ultrasonic între traductor și cel mai apropiat reflector de calibrare trebuie să fie de minim 0,6 lungimi de câmp apropiat. Funcție de modalitatea de calibrare aleasă se va ridica curba distanță – amplificare - mărime cu

ajutorul corpurilor de calibrare sau curba de distanță-amplitudine cu ajutorul corpurilor de referință. Echipamentele de examinare ultrasonică utilizate trebuie să permită punerea în evidență a unui ecou cu amplitudinea cu minim 24 decibeli mai mică decât înălțimea ecranului. [115].

În cazul lucrului în mediu hiperbaric uscat este necesară utilizarea unor traductori ultrasonici normali, emisie-recepție, precum și a unor traductori ultrasonici înclinați cu unghiurile nominale de 45°, 60° și 70°.

Examinarea cu ultrasunete se efectuează conform cerințelor specificate în EN 583 și EN 1714, caracterizarea indicațiilor detectate de discontinuitate se face conform criteriilor din EN 1713 și evaluarea admisibilității indicațiilor de discontinuitate se face conform criteriilor specificate în EN 1712.

Un aspect specific pentru examinarea cu ultrasunete la îmbinări sudate efectuată direct în apă, similară cu examinarea cu ultrasunete efectuată în imersie, este lipsa necesității utilizării unei substanțe de cuplaj între traductorul ultrasonic și piesă.

4.6. Controlul cu radiații

Metoda de control cu radiații constă în proiectarea unui fascicul cilindric divergent sau conic de radiații penetrante asupra piesei sau zonei de controlat și înregistrarea pe film a modificărilor suferite de fascicul la trecerea prin piesa de controlat.

Radiațiile penetrante pun în evidență majoritatea tipurilor de defecte. Ele pot furniza și indicații asupra variațiilor de grosimi și integrității piesei.

Tehnica de radiografiere se realizează cu raze X sau raze gama. La tehnica de radiografie cu raze X se pot regla parametrii sursei de energie spre deosebire de sursele de energie de la tehnica gama unde parametrii rămân constanți. Pentru ambele tipuri de surse de radiație rezultatul controlului se înregistrează pe film, acesta fiind documentul de bază al controlului.

Din punct de vedere calitativ, defectoscopia cu radiații X este superioară celei cu radiații gama datorită sensibilității mai mari, mai ales pentru grosimile mici. Sub aspect economic, este mai avantajos controlul cu radiații gama, fiind mai ieftin.

Productivitatea controlului prin radiografiere scade pe măsura creșterii grosimii materialului sau piesei de controlat, astfel aplicarea metodei este limitată de grosimea materialului de controlat.

Gradul de detectare al discontinuităților depinde de poziția planului în care se află discontinuitatea în raport cu direcția fascicolului de raze, situația optimă fiind coincidența lor.

Examinarea cu radiații penetrante (radiații X sau gamma) se aplică mai ales în cazul îmbinărilor sudate cap la cap și numai în cazuri de excepție și la îmbinări sudate în colț (din cauza variației grosimii penetrate în cadrul fasciculului de radiații). Parametrii care stau la baza examinării cu radiații penetrante sunt caracteristicile îmbinării sudate (grosime tablă, lungime sudurii, geometrie sudurii), sursa de radiații X (dimensiune focar, tensiune înaltă maximă, curent prin tub maxim) sau gama (dimensiune focar, tip izotop, activitate sursă), sistemul de film radiografic (tip de film, clasa de film, ecrane intensificatoare față-spate, material ecrane, grosime ecrane), geometria de expunere (distanța focar-piesă, distanța piesă-film, unghi de deschidere fascicul radiații), tip de indicator de calitate a imaginii radiografice utilizat, poziția de amplasare a ICI (de partea sursei, de partea filmului), densitatea optică cerută a filmului radiografic, determinată pe materialul de bază adiacent sudurii, lungimea interpretabilă a filmelor radiografice.

Un aspect specific pentru examinarea cu radiații penetrante la îmbinări sudate, efectuată direct în apă este luarea în considerare a atenuării radiațiilor penetrante datorită stratului de apă ca factor suplimentar de atenuare a fasciculului de radiații comparativ cu situația obișnuită a expunerii în aer. Contribuția atenuării apei este dată de valoarea stratului de înjumătățire pentru diferite valori ale energiei radiațiilor: pentru radiații de 200 keV 51 mm, pentru radiații de 500 keV 63 mm, pentru radiații de 1 MeV 90 mm și pentru radiații de 2 MeV 126 mm.

Geometria de expunere se alege conform variantelor din standardele EN 444 și EN 1435, sistemele de filme radiografice se vor încadra în cerințele cuprinse în EN 1435, indicatorii de calitate a imaginii radiografice vor fi de tipul celor prezentate în EN 462, partea 1 sau 2, vizibilitatea elementelor ICI va fi conform EN 462 partea 3 sau EN 1435, anexa B, densitatea optică măsurată a filmelor radiografice va fi de minim 2,0 conform cerințelor din EN 1435, admisibilitatea indicațiilor de discontinuitate detectate va fi conform EN 12517.

Instalațiile radiologice de control nedistructiv pentru aplicații subacvatice trebuie să îndeplinească cerințe specifice, conform art. 72. al Normei de radioprotecție operațională privind desfășurarea practicii de control nedistructiv cu radiații ionizante emise de CNCAN:

a) suplimentar față de standardele specifice ce trebuie îndeplinite de instalațiile radiologice convenționale, echipamentele de radiografii subacvatice trebuie să fie proiectate, fabricate și testate pentru a rezista presiunilor și condițiilor întâlnite în mediile subacvatice, fiind prevăzute suplimentar cu următoarele:

(i) etanșări impermeabile corespunzătoare;

(ii) echipamente auxiliare impermeabile;

(iii) aparate de semnalizare a radiațiilor sau alte detectoare de

radiații;

b) instalațiile radiologice pentru aplicații subacvatice trebuie să fie marcate cu valoarea adâncimii maxime la care pot fi utilizate în siguranță. Alte restricții suplimentare trebuie precizate în manualul de utilizare și întreținere.

Utilizarea metodei de control radiografic în scufundare este limitată deoarece pentru o detectare reală a defectelor trebuie respectată o tehnologie strictă, iar scafandru trebuie să fie autorizat și foarte bine instruit, mai ales în cazul inspecției conductelor subacvatice. În cazul îmbinărilor de colț aplicabilitatea metodei este îngădită de posibilitățile de manevrare a tuburilor de radiații.

4.7. Pregătirea în vederea executării controlului

Un element esențial în executarea în bune condiții a controlului nedistructiv la o structură imersă îl constituie pregătirea operației de control și asigurarea aparaturii necesare și a factorului uman calificat corespunzător.

La o operație de control nedistructiv subacvatică pe lângă completul de scufundare standard se mai folosesc și alte aparate care sunt verificate periodic. Acestea sunt:

- surse de iluminat
- aparate pentru comunicare prin telefon
- camera TV cu înregistrare video
- aparatura fotografică, materiale fotosensibile
- aparatura de control nedistructiv (ultrasonic, magnetic, radiografice).

Pentru controlul subacvatic este necesară o echipă mai numeroasă decât în cazul controlului la suprafață. Astfel, echipa de control subacvatic trebuie să fie formată din minim următoarele persoane:

- un șef de scufundare sau șef de șantier ce răspunde de întreaga activitate;
- un asistent medical sau medic în funcție de adâncimea de lucru;
- un scafandru de securitate;
- echipa de control din apă, formată din minim doi scafandri - un operator de control și un însoțitor.

În cazul controlului cu ultrasunete este necesar și un operator pentru control aflat la suprafață.

Echipa de scafandri trebuie să cunoască condițiile hidro-meteorologice din zona în care se află structura, precum și prognoza pentru perioada în care se efectuează controlul.

4.8 Instruirea, calificarea și certificarea personalului operator pentru sudarea sub apă

Sudarea sub apă necesită un personal sudor și pentru examinări nedistructive calificat corespunzător.

4.8.1 Calificarea și certificarea sudorilor

Federația Europeană de Sudură EWF a elaborat un ghid de calificare a sudorilor subacvatici prin procedeul de sudare cu electrozi înveliți, [127], ghid adaptat condițiilor precizate în standardele EN ISO 4063 și EN ISO 15618-1.

Standardul EN ISO 15618 -1 "Testarea sudorilor la sudarea subacvatică,, - partea 1:

Examinarea sudorilor subacvatici se face după o schemă de examinare pentru diferite condiții de sudare umedă.

Ghidul EWF „Sudarea manuală subacvatică”, Doc. EWF – 570-01 a fost realizat pentru a furniza un mod armonios de educare și instruire pentru sudorii subacvatici. Acest ghid asigură o combinație între pregătirea practică pentru obținerea de abilități de sudare, evaluate prin teste de dificultate crescătoare, incluzând cerințele standardului EN ISO 9606-1 și o pregătire teoretică, evaluată prin examinare teoretică. Se apreciază că sudorii subacvatici care absolvă programul de instruire obțin un standard înalt de calificare și îndemnare ce le permite să realizeze suduri subacvatice de calitate.

Programul de instruire în sudare subacvatică se desfășoară pe două niveluri de calificare:

- sudor subacvatic table.
- sudor subacvatic conducte.

Pentru fiecare nivel de calificare programul de formare cuprinde două module de dificultate diferită. Cursul are o parte teoretică și una practică.

Partea teoretică a cursului cuprinde un total de 14 ore de predare grupate pe următoarele capitole:

- Procedeele de sudare și diferențele lor generale - 1ora
- Introducere în electricitate - 2 ore
- Aspecte metalurgice - 2 ore
- Examinarea îmbinărilor sudate - 1ora

4.8 - Instruirea, calificarea și certificarea personalului operator pentru sudarea sub apă 57

- Materiale pentru aplicarea procesului de sudare umedă - 2 ore
- Aspecte metalurgice la sudarea umedă - 2 ore
- Surse de putere și polarități - 1oră
- Siguranța în exploatare (în aplicații subacvatice) - 3 ore.

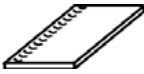

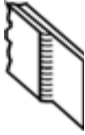
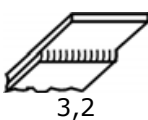
Partea practică a cursului se desfășoară pe 4 module cu dificultate crescândă de la modulul UW1 la modulul UW4 (UW inițialele „Under – Water”, adică „sub apă”). Detalii privind tematica și durata acestor module de pregătire practică sunt prezentate în tabelul 4.3

Tabelul 4.3 Module pentru instruirea practică a sudorului sub apă

EWf-E-UW 4 Sudor subacvatic pentru conducte cap la cap Poziția de sudare PG, J-L045 Recomandări: Grosimea minimă a peretelui 10 mm, Diametrul conductei: 150 mm - 250 mm	Practic: teoretic: <u>test*</u> : total:	45 h 14 h 6 h 65 h
EWf-E-UW 3 Sudor subacvatic de colț pentru conducte Poziția de sudare: PG, PD Recomandări: Grosimea minimă a peretelui 10 mm , Diametrul conductei: 150 mm - 250 mm	Practic: teoretic: <u>test *</u> : total:	47 h 14 h 6 h 67 h
EWf-E-UW 2 Sudor subacvatic pentru plăci cap la cap Poziția de sudare PG, PD Recomandări: Grosimea minimă a plăcii 10 mm Epruvetele se pot selecta în funcție de figurile 7a) sau 7b) din EN ISO 15618-1	Practic: teoretic: <u>test *</u> : total:	36 h 14 h 6 h 56 h
EWf-E-UW 1 Sudor subacvatic de colț pentru plăci Poziția de sudare:PG, PD Recomandări: Grosimea minimă a plăcii 10 mm	Practic: teoretic: <u>test *</u> : total:	37 h 14 h 6 h 57 h
* Timpul stabilit pentru teste include testele teoretice și practice		

Pentru fiecare modul de instruire practică sunt precizate detaliile exercițiilor practice de sudare, așa cum este arătat în tabelul 4 pentru modulul UW2.

Tabelul 4.4 Exerciții practice de sudare la modul de instruire UW2

EWF-E-UW 2							
Nr	Timp minim		Exerciții practice				
	ore	Total ore	Tipul sudurii	Intervalul grosimii recomandată (mm)	poziție	schiță	electrod (Ø în mm)
1	3	3	—	1)			
2	3	3 + 3 = 6	Sudură pe placă	10	PA		3,2
3	6	6 + 6 = 12	Sudură	10	PB		3,2
	12 (+3)	12 + 12 + 3 = 27	Sudură în colț plăci suprapuse	10	PG		3,2
5	12 (+3)	27 + 12 + 3 = 42	Sudură în colț plăci suprapuse	10	PD		3,2
6	15	42 + 15 = 57	—	2)			

1) introducere / familiarizare

2) educație teoretică E-UW 1.2

La finalul instruirii urmează examinarea care constă dintr-o parte teoretică cuprinzând o probă scrisă sub formă de întrebări cu răspunsuri multiple (1 oră) și o examinare orală (2 h) la discreția Comisiei de examinare, respectiv o probă practică adaptată la modulul respectiv.

Examinarea și certificarea sudorului subacvatic se va face pe baza cerințelor EN ISO 15618 -1. Sudorul subacvatic care finalizează cu succes examinarea primește un certificat de calificare în care sunt precizate modulele finalizate, certificatul fiind valid pentru o perioadă de 2 ani.

Având în vedere dificultatea specifică sudării sub apă ghidul EWF precizează cerințe exprese pentru instruirea practică. Astfel, ședințele de instruire practică în apă nu trebuie să depășească 3 ore. După o ședință de practică în apă de 3 ore, sudorul trebuie să i se asigure o pauză suficient de lungă pentru a-și reveni în urma efortului depus în apă. Instructorul sudor trebuie să urmărească permanent pregătirea sudorului și, de aceea, un instructor nu are voie să lucreze cu mai mult de 5 sudori în apă.

4.8.2 Calificarea și certificarea operatorilor pentru examinare nedistructivă

În general, condițiile de calificare și certificare a personalului de examinare nedistructivă, efectuate sub apă, sunt asemănătoare cu cele specificate în EN 473. Un operator pentru examinare nedistructivă trebuie să fie calificat, funcție de calificarea sa, în unul din cele trei niveluri de calificare precizate în standard.

Cerințele specifice celor 3 niveluri de calificare sunt următoarele:

Nivelul 1

O persoană certificată pentru nivelul 1 a demonstrat competență în efectuarea de examinare nedistructivă conform unor instrucțiuni scrise, sub supravegherea unei persoane certificate pentru nivelul 2 sau 3.

În domeniul de aplicare a competenței definit în certificat, persoana de nivel 1 poate fi autorizată să:

- a) efectueze reglarea aparaturii de examinare nedistructivă;
- b) efectueze examinarea;
- c) înregistreze și să clasifice rezultatele examinării funcție de criterii scrise;
- d) consemneze rezultatele examinării.

Persoana certificată pentru nivel 1 nu poate să fie responsabilă pentru alegerea metodei de examinare, a tehnicii de utilizat sau evaluarea rezultatelor examinării.

Nivelul 2

O persoană certificată pentru nivelul 2 a demonstrat competență în realizarea de examinare nedistructivă conform unor proceduri stabilite sau recunoscute.

În domeniul de aplicare a competenței definit în certificat, persoana de nivel 2 poate fi autorizată să:

- a) aleagă tehnica de examinare nedistructivă de utilizat pentru metoda respectivă de examinare;
- b) definească limitările privind aplicarea metodei de examinare;
- c) transpună standarde și specificații în instrucțiuni de examinare nedistructivă;
- d) regleze aparatura și să verifice reglarea acesteia;
- e) efectueze și să supravegheze examinarea;
- f) interpreteze și să evalueze rezultatele în funcție de standarde, coduri sau specificații aplicabile;
- g) elaboreze instrucțiuni de examinare nedistructivă scrise;
- h) realizeze și să supravegheze toate sarcinile atribuite nivelului 1;
- i) îndrume personalul pentru nivelul 2 sau inferior acestui nivel;
- j) structureze și să redacteze rapoarte de examinare nedistructivă.

Nivelul 3

O persoană certificată pentru nivelul 3 a demonstrat competență în realizarea și îndrumarea operațiilor de examinare nedistructivă pentru care este certificat.

O persoană certificată pentru nivelul 3 poate:

- a) să-și asume întreaga responsabilitate pentru o instalație de examinare, un centru de examinare și pentru personal;
- b) să stabilească și să valideze instrucțiuni și proceduri de examinare nedistructivă;

- c) să interpreteze standarde, coduri, specificații și proceduri;
 - d) să desemneze metode de examinare, proceduri și instrucțiuni de examinare nedistructivă de utilizat în situații particulare;
 - e) să realizeze și să supravegheze toate sarcinile atribuite nivelului 1 și 2.
- Personalul certificat pentru nivelul 3 a demonstrat:

- a) competență pentru evaluarea și interpretarea rezultatelor în funcție de standarde, coduri și specificații existente;
- b) o cunoaștere suficientă bazată pe experiență practică, a tehnologiei materialelor, fabricației și produselor implicate, pentru a alege metode de examinare nedistructivă, a stabili tehnici de examinare nedistructivă și a ajuta la definirea criteriilor de acceptare, atunci când acestea nu sunt disponibile;
- c) o cunoaștere generală a altor metode de examinare nedistructivă;
- d) aptitudine pentru îndrumarea personalului de nivel inferior nivelului 3.

Pentru a obține certificarea candidatul la calificare/certificare trebuie să furnizeze dovada scrisă a unei acuități vizuale satisfăcătoare, stabilită de un medic oftalmolog conform unor cerințe precizate în standardul EN 473. Verificarea documentată a acuității vizuale trebuie efectuată cel puțin o dată pe an.

Pentru certificare, candidatul trebuie să promoveze examenul de certificare relevant, să îndeplinească cerințele privind formarea, experiența industrială de examinare nedistructivă și acuitate vizuală satisfăcătoare.

În afara cerințelor privind acuitatea vizuală, candidatul care urmează a efectua direct examinare nedistructivă sub apă, trebuie să îndeplinească cerințele de aptitudine fizică valabile pentru scafandri. Se exceptează de la prevederea precedentă candidatul care efectuează examinare nedistructivă aflându-se pe un vas de suprafață, mânuirea directă a aparaturii de examinare nedistructivă fiind efectuată de un scafandru, între cei doi existând o legătură audio și video permanentă.

CAPITOLUL 5

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU OPTIMIZAREA PROCESULUI DE SUDARE MIG/MAG SUB APĂ

Programul de cercetare experimentală și-a propus fundamentarea condițiilor de aplicare în condiții subacvatice a procedurii de sudare MIG/MAG, în regim semi - sau complet mecanizat, ca o alternativă superioară sub aspect calitativ și economic sudării cu electrozi înveliți.

Pentru a asigura o bază de referință pentru programul experimental propriu zis de sudare MIG/MAG s-au efectuat, într-o primă etapă, experimentări de sudare manuală cu electrozi înveliți, având în vedere utilizarea aproape exclusivă a acestui procedeu de sudare la lucrările subacvatice realizate în prezent în țară,[70]. În cadrul acestor experimentări preliminare s-a urmărit clarificarea unor aspecte legate de influența parametrilor de sudare în condiții subacvatice, respectiv influența adâncimii de lucru asupra procesului de sudare.

În continuare, s-a derulat un program experimental de sudare MIG/MAG în diferite condiții de mediu - uscat și umed. Programul experimental a cuprins:

- sudarea MIG/MAG în condiții uscate în două variante: cu uscare locală sau în camera hiperbarică utilizând ca material de adaos sârmă plină sau tubulară;
- sudare MIG/MAG în condiții umede utilizând ca material de adaos sârmă tubulară cu autoprotecție .

Materialul de adaos de tip sârmă tubulară cu autoprotecție a fost luat în considerare pentru a evita dificultățile de asigurare în mediul subacvatic a unei protecții de gaz corespunzătoare în cazul utilizării unor recipiente de gaz aflate la suprafață.

În cadrul experimentărilor au fost efectuate diferite tipuri de îmbinări sudate utilizate frecvent la construcții navale. Astfel, s-au execut depuneri prin sudare (întâlnite frecvent în operații de reparații sub apă), suduri în colț, suduri în colț prin suprapunere și suduri cap la cap. În toate cazurile, poziția de sudare a fost cea orizontală.

Pentru realizarea programului experimental de sudare MIG/MAG în condiții umede a fost necesară conceperea de către doctorand și executarea unei instalații de sudare cu uscare locală și a unui cap (pistolet) de sudare care a constituit, de altfel, subiectul unui brevet de invenție. Experimentările au fost executate folosind ca material de baza table din oțel naval A 32 cu grosime de 8 și 10 mm, acest material de baza având un volum mare de utilizare în construcții navale. Programul experimental a fost realizat în Centrul de Scafandri Constanța, Universitatea Dunărea de Jos din Galați și ISIM Timișoara. Sudarea manuală cu electrozi înveliți și sudarea semimecanizată MIG/MAG. au fost efectuate de scafandri profesioniști instruiți ca sudori.

5.1. Cercetări experimentale privind sudarea subacvatică umedă cu electrozi înveliți

Programul experimental de sudare cu electrozi înveliți a urmărit două obiective:

- analiza influenței parametrilor de sudare asupra calității sudurilor în cazul depunerii prin sudare, respectiv al îmbinărilor în colț;
- investigarea influenței adâncimii apei asupra calității sudurii.

5.1.1. Analiza influenței parametrilor de sudare asupra calității sudurilor

Experimentările de sudare s-au realizat în apă de mare la adâncimea de 5 m utilizând un electrod învelit de tip E70XX (BROCO), cu diametrul 3,25 mm.

Au fost realizate două tipuri de îmbinări sudate: depuneri prin sudare și îmbinări în colț.

5.1.1.1 Depunerea prin sudare

În urma unor încercări experimentale au fost stabiliți parametrii principali de sudare și anume: intensitatea curentului de sudare $I_s = 210$ A și tensiunea arcului electric $U_a = 23,6$ V, viteza de sudare fiind cca. 9,2 cm/min.

În figura 5.1 sunt prezentate aspectul vizual și macrostructura unei depuneri prin sudare realizată cu acești parametri. Sudura prezintă crestături marginale și incluziuni de zgură. Dimensiunile geometrice ale depunerii prin sudare sunt: pătrundere - 2,6 mm; supraînălțare - 3,2 mm și lățime sudură - 11,3 mm. Lățimea zonei influențate termic ZIT variază între 5,5 și 8 mm. Se remarcă o creștere a lățimii ZIT spre rădăcina sudurii.

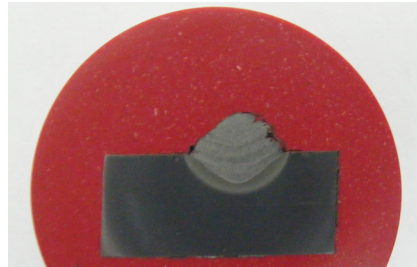


Figura 5.1. Aspectul vizual și macrostructura unei depuneri prin sudare cu electrozi înveliți.

Analiza microscopica a arătat rezultatele prezentate în figura 5.2.

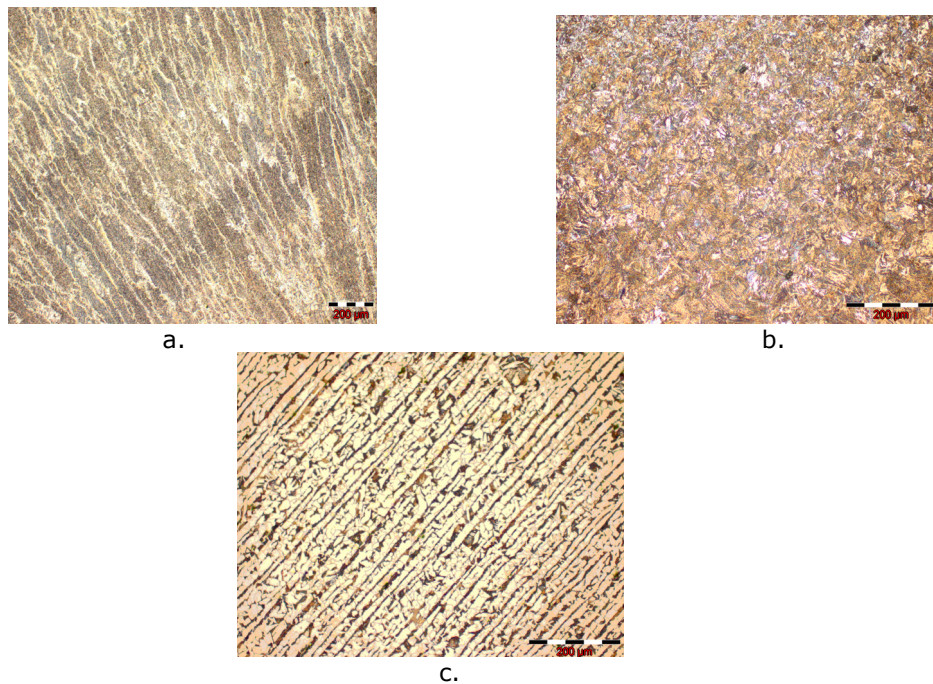


Figura 5.2. Microstructura zonelor depunerii prin sudare, 100x; a – MD, b – ZIT, c - MB.

Metalul depus* MD prezintă o structură formată din grăunți alungiți pe direcția fluxului termic, compusă din ferită aciculară și structură Widmanstätten pe limitele de grăunte. MD prezintă incluziuni foarte mici cu o dimensiune de (4 - 7) μm (figura 5.3)

- **Notă:** În lucrare a fost utilizată exprimarea „metal depus” cu simbolizarea MD pentru materialul sudurii, chiar dacă la formarea sa a contribuit, pe lângă materialul de sudare, și materialul de bază.

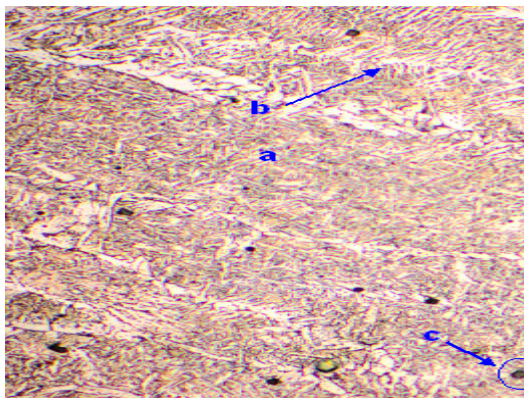


Figura 5.3 Microstructura MD, 100x:
a- ferita aciculară a_a ; b- structură Widmanstätten a_w ; c- incluziuni.

Zona influențată termic ZIT are o structură grosolană în zona de supraîncălzire, de martensită, ferită și structură Widmanstätten pe limitele de grăunte.

Grăunții de martensită au dimensiuni 81 - 85 μm , figura 5.4.

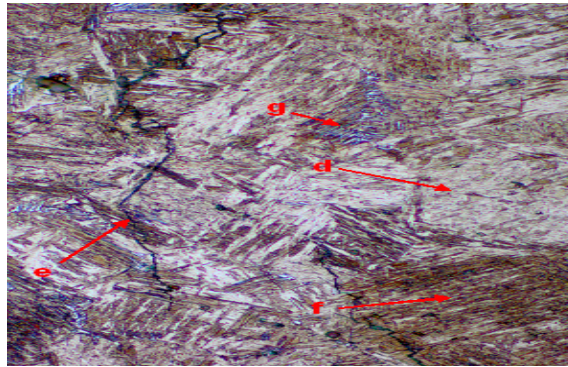


Figura 5.4. Microstructura ZIT în zona de supraîncălzire, 1000x: d - ferită alotriomorfă; e - microfisură pe limita de grăunte; f - martensită; g - ferită Widmanstätten d_w .

Metalul de baza MB prezintă o structură ferito-perlitică în șiruri, cu grăunții alungiți datorită laminării.

Au fost efectuate încercări de duritate HV în cele 3 zone ale sudurii (MB, ZIT și MD) conform schemei prezentate în figura 5.5. Rezultatele acestor încercări sunt prezentate în tabelul 5.1.

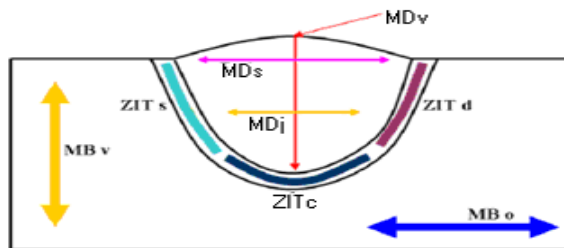


Figura 5.5. Schema de măsurare a durității Vickers HV0,1:

Tabelul 5.1. Valorile microdurităților Vickers HV0,1 pentru sudura depusă în apă de mare la 5 m

MBv	MBo	ZITs	ZITc	ZITd	MDv	MDs	MDj
172	169	419	428	378	230	247	250
166	172	358	434	386	251	252	258
168	167	363	382	396	244	236	241
172	168	399	426	433	256	256	261
167	170	437	365	404	247	231	238

5.1 - Cercetări experimentale privind sudarea subacvatică umedă cu electrozi înveliți 65

170	169	360	383	361	255	255	239
171	167	410	359	359	242	233	251
170	171	385	431	402	238	242	234
169	167	405	401	392	245	254	262
171	169	364	392	395	243	229	240

Modul de variație a durtității în cele trei zone ale sudurii este prezentat în figurile 5.6 - 5.8.

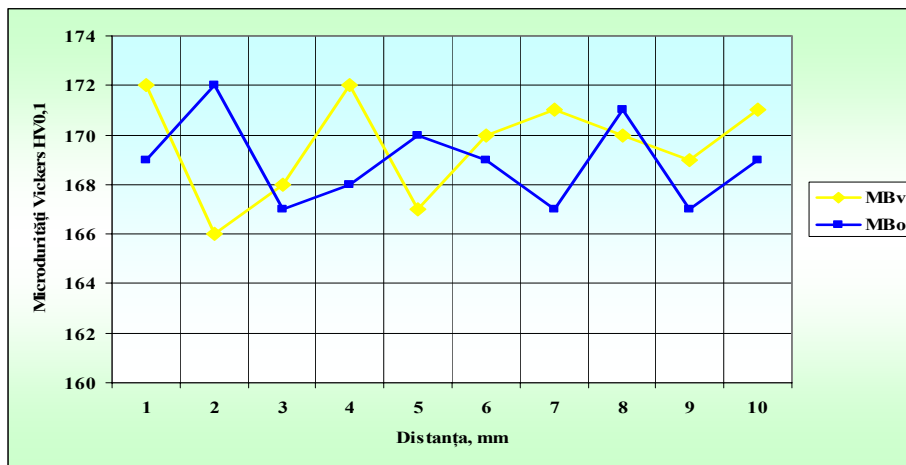


Figura 5.6. Variația durtității HV0,1 în MB

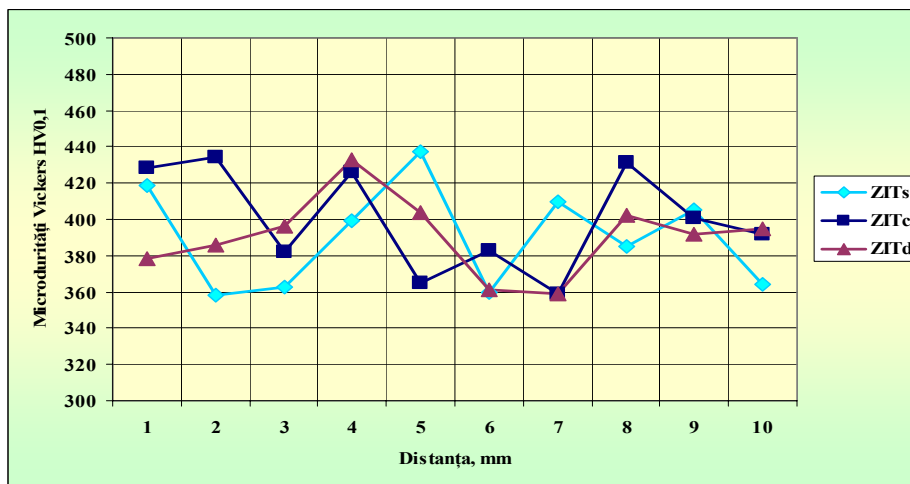


Figura 5.7. Variația durtăți HV0,1 în ZIT

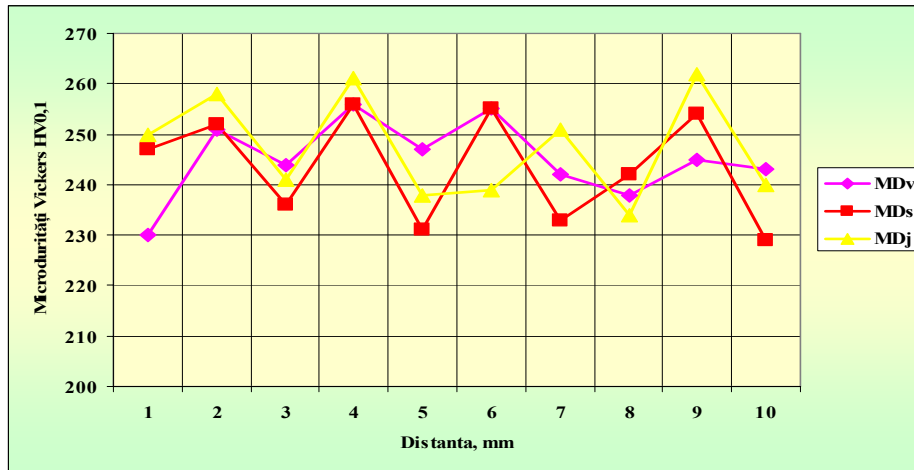


Figura 5.8. Variația durtăți HV0,1 în MD

Duritatea metalului de bază este 164 - 175 HV0,1. Valorile cele mai mari ale durtății, în acord cu structura zonei, se regăsesc în zona influență termică fiind plasate în intervalul 324 - 440 HV0,1. În metalul depus (MD) durtățile sunt 220 - 262, fiind mai mici decât cele specifice ZIT. Direcția de măsurare a durtăți nu are influență semnificativă asupra valorilor obținute în nici o zonă a îmbinării sudate. Durtățile mari sunt rezultatul răcirilor rapide ce au loc în timpul procesului de sudare.

5.1.1.2. Sudarea în colț prin suprapunere

Prin încercări preliminare au fost stabiliți următorii parametri de sudare: Curent de sudare $I_s = 220$ A; tensiunea arcului $U_a = 23$ V, viteza de sudare $V_s = 8,5$ cm/min.

În figura 5.9 sunt prezentate aspectul vizual și macrostructura îmbinării sudate în colț prin suprapunere, iar în figura 5.10 și 5.10a microstructura zonelor îmbinării sudate.

În sudură s-au evidențiat creștături marginale și incluziuni de zgură.

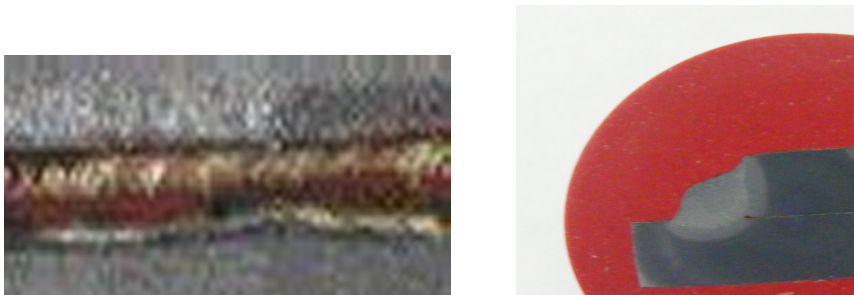


Figura 5.9 Aspectul vizual și macrostructura îmbinării sudate de colț, executată în apă de mare la adâncimea de 5 m.

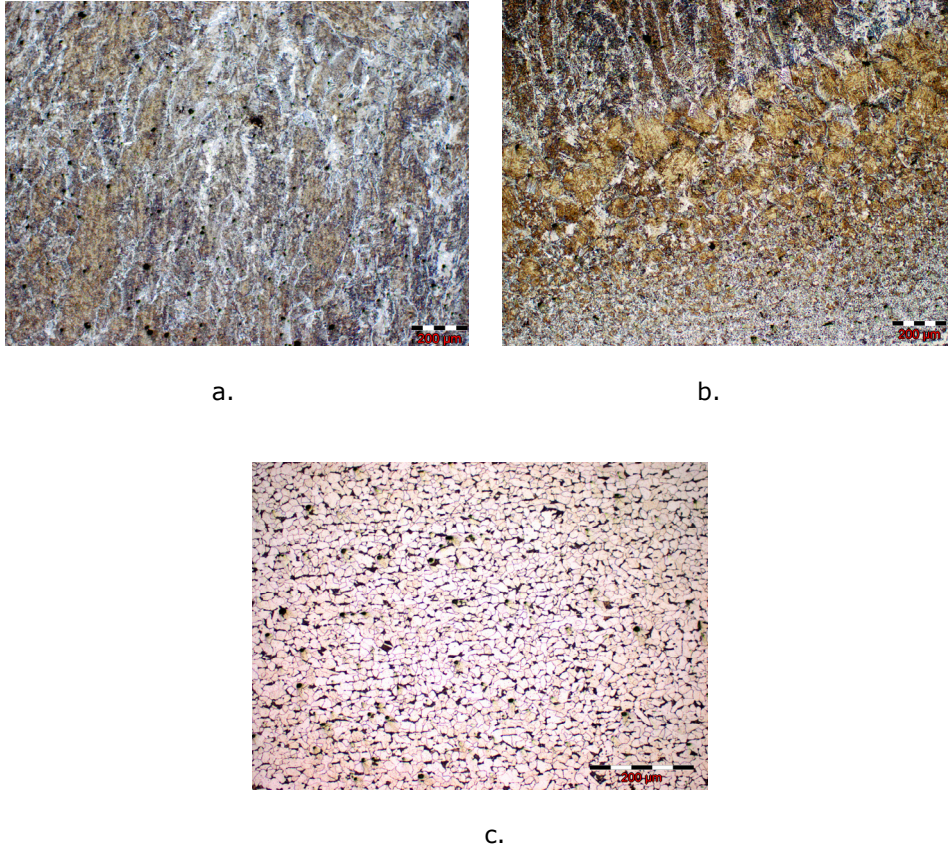


Figura 5.10. Microstructura zonelor sudurii în colț, 100x,
a - MD, b - ZIT, c - MB

Microstructura MD este formată din grăunți alungiți pe direcția fluxului termic și conține ferită aciculară α_a și structură Widmanstätten α_w și grăunți mici de perlită modificată. De asemenea microstructura prezintă incluziuni și pori.

ZIT prezintă în zona de recristalizare o structură mixtă de ferită α , perlită modificată și structură Widmanstätten α_w , iar în zona de supraîncălzire apare structură mixtă cu grăunți grosolani de ferită aciculară α , structură Widmanstätten α_w și perlită. În zona de normalizare din ZIT este prezentă o granulație fină, iar procentul de ferită crește, figura 5.10a.

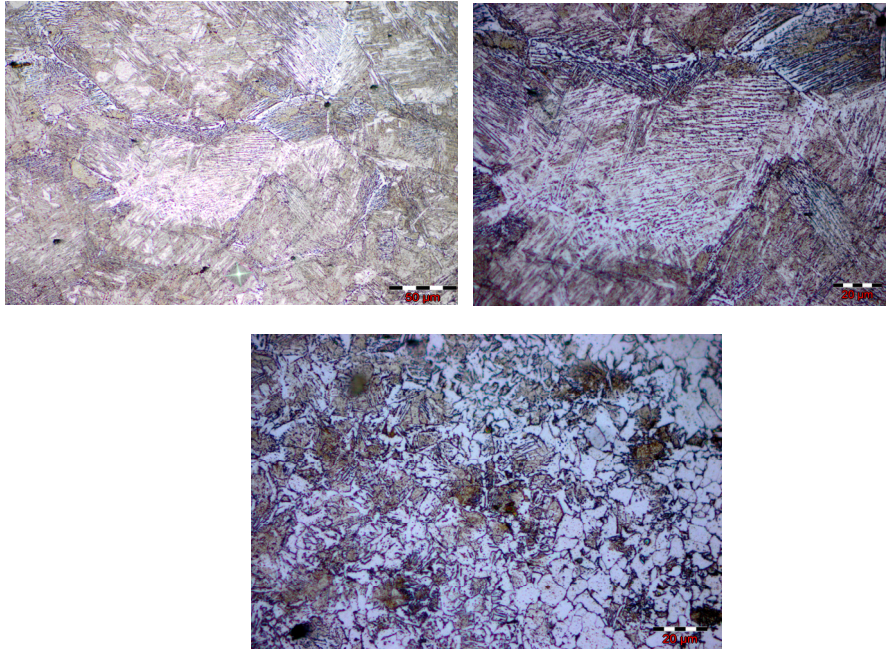


Figura 5.10. Microstructura ZIT în diferite zone

La încercarea de duritate Vickers HV0,1 s-au obținut următoarele domenii de variație a durității: MD: 220 - 269 HV0,1; ZIT:324- 478 HV0,1;MB:164 - 176 HV0,1.

În mod firesc, duritatea maxima este întâlnită în ZIT fiind zona supusă vitezei maxime de răcire ca urmare a temperaturi mediului umed cât și contactului cu pisa aflată în apă.

5.1.2. Investigarea influenței adâncimii apei asupra procesului de sudare în apă

Pentru investigarea influenței adâncimii apei asupra procesului de sudare a fost derulat în colaborare cu ISIM Timișoara un program experimental care a urmărit realizarea unor îmbinări în colț la adâncimi variabile (25 și 40 m),[116]

A fost urmărită influența adâncimii de lucru asupra comportării la sudare a electrozilor înveliți, a factorului uman, a parametrilor de sudare, cât și a factorilor necontrolabil: vizibilitatea, temperatura apei și curenții marini. Probele au fost executate pe o mare de gradul 3, cu vizibilitate la 1,5 m și cu o temperatură a apei de 10 °C.

Sudarea s-a efectuat în condiții reale utilizând electrozi înveliți Gricon 99 cu diametrul 5 mm fiind realizate atât suduri în colț, cât și depuneri prin sudare la diferite adâncimi de lucru.

În figura 5.11 și figura 5.12 sunt prezentate macrostructura, respectiv microstructurile caracteristice unei probe sudate în colț la 25 m adâncime folosind un curent de 300A..

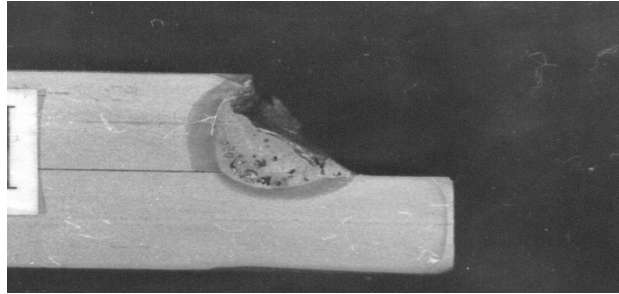
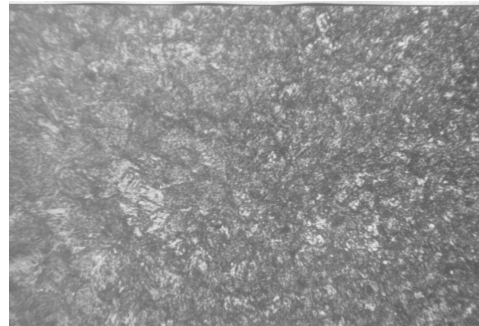


Figura 5.11. Macrostructura sudurii, adâncime 25 m,

Macrostructura sudurii relevă goluri și sufluri în MD, precum și creștături marginale.



a.



b.



c.

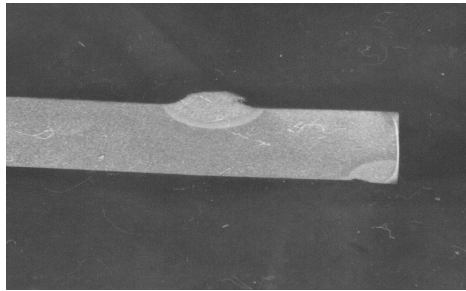
Figura 5.12. Microstructura zonelor sudurii, adâncime 25 m, 100x :
a - MD, b - ZIT; c - MB

Metalul depus (MD) are o structură formată din perlită și ferită de formă dendritică, cu o duritate medie de 240 HV5. În zona influențată termic (ZIT) se remarcă o structură formată din perlită, ferită, ferită aciculară, bainită, proporțiile sunt de 65/35 cu o mărime a grăuntelui de 5-6 μ m și o duritate medie 382 HV5. În ZIT se evidențiază și o structură Widmannstätten. Metalul de baza (MB) prezintă

perlită și ferită în benzi, în proporție de 20/80 cu o mărime a grăuntelui de $9\mu\text{m}$ și o duritate medie de 168 HV5.

Au fost efectuate încercări de rupere tehnologică, rezultatul fiind corespunzător.

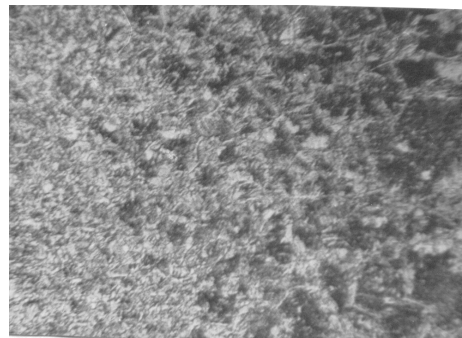
Încercările de rupere tehnologică au fost corespunzătoare pentru toate probele sudate, indiferent de adâncimea de lucru. Macrostructura și microstructurile unei depuneri prin sudare executate la 25 m adâncime la un curent de sudare de 310 A sunt ilustrate în figura 5.13, respectiv figura 5.14.



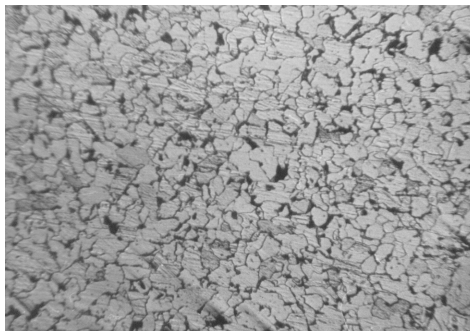
Figură 5.13. Macrostructura unei depuneri, adâncime 25 m.



a.



b.



c.

Figură 5.14. Microstructurii zonelor depunerii prin sudare, adâncime 25 m.100x,
a – MD, b- ZIT, c- MB

5.1 - Cercetări experimentale privind sudarea subacvatică umedă cu electrozi înveliți 71

Metalul depus (MD) are o structură dendritică formată din ferită și perlită cu o duritate medie de 234 HV5. Zona influențată termic (ZIT) prezintă o structură din ferită aciculară și perlită în proporție de 60/40 precum și o structură Widmannstätten, duritatea medie fiind de 297 HV5. Metalul de baza (MB) prezintă o structură formată din perlită și ferită în proporție de 15/85 cu mărimea grăuntelui de $8\mu\text{m}$ și o duritate medie de 124,8 HV5.

Experimentări similare au fost realizate la adâncimea apei de 40 m, în figura 5.15 fiind prezentate macrostructurile a două suduri realizate la această adâncime iar în figura 5.15b, sunt prezentate microstructurile celor două probe A și B.

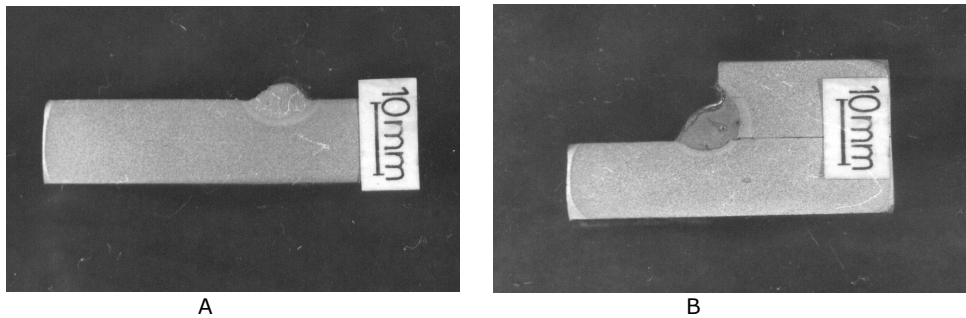
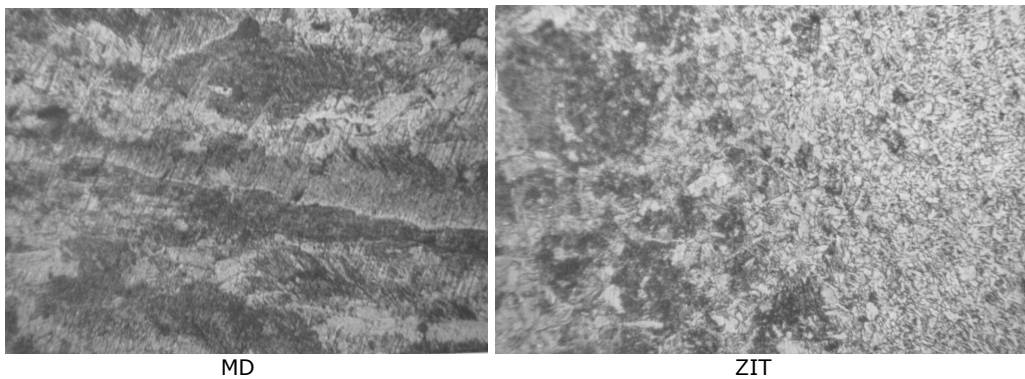


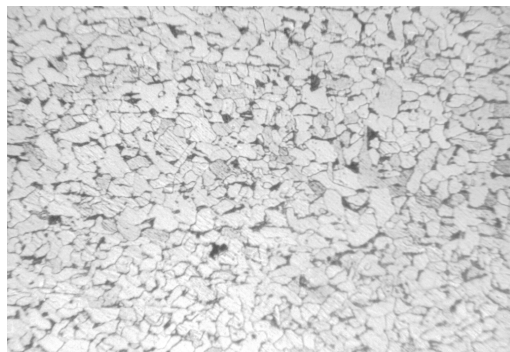
Figura 5.15. Macrostructuri ale probelor sudate executate în apă de mare la 40 m.

A.



MD

ZIT



MB

B.

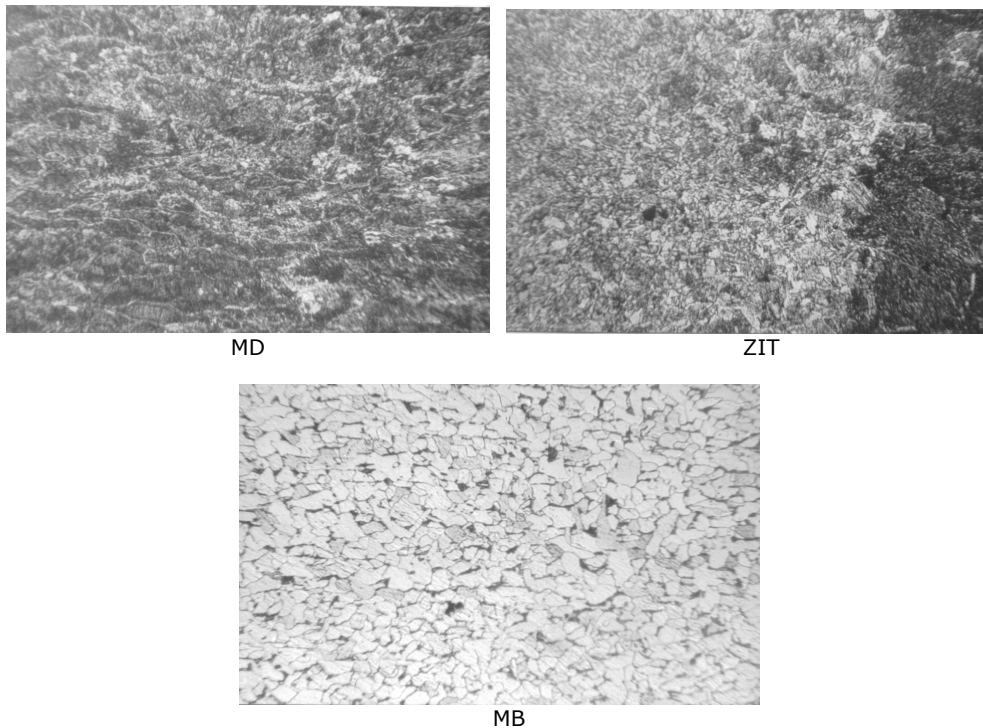


Figura 5.15b. Microstructura celor două probe executate la 40m.100x.

Metalul depus (MD) al probei A are o structură dendritică formată din ferită și perlită cu o duritate medie de 227 HV5. Zona influențată termic (ZIT) prezintă o structură din ferită aciculară, ferită și perlită în proporție de 60/40 cu o mărime a grăuntelui de 6 μ m precum și o structură Widmannstätten, 1-2 și o duritatea medie fiind de 208 HV5. Metalul de baza (MB) prezintă o structură formată din perlită și ferită în proporție de 15/85 cu mărimea grăuntelui de 8 μ m și o duritate medie de 124,8 HV5.

Materialul depus al probei B are o structură de turnare dendritică formată din perlită, ferită și sorbită cu o duritate medie de 313 HV5. Zona influențată termic și materialul de bază prezintă aceleași structuri ca și proba A.

Rezultatele încercărilor de rupere tehnologica a sudurilor în colț realizate la adâncimea de 40 m au fost corespunzătoare..

În urma realizării probelor în colț în apă de mare la adâncimi de 25 și 40 m, s-a ajuns la concluzia că variația adâncimii de lucru în acest interval nu ridică probleme din punct de vedere al aspectului și geometriei sudurii, a modificărilor structurale și a durităților.

Se menționează că la adâncimi de peste 40 m, executarea procesului de sudare prezintă o dificultate mai mare datorită scăderii vizibilității.

Calitatea sudurii depinde în mod direct de nivelul de instruire și de abilitățile practice ale sudorului, imperfecțiunile constatate la controlul vizual datorându-se în bună parte operatorului. Pe parcursul lucrării a fost dificilă utilizarea unor scafandri sudori de înaltă calificare, fapt datorat, în bună parte, volumului relativ redus de lucrări de sudare sau reparații prin sudare care se realizează în țară.

5.2. Sudarea MIG/ MAG subacvatică cu uscare locală

5.2.1. Realizarea instalației de sudare MIG/MAG

Pentru experimentările de sudare MAG a fost adaptată o instalație universală de sudare pentru sudare sub apă în condiții umede. Sudarea se efectuează cu uscare locală în zona sudurii, adică prin asigurarea în această zonă a unui mediu de sudare uscat delimitat de mediul de apă cu ajutorul unor perdele de aer și apă. Aceste perdele de aer și apă sunt create de către pistolul special de sudare.

Instalația de sudare subacvatică se compune din două părți distincte (figura 5.16), [74], partea de la suprafață A și partea imersată B, legătura între cele două părți fiind realizată printr-o serie de cabluri și furtune.

A. *Partea de la suprafață (A)* este formată din:

- ♦ *sursa de curent electric* pentru sudarea MIG/MAG (1) având curentul nominal de 400 A, la durată activă de funcționare, DA = 80 %.
- ♦ *pupitrul de comandă* (2). Pupitrul de comandă asigură cuplarea și decuplarea, într-o ordine prestabilită, a fluidelor necesare procesului de sudare (apă, aer, gaz), a sursei de sudare și reglarea vitezei de avans a sârmei electrod.

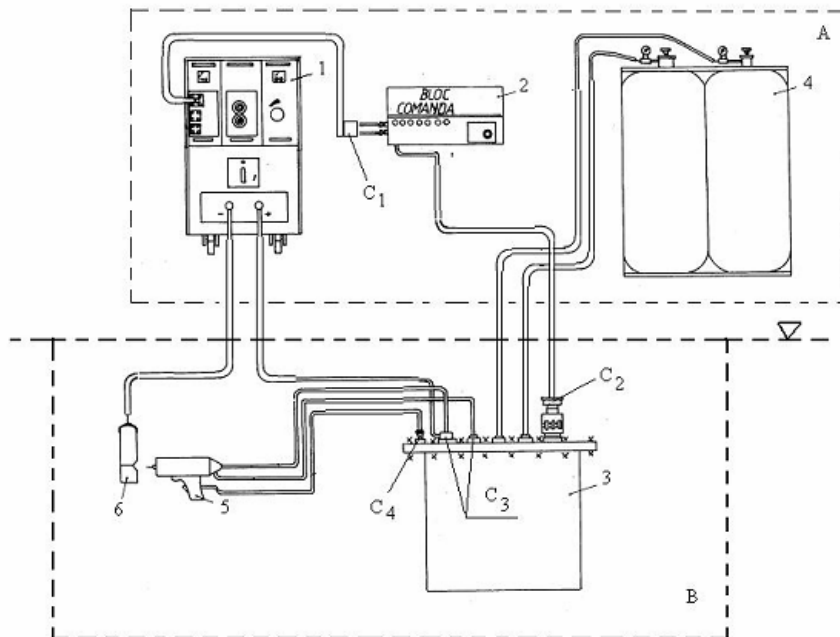


Figura 5.16. Instalația de sudare subacvatică cu uscare locală:

- 1- sursa de curent electric pentru sudare; 2- pupitrul de comandă; 3- containerul cu mecanismul de avans al sârmei electrod; 4- sursa de fluide (aer, apă, gaz de protecție); 5- pistolul de sudare; 6- piesa de sudat; c1- c4 – cuple de legătură

♦ *sursa de fluide* (4) asigură alimentarea capului de sudare cu aer, apă și gaz de protecție. Ea este formată din două butelii cu aer necesare formării perdelei de aer, două butelii cu gaz de protecție necesare protejării arcului electric și o pompă pentru asigurarea perdelei de apă. Cele două perdele de apă și aer realizează zona uscată din jurul arcului electric.

B. Partea imersată (B) este formată din:

un container etanș (3) ce conține mecanismul de antrenare a sârmei și instalația electrică, montate pe un cadru suport; pe cadru se mai află frâna tamburului de sârmă, precum și electroventilele ce acționează secvențial pentru alimentarea capului de sudare cu aer și gaz de protecție, (figura 5.17). Cadru suport este solidar cu capacul containerului pentru a permite schimbarea cât mai rapidă a tamburului de sârmă sau o eventuală intervenție la instalația electrică în caz de avarie. De asemenea, cadrul suport fiind construit din țevă îndeplinește și rolul de alimentare cu aer și gaz de protecție a containerului. Pe capacul care etanșează frontal cu inele de tip O incinta recipientului sunt dispuse toate cuplele racord cu sursa de sudare, capul de sudare și ștuțurile pentru aer și gaz de protecție.

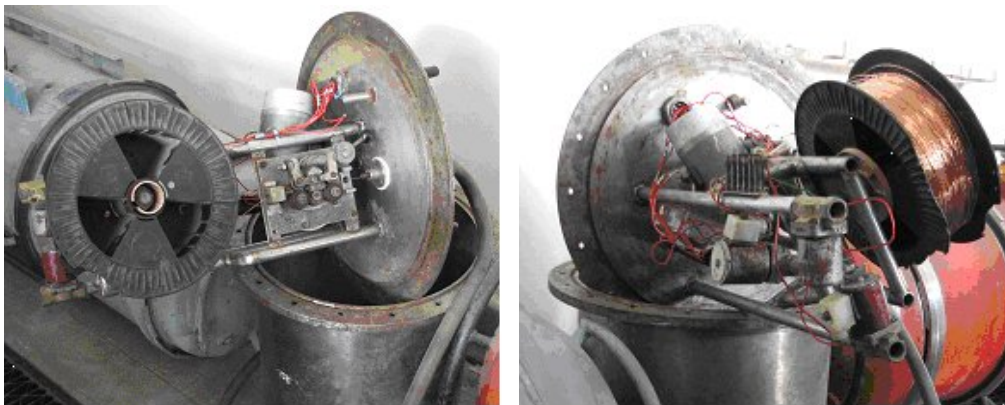


Figura 5.17. Componentele din interiorul containerului.

♦ *pistoletul de sudare* (5) este de construcție specială, fiind prevăzut cu 3 duze concentrice prin care se transmit gazul de protecție, aerul comprimat și apa sub presiune, necesare pentru crearea zonei uscate în zona sudării și protecția arcului electric.

Schema de principiu a pistolului de sudare este ilustrată în figura 5.18.

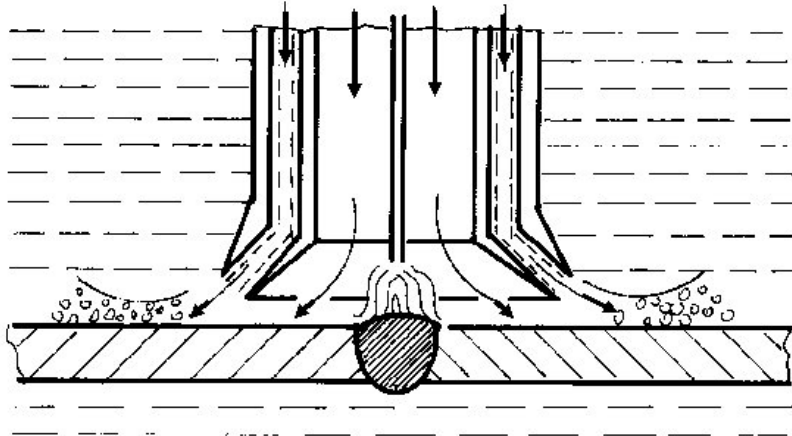


Figura 5.18. Schema de principiu a pistolului de sudare care realizează uscarea locală

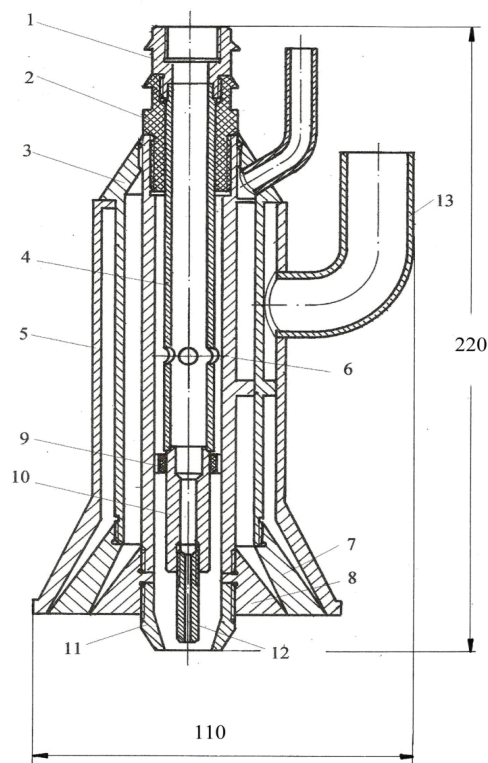


Figura 5.19. Schița pistolului de sudare subacvatic

Schema pistolului original realizat de doctorand și brevetat este indicată în figura 5.19,[86]. În figură au fost făcute notațiile: 1 - piesă legătură; 2 - bușă legătură I; 3 - conductă intermediară; 4 - corp contact; 5 - corp; 6 - conductă

centrală; 7 - duză intermediară; 8 - duză interioară; 9 - izolator II; 10 - bucsă legătură II; 11 - ajutor gaz; 12 - duză contact; 13 - racord alimentare cu apă a conductei exterioare.

Pistoletul de sudare îndeplinește următoarele funcții:

- uscarea locală a pieselor de sudat;
- alimentarea cu curent de sudare a sârmei electrod;
- realizarea protecției în mediu de gaz activ sau inert a băii de sudare, a arcului electric de sudare și a capătului liber al sârmei electrod.

Uscarea locală în zona sudării se realizează prin împingerea apei din acea zonă și producerea unor perdele protectoare față de mediul înconjurător (apa) cu ajutorul unui jet de apă, respectiv aer.

Modul efectiv de creare a acestei zone de uscare locală este următorul:

- ◆ se introduce aer prin conducta centrală pentru a îndepărta apa din zona de amorsare a arcului electric, presiunea aerului fiind cu cel puțin 2 bari mai mare decât adâncimea de lucru;
- ◆ se trimite apă prin conducta exterioară pentru a crea începutul perdelei de protecție, presiunea apei fiind cu cel puțin 2 bari mai mare decât presiunea specifică adâncimii de lucru;
- ◆ prin conducta intermediară se introduce aer cu o presiune cu cel puțin 2 bari mai mare decât adâncimea de lucru pentru a stabiliza perdeaua de protecție;
- ◆ se oprește accesul aerului prin conducta centrală, el fiind înlocuit cu gazul de protecție pentru sudare.

Pentru realizarea experimentărilor de sudare a fost pregătit un bazin metalic cu dimensiunile de 1400 x 600 x 400 mm. Pe un perete al bazinului este montat un ecran transparent care să permită urmărirea din exterior a desfășurării procesului de sudare. Sudarea se efectuează la o adâncime de 0,5 m de la suprafața apei.

În figura 5.20 se prezintă două imagini din timpul verificării perdelelor pistolului de sudare de către scafandru sudor.



Figura 5.20. Imagini din timpul verificării perdelelor pistolului de sudare în mediu acvatic.

Verificarea instalației de sudare realizate a arătat că, datorită numărului mare de cabluri și furtune necesare pentru realizarea zonei cu uscare locală, manevrabilitatea capului de sudare de către scafandru este dificilă. Având în vedere acest aspect, precum și pentru a elimina influența factorului uman asupra calității sudurii instalația a fost completată cu un cărucior pe care se amplasează pistolul

de sudare și care permite realizarea mecanizată sudării. Sistemul experimental fiind prezentat în figura 5.21.

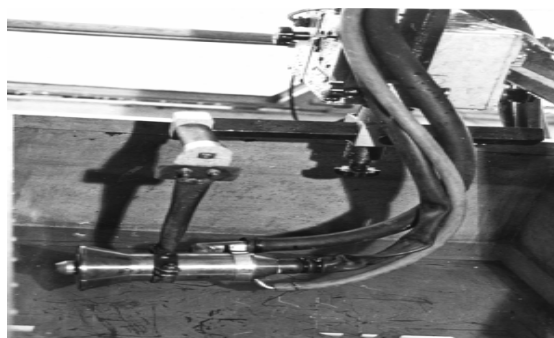


Figura 5.21 Sistemul experimental pentru sudarea subacvatică[75].

5.2.2. Cercetări experimentale de sudare MIG/ MAG cu uscare locală

a. Pregătirea programului experimental

Materialul de bază folosit la experimentări a fost oțelul naval A32 (STAS 8324-86) cu grosimea de 10 mm. Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale materialului de bază sunt prezentate în tabelul 5.2, respectiv tabelul 5.3.

Tabelul 5.2. Compoziția chimică a oțelului A32

Marca oțelului	Gradul de dezoxidare	C max. %	Mn. %	Si %	P max. %	S max. %	Cu max. %	Cr max. %	Ni %	Mo max. %	Al %
A32	k - calmat	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,4	0,4	0,35	0,20	0,20-0,40	0,08	min. 0,020

Tabelul 5.3. Caracteristicile mecanice ale oțelului A32

Marca oțelului	Starea de livrare	Rezistența la rupere (R_m), [N/mm ²]	Limita de curgere (R_{eH}), [N/mm ²] min.	Alungirea la rupere (A_5), [%] min.	Energia de rupere, KV min.	
					J	Temperatura de încercare [°C]
A32	N - normalizat	470 - 590	315	22	31	0

Ca material de sudare a fost utilizată o sârmă tubulară de tip ST1B cu diametrul de 1,6 mm produsă de Ductil Buzău. Aceasta sârmă tubulară este destinată sudării oțelurilor carbon și slab aliate, materialul deșeu posedând caracteristici mecanice și tenacitate ridicată, inclusiv la temperaturi joase.

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale metalului depus cu aceasta sârmă folosind argon ca și gaz de protecție sunt prezentate în tabelul 5.4, respectiv tabelul 5.5.

Tabelul 5.4. Compoziția chimică a metalului depus cu sârma tubulară ST1B

C %	Mn %	Si %	S %	P %
max. 0,01	0,9 - 1,40	0,2 - 0,6	max. 0,03	max. 0,03

Tabelul 5.5. Caracteristicile mecanice ale metalului depus cu sârma tubulară ST1B

Rezistența la rupere (R_m), [N/mm ²]	Limita de curgere (R_{eH}), [N/mm ²] min.	Alungirea la rupere (A_5), [%] min.	Energia de rupere, KV min.	
			J	Temperatura de încercare [°C]
490 - 570	430 - 480	22	90	+ 20
			70	- 20
			50	- 40

Ca și gaz de protecție s-a utilizat argon conform SR EN 439:1996 la o presiune de $(1,5 + p)$ bar unde p este presiune de lucru corespunzătoare adâncimi unde are loc procesul de sudare.

Programul experimental a urmărit următoarele:

- determinarea condițiilor pentru realizarea uscării locale în zona sudării;
- determinarea parametrilor tehnologici de sudare.

b. Determinarea condițiilor pentru realizarea uscării locale

Parametrii care influențează crearea perdelei de apă ce asigură delimitarea unui spațiu uscat în care să aibă loc procesul de sudare sunt presiunea apei și dimensiunea ajutorului prin care este vehiculată apa, respectiv, presiunea aerului și dimensiunea ajutorului prin care este vehiculat aerul.

Pentru a determina parametrii care să asigure producerea unei perdele stabile de apă s-a procedat la un experiment în două etape. În prima etapă au fost determinate presiunile minime de apă, aer și gaz de protecție, presiuni necesare pentru obținerea uscării locale în zona sudării. S-au efectuat experimentări în diferite condiții, urmărindu-se prin ecranul transparent al bazinului modul de formare a pâlniei de apă, pistolul fiind orientat perpendicular pe acest ecran.

În figura 5.22. se prezintă o pâlnie de apă cu formă stabilă obținută în urma unor încercări, prin modificarea presiunii apei și a interstițiului ajutorului de apă a pistolului de sudare. Se menționează că în cazul producerii unei pâlnii de apă necorespunzătoare pe pereții cuvei apar scurgeri de apă vizibile.

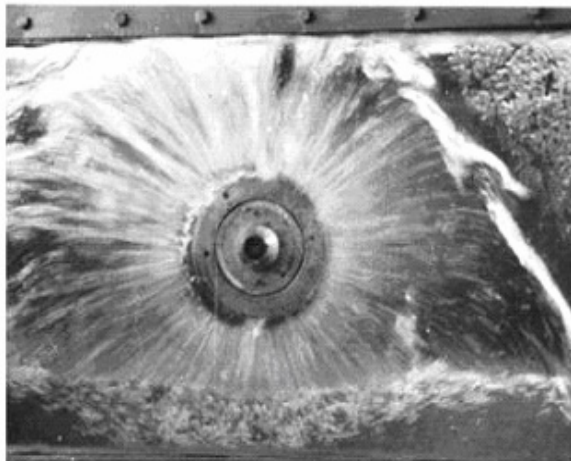


Figura 5.22. Pâlniei de apă stabilă.

În etapa a doua a experimentului s-a trecut la reglarea duzei pentru formarea unei pâlnii de aer care să stabilizeze perdeaua de protecție cu aer și să asigure crearea zonei uscate în care să se desfășoare procesul de sudare, figura 5.23.

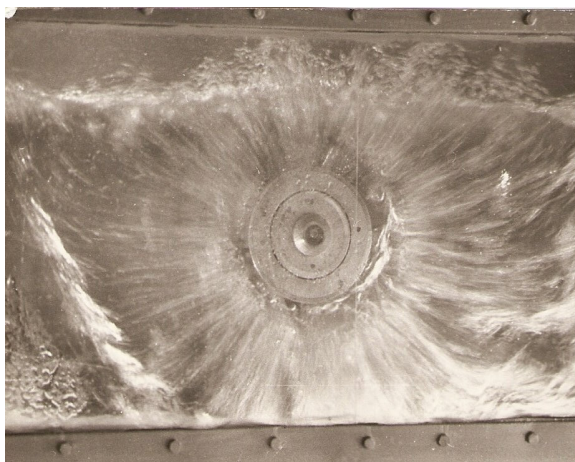


Figura 5.23. Realizarea zonei de uscare locală prin introducerea aerului.

În urma experimentului efectuat s-au determinat următorii parametri pentru formarea zonei cu uscare locală:

- presiunea apei $P_a = 1 \text{ bar}$;
- interstițiul ajutorului de apă $S_{ia} = 0,5 \text{ mm}$;
- presiunea aerului $P_{aer} = 4,5 \text{ bar}$;
- interstițiul ajutorului de aer $S_{iaer} = (2 - 3) \text{ mm}$.

Cu acești parametri pentru formarea zonei cu uscare locală, s-a trecut la efectuarea programului experimental de sudare în mediu uscat - cu uscare locală.

c. Determinarea parametrilor tehnologici de sudare

Pentru determinarea parametrilor tehnologici de sudare s-au executat depuneri prin sudare la o adâncime de 0,5m reglând succesiv parametrii de sudare și alegând acei parametri cu care s-au obținut depunerile cele mai bune, aprecierea fiind făcută prin control vizual.

Valorile parametrilor tehnologici de sudare cu care s-au realizat depunerile prin sudare cu uscare locală au fost:

- viteza de sudare, $v_s = 60$ cm/min;
- curentul de sudare, $I_s = (200 - 350)$ A;
- tensiunea arcului electric de sudare, $U_a = (25 - 40)$ V;
- presiunea argonului, $P_{Ar} = 3,55$ bar;
- presiunea aerului, $P_{aer} = 1,55$ bar.

În urma experimentărilor preliminare a fost reținut ca și corespunzător regimul de sudare definit de intensitatea curentului de sudare 350A, tensiunea arcului 35 V și viteza de sudare 60 cm/min, debitul gazului de protecție $D_{gp} = 14$ l/min.

Experimentările au arătat că valoarea vitezei de sudare este limitată superior de posibilitatea de protecție a arcului electric de sudare de către zona cu uscare locală. Peste o anumită valoare a vitezei de sudare (în cazul testat, peste 60cm/min) eficiența zonei cu uscare locală scade, răcirea este mai rapidă, scade adâncimea de pătrundere, se micșorează lățimea cusăturii și apar creștături și stropi.

În figura 5.24 este ilustrată depunerea realizată în acest regim de sudare (proba 5). Analiza macrostructurii acestei probe a evidențiat lipsa unor imperfecțiuni de sudare, după cum se poate observa în figura 5.25.



Figura 5.24. Proba P5 sudată sub apă:



Figura 5.25. Macrostructura depunerii P5

$I_s = 350$ A; $U_a = 35$ V; $v_s = 60$ cm/min.

În figura 5.26 este prezentată microstructura sudurii și a zonei influențate termic (ZIT). Se poate observa că datorită regimului dur de sudare și a răcirii intense a sudurii specifice mediului subacvatic în sudură au apărut pori și incluziuni de gaz. Numărul și dimensiunile acestor imperfecțiuni sunt însă acceptabile, sudurile putând fi încadrate în clasa B de calitate conform standardului ANSI/AWS D3.

În sudură se constată structuri tipice de călire respectiv martensitice și tendința de formare a unei structuri de tip Widmanstätten în ZIT (figura 5.26.c).

În figura 5.26d și e se poate observa în sudură incluziuni de SiO_2 și sulfuri și pori.

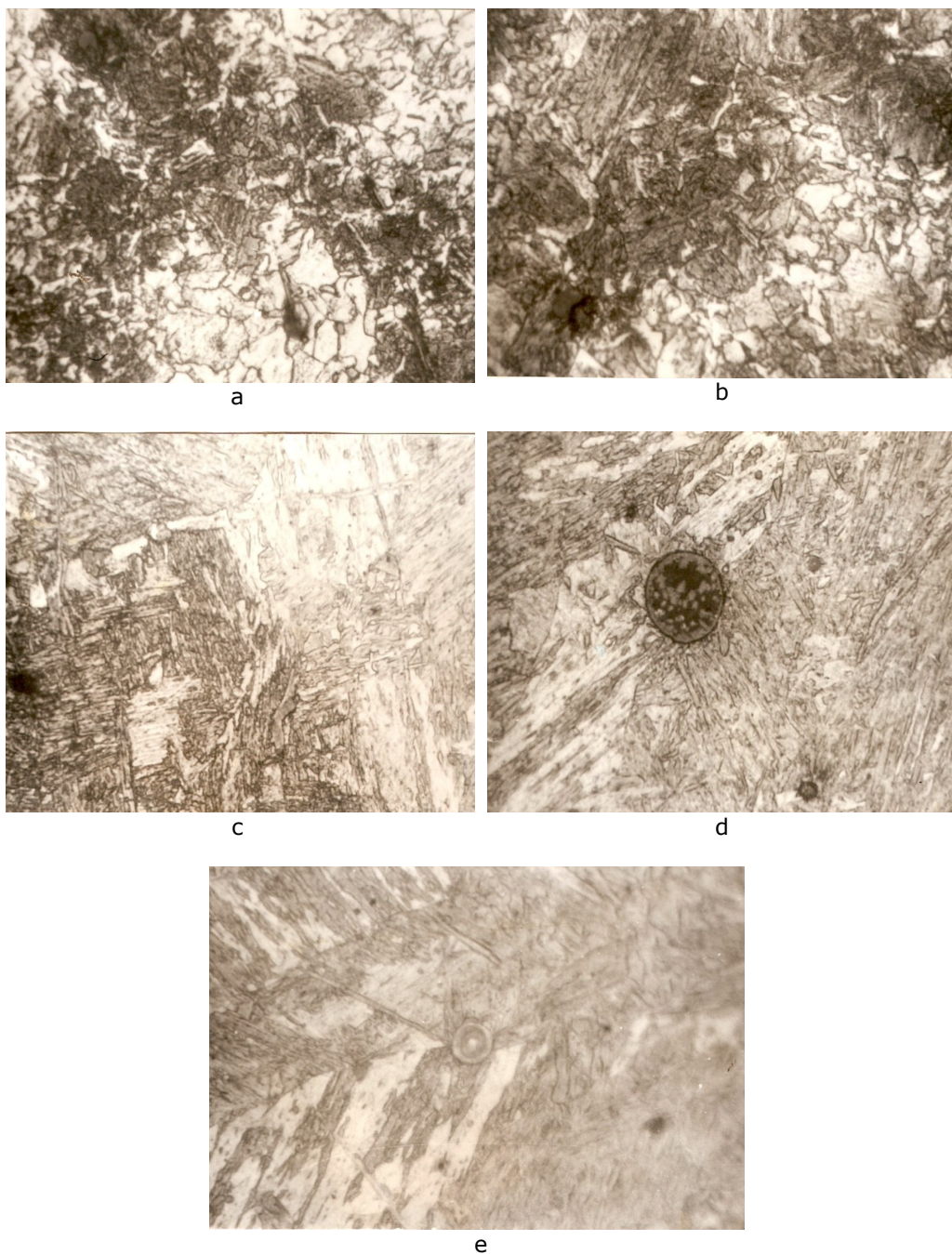


Figura 5.26. Microstructurile în diferitele zone ale depunerii prin sudare, 100x
a - început de ZIT din partea MB; b- ZIT; c- zona de trecere între ZIT și cordonul de sudură;
d- sudură cu incluziuni de SiO_2 ; e- sudură cu sufluri și pori.

În urma experimentelor s-a confirmat posibilitatea realizării unor suduri de calitate corespunzătoare (geometrie, structură, imperfecțiuni acceptabile) în mediu subacvatic cu uscarea locală prin procedeul de sudare MIG/MAG. Pentru cazul sârmei tubulare utilizate cu diametrul de 1,6 mm se recomandă utilizarea unui curent de sudare de 350 A, o tensiune a arcului 35 V, viteza de sudare 60cm/min, presiunea apei de 1bar; interstițiul ajutorului de apă de 0,5mm, presiunea aerului de 4,5bar, interstițiul ajutor aer de 2,5mm, presiunea argonului de 1,5bar, lungimea liberă a sârmei de 10mm și un debit al gazului de 14l/min regim pentru care se obține o sudură cu pătrunderea de 8mm, fără defecte de sudare.

5.3. Cercetări experimentale privind sudarea subacvatică mecanizată MAG în mediu uscat

Cercetările privind sudarea mecanizată MAG în apă în mediu uscat, au fost realizate în colaborare cu Centrul de Cercetări Avansate în Domeniul Sudării - SUDAV, Departamentul de Robotică și Sudare din Facultatea de Mecanică a Universității "Dunărea de Jos" din Galați.

Experimentările de sudare sub apă au fost efectuate utilizând simulatorul de sudare subacvatică hiperbarică conceput și realizat la Universitatea Dunărea de Jos din Galați, simulator prezentat în figura 5.27, [58]. Principalele caracteristici tehnice ale simulatorului de sudare subacvatică și hiperbarică sunt următoarele:

- ◆ dimensiunile rezervorului cilindric orizontal: $\Phi 920 \times 2.350 \times 10$ mm;
- ◆ domeniul de simulare a adâncimilor: (0...50) m;
- ◆ tipul îmbinărilor: cap la cap și în colț, în poziție orizontal sau orizontal în jgheab;
- ◆ lungimea maximă a probelor sudate: 600 mm;
- ◆ poziționarea capului de sudare pe orizontală și pe verticală: mecanizat;
- ◆ tipul sârmei electrod: plină sau tubulară cu diametrul (0,8...2,4) mm;
- ◆ tipul protecției: CO_2 , Ar sau amestecuri de gaze.



Figura 5.27 Simulator de sudare subacvatică și hiperbarică

Pentru sudare a fost utilizată o sursă de curent de 400 A și un dispozitiv de avans al sarmei conventional, de tip SAM 630.

Sudarea s-a efectuat mecanizat, procesul de sudare fiind comandat din exteriorul simulatorului prin intermediul pupitrului de comandă. Au fost realizate îmbinări cap la cap folosind tabla de oțel naval A 32 cu grosimea 10 mm. S-a utilizat ca material de adaos sârmă plină marca Filcord C cu diametrul 1,2 mm, respectiv dioxid de carbon ca și gaz de protecție. Compoziția chimică a metalului depus cu această sârmă în mediu de dioxid de carbon este prezentată în tabelul 5.6, în timp ce caracteristicile mecanice ale materialului depus sunt indicate în tabelul 5.7.

Tabelul 5.6. Compoziția chimică a metalului depus cu sârma plină Filcord C

C %	Mn %	Si %	S %	P %
0,06 - 0,13	0,06 - 0,13	0,70 - 1,00	max. 0,025	max. 0,025

Tabelul 5.7. Caracteristicile mecanice ale metalului depus cu sârma plină Filcord C

Rezistența la rupere (R_m), [N/mm ²]	Limita de curgere (R_{eH}), [N/mm ²] min.	Alungirea la rupere (A_5), [%] min.	Energia de rupere, KV min.	
			J	Temperatura de încercare [°C]
510 - 560	min. 420	min. 24	min. 70	- 20
			min. 50	- 40

5.3.1 Program experimental

Programul experimental a urmărit studiul influenței presiunii apei asupra caracteristicilor îmbinărilor sudate, experimentările de sudare fiind efectuate la presiuni de 0 bar, 2 bari și 4 bari, corespunzătoare unor adâncimi reale a apei de 0m, 20m și 40 m. Pentru comparație au fost efectuate suduri în aer în aceleași condiții tehnologice.

Programul experimental a urmărit realizarea unor suduri cap la cap cu rostul prelucrat în V. În toate cazurile sudarea s-a efectuat în poziție orizontală. În cazul sudării cap la cap, pentru a asigura obținerea unei rădăcini a sudurii fără defecte s-a optat pentru sudarea din două părți (cu resudarea rădăcinii).

Rostul a fost prelucrat conform SR EN 29692/1994 cu următoarele dimensiuni: grosimea materialului $s=10\text{mm}$; deschiderea rostului $b=1-2\text{mm}$; unghiul $\alpha = 60^\circ$; înălțimea umărului la rădăcină $c=0\text{mm}$.

Inițial, au fost realizate în rostul în V dintre componente primele două rânduri (straturi) de sudură (1 și 2), după care, fiecare probă a fost craiuită arc-aer și polizată iar în final, a fost realizat pe partea opusă, rândul (stratul) final de sudură 3.

Parametrii de sudare subacvatică MAG, determinați în urma unor experimentări preliminare, sunt prezentați în tabelul 5.8. Tabelul conține și parametrii unei suduri MAG în aer realizată pentru a avea un element de referință pentru sudarea subacvatică.

Tabelul 5.8. Parametrii regimurilor de sudare mecanizată MAG

Nr. probă	Mediul de sudare	Nr. rand	I_s , A	v_s , cm/min	Q_{CO_2} , l/min	P_{CO_2} , bar		
			U_a , V	v_e , cm/min	D_{0-P} , mm	P_{aer} , bar		
PA-0	aer ($P_r = 0$ bar)	1	150 - 160	35	16	-		
			28 - 30	450	8	-		
		2	150 - 160	24,5	16	-		
			28 - 30	450	10	-		
		crăițuire arc - aer și polizare rădăcină						
		3	150 - 160	24,5	16	-		
28 - 30	450		9	-				
PH-0	apă ($P_r = 0$ bar)	1	170 - 180	35	-	3,5		
			38 - 40	450	5	3,0		
		2	190 - 200	24,5	-	3,5		
			46 - 48	450	8	3,0		
		crăițuire arc - aer și polizare rădăcină						
		3	190 - 200	24,5	-	3,5		
46 - 48	450		7	3,0				
PH-2	apă ($P_r = 2$ bar)	1	170 - 180	35	-	4,5		
			38 - 40	450	5	4,0		
		2	190 - 200	24,5	-	4,5		
			46 - 48	450	8	4,0		
		crăițuire arc - aer și polizare rădăcină						
		3	190 - 200	24,5	-	4,5		
46 - 48	450		7	4,0				
PH-4	apă ($P_r = 4$ bar)	1	170 - 180	35	-	5,5		
			38 - 40	450	5	5,0		
		2	190 - 200	24,5	-	5,5		
			46 - 48	450	8	5,0		
		crăițuire arc - aer și polizare rădăcină						
		3	190 - 200	24,5	-	5,5		
46 - 48	450		7	5,0				

La sudarea mecanizată subacvatică a celor trei probe, s-a observat o ușoară instabilitate a parametrilor de sudare (I_s și U_a) și o desprindere greoaie a urmelor de zgură de pe marginile cordoanelor depuse, îndeosebi la randul 1.

5.3.2. Rezultate obținute1. Aspecte calitative

După realizarea fiecărei treceri prin sudare s-a verificat vizual aspectul exterior al sudurii, iar în final s-a efectuat un control nedistructiv cu radiații penetrante (Rx), rezultatele fiind centralizate în tabelul 5.9

Tabelul 5.9. Rezultatele controlului după sudare

Nr. probă	Mediul de sudare	Metoda de control	Rezultatele controlului
0	1	2	3
PA-0	aer ($P_r = 0$ bar)	vizual	îmbinare de calitate bună cu suduri fără defecte exterioare
		Rx	calitate bună (fără defecte) clasa de calitate III
PH-0	apă ($P_r = 0$ bar)	vizual	îmbinare de calitate bună cu suduri fără defecte exterioare
		Rx	calitate bună (Aa- sufluri sferoidale izolate. $\Phi_1 = 1,3$ mm, $\Phi_2 = 0,7$ mm; Ac- sufluri alungite izolate $l_1 = 3$ mm, $l_2 = 3$ mm) clasa de calitate III
PH-2	apă ($P_r = 2$ bar)	vizual	îmbinare de calitate bună cu suduri fără defecte exterioare
		Rx	calitate corespunzătoare (Aa- suflură sferoidală izolată, $\Phi = 3$ mm); clasa de calitate III
PH-4	apă ($P_r = 4$ bar)	vizual	îmbinare de calitate necorespunzătoare (pori)
		Rx	calitate necorespunzătoare (început sudura : Ab- sufluri tubulare uniform distribuite cu densitate mare de apariție, $l = 0,3...3$ mm; sfârșit sudura: Ac- sufluri sferoidale și alungite, aliniate și uniform distribuite cu densitate mică de apariție, $\Phi = 0,2... 1,5$ mm) clasa de calitate I

2. Aspecte structurale

Macrostructurile și microstructurile celor patru epruvete prelevate din probele sudate cap la cap în aer și în apă sunt prezentate în figurile 5.28 - 5.31.

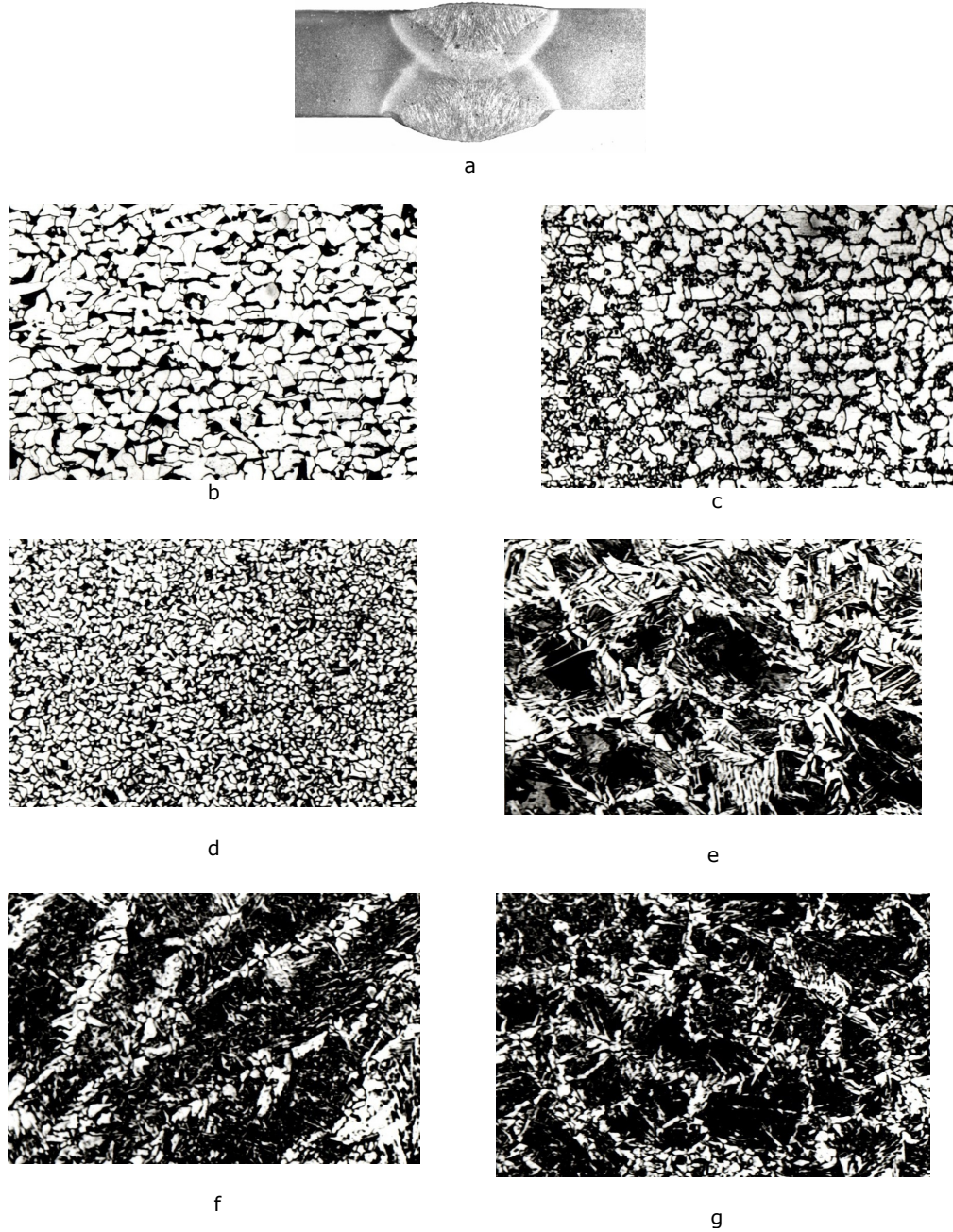


Figura 5.28. Macrostructura probei PA-0 (a) și microstructurile în zonele îmbinării sudate, mărire 100x: b- MB; c- zonă intercritică A_3-A_5 ; d- zonă normalizată; e- ZIT ; f- MD; g- zonă dublu influențată termic.

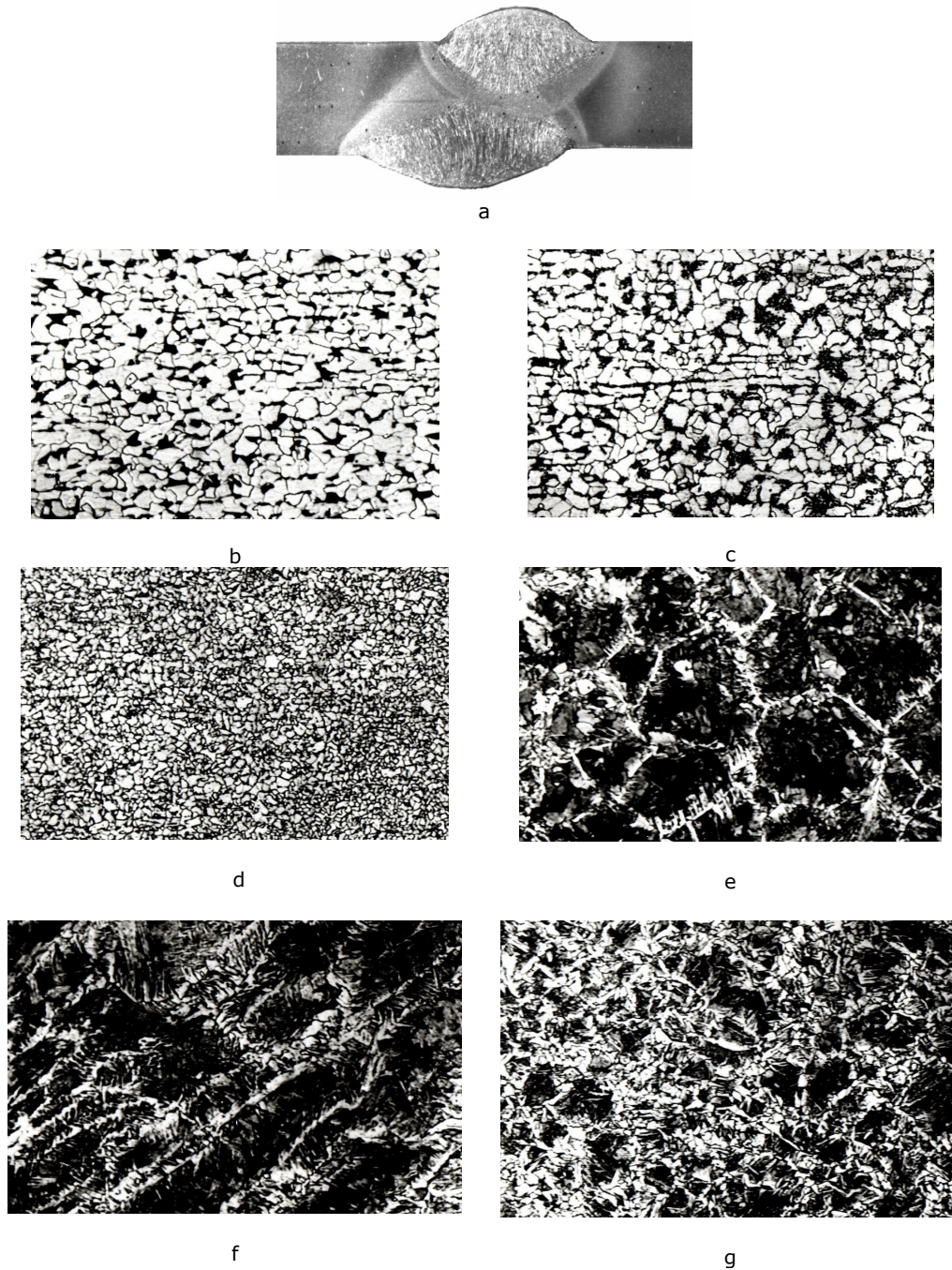


Figura 5.29 Macrostructura probei PH-0 (a) și microstructurile în zonele îmbinării sudate, mărire 100x: b- MB; c- zonă intercritică A_3 - A_5 ; d- zonă normalizată; e- ZIT ; f- MD; g- zonă dublu influențată termic.

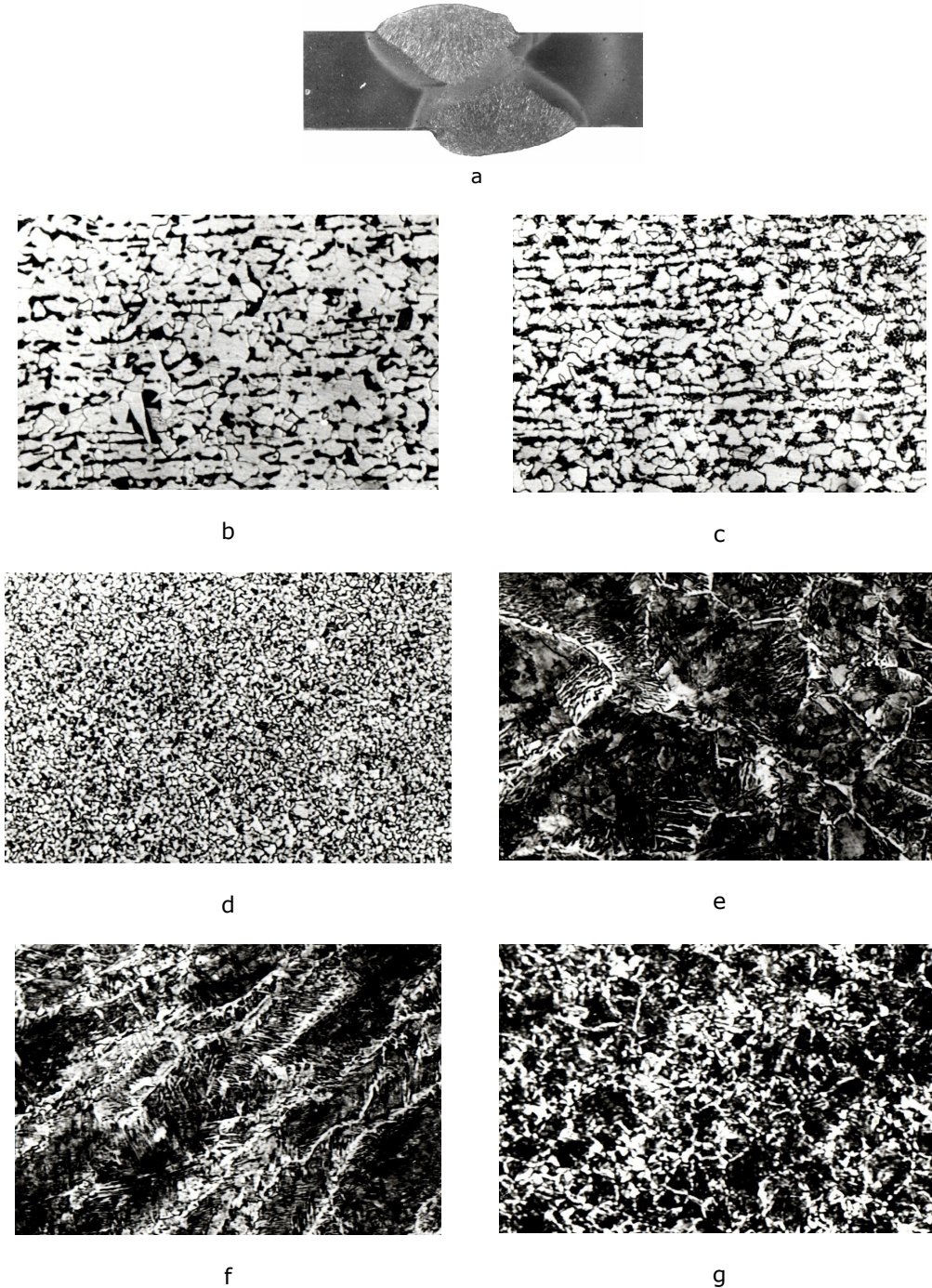


Figura 5.30. Macrostructura probei PH-2 (a) și microstructurile în zonele îmbinării sudate, mărire 100x: b- MB; c- zonă intercritică A_3-A_5 ; d- zonă normalizată; e- ZIT ; f- MD; g- zonă dublu influențată termic.

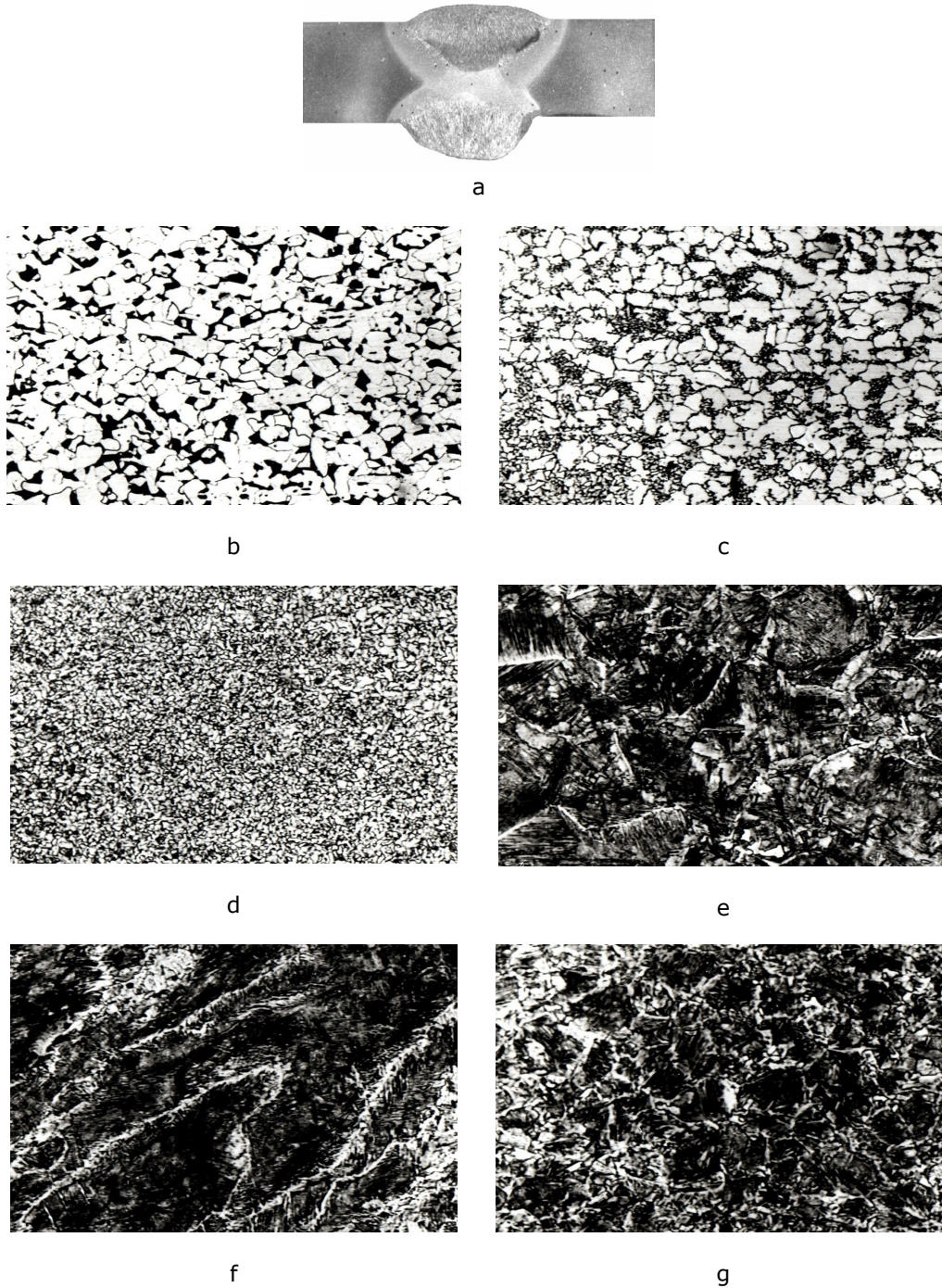


Figura 5.31. Macrostructura probei PH-4 (a) și microstructurile în zonele îmbinării sudate, mărire 100x: b- MB; c- zonă intercritică A_3 - A_5 ; d- zonă normalizată; e- ZIT; f- MD; g- zonă dublu influențată termic.

În tabelul 5.10 sunt prezentați constituenții zonelor îmbinărilor sudate (sudura și zona influențată termic) în aer (PA-0) și în apă (PH-0, PH-2 și PH-4).

Tabelul 5.10. Constituenții zonelor îmbinărilor sudate

Nr. crt.	Mediul de sudare	Zonelor îmbinării sudate				
		Zonă intercritică A ₃ - A ₅	Zonă normalizată	ZIT	MD	Zonă dublu influențată termic
1.	Aer (PA-0)	85 % ferită netransformată și 15 % perlită globulizată	80 % ferită + 20 % perlită	35 % ferită sub formă de ace și plăci + 55 % perlită + 10 % bainită	40 % ferită + 50 % perlită + 10 % bainită	35 % ferită + 60 % perlită + 5 % bainită
2.	Apă (PH-0)	85 % ferită netransformată și 15 % perlită globulizată	80 % ferită + 20 % perlită	25 % ferită sub formă de ace și plăci + 65 % perlită + 10 % bainită	35 % ferită + 55 % perlită + 10 % bainită	30 % ferită + 65 % perlită + 5 % bainită
3.	Apă (PH-2)	85 % ferită netransformată și 15 % perlită globulizată	80 % ferită + 20 % perlită	20 % ferită sub formă de ace și plăci + 70 % perlită + 10 % bainită	30 % ferită + 60 % perlită + 10 % bainită	25 % ferită + 70 % perlită + 5 % bainită
4.	Apă (PH-4)	85 % ferită netransformată și 15 % perlită globulizată	80 % ferită + 20 % perlită	15 % ferită sub formă de ace și plăci + 75 % perlită + 10 % bainită	25 % ferită + 65 % perlită + 10 % bainită	20 % ferită + 75 % perlită + 5 % bainită

Indiferent de mediul de lucru (aer sau apă), proporțiile constituenților structurali s-au modificat numai în metalul depus și în zonele simplu sau dublu influențate termic.

Comparativ cu sudarea în aer, la sudarea subacvatică cu uscare locală, în metalul depus proporția de ferită s-a redus de la 40 % la 35 %, proporția de perlită a crescut de la 50 % la 55 %, în schimb proporția de bainită a rămas aceeași (10 %).

Comparativ cu sudarea în aer, la sudarea subacvatică cu uscare locală, în ZIT proporția de ferită sub formă de ace și plăci s-a redus de la 35 % la 25 %, proporția de perlită a crescut de la 55 % la 65 %, în schimb proporția de bainită a rămas aceeași (10 %).

Comparativ cu sudarea în aer, la sudarea subacvatică cu uscare locală, în zonele dublu influențate termic proporția de ferită s-a redus de la 35 % la 30 %, proporția de perlită a crescut de la 60 % la 65 %, în schimb proporția de bainită a rămas aceeași (5 %).

Aceleași creșteri, scăderi și mențineri de proporții a constituenților structurali în metalul depus și în zonele simplu sau dublu influențate termic, sunt semnalate și la sudarea subacvatică odată cu creșterea presiunii din simulator (adâncimilor).

Acțiunea de răcire a apei contribuie la reducerea proporției de ferită în detrimentul creșterii proporției de perlită, proporția de bainită rămânând aceeași.

3. Aspecte privind valorile microdurităților sudurilor

Încercarea de duritate s-a realizat prin metoda Vickers, modul de amplasare a amprentelor fiind prezentat în figura 5.32. În tabelul 5.11 sunt centralizate valorile obținute la aceasta încercare.

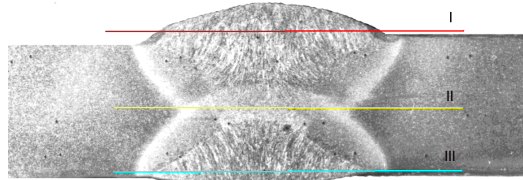


Figura 5.32. Modul de amplasare a amprentelor de microduritate Vickers HV0,1

Tabelul 5.11. Valorile microdurităților Vickers HV0,1 pentru îmbinările sudate cap la cap MAG

Direcția de măsurare	Nr. probă			
	PA-0	PH-0	PH-2	PH-4
I	172	168	172	171
	180	195	205	209
	190	204	210	216
	192	208	217	225
	189	205	212	215
	181	194	204	208
	170	171	170	172
II	170	170	169	173
	177	190	202	204
	188	201	209	213
	190	205	213	222
	187	203	208	212
	178	194	201	203
	172	171	172	170
III	172	171	170	169
	185	199	209	216
	193	208	213	222
	196	212	220	229
	192	209	214	221
	185	196	208	213
	173	169	172	170

Variațiile durității Vickers HV0,1 pentru îmbinările sudate în aer (PA-0) și în apă (PH-0, PH-2 și PH-4), sunt prezentate centralizat în figura 5.33, respectiv figura 5.34.

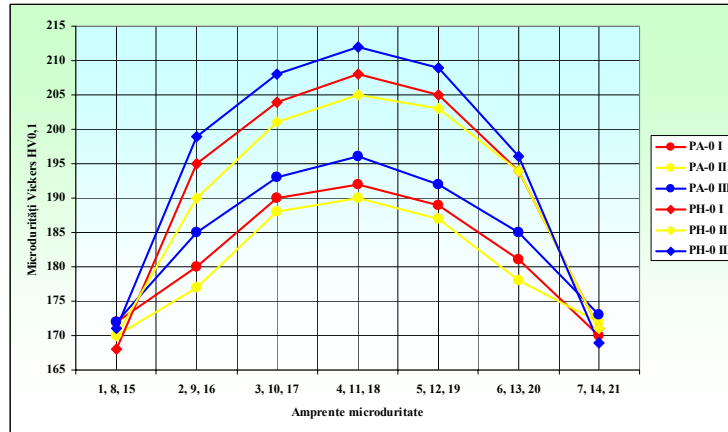


Figura 5.33 Variațiile microdurităților Vickers HV0,1 pentru probele sudate în aer și în apă la presiune atmosferică.

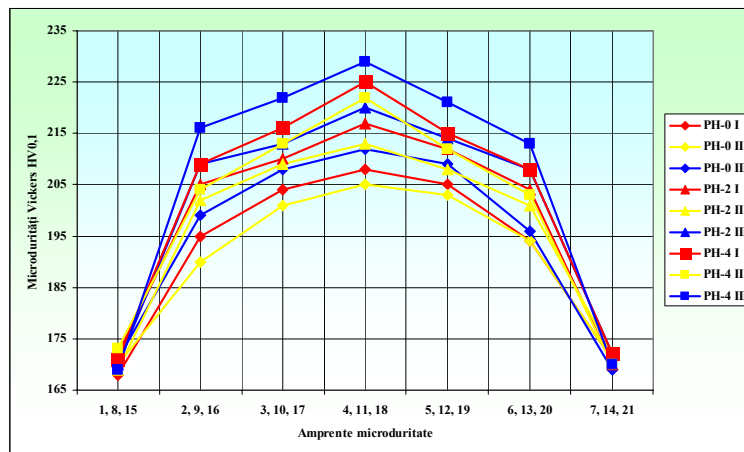


Figura 5.34. Variațiile microdurităților Vickers HV0,1 pentru probele sudate în apă la diferite presiuni.

Comparativ cu sudarea clasică în aer, la sudarea în apă la presiune atmosferică, variațiile microdurităților Vickers HV0,1 sunt asemănătoare, cu maxime în MD, indiferent de direcția de investigare. Protecția cu o pernă bogată de gaz a băii metalice împiedică inundarea cu apă a sudurii și baia metalică se răcește mai lent. Microduritățile maxime în MD și ZIT la sudarea MAG-CO₂ în apă cu uscare locală sunt mai mari decât la sudarea în aer.

Indiferent de mediul de sudare, aer sau apă, valorile cele mai mari ale microdurității Vickers HV0,1 sunt în dreptul trecerilor de rădăcină.

Pentru îmbinările sudate în apă la cele trei presiuni de lucru (0, 2 și 4 bari), aliorile variațiilor microdurității Vickers HV0,1 pe cele trei direcții de investigare, sunt similare cu cele specifice sudării în aer (cu maxime în MD).

Valorile obținute ale microduriții Vickers HV0,1 cresc odată cu creșterea presiunii hidrostatice. În MD microduriitatea a crescut de la 212 HV0,1 la 220 HV0,1 și respectiv 229 HV0,1 la cele trei presiuni, procentul de creștere față de sudarea în aer fiind de 8,2 %, 12,2 % și respectiv 16,8 %. În ZIT microduriitatea a crescut de la 209 HV0,1 la 214 HV0,1 și respectiv 222 HV0,1 pentru cele trei presiuni, procentual microduriitatea a crescut cu 8,3 %, 10,9 % și respectiv 15,0 % comparativ cu sudarea în aer.

Prin programul experimental efectuat în simulatorul de sudare subacvatică s-au obținut suduri MAG subacvatice în mediu uscat și umed de calitate corespunzătoare sub aspectul geometriei, lipsei defectelor neadmise în structurii.

În urma experimentărilor rezultat următoarele:

➤ Toate cele trei grupe de probe sudate în apă la diferite presiuni au prezentat cordoane uniforme, fără creștături și pori.

➤ Creșterea progresivă a presiunii hidrostatice a condus la o ușoară micșorare a lățimilor cordoanelor (15,2 - 15,0 - 14,7 mm) și la o ușoară creștere a supraînălțărilor (2,5 - 2,7 - 2,9 mm) datorită efectului de constrângere al arcului electric. Lățimea ZIT nu a suferit modificări semnificative (2,3 - 2,3 - 2,2 mm);

➤ Creșterea presiunii hidrostatice nu a condus la schimbarea vizibilă a orientării grăunților cristalini, ci numai la o finisare a structurilor în zonele îmbinărilor realizate. Nu sunt semnalate modificări din punct de vedere microstructural decât cantitativ.

➤ Indiferent de valorile presiunii hidrostatice, în zona influențată termic a îmbinărilor sudate în apă se observă o scădere a cantității de ferită și o creștere a cantității de perlită cu 10%.

➤ În metalul depus al îmbinărilor sudate în apă se observă o creștere a cantității de ferită și o scădere a cantității de perlită cu 5%, iar în zonele dublu influențate termic ale îmbinărilor sudate în apă se observă o scădere a cantității de ferită și o creștere a cantității de bainită cu 5%;

➤ Alurile variațiilor duriții Vickers HV0,1 pe cele trei direcții de investigare (I, II și III), pentru toate îmbinările sudate la cele trei presiuni de lucru (0, 2 și 4 bari) sunt similare cu cele specifice sudării în aer (cu maxime în MD). Valorile obținute ale duriții Vickers HV0,1 cresc odată cu creșterea presiunii hidrostatice.

5.4. Sudarea subacvatică umedă cu sârmă tubulară cu autoprotecție (ST)

Datorită dificultăților de aplicare a procedurii de sudare cu uscare locală și a modului greoi de manevrare a pistolului de sudare, datorită în bună parte necesității alimentării cu gazul de protecție, a apărut ideea de realizare a sudării MAG în condiții umede prin utilizarea unei sărme tubulare cu autoprotecție, deci fără a fi necesar un gaz de protecție. Pentru a verifica aceasta posibilitate, a fost concepută și realizată de către doctorand o instalație de sudare compusă dintr-o sursă de curent de mare performanță și un sistem original de alimentare cu sârmă de sudare ce poate fi parțial scufundat în apă.

5.4.1. Echipamentul pentru sudare

Echipamentul pentru sudare subacvatică utilizat se compune din două părți principale (figura 5.35), [76].

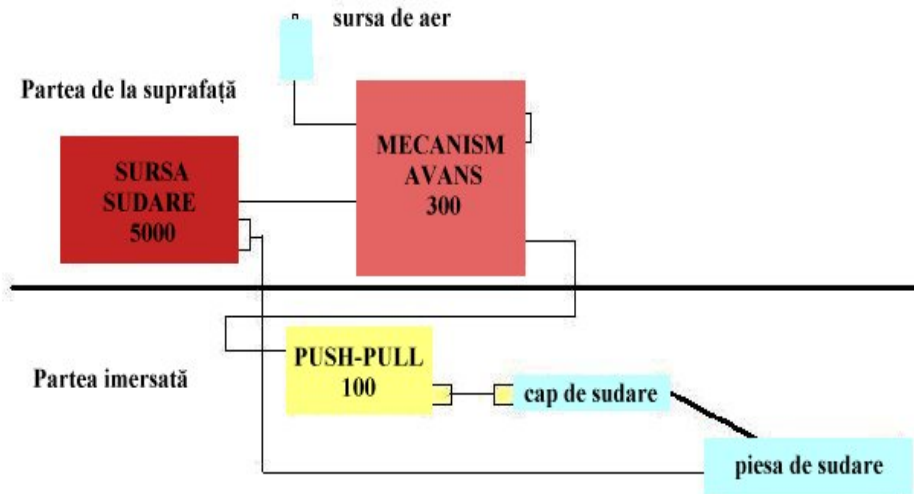


Figura 5.35. Schema bloc a echipamentului de sudare subacvatică

A. Partea de la suprafață (care se află pe navă), formată din:

- ❖ Sursa de curent electric;
- ❖ Dispozitivul de avans a sârmei electrod;
- ❖ Sursa de aer.

B. Partea imersată, formată din:

- Sistemul de antrenare a sârmei de tip PUSH-PULL adaptat lucrului sub apă;
- Capul de sudare subacvatic;
- Cabluri și furtune.

Sursa de curent electric pentru sudare este o sursă de putere multifuncțională, comandată cu microprocesor, destinată pentru sudarea cu electrozi înveliți, sudarea MIG/ MAG în regim continuu sau pulsant și sudarea WIG, în curent continuu.

Dispozitivul de avans al sârmei electrod este de tip clasic destinat sudării MIG/MAG pentru aplicații din sectorul naval și construcții metalice grele permițând antrenarea și a sârmelor tubulare.

Sursa de aer are rolul de a alimenta cu aer capul de sudare pe timpul imersiei împiedicând astfel pătrunderea apei în zona arcului electric și în capul de sudare subacvatic. Ea este compusă dintr-o baterie de 4 butelii pentru o mai mare autonomie și are următoarele caracteristici tehnice:

- ❑ presiunea maximă 12 bari;
- ❑ volumul maxim de aer 80 dm³.

Dispozitivul PUSH-PULL adaptat funcționării sub apă este carcasat și etanșat și are rolul de a asigura antrenarea uniformă a sârmei de sudare în condițiile unor distanțe mari între locația sistemului de avans (aflat la suprafață) și locația sudării (aflată în apă).

În figura 5.36 este prezentat dispozitivul de avans PUSH – PULL alături de carcasa etanșă în care acesta se introduce. Carcasa are o formă cilindrică și este realizată din PVC. Pe capacele frontale care etanșează carcasa cu inele "O", sunt

dispuse cuple de racord cu mecanismul de avans al sârmei și cu capul de sudare subacvatic.

Dispozitivul PUSH-PULL carcasat și echipat pentru funcționarea sub apă este prezentat în figura 5.37,[77].



Figura 5.36. Dispozitivul PUSH-PULL și carcasa în care este plasat .

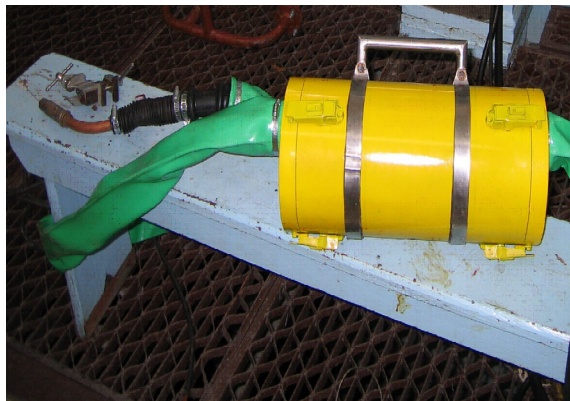


Figura 5.37. Dispozitiv PUSH-PULL introdus în carcasa de etanșare.

Capul de sudare subacvatică îndeplinește următoarele funcții:

- alimentarea cu curent de sudare a sârmei electrod;
- realizarea băii de sudare în mediul umed;
- facilitarea circuitului de aer pentru împiedicarea pătrunderii apei în dispozitivul PUSH-PULL.



Figura 5.38. Cap de sudare subacvatică.



Figura 5.39. Ansamblul de simulare a scufundării

Capul de sudare subacvatică prezentat în figura 5.38 are mânerul prevăzut cu un sistem de acționare cu întrerupător etanș,. Racordul de curent și aer între capul de sudare și dispozitivul PUSH-PULL este de asemenea etanș.

Verificarea funcționării instalației de sudare realizate de doctorand a fost efectuată la Centrul de Scafandri Constanța utilizând simulatorul subacvatic hiperbaric, figura 5. 39.

În simulator au fost efectuate probe de sudare la adâncimea de 3 m, în figurile 5.40 - 5.42 fiind ilustrate aspecte din timpul verificării, [79].

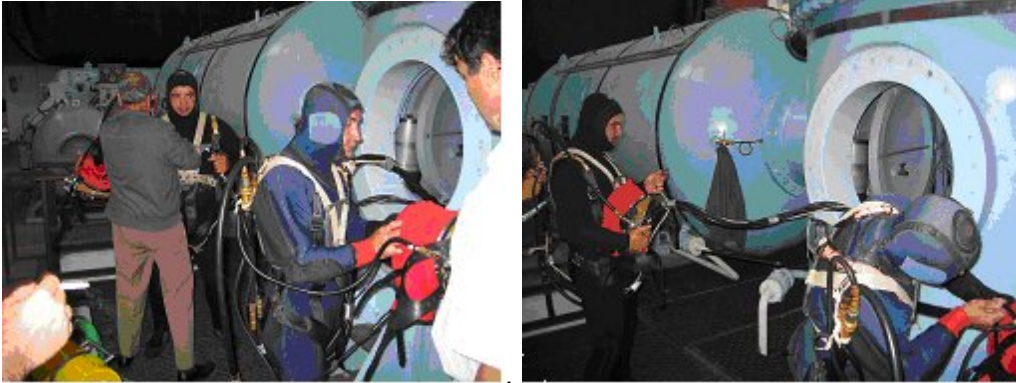


Figura 5.40 Pregătirea în vederea scufundării.

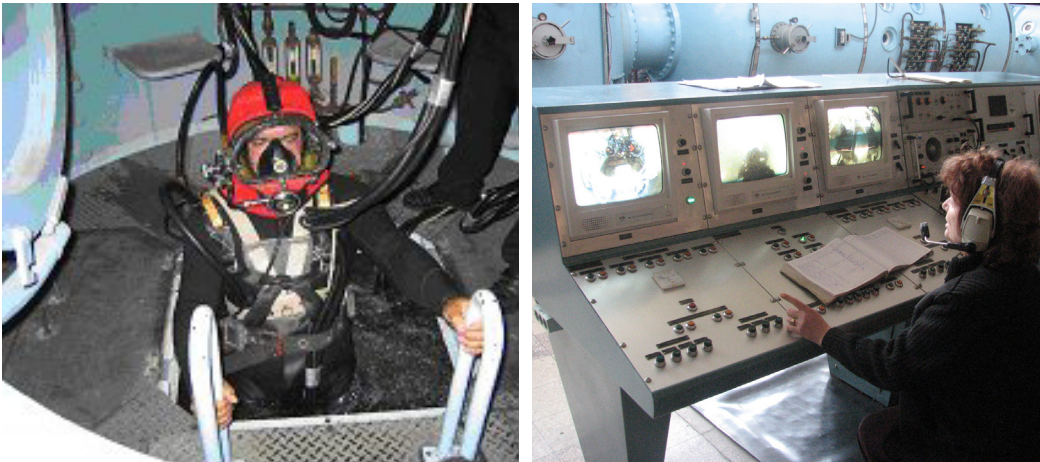


Figura 5.41. Momentul intrării în scufundare.

Figura 5.42. Barocamerele împreună cu pupitrul de comandă și control a scufundării.

Sudurile au fost efectuate de un scafandru instruit ca sudor.

Verificarile efectuate au confirmat buna funcționare a instalației de sudare și posibilitatea utilizării ei la sudarea subacvatică umedă. Cu ocazia acestor verificări s-a constatat influența deosebită a îndemănării sudorului la sudarea în apă asupra calității sudurii.

5.4.2. Materiale utilizate

Experimentările de sudare s-au realizat folosind ca material de baza tablă din oțel naval tip A 32 cu grosimea de 10 mm. Ca material de sudare a fost aleasă sârma tubulară cu autoprotecție de tip Fileur GPM cu diametrul 1,2 mm. caracteristicile mecanice ale metalului depus cu aceasta sârmă sunt indicate în tabelul 5.12. Sârma tubulară, este destinată sudării în toate pozițiile de sudare. Ea se utilizează în mod curent în șantiere navale pentru realizarea ansamblurilor sudate

formate din table sau profile metalice cu grosimi de la 3 la 15 mm, sau la sudarea tablelor galvanizate.

Tabelul 5.12. Caracteristicile sârmei tubulare cu autoprotecție Fileur GPM

Marca sârmei electrod	Rezistența la rupere (R_m), [N/mm ²] min.	Limita de curgere (R_{eH}), [N/mm ²] min.	Alungirea la rupere (A_5), [%] min.	Energia de rupere, KV min. (20 °C)
Fileur GPM	600	520	28	100

5.4.3. Programul experimental de sudare

Pentru a elimina influența subiectivă a îndemânării sudorului a fost proiectat și realizat un stand experimental pentru sudare mecanizată. Standul se compune dintr-un bazin cu o adâncime de 800 mm, la partea superioară a cuvei aflându-se o cale de rulare pe care se poate deplasa un braț ce susține capul de sudare figura 5.43,[84].



Figura 5.43. Standul experimental în care au fost realizate probele.

Programul de sudare a cuprins realizarea următoarelor tipuri de suduri:

- depuneri prin sudare;
- îmbinări sudate în colț prin suprapunere;
- îmbinări sudate cap la cap.

În toate cazurile, sudarea a fost executată în poziție orizontală la o adâncime a apei de 500 mm. Experimentările de sudare au fost efectuate atât în apă dulce, cât și în apă sărată. Sudurile realizate au fost controlate vizual, și cu lichide penetrante. S-au efectuat, de asemenea, o analiză macro și microscopică, precum și încercări de duritate.

În cadrul programului experimental au fost realizate suduri în diferite condiții tehnologice definite prin valorile parametrilor de sudare principali: curentul de sudare, tensiunea arcului și viteza de sudare. Prin experimentări preliminare au fost stabilite condiții inițiale de ardere stabilă a arcului electric în apă, condiții definite prin valorile curentului de sudare și ale tensiunii arcului, experimentul efectiv

urmărind analiza influenței vitezei de sudare, respectiv a mediului în care are loc sudarea (apă dulce sau apă sărată), asupra calității sudurilor.

5.4.3.1. Experiment 1: Depuneri prin sudare în apă dulce

A. Aspecte calitative

Programul experimental a cuprins efectuare a 3 suduri cu următorii parametri de sudare:

- Sudura nr. 1a: $U_a = 28,6 \text{ V}$; $I_s = 240 \text{ A}$; $v_s = 36,0 \text{ cm/min}$;
- Sudura nr. 1b: $U_a = 28,6 \text{ V}$; $I_s = 240 \text{ A}$; $v_s = 25,4 \text{ cm/min}$;
- Sudura nr. 1c: $U_a = 28,6 \text{ V}$; $I_s = 240 \text{ A}$; $v_s = 20,3 \text{ cm/min}$.

În figura 5.44 este prezentat aspectul sudurilor depuse.

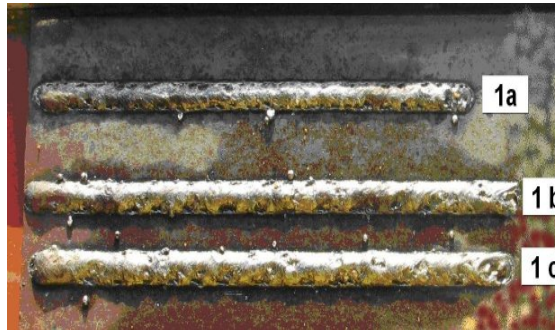


Figura 5.44. Aspectul depunerilor prin sudare în apă dulce .
Macrostructurile sudurilor realizate sunt ilustrate în figura 5.45.

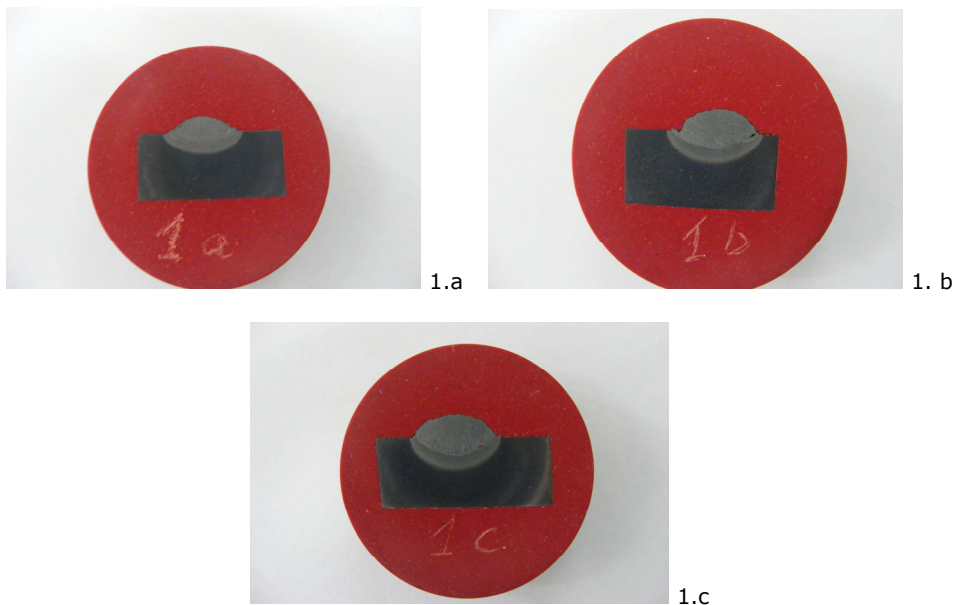


Figura 5.45. Macrostructurile depunerilor prin sudare.

Valorile caracteristicilor geometrice ale depunerilor sunt prezentate în tabelul 5.13. împreună cu rezultatele controlului vizual și cu lichide penetrante .

Tabelul 5.13. Valorile caracteristicilor geometrice ale sudurilor depuse.

Cod sudură	Lățime, mm	Supraînălțare, mm	Pătrundere, mm	Discontinuități depistate
1.a	12,3	2,9	2,4	Pori, supraînălțare redusă, neuniformitate a lățimii
1.b	12,4	3,6	2,5	Șanț marginal, pori pe limita de fuziune, neuniformitatea lățimii
1.c	13,2	3,5	2,6	Crater final, ușoară neuniformitate a lățimii

Sudurile au prezentat un număr redus de pori și creștături marginale putând fi încadrate în clasa B conform recomandărilor AWS.

Importanța vitezei de sudare rezidă din influența acesteia asupra caracteristicilor geometrice ale sudurii depuse și anume o viteză de sudare mare afectează valorile lățimii și supraînălțării sudurii, favorizează obținerea lipsei de topire și apariția de pori în sudură.

B. Aspecte structurale

B1.1. Sudura 1a (figura 5.46), prezintă: grăunți alungiți și orientați pe direcția fluxului termic cu structură alcătuită din martensită (grăunți de culoare brun închis - figura 5.47, zona b), ferită (grăunți de culoare deschisă - figura 5.47 zona a) cu un număr redus de incluziuni intergranulare.

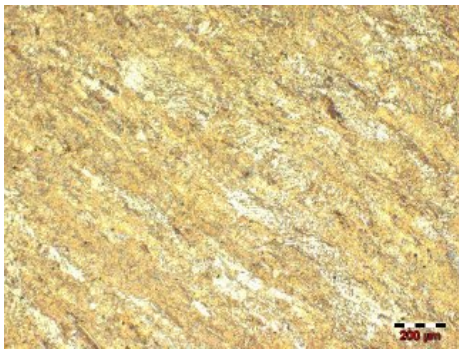


Figura 5.46. Microstructura MD, mărire 100x

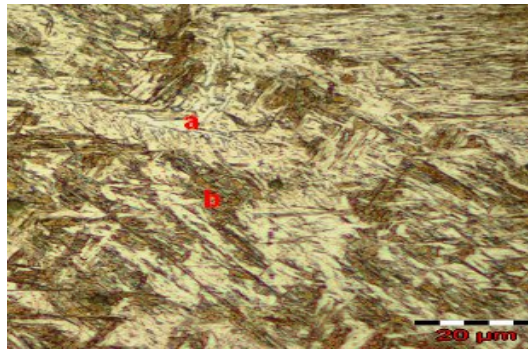


Figura 5.47. Microstructură MD: a- ferită; b - martensită, mărire 1000x.

B1.2. ZIT-ul sudurii 1a (figura 5.48), prezintă: o zonă îngustă (lățime medie 1,6 mm) cu grăunți mari, având în matricea de bază ferită alotriomorfă (figura 5.58 zona c) și martensită (figura 5.49 zona d), $HV_{0.1} \sim 400$, alcătuită din 2 subzone cu caracteristici distincte.

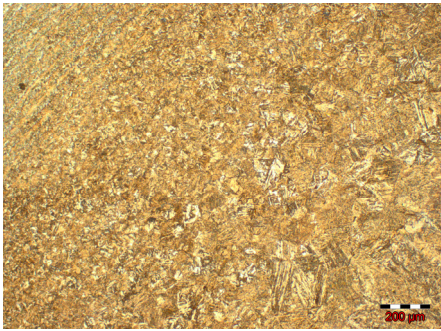


Figura 5.48 Microstructuri ZIT, 100x.

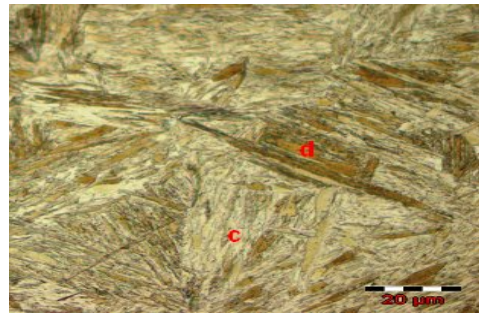


Figura 5.49. Microstructură ZIT: c - ferită alotriomorfă; d - martensită, mărire 1000x

În subzona de supraîncălzire se găsește martensită și ferită cu granulație medie de $110 \mu\text{m}$. În subzona de normalizare și recristalizare incompletă, cantitatea de martensită scade, iar cantitatea de ferită crește, alternând cu grăunți rari de perlită.

În figura 5.50 pot fi vizualizate cele trei zone distincte, respectiv MD, ZIT și MB

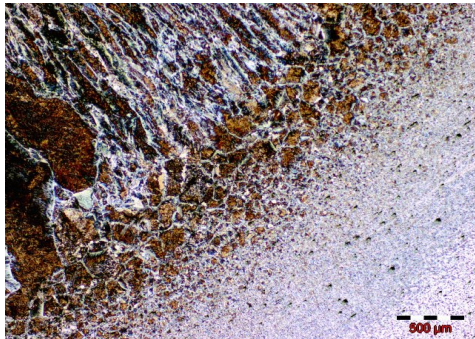


Figura 5.50. Microstructura zonelor sudurii MD, ZIT, MB, mărire 50x.

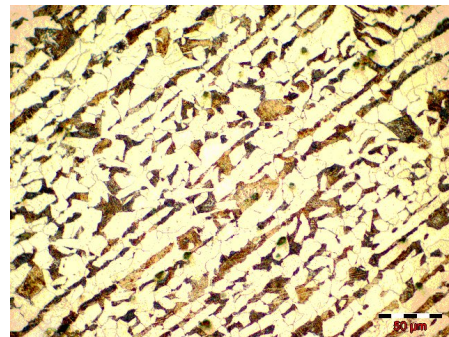


Figura 5.51 Microstructura MB, mărire 1000x

B1.3. Materialul de bază (figura 5.51), prezintă: structură ferito-perlitică în șiruri, cu grăunți alungiți proveniți din deformarea plastică de la laminare, faza predominantă fiind cea feritică (culoare deschisă), alternând cu grăunți de perlită (culoare brun închisă)..

B2.1. Sudură 1b din proba 1 (figura 5.52) prezintă: grăunți alungiți și orientați pe direcția fluxului termic iar structura conține martensită (grăunți de culoare brun închis - figura 5.53, zona b) și structură Widmanstätten α_w (grăunți de culoare deschisă - figura 5.53, zona a) și incluziuni intergranulare (rare).

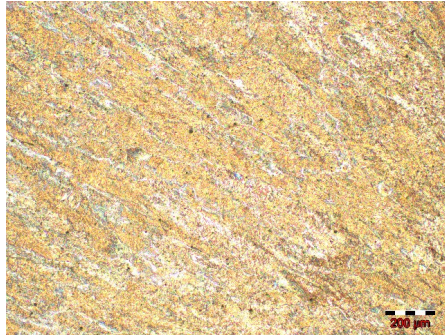


Figura 5.52. Microstructura MD, mărire 100x

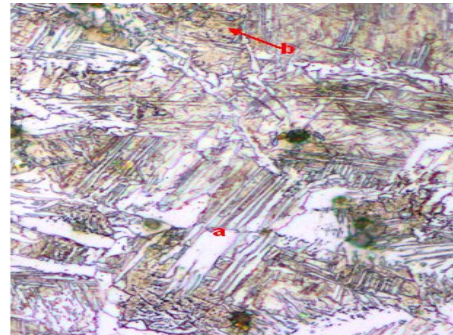


Figura 5.53. Microstructură MD:
a - structură Widmanstätten α_w ;
b - martensită, mărire 1000x

B2.2. ZIT-ul pentru sudura 1b (figura 5.54), prezintă: o zonă îngustă (lățime medie 1,9 mm) cu grăunți mari, având în matricea de bază ferită alotriomorfă și martensită ($HV_{0.1} \sim 400$), alcătuită din 2 subzone cu caracteristici distincte. Se observă microfisuri transcristaline pe linia de fuziune și pori în sudură, în vecinătatea liniei de fuziune. În subzona de supraîncălzire se observă martensită reziduală (figura 5.55, zona c) și ferită alotriomorfă (figura 5.55 zona d) iar în subzonele de normalizare și transformare incompletă, proporția de martensită scade, proporția de ferită crește, alternând cu grăunți rari de perlită.

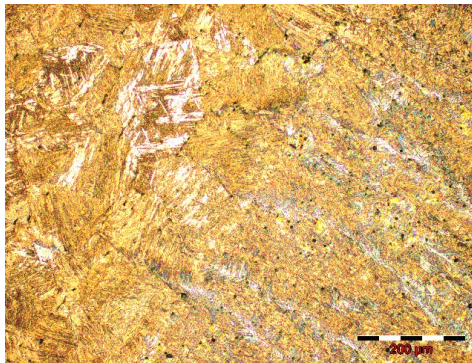


Figura 5.54. Microstructura ZIT, mărire 100x

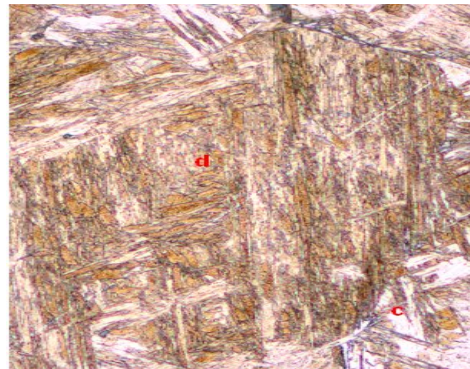


Figura 5.55. Microstructură ZIT:
c - ferită alotriomorfă; d - martensită reziduală, mărire 1000x

B3.1. Sudură 1c din proba 1 (figură 5.56) prezintă: grăunți alungiți și orientați pe direcția fluxului termic iar structura conține: martensită fină (grăunți de culoare brun închis (figura 5.57, zona b) și structură Widmanstätten α_w (grăunți fini de culoare deschisă, crescuți pe limitele grăunților ereditari de austenită (figura 5.57, zona a), incluziuni intergranulare (rare) și pori.

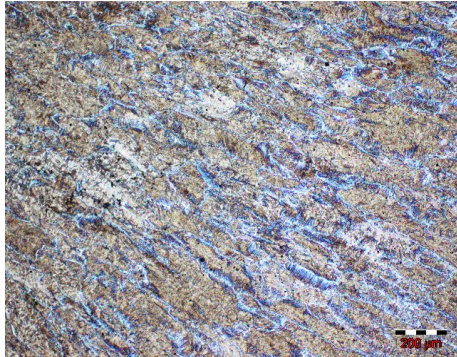


Figura 5.56. Microstructura MD, mărire 100x,

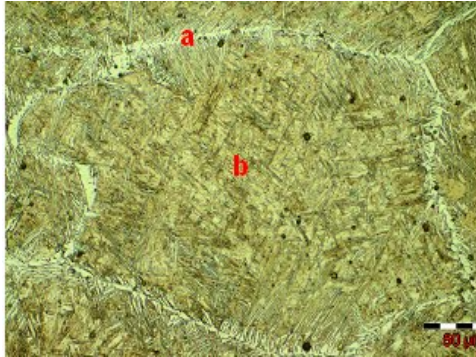


Figura 5.57. Microstructură MD: a-structură Widmanstätten a_w ; b-martensită, mărire 500x

B3.2. ZIT-ul pentru sudura 1c (figura 5.58), prezintă: o zonă îngustă (lățime medie 1,4) cu grăunți grosolani în zona de supraîncălzire, având în matricea de bază ferită alotriomorfă, martensită ($HV_{0,1} \sim 380$) și puțină structură Widmanstätten a_w . În subzona de supraîncălzire se observă doar martensită și ferită alotriomorfă. Datorită energiei liniare mari, se constată efectul creșterii granulației în ZIT dar și scăderea durității medii și proporției de martensită.

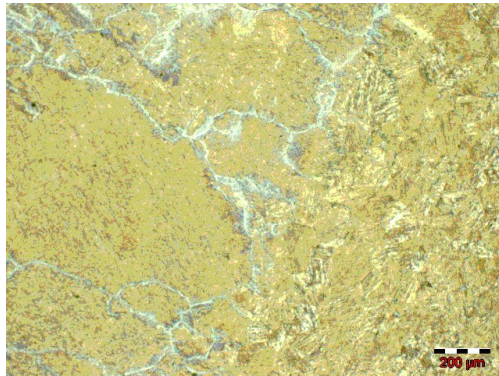


Figura 5.58. Microstructura ZIT, mărire 100x,

În concluzie, din punct de vedere microstructural, rezultatele cele mai bune s-au obținut în cazul probei 1c, la care energia liniară la sudare a fost mai mare, ceea ce a favorizat obținerea unei viteze de răcire mai mici.

În aceste condiții, structura obținută este mai apropiată de condițiile de echilibru, proporția de martensită formată la sudare este mai redusă și valorile durității sunt mai mici.

C. Aspecte privind valorile microdurităților Vickers $HV_{0,1}$ măsurate în secțiune transversală la cazul nr. 1

C1. Rezultatele măsurătorilor. Au fost efectuate încercări de duritate Vickers $HV_{0,1}$ conform SR EN 1043-2. S-au efectuat măsurători conform schemei de măsurare din figura 5.59.

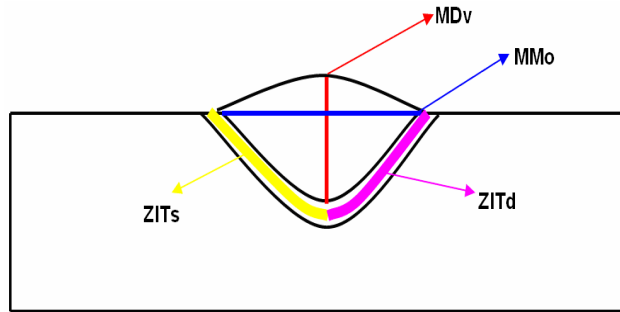


Figura 5.59. Schema de măsurare a durtății.

Rezultatele măsurătorilor sunt prezentate centralizat în tabelul 5.14.

Tabelul 5.14. Valorile microdurtăților Vickers HV0,1 pentru cazul 1 (sudura 1a, sudura 1b și sudura 1c)

MD 1a	MD 1b	MD 1c	ZIT 1a	ZIT 1b	ZIT 1c
MDv			ZITs		
410	386	363	318	282	258
389	367	370	302	285	279
411	390	380	316	289	277
387	389	375	304	271	261
409	367	376	308	283	268
406	379	364	315	287	278
385	381	378	304	284	274
388	389	376	305	286	270
408	385	382	319	284	262
405	375	368	317	288	280
MDo			ZITd		
422	395	375	319	281	264
417	385	362	306	282	277
409	363	348	309	283	265
381	349	335	317	289	279
369	344	330	313	291	268
365	349	328	306	284	263
389	362	341	307	292	269
392	368	343	319	285	272
410	369	346	308	279	263
417	387	362	321	295	265

C2. Reprezentanțele grafice ale valorilor de microduritate Vickers HV0,1 măsurate în MD și ZIT sunt redată comparativ pentru cele trei cazuri (sudura 1a, sudura 1b și sudura 1c) în figurile 5.60 - 5.63.

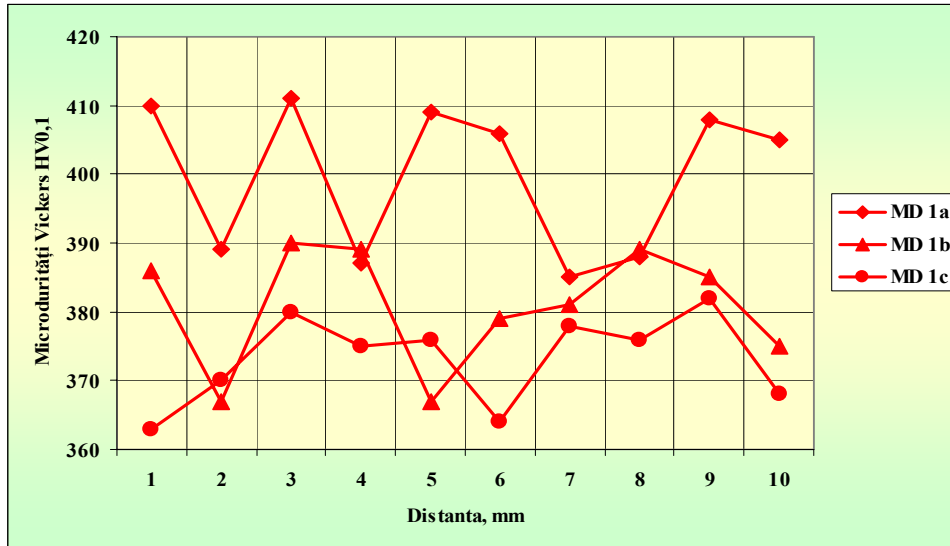


Figura 5.60. Valorile microdurităților Vickers HV0,1 determinate în MDv.

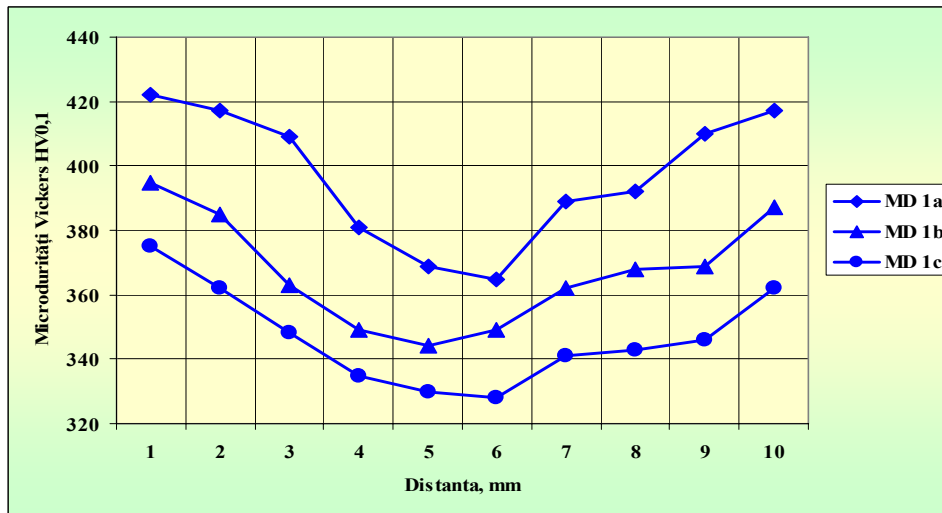


Figura 5.61. Valorile microdurităților Vickers HV0,1 determinate în MDo.

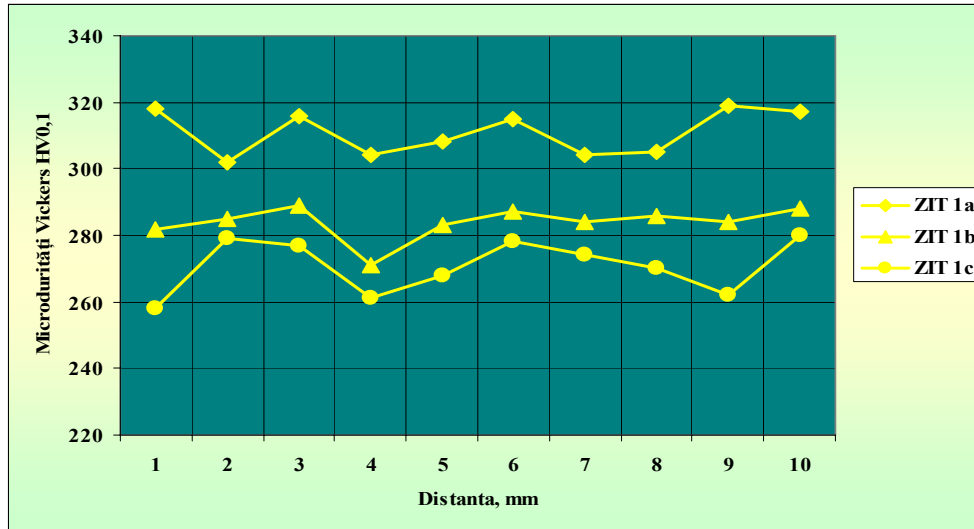


Figura 5.62. Valorile microdurităților Vickers HV0,1 determinate în ZITs.

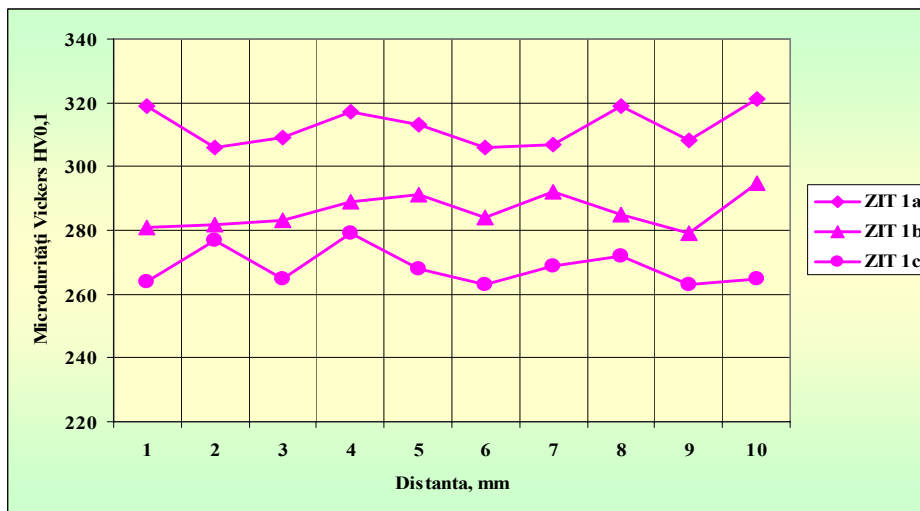


Figura 5.63. Valorile microdurităților Vickers HV0,1 determinate în ZITd.

Se constată că valorile microdurităților Vickers HV0,1 măsurate în cazul sudurii 1c sunt mai scăzute comparativ cu cele corespunzătoare sudurilor 1a și 1b. Totodată, se constată că pentru cea mai mare valoare a vitezei de sudare (sudura 1a), la care energia lineară este minimă, valorile microdurităților Vickers HV0,1 sunt maxime, datorită vitezelor de răcire mai mari. Aceiași evoluție se constată și în ZIT-ul celor trei sudurii.

În plan vertical, microduritățile Vickers HV0,1 măsurate în axa cordoanelor depuse au o variație aproximativ lineară, cu valori medii care scad odată cu scăderea vitezei de sudare (sudura 1a: 399,80 HV0,1; sudura 1b: 380,80 HV0,1 și sudura 1c: 373,20 HV0,1). În plan orizontal, microduritățile Vickers HV0,1 au o variație concavă cu valori minime în axa cordoanelor depuse, valori medii care scad odată cu scăderea vitezei de sudare (sudura 1a: 397,10 HV0,1; sudura 1b: 367,10 HV0,1 și sudura 1c: 347,00 HV0,1).

În ZIT microduritățile Vickers HV0,1 au o variație aproximativ lineară cu valori medii care scad odată cu scăderea vitezei de sudare (sudura 1a: 311,65 HV0,1; sudura 1b: 285,00 HV0,1 și sudura 1c: 269,60 HV0,1).

Se poate constata tendința de durificare a MD cât și a ZIT-ului ca urmare a procesului de răcire rapidă similară călirii, datorită apariției martensitei ce este un constituent tipic de călire cu o duritate mare.

5.4.3.2 Experiment 2: Depuneri prin sudare în apă sărată

În cazul acestui experiment s-a repetat experimentul 1 folosind aceleași regimuri de sudare, dar mediul de lucru a fost apa sărată (apa de mare).

A. Aspecte calitative la cazul 2

În figura 5.64 se prezintă imaginea celor 3 depuneri prin sudare. O primă constatare se referă la numărul de stropi care sunt mai numeroși față de cazul sudării în apă dulce.

Macrostructurile depunerilor realizate sunt prezentate în figura 5.65.



Figura 5.64. Aspectul depunerilor prin sudare în apă sărată.

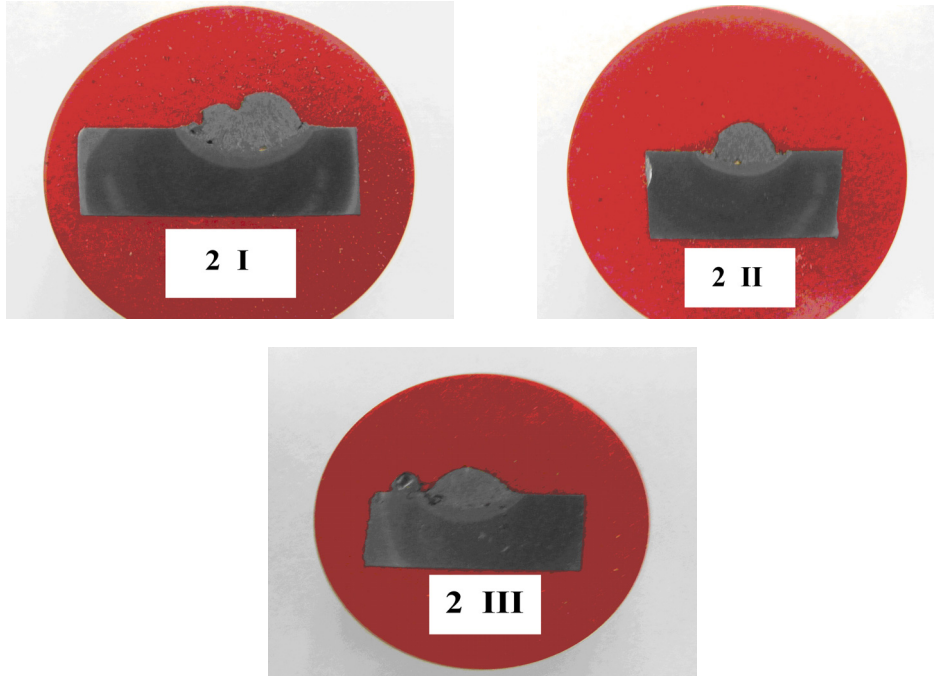


Figura 5.65. Macrostructurile depunerilor prin sudare

Valorile caracteristicilor geometrice ale depunerilor în cazul nr. 2 sunt prezentate centralizat în tabelul 5.15.

Tabelul 5.15. Valorile caracteristicilor geometrice ale depunerilor

Cod sudură	Lățime, Mm	Supraînălțare, mm	Pătrunderi, mm	Discontinuități depistate
2I	7,5	3,7	2,4	Pori pe linia de fuziune, supraînălțare mărită, șanț marginal
2II	10,6	3,5	2,9	Pori pe limita de fuziune, supraînălțare mărită, pătrundere redusă, șanț marginal
2III	12,7	3,3	2,7	Crater final, pori pe linia de fuziune, stropi, neuniformitatea lățimii, fisură dezvoltată din ZIT spre MB

Ca o concluzie generală, putem afirma că regimul de sudare aplicat în apă dulce nu este aplicabil din punct de vedere calitativ în apă sărată .

B. Aspecte structurale

B1.1. Sudura I (figura 5.66), prezintă: grăunți alungiți de ferită alotriomorfă, structură Widmanstätten α_w pe limita de grăunte, perlită și martensită în proporție foarte mică (sub 10%) cu valori medii ale duriității în jur de 300 HV0,1.

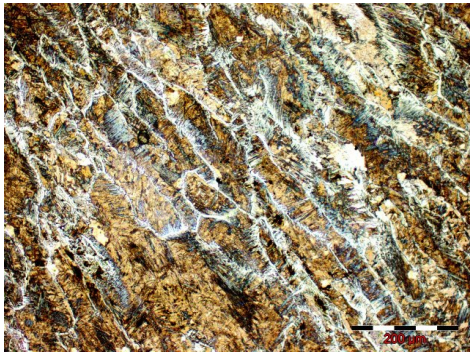


Figura 5.66. Microstructura MD, mărire 100x.

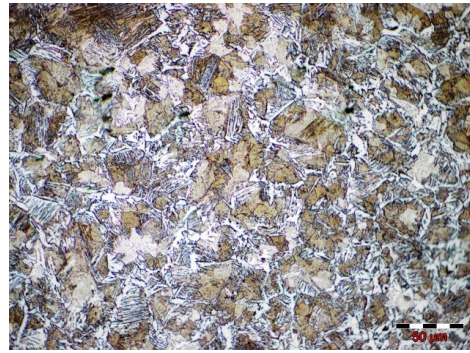


Figura 5.67. Microstructura ZIT, mărire 100x.

B1.2. ZIT-ul pentru sudura I (figura 5.67) prezintă: o zonă foarte îngustă cu grăunți mari de ferită și perlită și o zonă de supraîncălzire ușor durificată (în jur de 190 HV0,1), cu grăunți de ferită alotriomorfă, structură Widmanstätten α_w și perlită.

B2.1. Sudura II (figura 5.68), prezintă: grăunți alungiți de ferită alotriomorfă, structură Widmanstätten α_w pe limita de grăunte, perlită și martensită în proporție mică (în jur de 10%) cu valori medii ale duriității în jur de 320 HV0,1.

B2.2. ZIT-ul din sudura II (figura 5.69), prezintă: o zonă foarte îngustă cu grăunți mari de ferită și perlită și o zonă de supraîncălzire durificată în jur de 300 HV,01 cu grăunți de ferită alotriomorfă, structură Widmanstätten α_w , martensită și perlită.

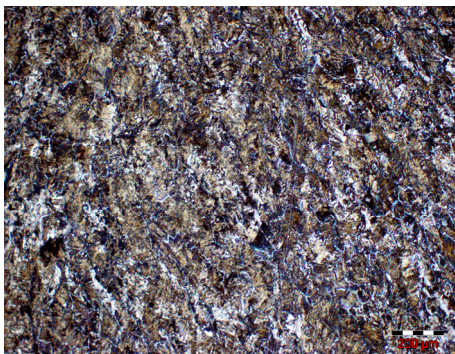


Figura 5.68. Microstructura MD, mărire 100x.

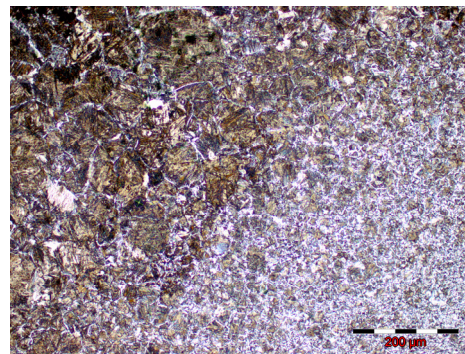


Figura 5.69. Microstructura ZIT, mărire 100x

B3.1. Sudura III (figura 5.70), prezintă: grăunți alungiiți de ferită alotriomorfă, structură Widmanstätten α_w pe limita de grăunte, perlită și martensită în proporție foarte mică (sub 10%) cu valori medii ale durității în jur de 330 HV0,1.

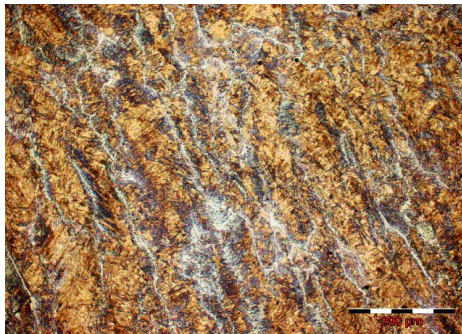


Figura 5.70. Microstructura MD, mărire 100x.

B3.2. ZIT-ul din sudura III (figura 5.71) prezintă: o zonă foarte îngustă cu grăunți mari de ferită și perlită și o zonă de supraîncălzire ușor durificată (în jur de 210 HV0,1), cu grăunți de ferită alotriomorfă, structură Widmanstätten α_w și perlită.

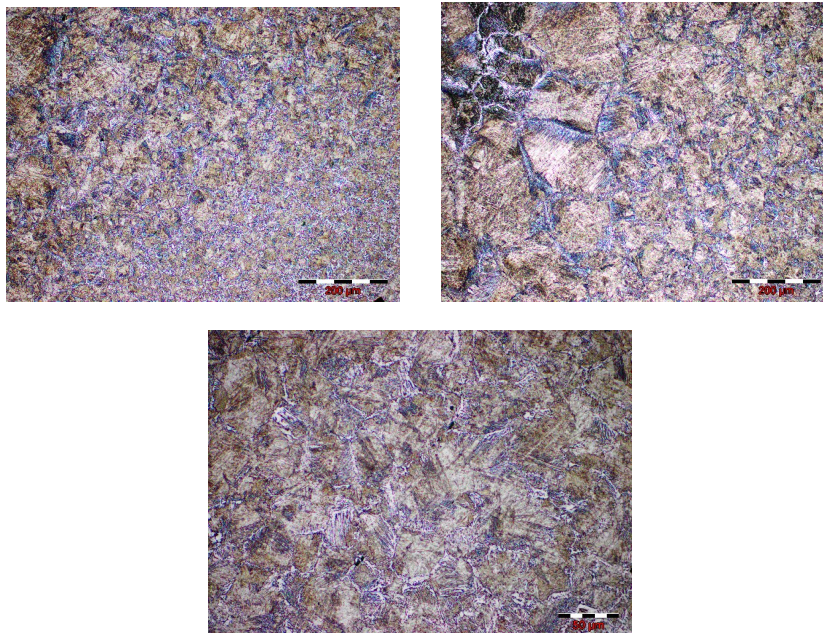


Figura 5.71. Microstructura ZIT, mărire 100x

C. Aspecte privind valorile microdurițiilor Vickers HV0,1 măsurate în secțiunea transversală la cazul nr. 2

Încercarea de duritate a fost executată în aceleași condiții ca în cazul experimentului precedent, valorile individuale ale duritatii fiind prezentate în tabelul 5.16.

Tabelul 5.16. Valorile microdurițiilor Vickers HV0,1 pentru cazul 2 (sudura 2I, sudura 2II și sudura 2III)

MD 2I	MD 2II	MD 2III	ZIT 2I	ZIT 2II	ZIT 2III
MDv					
332	293	288	275	227	201
319	307	295	302	216	193
326	296	284	291	253	203
336	302	297	281	224	186
329	305	294	302	230	183
334	306	297	278	215	199
328	302	295	303	243	185
335	297	287	281	220	191
326	309	299	297	214	179
332	307	295	302	237	207
MDo					
353	328	317	291	221	179
341	308	295	293	244	202
326	299	289	291	251	179
324	292	283	305	258	175
308	283	272	278	224	186
311	286	277	281	230	202
314	289	280	291	215	207
318	293	288	279	233	183
329	312	297	302	260	175
351	326	319	271	214	186

Reprezentarea grafică a valorilor de microduritate măsurate în MD (pe cele două direcții de măsurare) și ZIT este redată comparativ pentru cele trei depuneri în figurile 5.72 - 5.74.

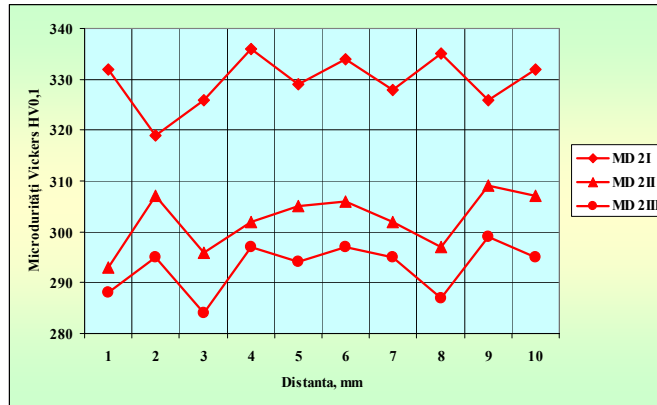


Figura. 5.72. Valorile microdurităților Vickers HV0,1 determinate în MDv.

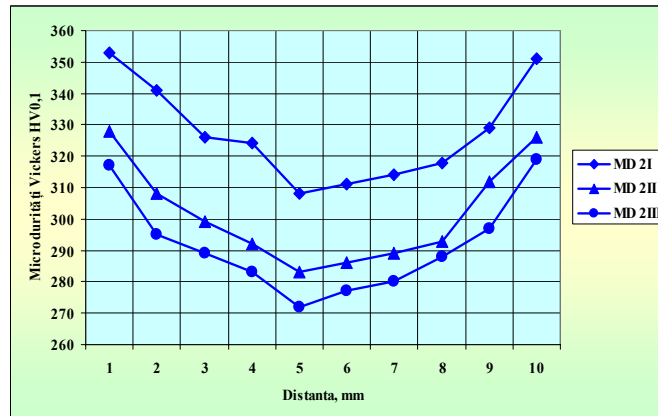


Figura. 5.73. Valorile microdurităților Vickers HV0,1 determinate în MDo.

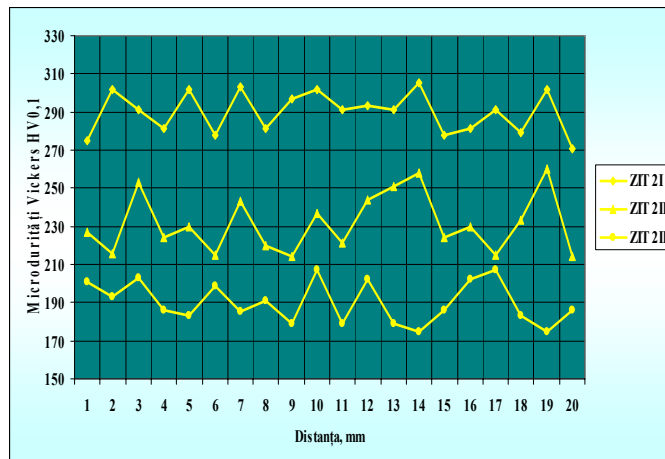


Figura. 5.74. Valorile microdurităților Vickers HV0,1 determinate în ZIT.

În plan vertical, microdunitățile Vickers HV0,1 măsurate în axa sudurilor depuse au o variație aproximativ lineară, cu valori medii care scad odată cu scăderea vitezei de sudare (sudura 2I: 329,70 HV0,1; sudura 2II: 302,40 HV0,1 și sudura 2III: 293,10 HV0,1).

În plan orizontal, microdunitățile Vickers HV0,1 au o variație concavă cu valori minime în axa cordoanelor depuse, valorile medii scad odată cu scăderea vitezei de sudare (sudura 2I: 327,50 HV0,1; sudura 2II: 301,60 HV0,1 și sudura 2III: 291,70 HV0,1).

În ZIT microdunitățile Vickers HV0,1 au o variație aproximativ lineară cu valori medii care scad odată cu scăderea vitezei de sudare (sudura 2I: 289,70 HV0,1; sudura 2II: 231,45 HV0,1 și sudura 2III: 190,05 HV0,1).

Influența vitezei de sudare asupra durității este similară ca în cazul experimentului efectuat în apă dulce. Valorile maxime ale durității sunt însă mult mai reduse în cazul sudării în apă sărată datorită micșorării procentului de grăunți durifianți din structură.

Ca atare, tendința de durificare a MD cât și a ZIT-lui ca urmare a procesului de răcire rapidă specific sudării în apă este influențată în mod semnificativ de mediul în care are loc procesul de sudare.

5.4.3.3. Experiment 3 : Suduri în colț în apă dulce

A. Aspecte calitative

Experimentul a fost efectuat pe table cu grosimea de 8 mm (din oțel A 32).

Prin experimentări preliminare a fost determinat regimul de sudare caracterizat prin următorii parametri: curent de sudare $I_s = 275$ A tensiunea arcului $U_a = 30,1$ V; viteza de sudare $v_s = 38,1$ cm/min. Aspectul sudurii realizate în acest regim este ilustrat în figura 5.75, sudura având un aspect uniform cu un număr redus de stropi. Macrostructura sudurii este prezentată în figura 5.76

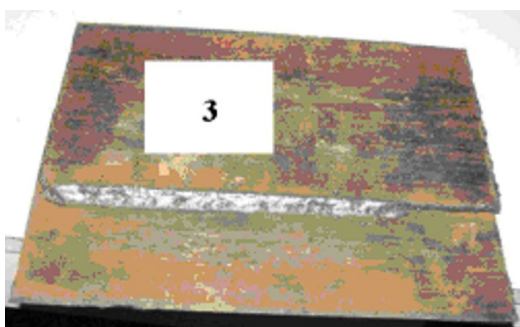


Figura 5.75. Aspectul sudurii

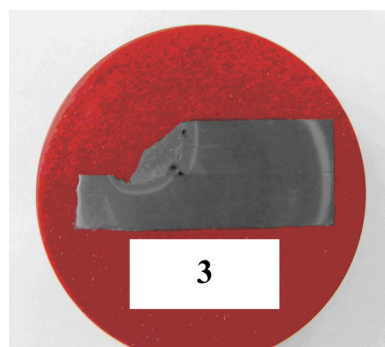


Figura 5.76. Macrostructura sudurii

Valorile caracteristicilor geometrice ale sudurii sunt prezentate în tabelul 5.17. împreună cu rezultatele controlului vizual și cu lichide penetrante .

Tabelul 5.17. Valorile caracteristicilor geometrice ale îmbinării sudate

Cod probă	Lățime, mm	Înălțimea catetei, mm	Mărimea catetei mm	Discontinuități depistate
3	20,1 mm	6,4	7,0	Pori, creștături marginale

Sudura are un număr redus de pori și creștături marginale putând fi încadrată în clasa B conform recomandărilor AWS.

B. Aspecte structurale

În figura 5.77 se prezintă microstructurile specifice zonelor îmbinării sudate .

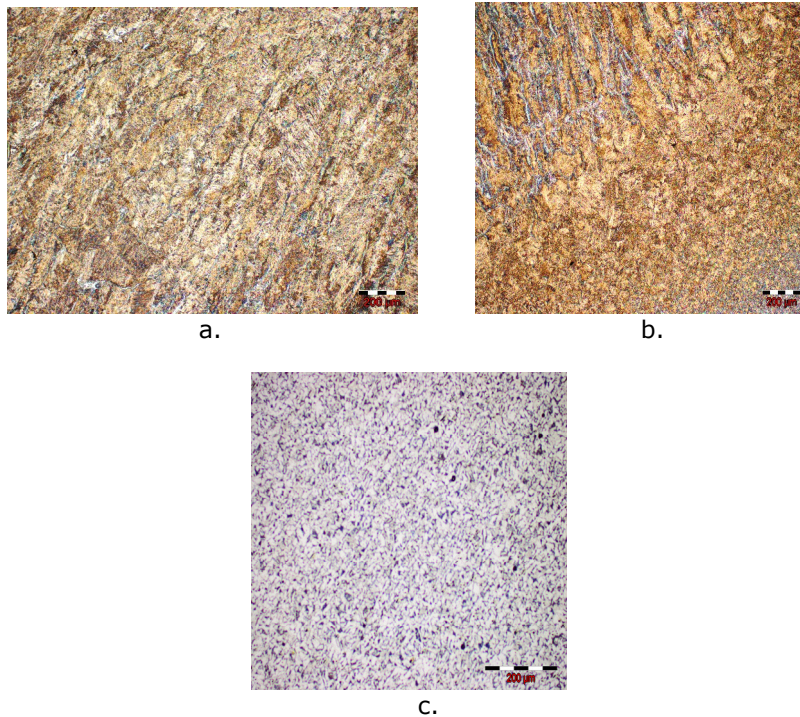


Figura 5.77. Microstructuri a îmbinării sudate, mărire 100x, a. MD, b. ZIT, c. MB

Sudura are o structură formată din grăunți alungiți pe direcția fluxului termic de ferită alotriomorfă în interiorul grăunților și structură Widmanstätten α_w plasată la limita de grăunte și martensită reziduală. În ZIT se poate identifica în zona de supraîncălzire o structură mixtă compusă din ferită, structură Widmanstätten α_w pe limita de grăunte și perlită iar în zona de normalizare o structură mixtă compusă din ferită alotriomorfă și perlită (figurile 5.78). Metalul de bază are o structură ferito-perlitică, faza predominantă fiind cea feritică (culoare deschisă), alternând cu grăunți de perlită (culoare brun închisă).

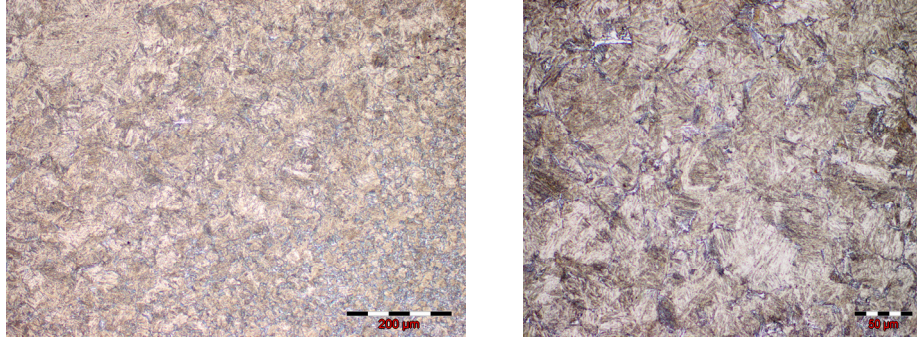


Figura 5.78. Microstructuri a fâșiei de normalizare din ZIT, mărire 100x, și 500x.

În concluzie, în MD și ZIT, se constată apariția unei structuri mixte cu tendința de durificare prin prezența structurii Widmanstätten și a martensitei, cu scăderea ductilității și plasticității. Aceste efecte sunt corelate cu valorile microdureților Vickers HV0,1.

C. Aspecte privind valorile microdureților Vickers HV0,1 măsurate în secțiunea transversală a probei nr. 3

Schema de măsurare a durezzații este prezentată în figura 5.79, rezultatele măsurărilor fiind consemnate în tabelul 5.18 și reprezentate grafic în figurile 5.80 și 5.81.

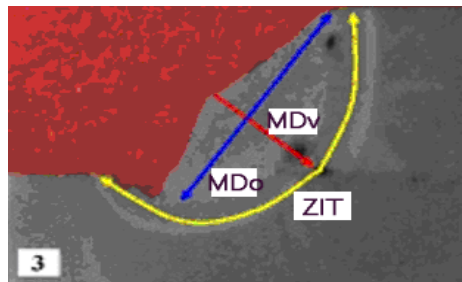


Figura 5.79 Schema de măsurare a durezzații

Tabelul 5.18. Valorile durezzații pentru proba nr. 3

MDv	MDo	ZIT
366	425	338
393	366	279
371	383	271
367	377	266
373	390	268
381	421	281
365	385	266
406	424	277
412	393	282
383	437	309

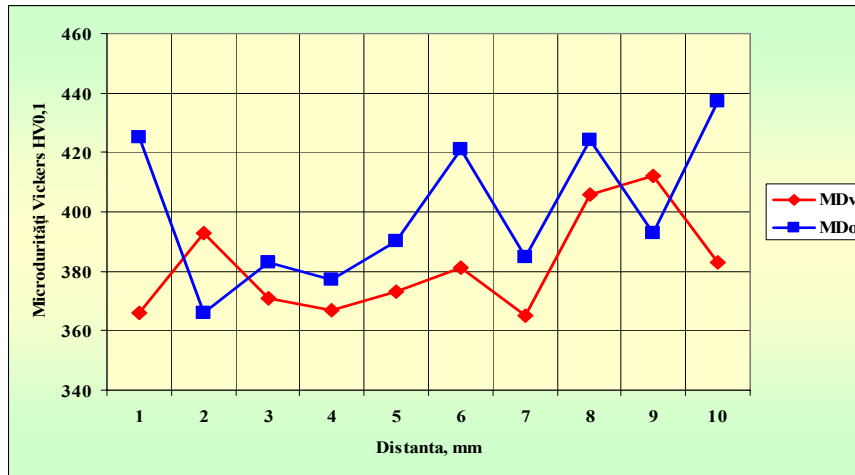


Figura 5.80. Valorile duriții în MDv și MDo.

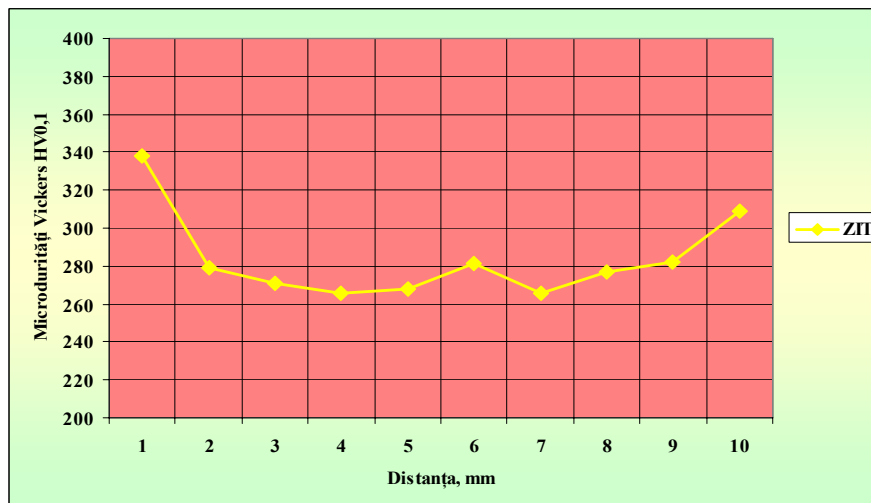


Figura 5.81. Valorile duriții în ZIT.

În cazul îmbinărilor sudate în colț prin suprapunere în apă dulce, procesul de răcire este mult mai accentuat, deoarece baia de metal topit și zgura topită sunt supuse răcirii în contactul direct cu apă și al transmisiei căldurii în componente pe trei direcții, comparativ cu depunerea de cordoane pe placă, caz în care, transmisia căldurii în placă se realizează numai pe două direcții.

Procesul de răcire este în acest caz mai accentuat la contactul direct cu apa, motiv pentru care valorile durițiilor în MD sunt mai mari în plan orizontal (medie 400,00 HV0,1) decât în plan vertical (medie 381,70 HV0,1).

În ZIT procesul de răcire a fost mai accentuat în zonele de contact cu marginile componentelor de sudat și la limita dintre cele două componente, valorile fiind mai mici în zonele centrale.

Și în acest caz, valorile cele mai mari ale microduriților Vickers HV_{0,1} s-au obținut tot în MD. În ZIT, valoarea medie a microduriților Vickers HV_{0,1} a fost de 283,70 HV_{0,1}.

5.4.3.4. Experiment 4 : Suduri de colț în apă sărată

A. Aspecte calitative la proba numărul 4

În urma unor experimentări preliminare a fost selectat regimul de sudare caracterizat prin următorii parametri: curent de sudare $I_s = 260$ A tensiunea arcului $U_a = 30,1$ V; viteza de sudare $v_s = 25,4$ cm/min

Aspectul sudurii realizate este ilustrat în figura 5.82, sudura fiind uniformă cu un număr redus de stropi. Macrostructura sudurii este prezentată în figura 5.83.

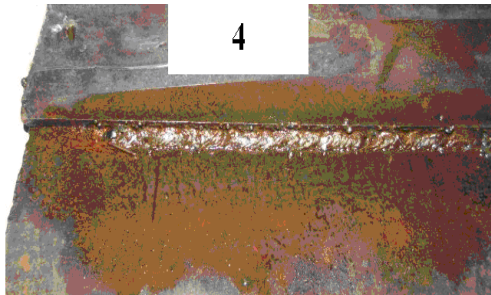


Figura 5.82. Aspectul sudurii de colț

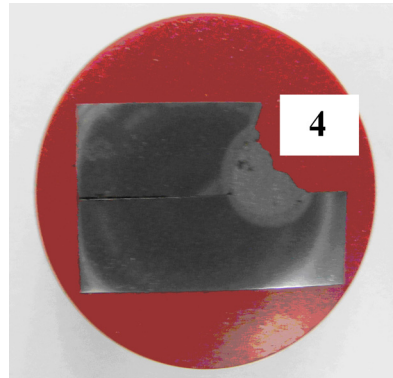


Figura 5.83. Macrostructura sudurii de colț

La sudare au apărut o serie de imperfecțiuni de tip creștături marginale pe placa inferioară și lipsă de topire în zona de separare a tablelor, pori pe linia de fuziune sau în MD.

B. Aspecte structurale

În figura 5.84 se prezintă microstructurile specifice zonelor îmbinării sudate.

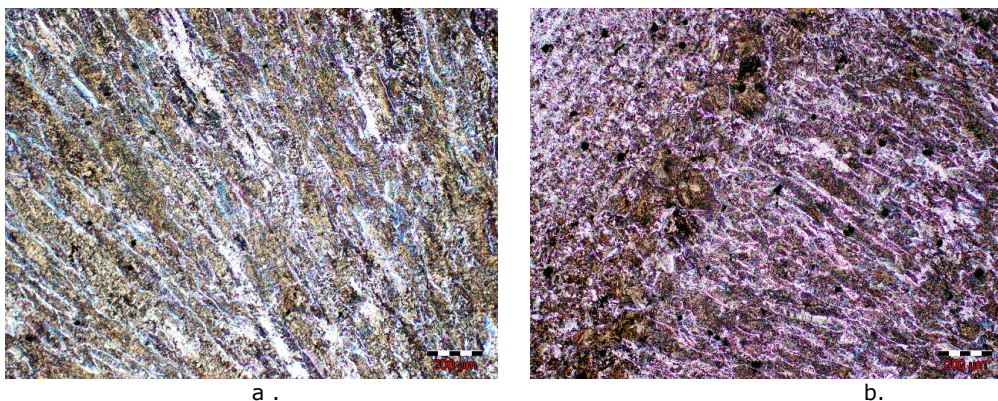


Figura 5.84. Microstructuri a îmbinării sudate, mărire 100x, a. MD, b. ZIT,

Structura MD prezintă grăunți alungiți de ferită alotriomorfă, structură Widmanstätten α_w pe limita de grăunte, perlită și martensită.

ZIT prezintă o zonă foarte îngustă cu grăunți mari de ferită, martensită și perlită în zona adiacentă suduri. Zona durificată (în jur de 215,0 HV0,1), cu grăunți de ferită alotriomorfă, structură Widmanstätten α_w , perlită și ace de martensită.

C. Aspecte privind valorile microdunităților Vickers HV0,1 măsurate în secțiunea transversală a probei nr. 4

Schema de măsurare a dunității este prezentată în figura 5.85 rezultatele măsurărilor fiind consemnate în tabelul 5.19 și reprezentate grafic în figurile 5.86 și 5.87.

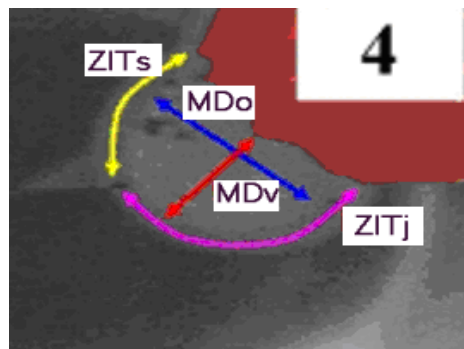


Figura 5.85. Schema de măsurare a dunității

Tabelul 5.19. Valorile dunității pentru proba nr. 4

Valorile microdunităților Vickers HV0,1			
MDv	MDo	ZITs	ZITd
322	359	225	228
358	361	214	206
340	408	215	199
369	396	213	195
338	362	211	198
348	359	210	202
306	385	211	200
343	413	215	209
341	377	218	213
310	365	226	225

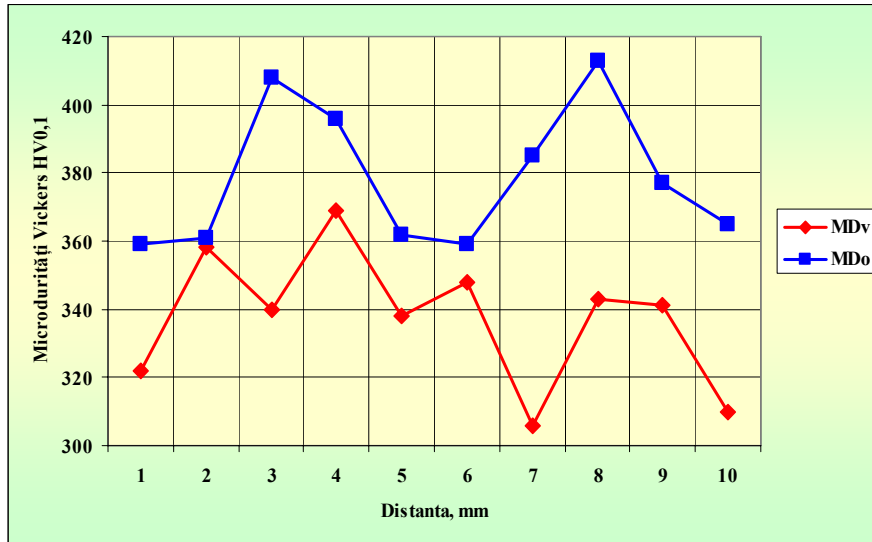


Figura 5.86. Valorile durității MD.

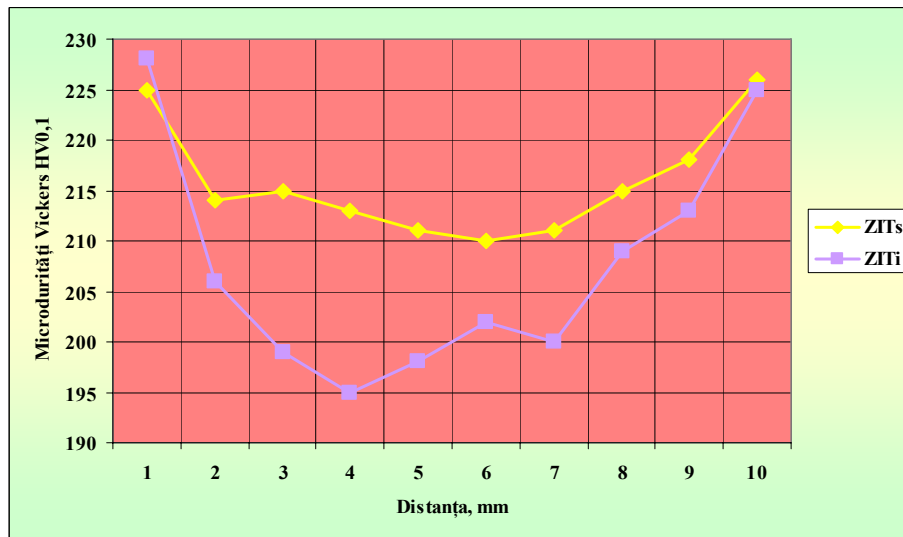


Figura 5.87. Valorile durității ZIT.

În cazul îmbinărilor sudate de colț prin suprapunere în apă sărată procesul de răcire este mai puțin accentuat, motiv pentru care microdurităților Vickers HV0,1 în MD și în ZIT, au avut aceeași variație, dar au avut valori mai mici.

Valorile medii ale durității Vickers în MD au fost și în acest caz, mai mari în plan orizontal (378,50 HV0,1) decât în plan vertical (337,50 HV0,1).

Și în acest caz, valorile cele mai mari ale microdurităților Vickers s-au obținut în MD (413 HV_{0,1}). În ZIT valoarea maximă a durezzații Vickers a fost de 226 HV_{0,1}.

5.4.3.5. Experiment 5 : Suduri cap la cap în apă dulce

A. Aspecte calitative la proba numărul 5

Sudarea s-a efectuat utilizând table din oțel A 32 cu grosimea 10 mm, rostul fiind prelucrat în V conform SR EN 29692/1994 având următoarele dimensiuni: deschiderea rostului $b=3\text{mm}$; unghiul $\alpha = 50^\circ$; înălțimea umărului la rădăcină $c=1,5\text{mm}$

Sudarea s-a executat din două părți cu următorii parametri de sudare care au fost stabiliți prin experimentări preliminare:

- rândul 1: $U_a = 26,6\text{ V}$; $I_s = 175\text{ A}$; $v_e = 5,6\text{ m/min}$; $v_s = 15\text{ cm/min}$.
- întoarcere tabla
- rândul 2 : $U_a = 26,6\text{ V}$; $I_s = 175\text{ A}$; $v_e = 5,6\text{ m/min}$; $v_s = 10\text{ cm/min}$;
- rândul 3 : $U_a = 26,6\text{ V}$; $I_s = 175\text{ A}$; $v_e = 5,6\text{ m/min}$; $v_s = 8\text{ cm/min}$.

Aspectul sudurii este prezentat în figura 5.88, iar macrostructura sudurii în figura 5.89.

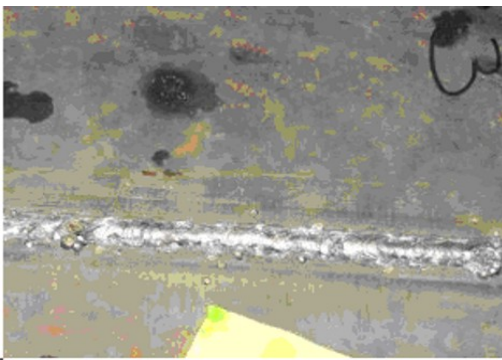


Figura 5.88 Aspectul sudurii cap la cap.

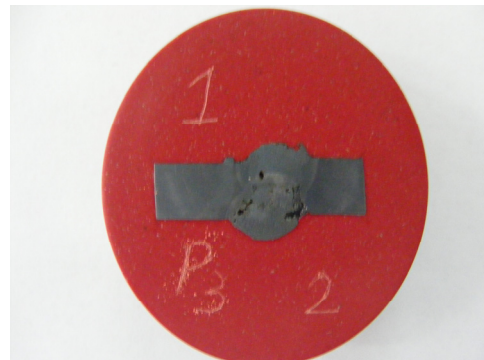


Figura 5.89. Macrostructura îmbinării sudate

Au fost remarcate următoarele imperfecțiuni ale sudării: abatere între liniile mediane ale celor 3 treceri executate din părți opuse ale îmbinării (SR EN ISO 6520 -1, indicator 608), creștătură locală intermitentă (indicator 5012), cuib de sufluri (indicator 2013).

B. Aspecte structurale

În figura 5.90 sunt prezentate microstructurile caracteristice zonelor îmbinării sudate.

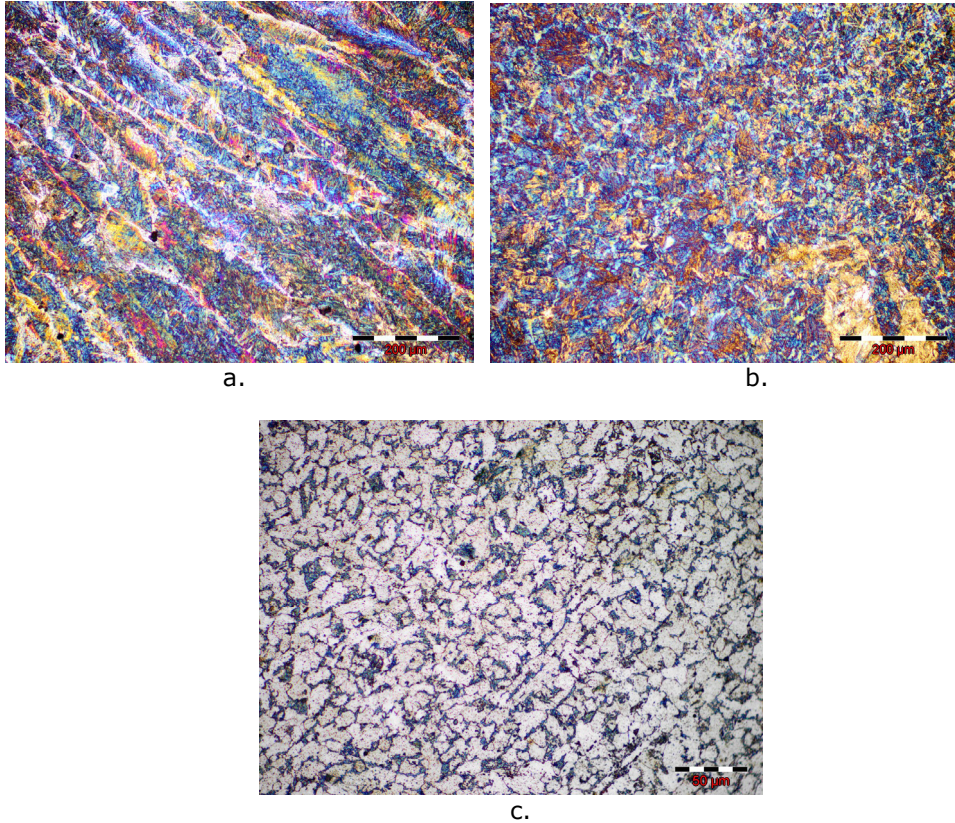


Figura 5.90 Microstructuri a îmbinării sudate, mărire 100x, a. MD, b. ZIT, c. MB

Sudura prezintă grăunți alungiți pe direcția fluxului termic, de ferită alotriomorfă în interiorul grăunților, structură Widmanstätten α_w pe limita de grăunte și perlită modificată. Structura ZIT este compusă din ferită, ferită Widmanstätten α_w pe limita de grăunte și perlită. Metalul de baza are o structură ferito- perlitică cu incluziuni.

C. Aspecte privind valorile microdurițiilor Vickers $HV_{0,1}$ măsurate în secțiunea transversală a propei nr. 5

Schema de efectuare a încercării de duritate este prezentată în figura 5.91, rezultatele încercării fiind consemnate în tabelul 5.20 și reprezentate grafic în figura 5.92.

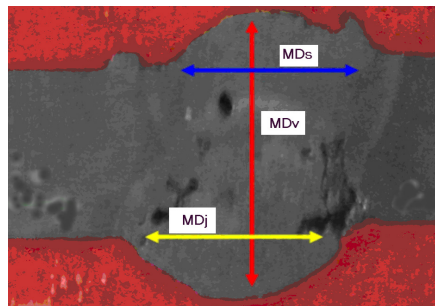
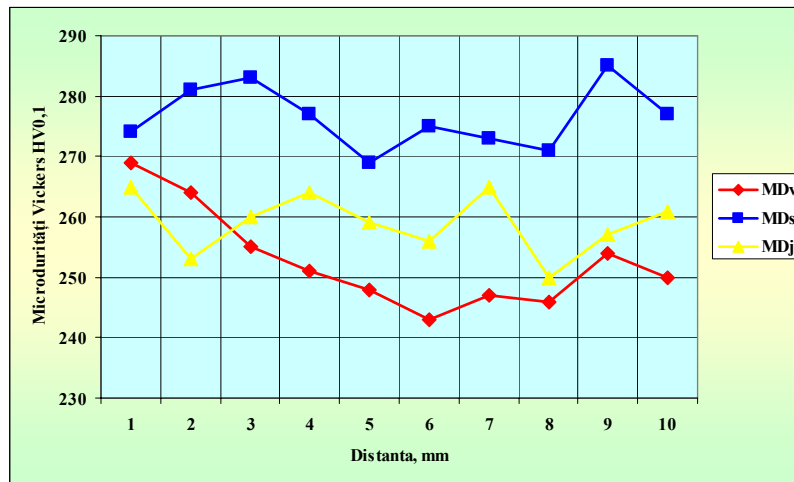


Figura 5.91. Schema de măsurare a durității

Tabelul 5.20. Valorile durtății pentru proba nr. 5

MDv	MDs	MDj
269	274	265
264	281	253
255	283	260
251	277	264
248	269	259
243	275	256
247	273	265
246	271	250
254	285	257
250	277	261

**Figura 5.92.** Valorile durtății MD.

Făcând o comparație a microdurtăților Vickers HV1,0, durificarea MD cât și în ZIT este mai puțin evidentă comparativ cu celelalte probe sudate de colț prin suprapunere sub apă deci, putem afirma că din acest punct de vedere această sudură este mai bună.

Microdurtățile Vickers HV1,0 pe cele trei direcții (MDv, MDs și MDj) au prezentat evoluții diferite. Cele din plan orizontal cuprind atât durtățile în materialul depus cât și în ZIT iar evoluțiile au fost aproximativ egale în cele două zone, iar variația în plan vertical este relativ mică (max. 269 și min 243)

În ceea ce privește calitatea îmbinărilor cap la cap, se poate ușor observa o calitate net inferioară din punct de vedere al incluziunilor, față de celelalte probe sudate de colț. Defectele apărute la această probă se datorează în cea mai mare măsură celui de-al doilea rând de sudură.

Aceste defecte sunt rezultatul unei curățiri necorespunzătoare a primului rând de sudură, lucru ce se întâmplă numai la sudarea umedă, datorită răcirii rapide a băii de metal topit, o parte din incluziunile nemetalice cât și gazele rezultate în urma

arderii arcului electric nu au timp să se degaje în totalitate rămânând în materialul depus.

După mai multe probe executate, atât cu procedeul MIG-MAG cât și cu electrozi înveliți, s-a ajuns la concluzia că sub apă, nu este recomandat cel de-al doilea rând de sudură, iar acolo unde este necesar cel de-al doilea rând de sudură, se recomandă realizarea unui singur rând cu o micșorare adecvată a vitezei de sudare.

În cazul unor grosimi mai mari este de preferat, în cazurile în care acest lucru este posibil, sudarea într-un singur rând strat prin adaptarea corespunzătoare a parametrilor de sudare (reducerea vitezei de sudare).

5.5 Concluzii asupra programului experimental

În urma derulării programului de cercetare experimentală la sudarea sub apă s-au obținut o serie de rezultate care sunt sintetizate în continuare.

1. Cercetările preliminare de sudare cu electrozi înveliți realizate în condiții umede, atât prin depunere, cât și prin efectuarea unor îmbinări sudate au arătat dificultatea de obținere prin acest procedeu a unor suduri fără defecte.

➤ Defectele apărute (supratopiri, străpungeri, creștături marginale, pori și sufluri) au fost cauzate de următorii factori: calitatea necorespunzătoare a învelișului electrozilor care au prezentat cazuri de exfoliere a învelișului în timpul sudării și variații ale parametrilor de sudare - lungimea arcului și viteza de sudare.

➤ Procesul de sudare este influențat în mod esențial de calificarea sudorului, responsabil pentru modificările accidentale ale parametrilor de sudare.

➤ Cu creșterea adâncimii de lucru pericolul producerii defectelor de sudare se mărește datorită accentuării dificultății de menținere constantă a lungimii arcului. Ca urmare a acestei dificultăți, în timpul sudării se produc variații ale curentului de sudare mai mari decât cele specifice sudării în atmosferă. Aceste variații pot ajunge până la 25% din valoarea curentului de sudare.

➤ Vizibilitatea redusă la adâncimi mai mari de sudare (10 - 40 m) împiedică urmărirea arcului electric și a rostului de sudare accentuând dificultățile de realizare a unor suduri fără defecte. Se menționează, de asemenea, că un factor perturbator la adâncimi mai mari, curenții marini care afectează stabilitatea arderii arcului electric.

➤ Caracteristicile microstructurale, duritatea și caracteristicile mecanice ale sudurilor realizate în condiții umede la adâncimi până la 40 m nu depind în mod semnificativ de adâncimea apei.

➤ Temperatura scăzută a apei (cca. 10 °C în cazul experimentărilor efectuate) produce o răcire rapidă a metalului depus, afectând însă negativ și capacitatea de lucru a scafandului sudor.

➤ Ca urmare a vitezelor mari de răcire în timpul sudării apare o creștere semnificativă a durității, duritatea maxima (440 - 478 HV0,1) fiind consemnată în zona influențată termic. Creșterea de duritate în aceasta zonă față de duritatea materialului de bază se plasează în intervalul 180 - 314 HV0,1.

➤ Zona influențată termic prezintă o structură din ferită aciculară și perlită, precum și o structură Widmannstätten, în timp ce în sudură se consemnează o structură dendritică formată din ferită și perlită (duritate cca. 240 HV0,1).

➤ Rezultatele obținute la sudarea sub apă în condiții umede utilizând procedeul de sudare cu electrozi înveliți fundamentează concluzia privind posibilitatea de utilizare a acestui procedeu doar pentru lucrări de o importanță mai

redușă, în special la operații de reparații prin sudare materializate prin realizarea, mai ales, a unor îmbinări în colț. O alternativă superioară acestui procedeu de sudare o reprezintă sudarea în condiții uscate utilizând un procedeu de sudare de eficiență superioară la care sudura sa fie influențată în măsură mai mică sau chiar deloc de modul de operare al sudorului.

2. Plecând de la această necesitate s-a derulat programul experimental de sudare MAG cu sârmă tubulară în condiții semimecanizate în mediu uscat folosind o tehnică originală de uscare locală. În urma cercetărilor experimentale preliminare efectuate la sudarea cu uscare locală prin modificarea parametrilor tehnologici de sudare și prin folosirea diferitelor gaze de protecție s-a ajuns la următoarele concluzii:

- Prin experimentări de sudare au fost determinate regimuri de sudare care să conducă la obținerea unor suduri de calitate corespunzătoare și fără defecte de sudare.

- În cazul utilizării unei sârme tubulare cu diametrul 1,6 mm se recomandă sudarea cu un curent de sudare de 350 A la o tensiune a arcului electric de cca 35 V. Creșterea tensiunii arcului electric de sudare peste valoarea recomandată conduce la creșterea lățimii cusăturii, scăderea pătrunderii, majorarea pierderilor prin stropi (improșcare) și scăderea coeficientului de depunere.

- Pentru obținerea unor suduri fără defecte de sudare viteza de sudare trebuie limitată superior (în cazul experimentului efectuat, la o valoare de 60cm/min). O viteză de sudare prea mare conduce la deranjarea condițiilor de protecție a arcului electric de către sistemul de uscare locală. La viteze de sudare prea mari apar defecte de sudare de tip creștături și stropi.

- Presiunea gazului necesar pentru protecția arcului electric și a băii de metal topit depinde de adâncimea de lucru, viteza de sudare, dimensiunile și forma componentelor de sudat;

- Manevrabilitatea capului de sudare de către scafandru este dificilă având în vedere numărul și lungimea mare a cablurilor și furtunelor care realizează zona de uscare locală. De aceea, se recomandă alegerea în practică a variantei de sudare mecanizate caz în care deplasarea pistolului de sudare nu mai depinde de un operator.

- Prin aplicarea sudării MAG cu sârmă tubulară în condiții uscate prin uscare locală se asigură o creștere semnificativă a eficienței procesului de sudare comparativ cu cazul sudării cu electrozi înveliți în varianta umedă. Necesitatea utilizării unui gaz de protecție creează însă o serie de complicații legate, pe de o parte, de mărirea complexității echipamentului de sudare prin necesitatea prevederii unui sistem eficient de alimentare cu gaz de protecție la o distanță considerabilă de la sursă, iar, pe de altă parte, prin riscul de deranjare a protecției efective a arcului electric, mai ales la adâncimi mai mari (peste 3 m), datorită turbulențelor create în zona sudării. Utilizarea în aceste condiții a unei sârme tubulare cu autoprotecție care să nu necesite o alimentare cu un gaz de protecție din exterior se conturează ca o soluție alternativă favorabilă.

- Sistemul original de uscare locală conceput de doctorand poate fi utilizat cu rezultate favorabile în cazul efectuării unor operații de sudare sub apă la adâncimi relativ mici (pana la 3 m). În cazul sudării la adâncimi mai mari rămâne ca o alternativă superioară sub aspect calitativ sudarea în condiții uscate în camera hiperbară.

3. Având în vedere concluzia precedentă cercetarea experimentală a fost continuată în condițiile sudării MAG mecanizate cu sârmă plină cu protecție de dioxid de carbon în mediu uscat în cameră hiperbară. Pentru sudare a fost utilizat un simulator de sudare sub apă.

În urma efectuării cercetărilor privind sudarea MAG-CO₂ în aer și în apă cu uscare locală, se desprind următoarele concluzii:

- Experimentările efectuate la presiuni în incinta simulatorului corespunzătoare unor adâncimi ale apei de până la 40 m au identificat regimuri de sudare la care s-au obținut suduri fără defecte de tip creștături marginale sau pori.

- Creșterea progresivă a presiunii hidrostatice a condus la o modificare în limite relativ reduse a geometriei sudurilor și anume la o ușoară micșorare a lățimilor cordoanelor (15,2 - 15,0 - 14,7 mm) și la o ușoară creștere a supraînălțărilor (2,5 - 2,7 - 2,9 mm) datorită efectului de constrângere al arcului electric. Lățimea zonei influențate termic nu a suferit modificări semnificative (2,3 - 2,3 - 2,2 mm).

- Creșterea presiunii hidrostatice nu a condus la modificări din punct de vedere microstructural decât sub aspect cantitativ. A fost remarcată o finisare a structurilor în zonele îmbinărilor realizate. Indiferent de valorile presiunii hidrostatice, în zona influențată termic a sudurilor se observă o scădere a cantității de ferită și o creștere a cantității de perlită (cu până la 10%). În același timp, în sudură apare o creștere a cantității de ferită și o scădere a cantității de perlită (cu cca.5%).

- Duritatea Vickers crește relativ nesemnificativ o dată cu creșterea presiunii hidrostatice, alurile variațiilor durității Vickers pe cele trei direcții de investigare fiind asemănătoare cu cele specifice sudării în atmosferă pentru cazul materialului de bază luat în considerare. Duritatea maximă este consemnată în metalul depus.

- Fața de sudare în atmosferă, în cazul sudării sub apă se obțin durități mai mari cu cca. 8 - 16% atât în sudură cât și în zona influențată termic.

- Se poate conclud pe baza rezultatelor obținute că sudarea sub apă în condiții uscate în camere hiperbare reprezintă o soluție corespunzătoare sub aspect calitativ. Din punct de vedere practic, soluția este însă extrem de complicată și oneroasă.

În felul acesta, apare ca justificată încercarea de a găsi o alternativă favorabilă sub aspect economic prin combinarea avantajelor calitative oferite de sudarea MAG cu sârmă tubulară cu autoprotecție, deci cu eficiență mare și fără utilizarea unui gaz de protecție alimentat din exterior, cu simplitatea sudării în condiții umede.

4. În cadrul cercetărilor privind sudarea subacvatică umedă cu sârmă tubulară cu autoprotecție a fost realizată o instalație de sudare MAG cuprinzând un mecanism de acționare (tragere) a sârmei în sistem PUSH-PULL, respectiv un pistol de sudare ambele prevăzute a opera în mediu subacvatic.

Partea imersă a instalației de sudare realizate de doctorand a fost testată într-un simulator subacvatic hiperbaric pentru a verifica modul de funcționare, inclusiv nivelul de etanșare în condițiile operării la adâncimi de cca 30 m.

Programul experimental a cuprins realizarea de depuneri prin sudare, respectiv de suduri de colț prin suprapunere și suduri cap la cap, atât în apă dulce, cât și în apă sărată (de mare). S-au desprins următoarele concluzii:

- Experimentările de depunere prin sudare au permis determinarea unor regimuri de sudare pentru care se obțin suduri cu un volum redus de defecte de tip pori și creștături marginale, sudurile putând fi încadrate în clasa B conform AWS.

- Volumul defectelor de sudare este mai mare în cazul sudării în apă sărată decât la sudarea în apă dulce.

- Rezultatele cele mai bune din punctul de vedere al formei sudurii, volumului de defecte, structurii și durității sudurilor s-au obținut pentru regimuri de sudare caracterizate prin energie liniară mai mare (viteze de sudare mai reduse).

Utilizarea unor viteze de sudare mari favorizează producerea unor defecte ca lipsă de topire și porozitate în sudură.

➤ Analizele microstructurale au evidențiat structuri tipice în zonele sudurilor, atât în sudură, cât și în zona influențată termic consemnându-se prezența structurii martensitice, precum și a structurii Widmanstaetten.

➤ Duritățile maxime se localizează în sudură (până la 410 HV 0,1). În zona influențată termic creșterea de duritate este ceva mai redusă, duritatea maxima fiind 319 HV0,1.

➤ Valorile maxime ale durității depunerilor prin sudare sunt mai reduse la sudarea în apă sărată (353 HV0,1) comparativ cu sudarea în apă dulce (410 HV0,1).

➤ La realizare îmbinărilor în colț prin suprapunere, indiferent de regimul de sudare utilizat, sudurile prezintă defecte de tip creștături marginale și pori. Tipul apei în care are loc sudarea (dulce sau sărată) nu influențează această concluzie.

➤ Comparativ cu cazul depunerilor prin sudare, la realizarea îmbinărilor sudate în colț se remarcă o durificare mai accentuată, duritatea maxima a cusăturii ajungând la 437 HV0,1, fapt explicabil prin modificările de structură ca urmare a răcirii cu viteză mai mare. Și în acest caz, duritățile sunt mai mari la sudarea în apă dulce decât la sudarea în apă sărată.

➤ În cazul sudării cap la cap din două părți cu rost în V nu a fost posibilă obținerea de suduri fără defecte de tip creștătură marginală sau pori. Defectele apărute sunt legate în special de sudarea celui de al doilea strat, fiind generate de o curățare necorespunzătoare a rădăcinii după depunerea primului strat, coroborată cu vitezele mari de răcire caracteristice sudării în condiții umede.

➤ Pentru a evita aspectele menționate mai sus la sudarea sub apă în condiții umede se recomandă evitarea, pe cât posibil, a sudurilor în mai multe treceri.

➤ Comparativ cu cazurile precedente (depuneri prin sudare și suduri în colț) durificarea sudurii, respectiv a zonei influențate termic la sudurile cap la cap este mai puțin accentuată.

5. Sintetizând rezultatele obținute în cele 4 etape ale cercetării experimentale se pot formula următoarele concluzii:

➤ Sudarea sub apă cu electrozi înveliți în condiții umede nu constituie o soluție corespunzătoare sub aspect tehnic și economic, sudarea MAG reprezentând, în mod clar, o alternativă favorabilă, atât sub aspectul calității sudurilor, cât și din punct de vedere economic.

➤ Calitatea sudurilor sub apă poate fi îmbunătățită prin utilizarea tehnicii de sudare în condiții uscate în cameră hiperbară. Aplicarea acestei tehnici este însă complicată și costisitoare.

➤ Sudarea în condiții de uscare locală în zona sudării, realizată prin utilizarea sistemului de uscare original prezentat în teză, constituie o alternativă favorabilă sub aspect economic sudării uscate în camere hiperbare. Această soluție poate fi aplicată în cazul unor adâncimi de lucru până la cca. 30 m, mecanizat.

➤ Asigurarea protecției de gaz la sudarea MIG/MAG este dificil de realizat, mai ales în cazul adâncimilor mai mari. Utilizarea sârmelor tubulare cu autoprotecție permite eliminarea necesității alimentării cu gaz din exterior, ceea ce simplifică în mod semnificativ instalația de sudare și ușurează manevrabilitatea acesteia de către sudor. În felul acesta aplicarea sudurii MAG cu sârmă tubulară cu autoprotecție devine soluția optima pentru cazul sudării umede la adâncimi peste 3 m.

CAPITOLUL 6

CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE

6.1. Concluzii generale

Sudarea subacvatică reprezintă, în prezent, un domeniu științific și tehnic de actualitate care interesează în mod deosebit mediul industrial, în mod special, cel dedicat fabricației de echipamente pentru exploatarea offshore și transportul resurselor energetice primare (țigăi, gaze), de producere a energiei electrice regenerabile offshore (eoliene), respectiv de fabricație de construcții navale.

Teza de doctorat și-a propus ca analizând nivelul actual al cunoștințelor și aplicațiilor la nivel mondial privind sudarea sub apă, respectiv experiența existentă în aplicarea acestei tehnici de lucru în România (în special la Centrul de Scafandri Constanța, Universitatea Dunărea de Jos Galați, ISIM Timișoara) să fundamenteze în mod științific și să materializeze în mod practic posibilitățile și condițiile de utilizare pentru sudarea sub apă în condiții umede a unui procedeu de sudare cu arcul electric de mare productivitate – sudare MAG cu sârmă tubulară și autoprotecție.

Pentru atingerea obiectivelor propuse a fost elaborat și materializat un amplu program de cercetare privind sudarea sub apă care a avut la bază documentarea, analiza condițiilor de ardere a unui arc electric în mediu acvatic, particularitățile sudării MIG/MAG în mediu acvatic umed, respectiv al operațiilor privind controlul nedistructiv la sudare sub apă.

Programul de cercetare experimentală a urmărit fundamentarea condițiilor de aplicare în condiții subacvatice a procedurii de sudare MIG/MAG, în regim semi - sau complet mecanizat, ca o alternativă superioară sub aspect calitativ și economic sudării cu electrozi înveliți.

Programul de cercetare a cuprins efectuarea, într-o primă etapă, a unor experimentări de sudare manuală cu electrozi înveliți în scopul de a asigura o bază de referință pentru programul experimental de sudare MIG/MAG și clarificarea unor aspecte legate de influența parametrilor de sudare în condiții subacvatice, respectiv influența adâncimii de lucru asupra procesului de sudare.

În continuare, s-a derulat un program experimental de sudare MAG în condiții uscate în două variante: cu uscare locală sau în camera hiperbară utilizând ca material de adaos sârmă plină sau tubulară, respectiv sudare MAG în condiții umede utilizând ca material de adaos sârmă tubulară cu autoprotecție .

În cadrul experimentărilor au fost efectuate diferite tipuri de îmbinări sudate utilizate frecvent la construcții navale folosind ca material de baza tablă din oțel naval A 32 cu grosimea de 8-10 mm. Astfel, s-au executat depuneri prin sudare (întâlnite frecvent în operații de reparații sub apă), suduri în colț, suduri în colț prin

suprapunere și suduri cap la cap. În toate cazurile, poziția de sudare a fost cea orizontală.

Pentru realizarea cercetarilor privind sudarea sub apă prezentate în cadrul tezei a fost necesară conceperea de către doctorand și executarea unor echipamente specifice, în primul rând a unui cap (pistolet) de sudare care a constituit, de altfel, subiectul unui brevet de invenție și a unei instalație de sudare MIG/MAG cu uscare locală.

Principalele concluzii ale tezei de doctorat sunt următoarele:

- Cunoștințele actuale asupra sudării sub apă permit realizarea calității necesare pentru fabricarea unor structuri imerse de complexitate ridicată aproape exclusiv prin sudare în condiții uscate. Astfel de tehnici de sudare, avantajoase sub aspect calitativ, sunt însă puțin eficiente economic. Procedurile de sudare sunt extrem de complicate și presupun utilizarea unor echipamente de lucru speciale, scumpe, productivitatea sudării este relativ redusă.

- Sudarea sub apă în condiții umede reprezintă, fără îndoială, o alternativă favorabilă sudării în condiții uscate sub aspect economic, dar aplicarea efectivă a acestei tehnologii este restricționată, în special pentru lucrări de reparații prin sudare, datorită calității necorespunzătoare a sudurilor realizate în condiții umede. Majoritatea aplicațiilor sudării sub apă în condiții umede sunt executate prin sudare cu electrozi înveliți în condiții de productivitate și eficiență reduse.

- Realizarea procesului de sudare în apă atrage după sine modificarea substanțială a condițiilor de mediu față de situația specifică sudării convenționale (în aer, la presiune atmosferică). Cele mai importante modificări se referă la creșterea substanțială a vitezelor de răcire în zona sudurii cu efect asupra producerii unor structuri dure, respectiv asupra condițiilor de producere a unor defecte de sudare ca porozitate sau incluziuni de zgură; creșterea substanțială a presiunii la locul sudării în funcție de adâncime; creșterea cantității de hidrogen ca rezultat al disocierii apei în cazul sudării cu arcul electric, scăderea vizibilității în apă față de cea specifică în atmosferă, efectul crescând cu adâncimea, dar fiind influențat și de alți factori precum nivelul de curățenie al apei (mâl, aluviuni) sau eventuale turbulențe.

- Efectuarea sudării sub apă cu arcul electric este asociată cu o serie de riscuri pentru persoanele implicate: electrocutare, pericol de explozie datorită posibilității de acumulare a gazelor (hidrogen și oxigen) produse de arcul electric în apă; efect periculos al azotului introdus în circuitul sanguin ca urmare a expunerii la presiune mare; efect al decompresiei la ieșirea din mediul acvatic a personalului.

- Sudarea cu electrozi înveliți este cel mai frecvent procedeu utilizat pentru sudarea sub apă în condiții umede, aplicarea procedurii fiind însă caracterizată prin productivitate și eficiență extrem de reduse; sudarea MIG/MAG reprezintă o alternativă favorabilă, procedeu se aplică în condițiile utilizării unor sârme pline

- Arcul electric sub apă este un arc constrâns, constricția fiind determinată în primul rând de acțiunea de răcire a apei și de presiunea coloanei de lichid.

- Cu creșterea adâncimii apei temperatura coloanei arcului și tensiunea arcului electric cresc, arcul electric devenind mai puțin stabil.

- Forma arcului electric sub apă este cilindrică la sudarea cu electrozi înveliți și tronconică la sudarea MIG/MAG

- Datorită puterii termice ridicate arcul electric vaporizează și descompune mediul lichid înconjurător creând în jurul sau o „pungă de gaze” care se menține în mod continuu și reduce vizibilitatea asupra procesului de ardere a arcului.

- Utilizarea procedurii de sudare MIG/MAG sub apă implică operarea cu distanțe mari între sursa de sudare aflată la suprafața și pistolul de sudare aflat în

apă în zona sudării. Pentru alimentarea arcului electric cu o tensiune suficientă sursa de sudare va trebui să opereze cu o tensiune de mers în gol superioară cazului efectuării sudării în atmosferă.

- La sudarea MIG/MAG sub apă se produce o modificare a pantei caracteristicii externe a sursei de curent care devine „mai puțin” rigidă, ceea ce afectează calitatea fenomenului de autoreglare specific sudării MAG. Ca atare, sunt necesare surse de sudare care să asigure un răspuns cât mai rapid la modificările lungimii arcului electric prin procesul de autoreglare.

- Examinarea nedistructivă a structurilor imerse se efectuează cu precădere prin control vizual, control cu pulberi magnetice, control cu ultrasunete sau control cu radiații penetrante. Cu excepția controlului cu pulberi magnetice, celelalte metode pot fi aplicate în condiții umede.

- În cazul efectuării examinării cu ultrasunete direct în apă, condițiile de încercare sunt similare cu cele specifice examinării efectuate în imersie, nemaifiind necesară utilizarea unei substanțe de cuplaj între traductorul ultrasonic și piesă.

- La examinarea cu radiații penetrante efectuată direct în apă se produce o atenuare a radiațiilor penetrante datorită stratului de apă ca factor suplimentar de atenuare a fasciculului de radiații comparativ cu situația obișnuită a expunerii în aer.

- Condițiile de efectuare a examinărilor în apă sunt mai dificile decât cele specifice examinărilor similare efectuate în aer la presiunea atmosferică, ceea ce impune formularea și aplicarea unor proceduri specifice, atât sub aspect operațional, cât și al calificării personalului.

- În cazul sudării umede cu electrozi înveliți:

- este dificilă realizarea unor suduri fără imperfecțiuni de tip creștătură marginală sau incluziune de zgură;

- structura zonelor sudurii este martensitică;

- duritatea maximă a îmbinării sudate realizate la o adâncime a apei de 5 m este plasată în zona influențată termic și are valori în intervalul 324 - 440 HV0,1, în condițiile unui material de bază având duritatea 164 - 175 HV0,1; în metalul depus duritatea este 220 - 262 HV0,1;

- Direcția de măsurare a durității nu are influență semnificativă asupra valorilor obținute în nici o zonă a îmbinării sudate.

- modificarea adâncimii de lucru în apă în intervalul 5 -40 m nu ridică probleme din punct de vedere al aspectului și geometriei sudurii, a modificărilor structurale și a durităților. Se menționează însă dificultatea mai mare de a efectua sudare la adâncimea de 40 m datorită afectării vizibilității.

- În cazul sudării MAG cu sârma tubulară cu uscare locală:

- este posibilă asigurarea unui mediu uscat delimitat de mediul de apă cu ajutorul unor perdele de aer și apă;

- s-au determinat condițiile efective de realizare a mediului uscat de sudare prin utilizarea unor perdele de aer și apă și anume: interstițiul ajutorului de apă $S_{ia} = 0,5$ mm; presiunea aerului $P_{aer} = 4,5$ bar; interstițiul ajutorului de aer $S_{iaer} = (2 - 3)$ mm.

- valoarea vitezei de sudare este limitată superior de posibilitatea de protecție a arcului electric de sudare de către zona cu uscare locală. Peste o anumită valoare a vitezei de sudare (în cazul testat, peste 60cm/min) eficiența zonei cu uscare locală scade, răcirea este mai rapidă, scade adâncimea de pătrundere, se micșorează lățimea cusăturii și apar creștături și stropi;

- prin utilizarea parametrilor de sudare determinați pentru cazul unei sârme cu diametrul 1,6 mm (curent de sudare de 350 A, o tensiune a arcului 35 V, viteza de sudare 60cm/min) se obțin suduri fără defecte.
- În cazul sudării mecanizate MAG mediu uscat la adâncimi între 0 și 50 m utilizând sârmă plină și protecție de dioxid de carbon :

- prin aplicarea unei tehnologii de sudare corespunzătoare se pot obține suduri fără defecte;
- creșterea adâncimii de lucru în intervalul 0 -50 m conduce la o mișcare a lățimilor cordoanelor (cca 5% și la o ușoară creștere a supraînălțărilor (12%) datorită efectului de constrângere al arcului electric.

În același timp lățimea ZIT nu se modifică semnificativ.

- creșterea adâncimii nu conduce la modificări calitative din punct de vedere microstructural, ci numai la o finisare a structurilor în zonele îmbinării.
- Îndiferent de valorile adâncimii în zona influențată termic a îmbinărilor sudate în apă se observă o scădere a cantității de ferită și o creștere a cantității de perlită cu 10%.
- valoarea durtății crește odată cu creșterea adâncimii de lucru fiind mai mare decât durtatea corespunzătoare sudurilor realizate în atmosferă cu cca 8-15%, creșterea cea mai mare fiind consemnată în ZIT.

- În cazul sudării subacvatice umede cu sârmă tubulară cu autoprotecție:

- este posibilă realizarea unor suduri cu un volum acceptabil de defecte de sudare;
- viteza de sudare afectează în mod direct calitatea sudurii, o viteză prea mare conducând la producerea unor defecte de tip lipsă de topire sau pori;
- nu apar diferențe semnificative între forma sudurii, defectele de sudare, structura și durtatea sudurilor realizate în mediu de apă dulce sau apă sărată

- Sudarea sub apă cu electrozi înveliți în condiții umede nu constituie o soluție corespunzătoare sub aspect tehnic și economic, sudarea MAG reprezentând, în mod clar, o alternativă favorabilă, atât sub aspectul calității sudurilor, cât și din punct de vedere economic.

- Calitatea sudurilor sub apă poate fi îmbunătățită prin utilizarea tehnicii de sudare în condiții uscate în cameră hiperbară. Aplicarea acestei tehnici este însă complicată și costisitoare.

- Sudarea în condiții de uscare locală în zona sudării, realizată prin utilizarea sistemului de uscare original prezentat în teză, constituie o alternativă favorabilă sub aspect economic sudării uscate în camere hiperbare. Această soluție poate fi aplicată în cazul unor adâncimi de lucru până la cca. 3 m.

- Asigurarea protecției de gaz la sudarea MIG/MAG este dificil de realizat, mai ales în cazul adâncimilor mari. Utilizarea sârmelor tubulare cu autoprotecție permite eliminarea necesității alimentării cu gaz din exterior, ceea ce simplifică în mod semnificativ instalația de sudare și ușurează manevrabilitatea acesteia de către sudor.

În felul acesta, aplicarea sudării MAG cu sârmă tubulară cu autoprotecție devine soluția optimă pentru cazul sudării umede la adâncimi peste 3 m.

6.2. Contribuții originale

În cadrul lucrării se consemnează o serie de contribuții originale după cum urmează:

- sistematizarea cunoștințelor privind nivelul actual a sudării sub apă în lume;
- conceperea unei metode de asigurarea a unui mediu uscat pentru sudarea în apă prin crearea, unor perdele de aer și apă de către un pistol special de sudare izolând astfel zona sudurii;
- conceperea, realizarea și experimentarea unui cap universal de sudare și tăiere subacvatic brevetat ca invenție de O.S.I.M. Acesta poate fi utilizat pentru sudarea MIG/MAG sub apă cu uscare locală în zona sudurii prin asigurarea în această zonă a unui mediu de sudare uscat delimitat de mediul de apă cu ajutorul unor perdele de aer și apă;
- conceperea, realizarea și experimentarea unei instalații de sudare MIG/MAG sub apă, invenție brevetată de O.S.I.M;
- conceperea, realizarea și experimentarea unui mecanism de avans al sârmei electrod pentru sudare sub apă prin prevederea unui container etanș în care se introduc partea mecanică a sistemului de avans, rola de sârmă și electrovanele pentru admisia gazelor ce formează zona uscată;
- conceperea, realizarea și experimentarea unui sistem de etanșare a pistolului de sudare MIG/MAG tip PUSH-PULL și a racordurilor pentru alimentarea electrică și cu gaz a acestuia;
- proiectarea și realizarea unui bazin pentru executarea probelor de sudare sub apă în medii diferite (apă dulce și apă sărată);
- clarificarea unor aspecte legate de influența parametrilor de sudare în condiții subacvatice, respectiv influența adâncimii de lucru asupra procesului de sudare;
- efectuarea unui studiu privind performanțele procedeele de sudare subacvatice în mediu de gaz protector MIG/MAG cu sârmă plină, respectiv cu sârmă tubulară și autoprotecție
- fundamentarea condițiilor de utilizare a procedeului de sudare MAG cu sârmă tubulară cu autoprotecție la sudarea sub apă.

O parte din rezultatele cercetărilor cuprinse în prezenta teză de doctorat au fost comunicate în cadrul manifestărilor științifice organizate atât în țară cât și în străinătate [80], [69], [78], [82], [71], [72], [73], [70], [74],[86],[75],[76],[77],[79],[84].

6.3. Direcții de cercetare viitoare

Sudarea subacvatică va rămâne în continuare un domeniu de cercetare de actualitate sub aspect teoretic și experimental, autoarea îngăduindu-și să sugereze eventualele posibile viitoare direcții de cercetare:

- ◆ robotizarea sudării subacvatice umede și a controlului nedistructiv al îmbinărilor sudate subacvatic;
- ◆ dezvoltarea unor noi procedee de îmbinare prin sudare sub apă,
- ◆ cercetarea unor procedee moderne de sudare ca, sudarea cu laser, sudarea prin frecare cu element activ rotitor pentru sudarea sub apă.
- ◆ optimizarea materialelor de adaos pentru sudare în mediu de gaz protector și, în mod special, a sârmelor cu autoprotecție;
- ◆ cercetarea influenței mediului asupra scafandrului sudor.
- ◆ îmbunătățirea condițiilor de lucru ale sudorului sub apă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Adrian F. Dier –MSL Services sec.7 pag. 59-73.
- [2] Amson J.C., *Lorentz force in the molten tip of an arc electrode*. Brit. J. Appl.Phys., 1965.
- [3] Abson D.J., Pisarski H.G., *Demonstration of in-situ weld repair to an FPSO (floating production, storage and offloading) hull*, American Society of Mechanical Engineers; 2004.
- [4] Akselsen O.M., Aune R., Fostervoll H., Harsvoer A.S., *Dry hyperbaric welding of sub sea pipelines*, Welding Journal, 2006.
- [5] Burcă, M., Negoitescu, S., *Sudarea MIG/MAG*, pp.21-71,145-154,Editura SUDURA, 2004.
- [6] Badiu Gh.; Ceamitru N. D.; Petru A., *Fiziologia și fiziopatologia hiperbară*, Ed. Andrei Șaguna, 1997.
- [7] Blakemore G.R., *Friction Welding - Technology for the New Millennium*, OTC 011063, 31st Offshore Technology Conference, May 3-6, 1999.
- [8] Bakken J.A., Gu L., Larsen H.L., and Sevastyanenko. *Numerical modeling of electric arcs*. J. of Engineering Physics and Thermophysics, 70(4) :530-543, 1997.
- [9] Bisson J.F., Gauthier B. and Moreau C., *Effect of plasma fluctuations on in-flight particle parameters in Thermal Spray: New surfaces for a New Millennium*, (Ed.) C.C. Berndt, K.A. Khor and E.F. Lugscheider, (Pub.) ASM International Materials Park, Ohio, USA (2001) 715-721.
- [10] Brideron S., *La plongée sous-marine*, Editions Matimes et d'Outre-Mer, Paris, 1971.
- [11] Borean M., *Canadian advancements in wet-welder training*, Canadian Welding Association Journal, 2006.
- [12] Blackman S.A., Richardson I.M., Woodward N.J., *Hyperbaric repair and hot-tapping of deepwater pipeline and risers*, Recent developments and future trends in Welding Technology, 2003.
- [13] Cayford J.E. *Underwater Work*, Ed.Lornelle Maritime Press, Centreville, Maryland, 1982.
- [14] Coe F.R., Moreton J., *Gas Shielding Welding - The Reaction of Oxygen in Normal and Hyperbaric Environments*, Underwater Welding, Pergamon Press, 1983.
- [15] Dadian M., *Review of Literature on the Weldability Underwater of Steels*, Welding in the World. 2007
- [16] David J. Keats, *Underwater Wet Welding*, Welding Advisers Website, 2007.
- [17] Dehelean, D - *Sudarea – domeniul tehnic de interes pentru integrarea absolvenților din învățământul superior etnic*, Conferința internațională ASR Sudura 2009, Drobeta Turnu Severin, septembrie 2009
- [18] Dehelean D., *Sudarea prin topire*,pp.83-95, Editura SUDURA. 1997.
- [19] Degeratu M., Petru A., Ioniță S., *Manualul scafandruului*, Editura PER.OMNES ARTES, 1999.
- [20] Dinu D. ; Pânzaru M. ; Stanca C., Vlad C., *Tehnologii subacvatice – Autorizarea activităților subacvatice*, editura TEHNICĂ, 2000.
- [21] Dinu D., Vlad C., *Scafandri și vehicule subacvatice*, editura ȘTIINȚIFICĂ și ENCICLOPEDICĂ, 1986.

- [22] Ebrahimirad H., Ashari A.E., Jalili-Kharaajoo H., Gholampour V., *Robust nonlinear control of current and arc length in gmaw systems*, Proc. Conference on Control Applications, 2:1313–1316, 2003.
- [23] Fructus X., Sciarli R.L., *La plongée santé et sécurité* - Editions Maritimes et d'Outre-Mer, Paris, 1980.
- [24] Gaudiano A.V., Groves D., *Underwater Dry Environment Habitat Welding*, The Welding Institute, Underwater Welding for Offshore Installations, 1977.
- [25] Gilardoni A., *Underwater magnetizing testing with magnetic particles*, Scuola Tecnici subacquei, Genova, 1992.
- [26] Gooch T.G., *Properties of underwater welds, part 1 - procedural trials*, Metal Construction 164–167, 1983.
- [27] Gretsikii Yu. Ya., Maksimov S. Yu., Savich I.M., *Underwater semi-automatic welding and cutting of metals by the wet method*, Paton Welding Journal, 1999.
- [28] Haidar J., *An analysis of the formation of metal droplets in arc welding*, J.Phys. D: Appl. Phys., (31):1233–1244, 1998.
- [29] Harris G. "The use of cofferdams for welded repair to offshore structures". Comex Houlder Diving Ltd, c.1986.
- [30] Hasui A., Suga Y., Kishi S., Teranishi M., *On Underwater Submerged-Arc Welding*, Transactions of the Japan Welding Society, 1980.
- [31] Hoffmeiste H., K sler K., *Process Variables and Properties of Underwater Wet Shielded Metal Arc Laboratory Welds*, Underwater Welding - Proceedings of International Conference Held at Trondheim, 1983.
- [32] Henrik Vie Christensen, *Student project: Control of Melting Velocity for MIG Welding Device*, Department of Control Engineering, Aalborg University, 2002.
- [33] Hart P, Matharu IS & Jones AR: *The influence of reduced carbon equivalent on HAZ cracking in structural steels*. Proceedings of the "7th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering", Houston, Texas, 7– 12 February 1998. Ed. M. Salama et al. U.S.A: The American Society of Mechanical Engineers (ASME), 1998. Vol. III. Pp. 111–120.
- [34] Hart P., Richardson I.M., Nixon J.H., *The Effects of Pressure on Electrical performance and Weld Bead Geometry in High Pressure GMA Welding*, International Institute of Welding, 2000.
- [35] Hamasaki M., Watanabe M., *Developments in Underwater Welding in Japan*, The Welding Institute, Underwater Welding for Offshore Installations, 1977.
- [36] Hamasaki M., Sakakibara J., *Underwater Dry TIG Welding Using Wire Brush Nozzle*, Underwater Welding - Proceedings of International Conference Held at Trondheim – Norway, 1983.
- [37] Ignatushebko A., Denisenko A.V., Djachenko Yu.V., *Mechanized Underwater Wet Shielded metal Arc Laboratory Welds*, Underwater Welding - Proceedings of International Conference Held at Trondheim, 1983.
- [38] Inglis M.R.; North T.H.; *Underwater Welding: A Realistic Assessment*, Welding and Metal fabrication, 1979.
- [39] Johnson J.A., Smartt H.B., Harmer T., Moore K.L., Reutzel E.W., Einerson C.J.. Derivation and calibration of a gas metal arc welding (gmaw) dynamic droplet model. In *Trends in Welding Research*, pages 377–384. Proc. of the 4th International Conference, 1995.

- [40] Johnson R.L., *The Effect of Water Temperature on Underbead Cracking of Underwater Wet Elements*, Thesis, Naval Postgraduate School, September 1997.
- [41] Johnson J.A., Watkins A.D., Smartt H.B., *A dynamic model of droplet growth and detachment in gmaw*, In Recent Trends in Welding Science and Technology. ASM, 1992.
- [42] Keats D. J.; *Spot welding underwater*, *Welding and Cutting*, 2005.
- [43] Kononenko V. Ya., *Technology of wet mechanised welding in construction of IRSSP (ice-resistant stationary sea platform) "Prirazlomnaya"*, Patron Welding Journal, 2005.
- [44] Lang J.H., Jones L.A., Eagar T.W. *A dynamic model of drops detaching from a gas metal arc welding electrode*. J. Phys. D: Appl. Phys., (31):107–123,1998.
- [45] Lang J.H., Jones L.A., Eagar T.W., *Magnetic forces acting on molten drops in gas metal arc welding*. J. Phys. D: Appl. Phys., (31):93–106, 1998.
- [46] Lesinski K.J., Puchaczewski N., *Underwater Welding PRS/DNV*, Technical Comitee Meeting, 1989.
- [47] Lesnewich A., *Control of the melting rate and metal transfer in gas shielded metal arc welding*, part i. Welding Research Supplement, pages 343–353, August 1985.
- [48] Liu S., Olson D.L., Smith C., Spencer J.S., *International Workshop on Underwater Welding - Underwater welding of marine structures*, New Orleans, Louisiana, Mineral Management Services Project Number 218, December 7-9, 1994.
- [49] Lucas W., Cooper M., *Evaluation of possibilities of underwater wet FCA (flux cored arc) welding and cutting processes*, Paton Welding Journal, 1999.
- [50] Lucas W., Frazer I., *HVOF (high velocity oxyfuel) – A new process for underwater cutting*, Recent developments and future trends in Welding Technology, 2003.
- [51] Middeldorf, K – Trends in joining. Value aided by welding, IIW Conference 2008, Graz
- [52] Majumdar J.D. – Underwater welding – Present status and future scope, Journal of Naval Architecture and Marine Engineering, June, 2006, p. 39-47
- [53] Maksimov S.Yu.; Gurzhy A.A., *Modelling the conditions of pore initiation in the weld metal in wet underwater welding*, 2004.
- [54] Maksimov S.Yu. –E.O. Paton Electric Welding Institute – *Evaluation of the influence of wet welding conditions on the probability of pore formation in the weld metal*, Welding Journal, 2005
- [55] Maksimov S., Lyahovaya I., *Structure and properties of the austenite weld metal in wet underwater welding of low-alloy increased-strength steel*, International Institute of Welding – International Congress, 2005.
- [56] Marinho M.G., Pope A.M., Meniconi L.C., Alves L.H.M., Del Vecchio C., *Integrity assessment and on-site repair of floating production platform*, American Society of Mechanical Engineers, 2005.
- [57] Mihăilescu, A., *Cercetări teoretice și experimentale la sudarea subacvatică a conductelor*, Teză de doctorat, Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați, 2005
- [58] Mihăilescu, D., *Contribuții la sudarea subacvatică a oțelului naval*, Teză de doctorat, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, 1996.

- [59] Mihăilescu D. ; Constantin E. ; Mitoșeriu O. ; Mușat V. ; Mihăilescu A., *Tehnologii subacvatice – reparații, întreținere și inspecții subacvatice*, Vol I-II, editura TEHNICĂ, 2000.
- [60] Mihăilescu D., Constantin E., Iordăchescu D., *Tehnologii subacvatice - Sudarea subacvatică*, Editura Tehnică, București, 1999.
- [61] Mihăilescu D., Constantin E., Iordăchescu D., *Schimbarea concentrațiilor elementelor de aliere în cordon la sudarea MAG - CO₂ subacvatică*, Internațional Conference on Materials Science & Engineering - BRAMAT '99, 1999.
- [62] Mihăilescu D., Constantin E., *Variațiile compozițiilor chimice în cazul separării și cumulării influențelor la sudarea MAG - CO₂ subacvatică*, Buletin Tehnic - Registrul Naval Român, Anul 21, București, Nr. 1/1997.
- [63] Mihăilescu D., *Sudarea subacvatică - Stadiul sudării subacvatice*, Universitatea Dunărea de Jos Galați, 1994.
- [64] Mihăilescu D., Miholcă C., *Study on Electric Arc Stability for Underwater GMAW*, The Annals of Dunărea de Jos University of Galatz, 1995 – 1996.
- [65] Molle P., Rey P., *Plongée Subaquatique*, Ed. Amphora, Paris, 1998.
- [66] Morita I., Owaki K., Yamaoka H., Kim C.C., *Study o underwater laser welding repair technology*, International Institute of Welding, 2006.
- [67] Naidu D.S., Moore K.L., Abdelrahman M.A., *Gas metal arc welding control:Part 2 – control strategy*. Nonlinear Analysis, (35):85–93, 1999.
- [68] Okuda N., Nishikawa Y., Aoki T., Goto A. & Abe T., *Hydrogen-induced cracking susceptibility of weld metal*, IIW-Doc. II-1072-86 / II-A- -86. Kobe Steel Ltd./The International Institute of Welding, Japan, 1986.
- [69] **Pârvu Mariana**, *Influența factorilor de mediu asupra calității sudurilor subacvatice*, pp20-30, Revista Sudura nr.3, 2007.
- [70] **Pârvu Mariana**, *Stabilirea tehnologiei de sudare pentru repararea prin manșonare a unei conducte de gaz aflată sub apă*, pp5-13, Revista Sudura nr.2 , 2006.
- [71] **Pârvu Mariana**, *Particularități ale inspecției și controlului subacvatic la structurile sudate*, pp.5-9, Revista Sudura nr. 3 , 2008
- [72] **Pârvu Mariana**, Cantaragiu M., *Defectoscopia îmbinărilor sudate sub apă prin metode electromagnetice*, pp.99-104, A XXXI-a Sesiune de Comunicări Științifice a A.C.T.T.M, București, 1999
- [73] **Pârvu Mariana**, Cantaragiu M., *Metodă de control nedistructiv al sudurilor subacvatice prin utilizarea generatoarelor Hall*, Sesiune de comunicări științifice Academia Tehnică Militară, București 10-11 iunie 1993.
- [74] **Pârvu Mariana**, Câmpureanu A.; Rițiu St., *Studii și cercetări experimentale privind elaborarea tehnologiei de sudare subacvatică în mediu de gaz protector*, contract MICM 4, 1989.
- [75] **Pârvu Mariana**, Voiculescu I., Rițiu St., *Aspecte tehnologice privind sudare sub apă în mediu de gaze protectoare*, Conferința „Sudura” Timișoara 2003.
- [76] **Pârvu Mariana**, Cantaragiu M., *MIG-MAG Underwater welding installation*, The 36-th International Scientific Symposium of the military equipment & Technologies research agency, București, mai 2005.
- [77] **Pârvu Mariana**, *Experimentări de sudare sub apă cu sârmă tubulară cu autoprotecție – Underwater welding experiments, using the self-shielded flux cored wire*, pp.18-23, Revista Sudura nr. 1 , 2009.
- [78] **Pârvu Mariana**, *Sudarea și tăierea sub apă o evaluare realistă* Lucrările celei de a VIII Conferințe de tehnologii moderne de sudare, Galați, 1993.

- [79] **Pârvu Mariana**; Cantaragiu M., *Influența presiunii hiperbare asupra arcului electric în procesul de sudare*, A XXXI-a Sesiune de Comunicări Științifice a A.C.T.T.M, București, 1999.
- [80] **Pârvu Mariana**, Utilaje și tehnologii de sudare și tăiere folosite în lucrările subacvatice, revista Tehnica militară nr.1, 2001.
- [81] **Pârvu Mariana**, Asmarandi A., *Filtru individual de CO₂ pentru munca subacvatică*, The 7-th ICSI Conference progress in cryogenics and isotopes separation, Rm. Vâlcea, 2001.
- [82] **Pârvu Mariana**, Avram E.; Asmarandi A., *Determinarea concentrației de noxe din aerul comprimat utilizat pentru respirația scafandrilor*, The 9-th ICSI Conference progress in cryogenics and isotopes separation, Rm. Vâlcea, 2005.
- [83] **Pârvu Mariana**, Cantaragiu M., Conector electric subacvatic prevăzut cu elemente de protecție la supracurenți de scurtcircuit și suprasarcină, Sesiune de comunicări științifice Academia Navală Constanța, 2005
- [84] **Pârvu Mariana**, Cantaragiu M., Robot automat subacvatic de sudare electrică în mediu protector de bioxid de carbon și tăiere cu flacără, Sesiune de comunicări științifice Academia Navală Constanța, 2005.
- [85] **Pârvu Mariana**, Diaconu M., *Underwater replacement technology of vertical damaged*, International Congress "The 1st South-East European Welding Congress", 24-26 May 2006.
- [86] **Pârvu Mariana**, Soare D , Maltopol P, *Procedeu semimecanizat de sudare sub apă cu uscarea locală*, Buletinul tehnic RNR nr.4 /1984.
- [87] Petru A., Degeratu M., Ioniță S., *Ghidul scafandruului autonom*, Olimp-Press, București, 1992.
- [88] Pessoa E.C.P., Bracarense A.Q., Zica E.M., Liu S; Perez-Guerrero F., *Porosity variation along multipass underwater wet welds and its influence on mechanical properties*, Journal of Materials Processing Technology, 2006.
- [89] Pessoa E.C.P., Bracarense A.Q., Zica E.M., Liu S., Guerrero F.P., *Covered electrodes temperature variation during wet welding and its influence on metal porosity*, American Society of Mechanical Engineers; 2005.
- [90] Perez-Guerrero F., Liu S., *Maintenance and repair welding in the open sea*, *welding Journal*, 2005.
- [91] Perdijon J., *Le contrôle non destructif par ultrasons*, Hermès, pp 129, 1993 .
- [92] Piena M.J., Waszink J.H., *Experimental investigation of drop detachment and drop velocity in gmaw*, Welding Research Supplement, November 1986.
- [93] Ryzhov R.N., Kozhukhar V.A., Maksimov S.Yu., Prilipko E.A., *Application of external electromagnetic actions for improvement of mechanical properties of welds in underwater wet welding*, Patron Welding Journal, 2004.
- [94] Ryzhov R.N., Maksimov S.Yu., Prilipko E.A., Kozhukhar V.A., *Influence of external electromagnetic actions on the structure and composition of welds in wet underwater welding*, Patron Welding Journal, 2005.
- [95] Rowe M.D., Liu S.; Reznolds T.J., *In an effort weld properties, 60 different coating formulations were developed and welds were made at various depths to 300 ft*, Welding Journal, 2002.
- [96] Szelagowski, P – *Underwater wet welding, A stater of the art report*, IIW SC Underwater welding, 1990
- [97] Safta V., Gliță Gh., *Defectoscopia îmbinărilor sudate prin metode electromagnetice*, SID 64, 1986.
- [98] Safta V. I., Safta V. I., *Defectoscopie nedistructivă industrială*, editura SUDURA, 2001.

- [99] Simpson S.W., Zhu P., *Theoretical study of a consumable anode in a gas metal welding arc*. In Trends in Welding Research, Proc. 4th Int. Conf. Proc. 4th International Conference, 1995.
- [100] Sălăgean T., *Tehnologia sudării metalelor cu arcul electric*, editura TEHNICĂ, 1986.
- [101] Shi Y.H., Wang G.R., *Vision based seam tracking system for underwater flux cored arc welding*, *Science and Technology of Welding and Joining*, 2006.
- [102] Sorensen C.D., Nelson T.W.; Packer S.M.; Steel R.J., *Innovative technology applications in FSW (friction stir welding) of high softening temperature materials*, Friction Stir Welding, Proceedings, 5th International Symposium, France, 2004.
- [103] Szelagowski P., Dos Santos J.F., Loebel P., Schafstall H.G., *Consideration on Welding Procedures for Hyperbaric FCAW down to 450 msw*, Offshore Technology Conference, 1988.
- [104] Sălăgean T., Mălăi D., Vodă M., *Optimizarea sudării cu arcul electric*, Editura Tehnică, București, 1988.
- [105] Tusek J., Suban M., *Dependence of melting rate in mig/mag welding on the type of shielding gas used*, *Journal of Materials Processing Technology*, (119):185–192, 2001.
- [106] Thomsen S.J., *Advanced Control Methods for Optimization of Arc Welding*, Thesis Department of Control Engineering Aalborg University Fredrik Bajers Vej 7, 9220 Aalborg East, Denmark 31st May 2005.
- [107] Tigien C., *Welding deepwater SCR's (steel catenary risers)*, World Pipelines, 2005.
- [108] Yoo C.D., Choi J.H., Lee J., *Dynamic force balance model for metal transfer analysis in arc welding*. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, (34):2658–2664, 2001.
- [109] Yender R., Tyler J., Moore K.L., Naidu D.S., *Gas metal arc welding control: Part 1 – modeling and analysis*, In Nonlinear Analysis, Methods and Applications, volume 30, pages 3101–3111. Proc. 2nd World Congress of Nonlinear Analysts, 1997.
- [110] Yoo C.D., Choi J.H., Lee J., *Dynamic force balance model for metal transfer analysis in arc welding*, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, (34):2658–2664, 2001.
- [111] Yara H., Makishi Y., Kikuta Y., Matsuda H., *The TRC Test for High Strength Steel in Wet Underwater Welding*, Transaction of the Japan Welding Society, 1988.
- [112] Weiss D., Eagar T.W., Jones L.A., Mendez P., *Dynamic behavior of gas metal arc welding*, In 9th Conf. On Iron and Steel Tehnology, 1997
- [113] Zajtseva N.V., Zakharov S.M.; Maksimov S.Yu.; Lyakhovaya I.V., *Properties of austenitic weld metal produced under the water*, Paton Welding Journal, 2004.
- [114] Zhang X.D., Ashida E., Shono S., Matsuda F., *Effect of shielding conditions of local cavity on weld quality in underwater Nd:YAG laser welding*, *Journal of Materials Processing Technology*, 2006.
- [115] *** ANSI/AWS D3.6M, *Specification for Underwater Welding*, Miami, American Welding Society, 1996;
- [116] *** Cercetării privind stabilirea posibilităților de tăiere și sudare sub apă la adâncimi de 40m. Contract 785/1980 –1985 ISIM Timișoara și Centrul de Scafandri.
- [117] *** *Colecția de standarde commentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, vol. I-VII*, editura SUDURA, 2001.

-
- [118] ****Offshore*, vol.68, pg.3, March 2008.
- [119] *** Registrul naval Det Norske Veritas
- [120] *** Catalogue Böhler Welding, Fils fourrés de soudage, 2006.
- [121] ****The Welding Wizard – Researcher Builds Upon Achievements of Past sea Grand projects*, Twine Line, 2004.
- [122] *** The Lincoln Electric Company, GMAW Welding Guide
- [123] ****The Welding Wizard – Researcher Builds Upon Achievements of Past sea Grand projects*, Twine Line, 2004.
- [124] ****Underwater Welding - Design Procedures and Inspections*, Headquarters US Army Corps of Engineers Engineering and Construction Division Directorate of Military Programs Washington, 01 March 2000.
- [125] *Welding Handbook*, 9th Edition, Vol. 6 Welding, Brazing, Soldering, American Society for Metals, Ohio, SUA
- [126] ***Underwater wet welding made simple, Jan-Feb, . 2009,
www.underwater.com
- [127] *** Ghidul EWF „Sudarea manuală subacvatică”, Doc. EWF – 570-01

ANEXA 1

ELEMENTE LEGATE DE SCUFUNDARE - DECOMPRESIE. TEHNICI DE SCUFUNDARE. INSTALAȚII ȘI ECHIPAMENTE FOLOSITE ÎN OPERAȚIILE DE SCUFUNDARE PENTRU REALIZAREA EXPERIMENTULUI

1. Generalități

Scafandrii profesioniști, atât acei care lucrează în domeniul civil, industrial, cât și cei care execută operații subacvatice cu scop militar, sunt de fapt niște lucrători sub apă care trebuie să aibă calificare într-una sau mai multe meserii utile pentru efectuarea unor lucrări subacvatice.

Dezvoltarea fără precedent a activităților legate de pătrunderea omului sub apă, presupune instruirea unui număr mare de scafandri, în special în tehnica scufundării autonome. Deoarece marea majoritate a aplicațiilor pentru scufundarea autonomă se desfășoară la adâncimi de până la 60 metri, primele niveluri de instruire trebuie să asigure scafandrilor o pregătire temeinică în domeniul scufundării cu aparate autonome de respirat sub apă cu circuit deschis utilizând ca amestec gazos respirator, aerul,[20].

Instruirea scafandrilor pentru scufundarea autonomă trebuie să cuprindă o susținută pregătire practică precum și o foarte bună pregătire teoretică. Aceasta din urmă trebuie să cuprindă expuneri pe baza cărora scafandrii să fie instruiți privind următoarele:

- cunoașterea elementelor de fizică;
- cunoașterea echipamentului;
- cunoașterea elementelor de fiziologie a scufundării;
- cunoașterea utilizării tabelor de decompresie;
- cunoașterea accidentelor de scufundare;
- cunoașterea regulilor de organizare și planificare a scufundării;
- cunoașterea elementelor specifice diferitelor tipuri de scufundări.

Scafandrii sunt calificați pentru diferite categorii de scufundare și pentru executarea diferitelor lucrări sub apă prin cursuri și antrenamente care în România sunt organizate de Centrul de Scafandri din cadrul Forțelor Navale Române.

Toate activitățile de formare și perfecționare a scafandrilor amatori sau profesioniști, civili sau militari, sunt efectuate numai într-un cadru organizat, în școli specializate, după un program riguros, sub îndrumarea și supravegherea unor instructori autorizați.

Executarea lucrărilor subacvatice este mult mai dificilă decât executarea lucrărilor similare pe uscat, din mai multe motive, precum:

➤ starea de oboseală se instalează destul de repede, datorită efortului respirator mai intens ca rezultat al inconfortului creat de costumul de scafandru, de aparatul de respirat sub apă utilizat și, de rezistența apei la diferitele mișcări;

- vizibilitatea redusă, uneori chiar foarte scăzută;
- starea de imponderabilitate a scafandruului îl incomodează la efectuarea unor lucrări la care scafandruul are nevoie de un punct de sprijin.

La aceste motive se mai adaugă frigul datorat pierderilor de căldură mai intense, efectele fiziologice determinate de presiunea corespunzătoare adâncimii de lucru, precum și limitările de timp corespunzătoare tehnologiilor de scufundare utilizate.

În concluzie nu se poate vorbi despre sudură subacvatică fără să se cunoască foarte bine fenomenele, instalațiile, aparatura și tot ce implică tehnicile de scufundare.

2. Elemente generale de fizica scufundării

Mediul subacvatic (hiperbar) este un mediu nefiziologic pentru om, reprezentând prin caracteristicile sale un puternic și complex agent stresant (mai ales atunci când se combină și cu alți factori precum: efort fizic, temperatura apei deosebit de scăzută, atmosferă poluată etc).

Cele mai importante aspecte fizice ale scufundării subacvatice sunt: creșterea presiunii, compresibilitatea gazelor, presiunile parțiale ale componentelor amestecurilor gazoase și dizolvarea gazelor în țesuturi.

Alături de aceste aspecte, condiționarea ambientală a scufundării presupune și soluționarea altor cerințe de natură „ambientală”, menținerea unei temperaturi adecvate (în amestec respirator nitrox [azot-oxigen] (25 - 27) °C iar în heliox [heliu-oxigen] (30 ± 2) °C respectiv a unei umidități adecvate (între 50 - 70 %), în lipsa cărora „experimentele hiperbare” ar depăși capacitatea de adaptare a organismului încadrându-se în gama stresurilor patologice și punând în pericol chiar viața scafandrilor.

Problema temperaturilor adecvate este mult mai greu de soluționat în cazul scufundărilor propriu-zise când, datorită scăderii temperaturii apei, la termoliza exagerată pulmonară se adaugă și termoliza, deloc neglijabilă, de la nivel tegumentar [6].

Apa, datorită proprietăților sale fizice, foarte diferite de cele ale aerului, impune scafandruului o adaptare specială la acest nou mediu. Sub apă, coborârea pe verticală este însoțită de variații rapide de presiune și de volum precum și de variații importante de densitate, temperatură și salinitate.

De asemenea, sub apă, schimbările de căldură sunt mai intense, iar pătrunderea luminii este mai slabă. În plus, diferența mare dintre densitatea apei și cea a aerului conduce la creșterea rezistenței hidrodinamice la deplasare, precum și la încetinirea tuturor mișcărilor sub apă.

Aceste caracteristici fizice ale apei, precum și variația acestora cu adâncimea, conduc la modificări importante ale parametrilor fiziologici ai organismului uman, ceea ce a făcut pe fiziologiști să considere interacțiunea dintre mediul acvatic și organismul uman ca o „agresiune” la care scafandruul trebuie, prin echipamentul de care dispune și prin tehnicile pe care și le-a însușit, să se adapteze [19].

Cele mai importante elemente în fizica scufundării sunt:

- ❖ presiunea hidrostatică;
- ❖ aerul ca amestec de gaze;
- ❖ dizolvarea și degajarea gazelor;
- ❖ flotabilitatea scafandruului;
- ❖ pătrunderea luminii în apă;
- ❖ propagarea sunetelor și ultrasunetelor în apă.

2.1. Presiunea apei

În timpul scufundării, tot ce se raportează la presiune este foarte important, deoarece aceasta guvernează fenomenele fizice ce acționează asupra corpului uman. Prin definiție, presiunea este raportul între forța de apăsare și suprafața pe care se exercită.

Una din consecințele legii generale a hidrostatiei este aceea că presiunea hidrostatică, figura 1, crește liniar cu adâncimea conform relației,[6]:

$$p = p_{at} + \rho g h \quad (1)$$

unde: p_{at} este presiunea atmosferică la suprafața liberă a apei ($p_{at} = 0$, în scară relativă, iar $p_{at} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ bar}$, în scară absolută);

ρ - densitatea apei ($\rho \cong 1.000 \text{ Kg/m}^3$);

g - accelerația gravitațională ($g = 9,81 \text{ m/s}^2 \cong 10 \text{ m/s}^2$);

h - adâncimea, în metri, la care presiunea apei este p .

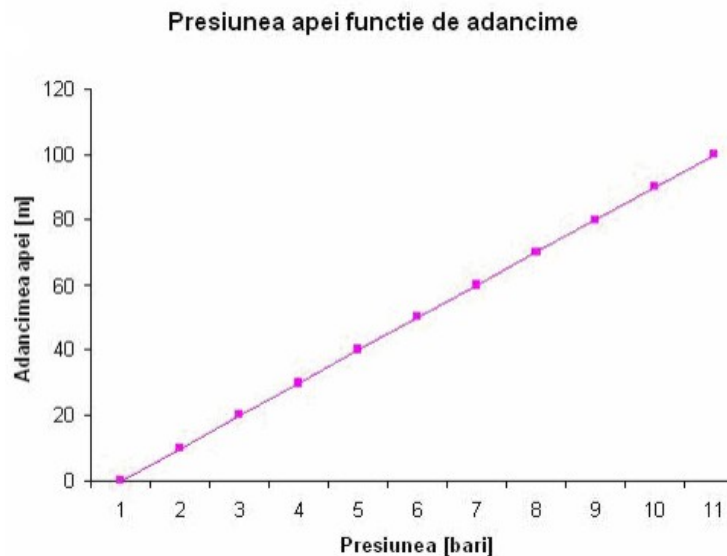


Figura 1. Presiunea apei funcție de adâncimea de lucru [87].

Ținând seama de legea generală a hidrostatiei și de relația între scările de exprimare a presiunii, în tabelul 1 se prezintă modul în care variază presiunea cu adâncimea în scară relativă și absolută.

Tabelul 1. Creșterea presiunii cu adâncimea, în scară relativă și absolută [87]

Adâncime H	Presiunea în scară relativă $(p)_{rel}$	+	Presiunea atmosferică în scară absolută $(p_{at})_{abs}$	=	Presiunea în scară absolută $(p)_{abs}$
0 m	0	+	1 bar	=	1 bar
10 m	1 bar	+	1 bar	=	2 bar
20 m	2 bar	+	1 bar	=	3 bar
30m	3 bar	+	1 bar	=	4 bar
40m	4 bar	+	1 bar	=	5 bar
50m	5 bar	+	1 bar	=	6 bar
60m	6 bar	+	1 bar	=	7 bar

În tabelul de mai jos, presiunile apei la diferite adâncimi au fost calculate pentru o densitate a apei $\rho \cong 1000 \text{ kg/m}^3$, valabilă pentru apă dulce. Apa de mare are densitatea $\rho \cong 1.012 \text{ kg/m}^3$, dar pentru adâncimi de până la 70 m se poate considera aproximativ egală cu 1000 Kg/m^3 fără a face eroare semnificativă, deoarece această eroare este inferioară erorii de precizie a unui aparat de măsură ca profundimetrul.

La gaze, unde densitatea este mult mai redusă ca la lichide (ex.: $\rho_{aer} = 1,21 \text{ Kg/m}^3$ iar $\rho_{apă} = 1.000 \text{ Kg/m}^3$), se poate neglija termenul ρgh care reprezintă variația presiunii cu adâncimea. Astfel, se poate considera $p \cong \text{constant}$ în tot domeniul ocupat de gaz. Din acest motiv, presiunea aerului dintr-o butelie de stocare sau dintr-o barocameră (cameră hiperbară) poate fi considerată ca având aceeași valoare în orice punct din interiorul acestora.

2.2. Efectele presiunii

Corpul omenesc nu este un mediu omogen, ci un mediu semiporos. Organismul uman este format din solide (oase, cartilagii), lichide (celule, sânge, lichide interstițiale) și gaze conținute în cavități (plămâni, căi aeriene, ureche medie, sinusuri, intestine, stomac).

Solidele și lichidele sunt practic incompresibile și deci variațiile de presiune, la care este supus scafandrul în timpul scufundării, nu le afectează. În schimb, gazele din corpul, comportându-se ca fluide compresibile, suferă modificări importante sub acțiunea presiunii mediului ambiant, iar efectele presiunii asupra acestor gaze sunt determinante în apariția diferitelor fenomene specifice fiziologiei scufundării.

Pentru o mai bună înțelegere a efectelor presiunii asupra organismului scafandrului, trebuie reamintit faptul că scafandrul echipat cu aparatul de respirat sub apă, respiră aer la o presiune egală cu presiunea ambiantă, corespunzătoare adâncimii de imersie.

Efectele presiunii asupra corpului omenesc pot fi împărțite în trei categorii și anume:

- efecte mecanice;
- efecte biofizice;
- efecte biochimice.

Efectele mecanice ale presiunii au la bază faptul că gazele aflate în cavitățile organismului uman se supun legii Boyle-Mariotte și se referă la acțiunea presiunii

asupra gazelor din aparatul respirator pulmonar, precum și asupra volumelor gazoase abdominale. Efectele biofizice ale presiunii se referă la fenomenele de dizolvare și degajare a gazelor în și respectiv din țesuturile corpului omenesc, în timpul coborârii scafandrilor în apă și respectiv în timpul urcării către suprafață.

Variațiile de presiune ce apar în timpul scufundării conduc la modificări ale presiunii totale a aerului alveolar și deci, la modificări ale presiunilor parțiale ale gazelor componente din aerul aflat în alveolele plămânilor. Din acest motiv, după un anumit interval de timp vor apărea și variații similare ale tensiunilor aceluiași gaze dizolvate în organism. Fiecare gaz component al amestecului respirator are un anumit efect asupra organismului, acesta reacționând la variațiile presiunilor parțiale ale gazelor componente.

2.3. Aerul ca amestec de gaze

Scafandru autonom utilizează pentru respirația sub apă aer livrat de aparatul de scufundare cu circuit deschis. Aerul utilizat în scufundare este chiar aerul atmosferic comprimat în buteliile aparatului de respirat sub apă, cu ajutorul compresorului. Aerul atmosferic este însă un amestec natural de gaze.

În tabelul 2 este prezentată compoziția aerului exprimată atât prin concentrațiile (%), cât și prin participațiile volumice (r) ale gazelor pure ce-l compun.

Tabelul 2. Compoziția aerului atmosferic exprimată în concentrații și participații volumice [6].

Gazele ce compun aerul	Concentrațiile componentelor gazoase	Participațiile volumice ale componentelor gazoase
Oxigen (O ₂)	20,93 %	0,2093
Azot (N ₂)	78,10 %	0,7810
Argon (Ar)	0,9325 %	0,009325
Bioxid de carbon (CO ₂)	0,01 %	0,000100
Hidrogen (H ₂)	0,0018 %	0,000018
Neon (Ne)	0,0005 %	0,000005
Kripton (Kr)	0,0001 %	0,000001
Xenon (Xe)	0,000009 %	0,00000009

Este evident că, exceptând oxigenul și azotul, suma concentrațiilor celorlalte gaze ce compun aerul este mai mică de 1%. Din acest motiv, în cadrul problemelor legate de scufundarea cu aer, se poate considera că aerul este practic un amestec oxigen-azot (O₂, N₂), compus din 21% oxigen și 79% azot,[6].

Deci, se poate scrie că:

$$r_{O_2} + r_{N_2} = 1 \quad (2)$$

unde: r_{O_2} reprezintă participațiile volumice ale oxigenului;

r_{N_2} - participațiile volumice ale azotului.

La temperatură constantă, presiunea unui amestec de gaze este egală cu suma presiunilor pe care le-ar avea fiecare din gazele componente dacă ar ocupa singur volumul total, sau altfel spus, presiunea amestecului de gaze este egală cu suma presiunilor parțiale ale gazelor pure care îl compun,(Legea lui Dalton). Astfel, pentru aer se poate scrie:

$$p_{aer} = p_{O_2} + p_{N_2} \quad (3)$$

Presiunile parțiale ale fiecărui gaz component al aerului se calculează cu relațiile:

$$p_{O_2} = r_{O_2} \cdot p_{aer} \quad (4)$$

$$p_{N_2} = r_{N_2} \cdot p_{aer}$$

Pentru aer la presiunea atmosferică ($p_{aer} = 1$ bar în scară absolută), presiunile parțiale ale celor două componente gazoase sunt:

$$p_{O_2} = 0,21 \cdot 1 = 0,21 \text{ bar (sc.abs.)} \quad (5)$$

$$p_{N_2} = 0,79 \cdot 1 = 0,79 \text{ bar (sc.abs.)}$$

Suma presiunilor parțiale ale gazelor componente este egală cu presiunea amestecului gazos (aerului), deci, în acest caz, tocmai presiunea atmosferică:

$$p_{aer} = p_{O_2} + p_{N_2} = 0,21 + 0,79 = 1 \text{ bar (sc.abs.)} \quad (6)$$

Pentru aer la 5 bari (sc.abs.), presiunile parțiale ale oxigenului și azotului vor fi:

$$p_{O_2} = 0,21 \cdot 5 = 1,05 \text{ bar (sc.abs.)} \quad (7)$$

$$p_{N_2} = 0,79 \cdot 5 = 3,95 \text{ bar (sc.abs.)}$$

Și în acest caz, suma presiunilor parțiale ale componentelor este egală cu presiunea aerului:

$$p_{aer} = p_{O_2} + p_{N_2} = 1,05 + 3,95 = 5 \text{ bar (sc.abs.)} \quad (8)$$

În timpul scufundării, scafandru respiră aer compus din 21% oxigen și 79% azot, participațiile volumice ale componentelor gazoase rămânând constante ($r_{O_2} = 0,21$, $r_{N_2} = 0,79$), indiferent de adâncime. Ținând seama de faptul că aparatul autonom de respirat sub apă cu aer este astfel conceput încât să permită scafandruului să respire aer la presiune egală cu presiunea corespunzătoare adâncimii de imersie, rezultă că, în timpul coborârii, presiunea aerului respirat de scafandru crește o dată cu creșterea adâncimii conform legii generale a hidrostatiei $p = p_{at} + \rho gh$. Deoarece în timpul coborârii presiunea aerului respirat de scafandru din aparat crește, vor crește și presiunile parțiale ale oxigenului și azotului care îl compun (tabelul 3).

Tabelul 3. Creșterea presiunii parțiale a componentelor aerului respirat cu creșterea adâncimi de scufundare [19].

Adâncimea de scufundare [h]	Presiunea aerului respirat [p_{aer}] (sc.abs.)	Presiunile parțiale ale componentelor gazoase ale aerului respirat		
		p_{O_2} (sc.abs.)	p_{N_2} (sc.abs.)	
Suprafață	0 m	1 bar	0,21 bar	0,79 bar
	10 m	2 bar	0,42 bar	1,58 bar
	20 m	3 bar	0,63 bar	2,37 bar
	30 m	4 bar	0,84 bar	3,16 bar
	40 m	5 bar	1,05 bar	3,95 bar
Sub apă	50 m	6 bar	1,26 bar	4,74 bar
	60 m	7 bar	1,47 bar	5,53 bar
	70 m	8 bar	1,68 bar	6,32 bar

Cercetările de medicina scufundării limitează superior presiunea parțială a azotului la $p_{N_2} = 5,3$ bar (sc.abs.) pentru evitarea apariției fenomenului de „narcoză a azotului” („beția adâncurilor”) și presiunea parțială a oxigenului la $p_{O_2} = 1,7$ bar (sc.abs.) pentru preîntâmpinarea apariției crizei de hiperoxie datorată creșterii, peste limita critică, a nivelului de oxigen din amestecul respirator [6].

Din tabelul 3 rezultă că, la scufundările cu aer, „narcoza azotului” limitează scufundarea la 58 m, iar criza hiperoxică limitează scufundarea la 70 m. Ținând seama de cele de mai sus, s-a considerat că limita maximă de scufundare cu aer nu trebuie să depășească adâncimea de 60 m, în acest fel, evitându-se apariția celor două fenomene.

Pentru scufundările începători, care nu-și cunosc comportamentul la „narcoza a azotului”, fenomen care își poate face apariția la adâncimi cuprinse între 40 m și 50 m, se recomandă ca aceștia să nu depășească, în scufundarea cu aer, adâncimea de 40 m.

2.4. Dizolvarea și degajarea gazelor

Gazele se dizolvă în lichidele cu care vin în contact. În condiții obișnuite, fenomenul urmează legea lui Henry,[21]: la temperatură constantă, masa de gaz dizolvată într-un lichid, la saturație, variază direct proporțional cu presiunea parțială a gazului aflat în contact cu lichidul. Dacă temperatura crește, cantitatea de gaz dizolvat, la saturație, scade și invers.

Cantitatea de gaze, dizolvată în lichid, la saturație, este în funcție atât de tipul lichidului cât și de tipul gazului.

La un amestec de gaze cum este aerul respirat de scufundări, cantitatea de gaz dizolvată va fi proporțională cu presiunea parțială a fiecărui gaz component al

amestecului. Spre exemplu, dacă aerul are o presiune de 4 bar (sc.abs.), cantitatea de oxigen dizolvată în lichid va fi proporțională cu $p_{O_2} = 0,84$ bar (sc.abs.), iar cantitatea de azot dizolvată în același lichid va fi proporțională cu $p_{N_2} = 3,16$ bar (sc.abs.).

Procesul invers dizolvării este degajarea gazului din lichid, care se produce la scăderea presiunii.

2.5. Flotabilitatea scafandului

Asupra corpului imersat într-un lichid acționează două forțe:

- forță verticală dirijată de sus în jos - greutatea corpului, G;
- forță verticală dirijată de jos în sus - forța arhimedică, A.

Diferența dintre forța arhimedică A și greutatea corpului G poartă numele de flotabilitate F.

Funcție de mărimea relativă a celor două forțe, există următoarele situații:

- ❖ dacă forța arhimedică este mai mică decât greutatea ($A < G$), flotabilitatea este negativă ($F < 0$), iar corpul capătă o mișcare de coborâre în lichid;
- ❖ dacă forța arhimedică este mai mare decât greutatea ($A > G$) flotabilitatea este pozitivă ($F > 0$), iar corpul se ridică către suprafață.
- ❖ dacă forța arhimedică este egală cu greutatea ($A = G$), flotabilitatea este nulă ($F = 0$) iar corpul rămâne scufundat pe loc, nici nu urcă nici nu coboară rămânând între ape.

Corpul omenesc, fără nici un echipament, are o flotabilitate situată în jurul flotabilității nule. Aceasta deoarece densitatea medie a corpului uman este apropiată de densitatea mediului acvatic, corpul uman fiind alcătuit în proporție de 70% din apă. Cea mai mare parte din oameni au o flotabilitate pozitivă, având posibilitatea de a se menține în plutire la suprafața apei fără efort, iar atunci când pătrund sub apă în scufundare liberă, au tendința de a reveni la suprafață. Foarte puțini oameni au o flotabilitate negativă, având tendința de a se scufunda. Există însă și oameni care au o flotabilitate foarte apropiată de flotabilitatea nulă. Aceștia nici nu plutesc, dar nici nu se scufundă rămân pe loc.

Unii oameni, în funcție de alcătuirea corpului și de mărimea plămânilor,, au o flotabilitate pozitivă naturală mai mare. Grăsimea are o densitate mai mică decât mușchii și oasele ce alcătuiesc corpul uman și, de aceea, oamenii grași au o flotabilitate pozitivă ceva mai mare decât ceilalți.

Flotabilitatea corpului uman poate fi controlată și cu ajutorul plămânilor. La o inspirație completă, corpul uman are o flotabilitate mai mult decât suficientă pentru a pluti la suprafața apei cu fața afară din apă. Prin urmare, controlând cantitatea de aer din plămâni, omul poate pluti fără efort la suprafața apei.

Scafandru echipat complet, inclusiv cu centura de lestare (curea cu greutate), trebuie să aibă o flotabilitate apropiată de flotabilitatea nulă, astfel încât el să se poată evolua sub apă cu mare ușurință. Atunci când flotabilitatea scafandului echipat este nulă el se poate deplasa, cu efort minim, în toate direcțiile sau, poate staționa fără a face vreun efort, la adâncimea dorită. Senzația pe care o are un scafandru având flotabilitate nulă este asemănătoare cu aceea pe care o are un astronaut aflat în imponderabilitate.

Ca pentru orice corp imersat, asupra scafandului aflat sub apă acționează o forță de greutate și o forță arhimedică. Greutatea este formată din greutatea

scafandruului plus greutatea echipamentului. Forța arhimedică este dată de volumul dislocuit de scafandru cu tot cu echipament. În timpul scufundării, greutatea suferă o ușoară diminuare pe măsură ce scafandru consumă aer din butelie. În rest, atâta timp cât scafandru nu larghează (lărgirea chingilor pe care se află prinse piesele) vreo piesă de echipament, greutatea nu va suferi nici o modificare. Forța arhimedică suferă de asemenea o foarte slabă diminuare pe măsură ce scafandru coboară mai adânc, datorită comprimării bulelor de azot din neopren (material din care este confecționat costumul de scafandru).

Ținând seama de aceste considerente, se recomandă ca, la începerea coborârii sub apă, scafandru echipat să aibă o ușoară flotabilitate negativă ceea ce îi ușurează coborârea ca, o dată ajuns la adâncimea de lucru, flotabilitatea să ajungă să fie aproximativ nulă datorită diminuării cantității de aer din butelie, iar în timpul urcării către suprafață flotabilitatea să devină chiar pozitivă înlesnind astfel urcarea.

Evident, flotabilitatea scafandruului suferă ușoare modificări și în timpul respirației, datorită modificării forței arhimedice. Astfel, în timpul inspirației flotabilitatea scafandruului are o ușoară diminuare. De aceea, se spune că un scafandru este corect lestat (operația de îngreunare voluntară pentru obținerea unei anumite flotabilități) dacă atunci când expiră are o ușoară tendință de a coborî, iar atunci când inspiră are tendința de a urca ușor.

Scafandru își poate regla flotabilitatea în timpul imersiunii prin modificarea forței arhimedice, cu ajutorul vestei de salvare.

Atunci când apar probleme sub apă și scafandru trebuie să iasă imediat la suprafață, acesta trebuie să facă o manevră care să conducă la creșterea flotabilității. Acest lucru se poate realiza fie prin micșorarea greutateii, prin largirea (lărgirea) centurii de lestare sau a altui element de echipament, fie prin umflarea vestei de salvare. Tot prin umflarea vestei de salvare, scafandru își poate asigura flotabilitatea pozitivă suficientă plutirii și menținerii fără efort la suprafața apei.

2.6. Pătrunderea luminii în apă

Sub apă, intensitatea luminii scade pe măsură ce adâncimea crește. În apă limpede, la adâncimea de 5 m, energia luminoasă este redusă la 1/4 din valoarea de la suprafață, la 15 m ea va fi redusă la 1/8 din valoarea inițială, iar la 40 m valoarea energiei luminoase este diminuată la 1/30 [19].

Aceasta se explică prin faptul că o parte din lumină se reflectă la suprafața liberă a apei, o altă parte este absorbită și transformată în căldură, iar o altă parte este difuzată de către moleculele de apă și de către particulele solide aflate în suspensie în masa de apă, cum ar fi planctonul (microorganisme ce se află în apă) și pulberile de origine minerală.

Domeniul vizibil al ansamblului de radiații emise este cuprins între două lungimi de undă limită (ultraviolet și infraroșu).

Spectrul solar pune în evidență existența celor șapte culori fundamentale (violet, indigo, albastru, verde, galben, portocaliu și roșu) prin suprapunerea cărora se constituie lumina albă. Absorbția este foarte intensă pentru roșu. Astfel, până la adâncimea de 10 m culorile roșu și portocaliu sunt practic absorbite, galbenul și verdele dispar la aproximativ 20 m adâncime, iar după această adâncime totul capătă o nuanță de albastru cu tente cenușii, tabelul 4, [19].

Tabelul 4. Absorția luminii de apă.

Adâncimea [m]	Intensitatea luminoasă	Dispariția culorilor
Suprafață	100%	
1	40%	Infraroșu
2		Roșu modificat
5		Roșu
10 - 15	14%	Portocaliu
15 - 25	7%	Galben
25 - 60	1,5%	Violet și bleu-verde
Spre 70	1%	Monocrom
400 - 500	Negru în totalitate	

Lumina artificială folosită pentru creșterea vizibilității sub apă sau pentru efectuarea de fotografii înlocuiește toate culorile naturale indiferent de adâncime.

Difuzia, este maximă pentru violet și albastru. Lumina difuzată formează un ecran între ochi și obiectele observate. Difuzia luminii care este funcție de suspensiile existente în apă face ca vederea sub apă a scafandrilor să fie mult îngreunată, chiar atunci când se folosește o sursă de lumină artificială. Dacă iluminarea artificială nu este făcută corespunzător, ea poate amplifica difuzia. Acest fenomen de difuziune a luminii apare, în special, în apele tulburi ale fluviilor, în zona barajelor hidroenergetice, în zonele portuare, în zonele estuarelor, precum și în apropierea epavelor, unde mișcările scafandrilor conduc la ridicarea unor nori de particule aflate în suspensie în apă. Fenomenul de difuziune a luminii, cu efectul său numit turbiditate, reprezintă un impediment major în munca scafandrilor, în fotografierea și filmarea subacvatică sau transmiterea de imagini subacvatice la suprafață.

Ținând seama de cele prezentate mai sus se poate trage concluzia că vederea sub apă depinde de cantitatea de lumină naturală care pătrunde în apă (aceasta este în funcție de gradul de acoperire cu nori a cerului, de înălțimea Soarelui pe bolta cerească), de adâncimea și de nivelul de transparență al apei (inversul turbidității).

2.7. Propagarea sunetelor în apă

Sunetele se propagă în apă cu o viteză ce circa 1.500 m/s, deci cu o viteză de propagare mult mai mare decât viteza de propagare în aer, care este de circa 300 m/s. Deci, viteza sunetului în apă este de aproximativ cinci ori mai mare decât în aer.

Anumite zgomote subacvatice, cum sunt, spre exemplu, cele produse de elicele și motoarele ambarcațiunilor sau de exploziile subacvatice, pot fi auzite de către scafandri la distanțe foarte mari sub apă. În ciuda acestui fapt, vocea umană este dificil de folosit pentru comunicarea sub apă. În primul rând, vorbirea este îngreunată de existența piesei bucale a detentorului și de dificultatea de a deschide gura pentru a articula sunete, fără să intre apă în gură. Dar, chiar dacă s-ar utiliza măști faciale prevăzute cu piese oro-nazale pentru respirat, comunicarea sub apă

prin vorbire rămâne foarte dificilă, deoarece sunetele pătrund mai greu din aer în apă și din apă în aer, astfel încât, practic, doar 1/10.000 din intensitatea sunetului este auzită.

Cea mai obișnuită metodă de comunicare sub apă prin sunete este aceea de a emite sunete prin lovirea buteliei aparatului de respirat cu cuțitul sau cu o piatră. Această metodă are însă mari inconveniente în cazul comunicării la distanțe mari, datorită imposibilității detectării direcției din care vine sunetul produs sub apă. Aceasta se explică prin faptul că determinarea direcției sunetului depinde de apariția unei mici diferențe de timp în percepția acestuia. Spre exemplu, un sunet produs în aer la dreapta observatorului, se propagă prin aer atingând mai întâi urechea dreaptă a observatorului și apoi urechea stângă, o fracțiune de secundă mai târziu. Acest mic decalaj de timp este suficient pentru a permite observatorului să stabilească direcția din care vine sunetul. Sub apă, acest decalaj de timp devine extrem de mic, practic dispare, datorită vitezei mult mai mari a sunetului în apă decât în aer și, drept consecință, scafandrul nu poate stabili direcția din care vine sunetul.

Telefonia subacvatică fără fir este posibilă în prezent prin modularea ultrasunetelor. În acest scop se utilizează echipamente ultrasonice.

3. Tehnici de scufundare

3.1. Scufundarea autonomă

Scufundarea autonomă este scufundarea în care scafandrul poartă cu sine rezerva de gaze respiratorii. Scufundarea autonomă presupune contactul cel mai intim cu apa și este tipul de intervenție subacvatică cel mai eficace.

Din păcate, presiunea apei, care crește cu 0,1 Mpa la fiecare 10 m coloană de apă, impune restricții majore scafandrilor.

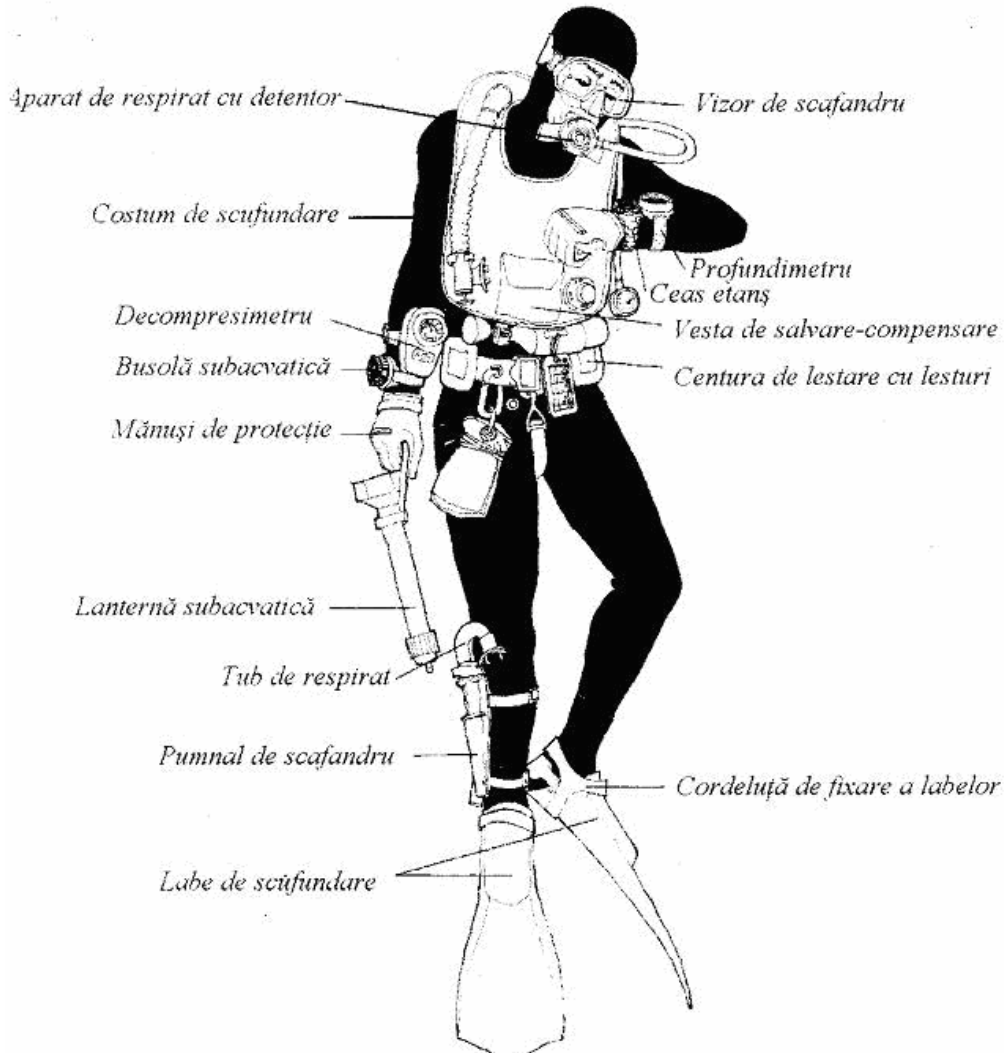


Figura 2. Echipamentul individual al scafandruului [87].

Aerul poate fi respirat la presiunea atmosferică normală sau eventual până la (6 - 7) atmosfere, (50 - 60) m. De aceea pentru scufundările efectuate la adâncimi mai mari de 60 m, se utilizează amestecuri sintetice, heliu-oxigen, heliul fiind un gaz inert al cărui efect narcotic se manifestă la adâncimi mult mai mari.

Scufundările cu scop sportiv și cele profesionale, aveau nevoie în mod imperios de un aparat de respirat sub apă prevăzut cu o rezervă de aer comprimat care să-i asigure scafandruului o autonomie convenabilă și o libertate de mișcare ridicată.

Aceste deziderate au fost îndeplinite prin inventarea aparatului autonom cu aer comprimat, pentru respirat sub apă. De-a lungul anilor, acest aparat a suferit completări și modernizări continue, asigurând astăzi un ridicat nivel de confort și siguranță în exploatare.

Echipamentul individual, figura 2, este format din: aparat de respirat sub apă, alcătuit din detentor și butelie pentru stocarea aerului comprimat; costum din neopren, cizmulițe din neopren, mănuși din neopren, vesta de salvare, centură de lestare, labe de înot; profundimetru, busolă, ceasul etanș, decompresimetru, vizorul împreună cu tubul de respirat, tablele de decompresie. Dacă scufundarea se face de la bordul unui vapor, de regulă, coborârea se face pe o saulă (sfoară marinărească) prevăzută cu o greutate (lest). Pe această saulă sunt marcate adâncimile de palier: 3; 6; 9...m.

Acest tip de aparat face parte din categoria aparatelor de respirat cu circuit deschis, la care amestecul gazos expirat de către scafandru este eliminat în întregime în mediul acvatic exterior.

Butelia de stocare a aerului comprimat, componentă aparatului autonom de respirat sub apă, a suferit unele modificări de-a lungul anilor. La alegerea tipului de butelie trebuie ținut seama de două criterii: capacitatea buteliei de stocare a aerului comprimat și materialul din care aceasta este executată. Durata autonomiei scafandruului, asigurată de aerul comprimat din butelie, variază în funcție de adâncimea de imersie, durata scufundării, capacitatea plămânilor, activitatea depusă de scafandru, temperatura apei etc.

Costumul uscat (etanș) - acest tip de costum poate fi cu volum variabil sau cu volum constant. Costumul uscat cu volum variabil este confecționat din cauciuc sau din neopren. Costumul uscat cu volum constant este un echipament utilizat numai de către profesioniști. El este alcătuit dintr-un combinezon confecționat dintr-o țesătură solidă și o cagulă încorporată ce înlocuiește casca. Scafandruul este în întregime în mediu uscat, protejat de frig. Prin intermediul supapelor de cap și picioare, echipamentul echilibrează volumul de aer interior funcție de presiunea ambiantă.

Vesta de salvare - este o piesă componentă a echipamentului de scafandru, utilizată atât la scufundările libere, în apnee (oprirea voluntară a respirației), cât și la scufundările cu aer comprimat. Funcție de tipul constructiv, vesta de salvare poate asigura scafandruului următoarele facilități:

- ridicarea scafandruului la suprafața apei, prin umflarea comandată a vestei;
- reglarea flotabilității scafandruului în jurul flotabilității nule;
- asigurarea respirației pe timp relativ scurt, în situație de urgență, de aer din buteliile aparatului de respirat sau din butelia proprie, vesta jucând rolul unui sac respirator (plămân fals).

Centura de lestare - componentă a echipamentului de scufundare utilizată pentru micșorarea flotabilității scafandruului. Stabilirea greutății centurii de lestare în vederea obținerii flotabilității nule a scafandruului pentru o anumită adâncime, se realizează prin determinarea greutății centurii la suprafața apei, urmată de calculul greutății lestului pentru adâncimea de scufundare dorită. Determinarea greutății lestului de plumb la suprafață se realizează prin atașarea la centură a unor greutăți (cu masa totală de 5 - 10 kg).

Vizorul - scafandruul care efectuează scufundări autonome cu aer, va putea folosi un vizor cu volum mare deoarece acesta, având la dispoziție suficient aer, poate expira în vizor o cantitate de aer egală cu cea necesară pentru compensarea presiunii din vizor, până când aceasta devine egală cu presiunea ambiantă. Scafandruul sudor va avea aplicat la mască un vizor de protecție pentru urmărirea arcului electric figura 3.

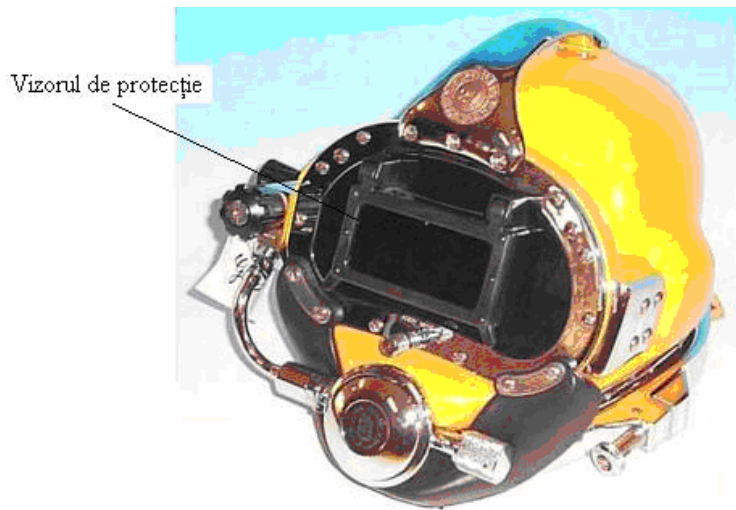


Figura 3. Casca scafandruului prevăzută cu vizor de protecție pentru tăiere și sudare subacvatică [87].

Labe de înot împreună cu tubul de respirat - inventarea labelor de înot din cauciuc a dat un plus de mobilitate scafandruului, acesta având posibilitatea să înoate pe distanțe mari și pe perioade de timp lungi. Tubul de respirat este indispensabil, atât la scufundarea liberă cât și în scufundarea cu aer comprimat, pentru economisirea aerului din butelii, în timpul parcursului la suprafață.

Ceasul etanș - este un instrument esențial al echipamentului de scufundare autonomă, fiind utilizat la cronometrarea timpului de scufundare, a timpilor de decompresie și, împreună cu profundimetrul, la calculul vitezei de urcare către suprafața apei.

Profundimetrul - este un instrument care indică adâncimea la care se află scafandruul. Adâncimea trebuie controlată pe toată durata imersiunii.

Decompresimetrul - este un aparat portabil care indică scafandruului, în funcție de durata și adâncimea scufundării, timpii de decompresie.

Busola subacvatică - este utilizată de către scafandri pentru orientarea sub apă și la suprafața apei.

Lanterna subacvatică - este o lampă portativă utilizată pentru iluminarea locală sub apă. Cu ajutorul lanternei se pot efectua scufundări pe timp de noapte. Scufundarea autonomă, cu aer este limitată de narcoza azotului la adâncimea de (50 - 60) m. Durata scufundării depinde de capacitatea buteliilor cât și de adâncime. Scufundările autonome cu oxigen, practicate de scafandri de luptă, se pot efectua în siguranță numai până la 7 m, datorită efectului toxic al oxigenului respirat la presiune. Se mai utilizează, destul de rar, scufundarea autonomă cu amestecuri supraoxigenate azot-oxigen.

Aparatul de respirat cu detentor - ansamblu de componente ale echipamentului de scufundare care permite scafandruului să respire sub apă, detentorul având rolul de a destinde gazul de la presiunea de stocaj la presiunea mediului exterior.

Mănuși de protecție - componente ale costumului de scafandru utilizate pentru protecția mâinilor. Mănușile pot fi din neopren, la costumele umede sau din cauciuc la cele uscate.

Pumnal de scafandru - unealtă a scafandruului pentru efectuarea a diferitelor tăieturi.

Cordele de fixare a labelor - cordea ce ajută la fixarea labelor de picior.

3.2. Scufundarea la mare adâncime

Se numește scufundare la mare adâncime, scufundarea la adâncimi mai mari de 60 m la care amestecul respirator trebuie să fie format din heliu și oxigen în cantități bine determinate.

În timpul decompresiei se respiră, în funcție de adâncime, heliox, aer sau oxigen. La scufundarea de o oră la 100 m, timpul de decompresie este de aproximativ 12 ore. Scufundarea la adâncime mare se execută cu un control strict de la suprafață, folosind o tehnologie adecvată.

Sistemele de scufundare la mare adâncime sunt:

- scufundarea cu narghilea;
- scufundarea cu turelă deschisă;
- scufundarea unitară în sistem turelă - cheson;
- scufundarea în saturație la mare adâncime.

3.2.1. Scufundarea cu narghilea

Este un procedeu din ce în ce mai folosit pentru lucrările industriale. Acest tip de scufundare prezintă avantaje evidente față de scufundarea autonomă, mai puțin prețul de cost ridicat al echipamentului.

Narghileaua este un ansamblu de furtune și cabluri, legate între ele, prin care scafandrul este în contact cu suprafața.

Printr-un furtun i se trimite scafandrului aer, (sub formă de amestec sintetic) sau oxigen. Cantitatea de gaze care poate fi furnizată este practic nelimitată, dar este limitat timpul pe care poate să-l petreacă scafandrul sub apă. În acest sistem de scufundare limita de timp este de 3 ore.

Gazul este trimis la masca facială a scafandrului la o presiune cu (0,8 - 1) MPa mai mare față de presiunea corespunzătoare adâncimii de lucru. Pe acest furtun de alimentare, la masca facială există o piesă deosebit de importantă, numită supapa non-relu. Supapa non - relu nu permite trecerea gazului decât într-un sens și anume de la suprafață spre masca scafandrului. În cazurile de rupere accidentală sau de strangulare a furtunului de alimentare, scafandrul este dotat cu o butelie de securitate, având gaz suficient pentru ieșirea la suprafață, cu respectarea tabelelor de decompresie.

Dacă se folosesc costume încălzite cu apă caldă sau cu rezistențe electrice, există posibilitatea atașării la narghilea a unui furtun pentru apa caldă. Acest ansamblu este completat de o saulă rezistentă.

3.2.2. Scufundare în sistem cu turelă deschisă

Acest tip de scufundare este efectuată după principiul clopotului de scufundare, în care scafandrul coboară sub apă cu ajutorul unei turele, figura 4, având în partea superioară o cantitate de aer.

Nivelul apei în turela deschisă poate fi reglat prin introducerea sau evacuarea aerului.

Metoda este folosită din ce în ce mai mult deoarece prezintă o serie de avantaje, precum:

- ❖ rezervă mare de gaze,
- ❖ transportul sculelor și utilajelor,
- ❖ iluminarea locului de muncă,
- ❖ comunicații cu suprafața și între scafandri,
- ❖ siguranță mai mare a scufundării,

❖ posibilitatea respirării amestecurilor sintetice de gaze și a oxigenului. Limita de adâncime este de (75 - 90) m iar durata de lucru este de 3 ore (decompresia inclusă).

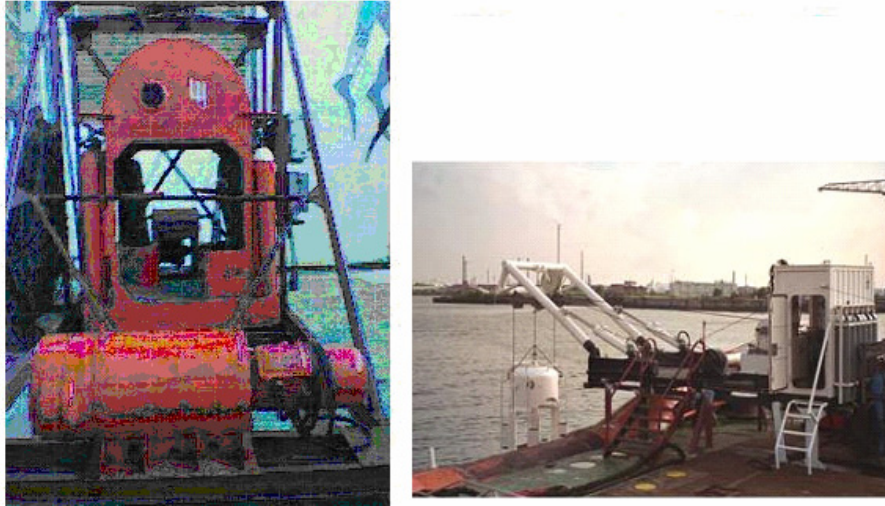


Figura 4. Turelă deschisă pentru scufundarea în sistem [21].

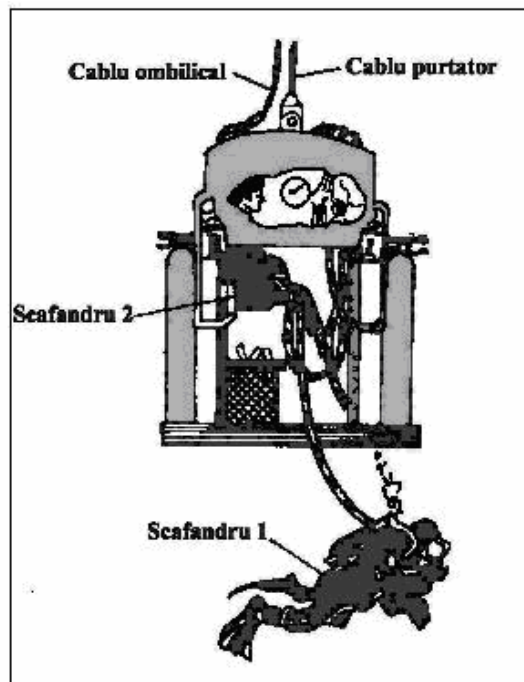


Figura 5. Schema de principiu al lucrului cu turelă deschisă, [21].

În turela deschisă iau loc de obicei doi scafandri. Aceștia respiră fie gazul aflat în partea de sus a turelei (cu condiția ca acesta să fie ventilat), fie gazul adus la mască.

Când evoluează în afara turelei, scafandrii respiră cu ajutorul unei narghilea. Metoda este relativ ieftină, în comparație cu sistemul turelă-cheson, pentru scufundările până la 90 m. Munca chesonistilor, figura 5, des utilizată la construcția picioarelor de pod, se efectuează în instalații asemănătoare principiului clopotului de scufundare.

Chesonistii lucrează fără echipamente speciale, fiind supuși totuși efectelor presiunii ridicate. Chesoanele, manevrate cu ajutorul unor macarale, sunt alimentate cu aer și energie electrică de la suprafață.

Ventilația este asigurată prin ieșirea liberă a aerului pe la partea inferioară deschisă. Comunicațiile se efectuează prin intermediul telefonului. Unele chesoane sunt legate printr-un tub cu un cheson de decompresie aflat la suprafață.

3.2.3. Scufundarea în sistem turelă – cheson

Scufundarea în sistem turelă - cheson este folosită în general pentru intervențiile la mare adâncime.

Metoda este următoarea:

1. Scafandrii sunt transportați la adâncimea de lucru cu un fel de lift numit turelă de scufundare (figura 6); aceasta este etanșă și cei din interior rămân la presiunea atmosferică;
2. Odată ajunși la fundul apei, scafandrii încep să presurizeze turela;
3. În momentul în care presiunea interioară devine egală cu presiunea hidrostatică a punctului de lucru, poarta inferioară a turelei se deschide; apa nu poate pătrunde în interior datorită presiunii gazului;
4. Scafandru iese din turelă.

Alimentarea cu gaz, cu energie electrică și comunicațiile sunt asigurate printr-o narghilea care face legătura între scafandru și turelă. După terminarea lucrului, scafandru reintră în turelă, se închide poarta și aceasta este readusă la suprafață figura 6.



Figura 6. Turelă de scufundare folosită în sistemul turelă-cheson [21].

În turelă rămâne presiunea de la adâncimea de lucru și se face cuplarea la chesonul de decompresie care este presurizat cu aer la adâncimea primului palier. Scafandrii decomprimă turela cu viteza cerută de tabel și, ajungând la primul palier, fac trecerea în cheson, unde au posibilitatea să stea culcați, să citească, să mănânce, să se spele etc.

Presiunea din cheson este scăzută apoi treptat conform tabelului de decompresie (la palierele de mică adâncime se respiră oxigen la măști speciale). Prin acest sistem se rezolvă problema schimbării gazului de respirat la diferite adâncimi, a frigului, a cantității mari de gaz necesar, a staționării îndelungate în apă.



Figura 7. Cheson de compresie - decompresie [21].

Chesonul de decompresie are funcția de a asigura decompresia scufandrilor după efectuarea unei scufundări, dar el poate servi și la tratamentul accidentelor de decompresie care se pot ivi fie în timpul decompresiei, fie după aceea, figura 7.

3.2.4. Scufundarea în saturație

Scufundarea în saturație este o scufundare în care expunerea scufandrilor la presiunea ambiantă, corespunzătoare adâncimii scufundării, este îndelungată, suficient de mare pentru ca țesuturile organismului să se satureze cu gazul, sau gazele inerte din componența amestecurilor respiratorii.

Scufundarea în saturație este caracterizată de următoarele elemente:

- timpul de compresie până la presiunea corespunzătoare nivelului de viață;
- nivelul de viață este presiunea din barocamere la care staționează scufandrii pentru odihnă;
- nivelul de lucru este presiunea corespunzătoare adâncimii șantierului subacvatic.

Scufundarea în saturație s-a impus odată cu dezvoltarea activităților submarine, când volumul de lucru sub apă a devenit important. Echipamentul

pentru scufundarea în saturație este mai complicat, datorită necesității menținerii scafandrilor în incinte închise la parametri atmosferici preciși, timp îndelungat.

Scufundările de mare adâncime (peste 180 m) sunt prin definiție scufundări în saturație. Nici nu rentează ca o scufundare la o asemenea adâncime care necesită timp de decompresie de ordinul zilelor și desfășurări de forțe importante, să fie făcute pentru o intervenție sub apă de scurtă durată.

Timpul de staționare la nivelul de lucru este limitat numai de oboseala scafandrilor. „Nivelul de lucru” este cu (10 - 20) m mai mare decât „nivelul de viață”.

Prin „nivel de viață” înțelegem adâncimea la care scafandri stau în cheson sau în casa submarină. Înainte de trecere la „nivelul de lucru” este necesară o perioadă de acomodare. Trecerea de la „nivelul de lucru” la „nivelul de viață” se face cu viteză constantă.

În timpul saturației, se poate trece de la „nivelul de viață” inferior la un altul superior, cu condiția ca viteza de urcare să fie în conformitate cu adâncimea parcursă. Înainte de trecerea de la „nivelul de lucru” la „nivelul de viață” scafandrul trebuie să stea o perioadă de timp T pentru acomodarea la noul „nivel de viață”. De asemenea, se poate trece de la un „nivel de viață” la un altul inferior cu condiția respectării vitezei de decompresie din tabel.

La decompresia de saturație nu ești presat de timp ca în cazul scufundării unitare. Dacă s-a întâmplat un incident, decompresia poate fi oprită și continuată ulterior. Așa ceva nu este posibil în scufundarea unitară, unde timpii de decompresie trebuie respectați cu strictețe, lungirea sau scurtarea palierelor nefiind permisă.

Un sistem de scufundare în saturație este compus de cele mai multe ori, din doua chesoane mari: unul pentru staționarea scafandrilor la „nivel de viață” și unul pentru urcare, un cheson de transfer și o turelă de scufundare cu sistemul ei de manevră. Chesonul de staționare cuprinde cușete pentru dormit, mese, scaune etc, figura 8. În această cameră hiperbară scafandri își petrec ce mai mare parte din timp și ea este dotată cu lampă pentru citit, difuzor, căști pentru ascultat muzică și buton de apel.



Figura 8. Interiorul unui cheson de staționare [21].

Folosirea acestor chesoane poate fi diferită, funcție de caracterul lucrării, de exemplu de numărul de echipe și de numărul scafandri care participă la lucrare cu tehnologia de lucru adoptată.

Turela transportă scafandrii în apă permițându-le să ajungă la locurile de muncă și asigurându-le acolo condițiile necesare supraviețuirii. Spre deosebire de scufundarea unitară turela pentru saturație este presurizată și depresurizată de la suprafață. Se exercită de personalul specializat de la suprafață un control strict al manevrelor, al presiunii, al calității amestecurilor de gaze.

Sistemul de scufundare în saturație este asemănător cu cel de scufundare unitară, însă mai complex. În primul rând trebuie asigurate condițiile tehnice menținerii unei presiuni parțiale constante. Trebuie asigurată de asemenea o decompresie foarte lentă de ordinul 1 m la 30 minute, ceea ce nu este ușor de realizat.

În spațiul din interiorul chesoanelor, umiditatea, temperatura, concentrația de CO₂ sau de CO trebuie menținute între și sub anumite limite.

Un șantier de scufundare în saturație este o întreprindere complexă din punct de vedere tehnic și uman. Pentru ca doi oameni să lucreze efectiv în apă este nevoie de o echipă complexă formată din scafandri, chesonisti, șef de scufundare, șef de șantier, medici și asistenți medicali, echipaj de navă, echipă de urmărire și de intervenție de la mal. Inginerii, tehnicienii, scafandrii, muncitorii, medicii, marinarii etc. lucrează cu o tehnică dintre cele mai avansate pentru a asigura ca doi oameni să asambleze, de exemplu, o vană la 200 m adâncime.

3.3. Scufundarea simulată

Principala problemă care se pune în timpul unei scufundări la mare adâncime este cea a presiunii la care este supus corpul omenesc. Pentru a studia efectele presiunii asupra organismului, nu este întotdeauna nevoie ca acesta să fie scufundat. Dacă scafandrul intră într-o incintă presurizată, se creează din punct de vedere al presiunii, aceleași condiții ca și în adâncul mării. Mai mult, pentru a simula și mai bine condițiile reale (vizibilitate, temperatură etc) se pot presuriza rezervoare suficient de mari umplute până la un anumit nivel cu apă. Scafandrul echipat complet, pătrunde în apă unde are create aproape toate condițiile fizice și, uneori, și psihice pe care le întâmpină la o scufundare reală.



Figura 9. Centrul de experimentări hiperbare, [77].

La ora actuală există în lume mai multe centre de experimentări hiperbare. În Europa cele mai moderne se află în Germania și România.

Un centru modern de experimentări hiperbare, figura 9, este compus din următoarele elemente principale:

- ❖ un grup de chesoane pentru scafandrii, dintre care unul proiectat pentru a putea fi umplut parțial cu apă; temperatura apei din cheson poate fi variată în așa fel încât să se poată simula cât mai bine condițiile reale din apă; costumele cu care intră scafandrii pot fi încălzite cu apă caldă de la o caldarină (instalație de încălzit apă) exterioară;

- ❖ un sistem de regenerare a atmosferei din chesoane, care are posibilitatea să vehiculeze gazul la presiunea maximă de scufundare simulată; acesta este trecut prin filtru de calce sodată și cărbune activ, pentru eliminarea bioxidului de carbon și a mirosurilor; umiditatea și mai ales temperatura sunt menținute între limite stricte;

- ❖ mai multe tablouri de comandă și control a presiunii și a calității gazelor din interiorul chesoanelor; comunicațiile și supravegherea sunt asigurate prin aparate de decodificat vocea și prin camere de luat vederi;

- ❖ stație de stocare și de fabricare a amestecurilor de gaz, care cuprinde butelii, compresoare, supresoare, tablouri de manevră etc;

- ❖ chesoane special amenajate pentru experiență pe animale;

- ❖ aparatură medicală.

În centrele hiperbare se pot efectua tratamente ale scafandrilor, antrenamente, teste ale aptitudinilor de scufundare, experiențe științifice, probe ale diferitelor aparate de scufundare și scule pentru lucru sub apă.

În România, recordul la scufundări simulate a fost în anul 1984 la o adâncime de 500 m. Ea a durat 14 zile, din care trei zile a durat compresia și din ziua a 6 a început decompresia.

ANEXA 2

TERMINOLOGIE DE SCUFUNDARE

Absorbția luminii: Fenomen de pierdere a energiei razelor luminoase prin transformarea lor în căldură în timpul traversării unui strat de apă.

Accident de scufundare: Eveniment fortuit specific meseriei de scafandru, provocat în condițiile lucrului la presiune ridicată. Accidentele de scufundare pot fi: fizico - mecanice (barotraumatisme, colici, suprapresiune pulmonară, ventuză, urcare în balon), biofizice (de decompresie), biochimice (criză hiperoxică, narcoză a azotului, intoxicație cu bioxid de carbon, sindromul nervos al marilor adâncimi), diverse (hidrocuție, înec, șoc exploziv, agresiune biologică, contaminare, etc).

Accidentele fizico-mecanice sunt cauzate de variațiile de volum determinate de variațiile presiunii (sau adâncimii), conform legii Boyle - Mariotte: $pV = \text{const.}$ Corpul omenesc conține mai multe cavități pneumatice care, atunci când deformarea lor este împiedicată pot suferi leziuni sau cauza dureri.

Accidentele biofizice sunt provocate de microbulele ce se formează odată cu eliminarea gazului inert din țesuturi în timpul urcării la suprafață, datorită scăderii presiunii. Aceste accidente sunt cele mai frecvente, manifestându-se sub diferite forme: mâncărimi, epuizare, dureri articulare, paralizii și chiar moartea scafandrului.

Accidentele biochimice sunt cauzate de toxicitatea gazelor din amestecul respirator și se manifestă în momentul depășirii unor anumite presiuni parțiale specifice fiecăruia dintre ele, efectul fiind cu atât mai pronunțat cu cât abaterea față de valorile normal fiziologice este mai mare.

Accidentele diverse, deși nu sunt provocate de efectele presiunii crescute, apar ca o consecință a specificului muncii sub apă.

Acustică submarină: Studiul producerii, propagării și recepționării sunetelor în mediul acvatic.

Aliniator de țevi: Utilaj subacvatic complex, funcționând pe principiul clopotului de scufundare, utilizat pentru alinierea, poziționarea și sudarea în atmosferă hiperbară uscată a conductelor petroliere submarine.

Amestec respirator: Compoziție gazoasă omogenă formată din unul sau două gaze neutre și oxigen, utilizată pentru respirația scafandrilor. Amestecurile respiratorii pot fi binare (N_2/O_2 ; He/O_2 ; H_2/O_2) sau ternare ($N_2/He/O_2$; $Ne/He/O_2$).

Aparat de scufundare în circuit deschis: Ansamblu de componente al echipamentului de scufundare, care permite scafandrului să respire sub apă, alcătuit din rezerva de gaz sub presiune (butelii) și detentorul care reduce presiunea gazului de la valoarea de stocaj la cea a mediului ambiant.

Apnee: Oprire voluntară a respirației.

Barocameră: Incintă rezistentă la presiune în care se efectuează scufundări simulate (teste, antrenamente, experiențe medicale, tratamente) sau reale, se probează aparate etc.

Batardou, batardouri: Dig, baraj (provizoriu) așezat în amonte de diverse lucrări de fundații, reparații etc. spre a seca terenul pe care se fac aceste lucrări;

Calce sodată: Substanță granulată formată dintr-un amestec de hidroxid de calciu și hidroxid de sodiu.

Centura de lestars: Componentă a echipamentului de scufundare utilizată pentru micșorarea flotabilității scafandului.

Cheson: Recipient etanș, solicitat la presiune interioară, utilizat pentru scufundări simulate sau reale, teste, antrenamente experiențe pe oameni sau animale, tratamente ale bolilor de decompresie etc.

Criză hiperoxică: Criză convulsivă ce apare atunci când subiectul a respirat un timp anumit un amestec respirator puternic hiperoxic (la o presiune parțială de oxigen mai mare de 1,7 bari).

Decodor de voce: Aparat care permite desfășurarea în bune condiții a comunicațiilor cu scafandrii aflați la mare adâncime, făcând inteligibilă vocea acestora, puternic modificată prin respirarea amestecurilor pe bază de heliu (efectul Donald Duck).

Decompresie: Scăderea presiunii de la valoarea adâncimii de lucru până la valoarea atmosferică sau, în unele cazuri speciale (saturație), până la o valoare intermediară.

Decompresimetru: Aparat portabil care indică scafandului, funcție de timpul de scufundare și adâncime durata decompresiei.

Flotabilitatea: Proprietatea unui corp de a pluti la suprafața apei sau la o anumită adâncime. Flotabilitatea este dată de diferența dintre forța de împingere Arhimedică și greutatea proprie.

Heliox: Amestec respirator sintetic format din heliu și oxigen.

Labe de înot: Componente ale echipamentului de scufundare utilizate pentru mărirea vitezei de deplasare a scafandului la suprafață și sub apă.

Largare: Operația de eliberare a unui lest detașabil.

Lestare: Operație de îngreunare voluntară pentru obținerea unei anumite flotabilități și/sau stabilități.

Lest: Greutate utilizată la lestarsa diferitelor obiecte subacvatice.

Manevra Valsalva: Operațiune executată de scafandrii pentru echilibrarea presiunii din urechea medie constând într-o încercare de suflare forțată a aerului pe nas, cu nările blocate. Prin această manevră, se realizează în căile respiratorii o suprapresiune ce poate deschide trompa lui Eustache atunci când ea nu este suficient de permeabilă pentru a permite echilibrarea spontană a presiunii din urechea medie.

Mască facială: Componentă principală a echipamentului de scufundare profundă având rolul de a asigura scafandului vizibilitatea sub apă, respirația (eventual recuperarea gazului expirat) și comunicarea cu suprafața.

Narcoza a azotului (Beția adâncurilor): Stare de euforie, asemănătoare beției alcoolice, produsă de respirarea aerului la o presiune relativă de peste 6 bari.

Narghileaua: Ansamblu de furtune, tuburi și cabluri electrice, legate între ele, la care se adaugă uneori o saulă sau un cablu de rezistență. Narghileaua servește la alimentarea scafandrilor cu aer, amestec respiratoriu, apă caldă, energie electrică, precum și la comunicații, măsurători ale adâncimii, analize de gaze.

Neopren: Material sintetic suplu, elastic și foarte bun izolator termic din care se confecționează costumele de scufundare.

Nitox: Amestec respiratoriu sintetic format din azot și oxigen.

Profundimetru: Instrument de măsură, purtat de scafandru, care indică adâncimea de scufundare. Profundimetrul este de fapt un manometru (cu membrană, tub Burdon, bulă de gaz) gradat în metri coloană de apă.

Rack (de butelii): Ansamblu de butelii legate între ele pentru a forma o rezervă de gaze mai importantă.

Saulă: Sfoară folosită în activități de scufundare cu dimensiuni cuprinse între (2 - 14) mm.

Scufundare cu turelă deschisă (bula): Scufundare efectuată după principiul clopotului de scufundare în care scafandru coboară sub apă cu ajutorul unei turele având la partea superioară o cantitate de aer (bulă).

Scufundare unitară în sistem turelă-cheson: Scufundare folosită în general pentru intervenții la mare adâncime. Metoda este următoarea: scafandrii sunt transportați la adâncimea de lucru cu un fel de lift numit turelă de acufundare; aceasta este etanșă și cei din interior rămân la presiunea atmosferică; odată ajunși la fundul apei încep să presurizeze turela; în momentul în care presiunea interioară devine egală cu presiunea hidrostatică, poarta inferioară se deschide; apa nu poate pătrunde în interior datorită presiunii gazului; scafandru iese din turelă; alimentarea cu gaz, cu energie electrică și comunicații sunt asigurate printr-o narghilea care face legătura între scafandru și turelă; după terminarea lucrului scafandru reintră în turelă; se închide poarta și aceasta este readusă la suprafață; în turelă rămâne presiunea de la adâncimea de lucru; se face cuplarea la chesonul de decompresie care este presurizat cu aer la adâncimea primului palier de scufundare; scafandrii decompimă turela cu viteza cerută de tabelul de scufundare și, ajungând la primul palier, fac trecerea în cheson, unde au posibilitatea să stea culcați, să citească, să mănânce, să se spele, etc. Presiunea din cheson este scăzută treptat conform tabelului de decompresie (la palierele de mică adâncime se respiră oxigen prin intermediul unor măști speciale). Prin această metodă se rezolvă problema schimbării gazului de respirat la diferite adâncimi, a frigului, a cantității mari de gaz necesare, a staționării îndelungate în apă.

Scufundarea în saturație: Scufundare în care țesuturile corpului scafandruului se saturează în gaz inert la presiunea de lucru.

Scufundarea simulată: Reprezintă modalitatea de reproducere la suprafață a condițiilor de presiune, temperatură, uneori psihologice din apă.

Surpresor: Mașină pneumatică utilizată pentru comprimarea oxigenului sau a altor gaze pure de la presiunea minimă de (20 - 25) bari până la 200 bari.

Tabelă de decompresie: Program conform căruia scafandrii execută urcarea la suprafață (revenirea la presiunea atmosferică normală) în scopul evitării accidentelor de scufundare.

Vesta de salvare: Accesoriu al echipamentului de scufundare utilizat în principal pentru urcarea rapidă la suprafață în caz de urgență.