

SUDAREA SUBACVATICĂ

BUȘEU¹ Iulian-Răzvan¹

¹Facultatea: IMST, Specializarea: IMC, Anul de studii: I, e-mail: iulian.razvan97@gmail.com

Conducător științific: Conf.dr.ing. **Oana CHIVU**, Conf.dr.ing. **Claudiu BABIS**

REZUMAT: Sudarea ca și procedeu tehnic este prezentă astăzi în toate sectoarele industriale. Datorită utilizării sale la nivel global ea este considerată de neînlocuit. Începând cu perioada anilor 1800, când a fost descoperit principiul de sudură așa cum îl știm în ziua de azi, au fost dezvoltate diferite procedee și tehnici de sudură care asigură îndeplinirea cerințelor de calitate la cele mai înalte standarde. De obicei procedeul de sudură se desfășura la presiunea atmosferică, însă în ultimul timp datorită necesității, au apărut metode de sudura sub apă sau chiar în vid.

CUVINTE CHEIE: sudare, presiune atmosferică, mediu activ, ductilitate.

1. Introducere

Sudarea în mediul acvatic se realizează sub nivelul apei fiind identică ca și procedeu cu cea din mediul uscat, și constă în alăturarea a două piese metalice prin încălzire locală. Este procedeul cel mai cunoscut pentru întreținerea, controlul și repararea instalațiilor, conductelor și a navelor, a construcțiilor și structurilor metalice imersate de importanță deosebită în industria petrolieră și navală.

2. Stadiul actual

La începutul aplicării sudării subacvatice rezultatele au fost relativ scăzute, sudura prezentând defecte precum porozitate excesivă iar caracteristicile mecanice precum ductilitatea au fost scăzute. Realizarea sudării subacvatice a prezentat o mare motivație economică deoarece aceasta elimină necesitatea ridicării la suprafață a structurilor ce funcționau în apă precum navele, docurile sau conductele, ca urmare s-au efectuat cercetări în diferite centre din întreaga lume iar astăzi este posibilă obținerea unor suduri de calitate corespunzătoare prin utilizarea în primul rând a sudării în mediu uscat (hiperbară).

Pentru sudarea sub apă se folosesc surse de curent continuu de max. 500 de amperi, cabluri electrice, accesorii și scule, tot ceea ce se folosește și pentru sudarea realizată la suprafață.

Operația de sudare sub apă se poate efectua în două moduri diferite:

-în mediu umed – caz în care procedeul de sudare se realizează în contact direct cu apa la presiunea ambientală, atât sudorul cât și procesul de sudare aflându-se sub apă.

-în mediu uscat (sudare hiperbară) – caz în care atât sudorul cât și procesul de sudare se află într-un spațiu uscat protejat de contactul cu apa.

3. Sudarea în mediu umed

Pentru acest tip de sudare sudorul trebuie să fie calificat și echipat ca scafandru (vezi fig.1). Aceasta are un grad ridicat de mobilitate și poate fi folosită până la o adâncime de 450 de metri. În general se realizează folosind un procedeu de sudare cu arcul electric sau sudarea manuală cu electrod învelit și, mai ales în ultimii ani, sudarea MIG/MAG, [2].

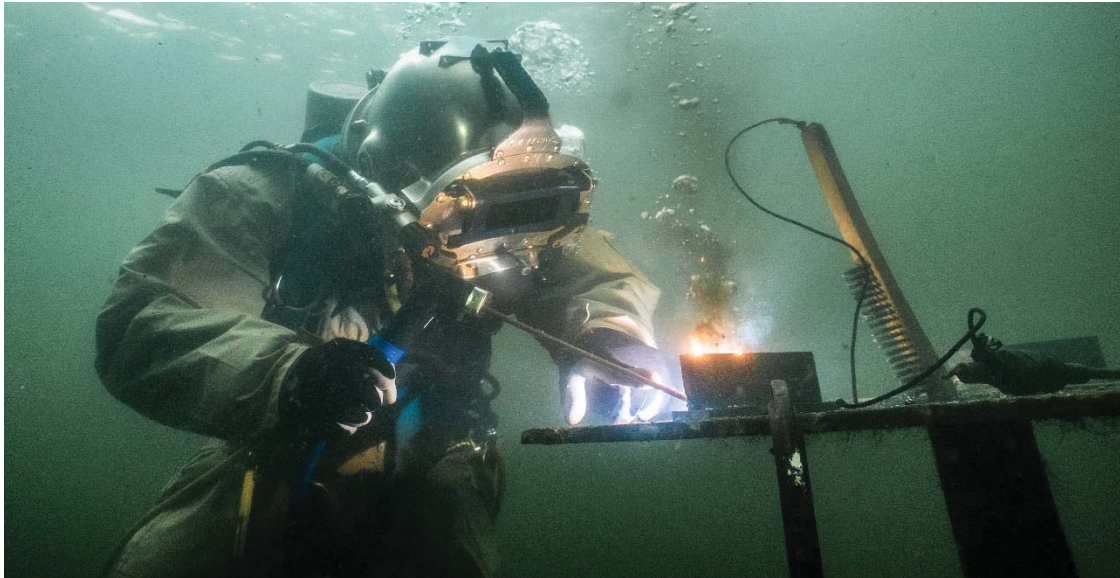


Fig. 1 Scafandru sudor [10]

La realizarea operației de sudare electrică sub apă, prezintă o deosebită importanță procesele chimice, fizice și tehnologice care au loc în timpul acestei operații.

Procesele chimice sunt reprezentate de:

- influența salinității apei – procesul de sudare în apă sărată are o desfășurare mai stabilă decât în apă dulce, stabilitatea procesului de sudare subacvatică crește cu mărirea salinității apei;
- interacțiunea cu oxigenul;
- interacțiunea cu hidrogenul.

Procesele fizice sunt:

- existența pungii de gaze, creată de arcul electric subacvatic;
- influența vitezei de răcire;
- efectul adâncimii (presiunii hidrostatice), [3].

Procese tehnologice:

Sudabilitatea – este în funcție de mai mulți factori cum ar fi:

1. Condițiile de sudare:

- natura curentului electric: direct;
- tipul învelișului electrodului: rutilic, acid sau bazic;
- proprietățile substanței hidroizolante: etanșeitate, rigiditate, prezența elementelor ionizante;
- diametrul electrodului: maximum 4 mm;
- influența presiunii hidrostatice.

2. Procesele din zona topită:

- solidificarea: rapidă;
- pătrunderea: depinde de curentul de sudare și crește proporțional cu presiunea hidrostatică;
- defectele în cordon: incluziuni de zgură și pori, numărul porilor crește cu creșterea presiunii hidrostatice, iar la aceeași presiune depinde de intensitatea curentului de sudare, de natura și tipul substanței hidroizolante;

Avantajele sudării în mediu umed sunt:

- flexibilitate mare în aplicații, scafandru sudor putând interveni la porțiuni ale unei structuri imerse care nu pot fi sudate prin nici o altă metodă de sudare;
- cost redus, echipamentul utilizat fiind asemănător celui folosit la suprafață;
- mobilitate ridicată a scafandru sudor;
- timp scurt pentru executarea lucrărilor;
- libertate mai mare în alegerea metodologiei de reparat.

Dezavantajele sunt reprezentate de:

- calitatea mai scăzută a îmbinărilor realizate, aproximativ 60-80% față de cele obținute la suprafață;
- răcirea rapidă a băii metalice (de 10-15 ori mai mare decât în aer);
- crater mai profund decât la sudarea în aer, conducând la dificultăți de reamorsare;
- oxidarea puternică a elementelor de aliere (Mn, Si), [3].

4. Sudarea în mediu uscat

Sudarea în mediu uscat se utilizează la lucrările de sudare la care se cere o înaltă calitate a sudurii, cum ar fi cazul sudării conductelor submerse de înaltă presiune aflate la adâncime mare.

Sudarea în mediu uscat se efectuează în atmosferă uscată, fără apă, la presiune egală cu presiunea mediului acvatic exterior de la adâncimea de lucru.

Sudarea în mediu uscat în condiții hiperbare are loc într-un habitat imers uscat (vezi fig.2), complet închis, numit cheson de sudură, unde presiunea este egală cu presiunea mediului acvatic exterior la adâncimea de lucru.

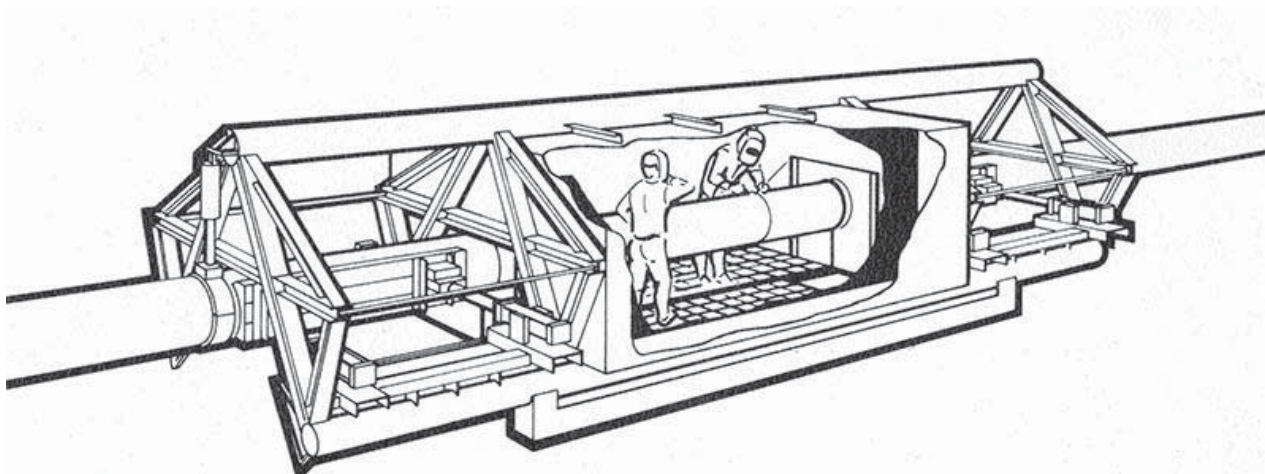


Fig. 2 Cheson de sudură [8]

Avantajele sunt:

- securitate sporită pentru scafandrii sudori prin asigurarea unui habitat uscat, încălzit, iluminat, cu sistem propriu de control al atmosferei;
- productivitate maximă datorită posibilității lucrului în schimburi;
- monitorizare de la suprafață privind pregătirea asamblării, alinierea secțiunilor, sudarea, controlul nedistructiv etc.;
- calitate a sudurii apropiată de cea realizată la suprafață;
- posibilitate de aplicare a preîncălzirii sau a tratamentului termic.

Dezavantajele sunt:

- echipamentul costisitor, de mare complexitate și greu de manevrat;
- durata mare de lucru;
- dacă condițiile meteorologice și starea mării sunt nefavorabile, desfășurarea operațiunii se face cu greutate, conducând chiar și la amânarea lucrărilor, [6].

Procedeele de sudare în atmosferă uscată pot fi:

- în mediu uscat, în condiții hiperbare;
- în mediu uscat, în condiții hiperbare, în minihabitat;
- în mediu uscat, efectuată la presiune atmosferică;
- cu uscarea locală.

5. Sudare în mediu uscat în condiții hiperbare

Sudarea hiperbarică în mediu uscat are loc într-un habitat imers, uscat, închis complet (vezi fig.2), unde presiunea este egală cu cea a mediului înconjurător, aceasta este folosită pentru adâncimi mai mari de 300 de metri.

Cele mai utilizate procedee de sudare în mediu uscat, în condiții hiperbare, sunt procedeele de sudare Wolfram-Inert Gas/Tungsten-Inert-Gas (WIG/TIG) și Metal-Inert-Gas (MIG).

Procedeul WIG (TIG) se utilizează la lucrările de sudare „cap-la-cap” ale conductelor magistrale submerse pentru sudarea rădăcinii și a stratului de normalizare, pentru acest tip de sudare se folosește un pistol tip WIG (vezi fig.3).

Procedeul de sudare WIG (TIG) este un procedeu la care arcul electric se menține cu un electrod nefuzibil de wolfram între piesa de sudat și o sârmă fuzibilă ce se introduce în zona arcului, [4].

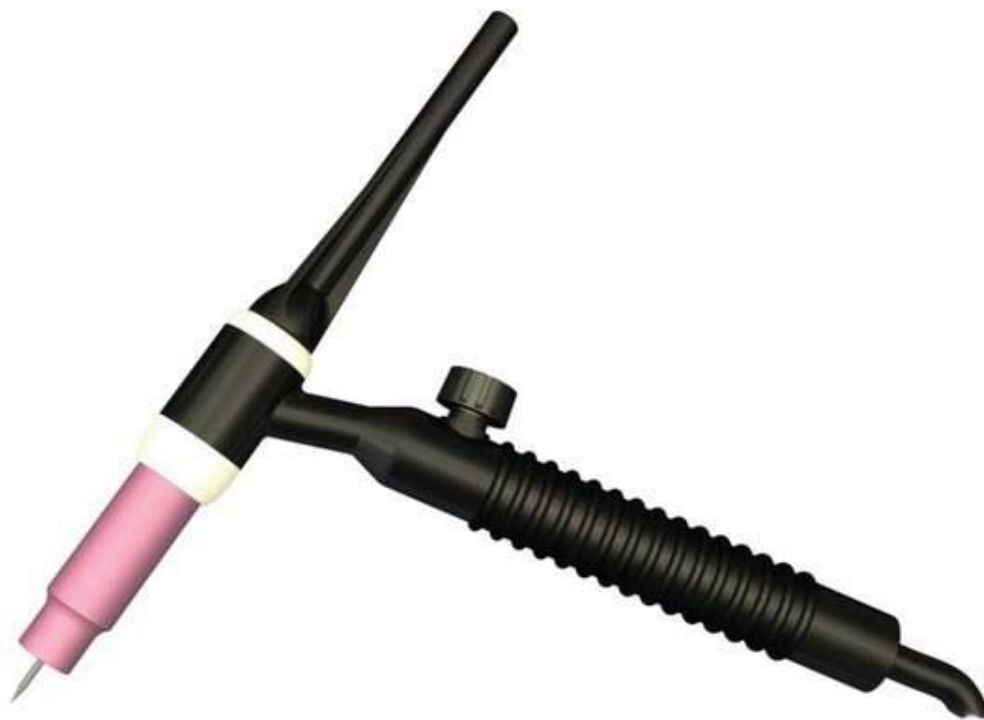


Fig. 3 Pistol tip WIG [11]

Sudarea MIG în condiții hiperbare este un procedeu la care timpul de sudare este mai mare, iar randamentul ceva mai ridicat decât al procedeelelor WIG sau TIG.

Utilizarea procedeeului MIG la adâncimi mici nu este rentabil deoarece arcul electric devine instabil. La adâncimi mai mari (peste 70 de metri) arcul electric este mult mai stabil, iar sudarea devine mai ușoară.

Procedeul de sudare MIG (Metal-Inert-Gas) este procedeu la care arcul electric se formează între piesa de sudat și o sârmă fuzibilă, derulată dintr-o bobină, care înaintează permanent în arcul electric, printr-un portelectrod special (vezi fig.4), [4].



Fig. 4 Pistolet tip MIG [9]

Electrozi, sârme-electrod, portelectrod și gaze de protecție:

Electrozii folosiți la procedeul WIG sunt din wolfram sau aliaje de wolfram, iar electrozii folosiți la procedeul TIG sunt pe bază de tungsten.

Compoziția chimică a sârmei pentru sudarea WIG/TIG și MIG se alege apropiată de cea a metalului de bază.

Sârmele electrod tubulare pentru sudarea în mediu uscat, în condiții hiperbare, sunt realizate dintr-un înveliș metalic umplut cu un amestec de materiale pulverulente care constituie miezul sârmei.

Portelectrodul pentru sudare WIG/TIG (vezi fig.3) este de construcție specială pentru a permite fixarea electrodului de wolfram sau tungsten.

Portelectrodul sau pistoletul pentru sudarea MIG (vezi fig.4) este de construcție specială pentru a permite trecerea prin interior a sârmei-electrod.

Utilizarea ca gaz de protecție a amestecului heliu-oxigen (heliox) și argon-oxigen (argonox), asigură protecție totală atât scafandrilor sudori cât și contra contaminărilor atmosferice. HELIOX și ARGONOX constituie atmosfere ideale pentru sudarea hiperbară uscată.

Sudare cu electrozi înveliți, în condiții hiperbare:

Sudabilitatea la sudarea manuală în mediu uscat, în condiții hiperbare, cu electrozi înveliți, poate avea următoarele caracteristici:

- creșterea presiunii ambiante de lucru conduce la degajarea unei mari cantități de fum;
- electrozii cu înveliș bazic dau un aspect plăcut cordoanelor de sudură;
- electrozii cu înveliș rutilic produc pori în metalul depus;
- pătrunderea crește o dată cu creșterea presiunii ambiante;
- creșterea presiunii ambiante de lucru conduce la modificarea compoziției chimice a sudurii;
- viteza de răcire crește o dată cu adâncimea de lucru;
- proprietățile mecanice ale sudurilor sunt egale sau slab inferioare celor efectuate la suprafață.

6. Sudare în mediu uscat, în condiții hiperbare, în minihabitat

Spre deosebire de sudarea în mediu uscat, în condiții hiperbare, efectuată într-un cheson, acest procedeu utilizează o instalație de tipul unui clopot sau turelă deschisă la partea inferioară. Clopotul poate fi construit în mai multe modele și mărimi conform configurației structurii metalice submerse la care se va

executa sudura. La acest procedeu, scafandru sudor se află în mediul umed, în apă, dispunând doar de spațiul lipsit de apă unde efectuează sudura uscată la o presiune egală cu presiunea ambiantă (minihabitatul se află în echipresiune cu mediul acvatic exterior).

În incintă este introdus aer sau un amestec de gaze (HELIOX, ARGONOX) la o presiune suficientă pentru evacuarea apei și obținerea mediului de sudare uscat.

Avantaje:

- un domeniu mai larg de aplicabilitate;
- accesibilitate la structuri imerse;
- calitatea îmbinării apropiată de cea realizată la suprafață;
- posibilitatea de aplicare a preîncălzirii sau a tratamentului termic.

Dezavantaje:

- vizibilitatea în zona de lucru este limitată;
- sudarea necesită un timp îndelungat pentru lansarea pe poziție;
- necesită dotarea cu o macara pentru manevrare[6].

7. Sudare în mediu uscat, efectuată la presiune atmosferică

Procedeul de sudare în mediu uscat, la presiune atmosferică, are loc în interiorul unei incinte special construite, menținută uscată la presiunea atmosferică, de 1 bar. Scafandru sudor dispune de toate condițiile pentru executarea unor suduri cu caracteristici mecanice similare celor executate la suprafață.

Acesta este aplicat la repararea conductelor submarine, la executarea de bransamente și la conectarea riser-ului la conducta submersă, la adâncimi cuprinse între 300 și 1000 de metri. Sudarea se poate executa în toate pozițiile, cu una sau mai multe treceri, [6].

Avantaje:

- calitatea bună a îmbinărilor sudate, condiții bune de lucru;
- posibilitatea aplicării preîncălzirii și a tratamentului termic.

Dezavantaje:

- echipamentul foarte complex, greu de manevrat și foarte costisitor;
- utilizarea unei nave suport prevăzută cu un sistem de scufundare la mare adâncime și cu instalații de aliniere și poziționare, durata mare de lucru și personal numeros;
- problemele de lansare pe timp nefavorabil sau la adâncimi mici unde este resimțită acțiunea valurilor;

8. Sudare cu uscure locală

Procedeul de sudare cu uscure locală se efectuează direct în apă, cu echipamente construite special, care îndepărtează apa din jurul arcului electric al sudurii.

Se utilizează instalații MIG/MAG adaptate pentru sudarea în mediu umed. Capul de sudare este de construcție specială, fiind prevăzut cu mai multe duze concentrice prin care se trimite un gaz de protecție (CO₂), aer comprimat încălzit și apă sub presiune pentru răcirea pistolului.

Aerul comprimat, uscat și încălzit, formează un ecran protector între apă și gazul de protecție. Zona uscată asigură diminuarea răcirii rapide a sudurii.

Procedeul utilizează componentele aflate la suprafață pe nava suport care sunt:

- sursa de curent,
- panoul de măsură și control,
- compresorul de aer,
- buteliile cu bioxid de carbon,
- componentele aflate sub apă, la scafandru sudor: capul de sudare, containerul etanș cu sârma-electrod de adaos plină sau tubulară, mecanismul de avans și pompa de apă.

Sudarea cu uscare locală oferă o calitate bună a sudurii, costul sudurii fiind același cu cel al sudurii efectuate în mediu umed cu electrozi înveliți. Procedul s-a realizat cu succes sub apă până la adâncimi de 30-40 de metri.

Avantajele sudării cu uscare locală sunt:

- necesită un echipament de sudare minimal;
- nu impune nici un fel de instalație auxiliară (cu excepția celor de scufundare);
- calitatea îmbinărilor sudate este bună;
- nu necesită echipament greu pentru ridicare;
- se obțin îmbinări sudate fără defecte și cu bune proprietăți mecanice.

Dezavantajele acestui procedeu sunt:

- probleme legate de alimentarea capului de sudare cu sârma electrod, cu gaze și apă sub presiune (fumul și aburul reducând vizibilitatea), [1].

9. Echipament

Echipamentul care se utilizează pentru sudarea pe uscat este utilizat și la sudarea subacvatică în mediu umed: sursa de curent electric, cabluri electrice, electrozi, portelectrod și accesorii.

Se utilizează numai surse de curent continuu de maximum 500 de amperi. Arcul arde mai stabil la folosirea curentului continuu decât în cazul curentului alternativ, deoarece curentul continuu descompune apa în ioni înaintea amorsării arcului.

Sursele de curent continuu pot fi generatoare de sudare antrenate de motoare electrice sau de motoare cu ardere internă.

Pentru conducerea curentului electric la portelectrod și la clemele de contact ale piesei de lucru, se folosesc cabluri flexibile de sudare din cupru, de construcție multifilară din sârme foarte subțiri de 0,2 milimetri în diametru, acoperite cu o înfășurare din fire de bumbac și izolație de cauciuc, peste care se aplică o pânză cauciucată și o îmbrăcămintă cu manta din cauciuc, [4].

Electrozii pentru sudare subacvatică au vergeaua metalică din oțel cu conținut redus de carbon (0,1%). Diametrul electrozilor este de 4-6 milimetri, lungimea de 350-450 milimetri, iar grosimea învelișului este de 0,2-0,25 milimetri. Pentru a proteja electrozii înveliți de apă, pe suprafața învelișului se aplică, prin impregnare sau imersare, o peliculă hidroizolantă. Substanțele utilizate pot fi parafină, celuloid dizolvat în acetonă, bitum, lac de cauciuc, diverse vopsele, lacuri pe bază de nitroceluloză, lacuri cu glicerină, policlorură de vinil și rășini [4].

Portelectrodul servește la prinderea electrodului. În ultimul timp sunt tot mai des folosiți portelectrozii combinați, folosiți atât pentru sudură cât și pentru tăiere (oxi-arc sau electrică), prin utilizarea unei mandrine interschimbabile. Portelectrozii pentru sudare trebuie să îndeplinească anumite condiții cum ar fi:

- să fie etanș;
- să permită o bună manevrabilitate;
- să permită fixarea lejeră și sigură a electrodului;
- să asigure o legătură electrică corespunzătoare.

La echipamentul de bază, sunt necesare o serie de accesorii și scule:

-cleva de contact – servește la conducerea curentului electric de la sursa de curent la piesa de lucru sub apă;

-întrerupătorul cu pârghie- permite cuplarea și decuplarea rapidă a sursei electrice, la cererea scafandrului sudor;

-peria de sârmă din oțel – este utilizată pentru curățarea suprafeței de rugină sau de depuneri marine; poate fi manuală sau acționată mecanic (pneumatic sau hidraulic);

- filtrul din sticlă colorată – este utilizat pentru protecția ochilor, [4].

10. Controlul îmbinărilor sudate sub apă

Controlul îmbinărilor sudate sub apă reprezintă o etapă necesară după efectuarea sudurii subacvatice. La sudarea subacvatică principala metodă este controlul nedistructiv (N.D.T.).

Înainte de aceste operații, se efectuează o curățire a locului până la luciul metalic folosind diverse unelte subacvatice speciale acționate pneumatic sau hidraulic.

Metodele de control nedistructiv folosite sunt:

-radiații penetrante – cu raze X sau gamma;

-ultrasunete – care se face cu ajutorul aparatelor de examinare cu ultrasunete.

Dacă piesa sudată subacvatic poate fi scoasă și uscată se mai pot aplica:

-lichide penetrante – care constă în aplicarea unui lichid capilar activ penetrant pe suprafața de examinat, îndepărtarea penetrantului rămas în afara discontinuităților și aplicarea unui material absorbant, ce absoarbe penetrantul aflat în discontinuități punând astfel în evidență, prin contrast, defectele existente; această metodă se aplică pentru depistarea defectelor de suprafață;

-particule magnetice – constă în magnetizarea piesei de examinat și aplicarea unor particule magnetice ce se vor “depune” în zonele de scăpări ale câmpului magnetic.

Clasele de calitate ale îmbinărilor sudate, pe baza metodelor de control nedistructiv sunt următoarele:

-clasa I, cu defecte interioare ce se determină cu radiații, cele exterioare vizual, cu lichide penetrante și cu pulberi magnetice; se admite controlul în proporție de 50% pentru detectarea defectelor interioare și de 100% pentru detectarea defectelor exterioare;

-clasa a II-a la care se admite controlul interior de 25% și cel exterior de 100%;

-clasa a III-a la care se admite controlul interior de 10% și cel exterior de 100%;

-clasa a IV-a la care nu se face controlul interior, iar cel exterior trebuie să fie de 100%, [5].

11. Riscuri

Riscurile la care este expus sudorul în timpul procesului de sudare în mediu umed sunt:

-riscul la electro șoc, pentru evitarea acestui pericol sudorul trebuie să aibă echipamentul izolat corespunzător;

-trebuie luate măsuri de precauție pentru a evita depunerea pungilor de gaz care sunt potențial explozive;

-riscul la strivire, înecare și expunerea scafandrului sudor la diferite creaturi marine ce îi pot pune viața sau sănătatea în pericol, [5].

12. Concluzii

În momentul actual sudarea este un procedeu tehnic de neînlocuit în toate sectoarele industriale, sudarea subacvatică are o puternică implicație practică și economică în procesele de întreținere, control și reparație a instalațiilor și a structurilor metalice ce funcționează sub apă.

Deși s-au făcut cercetări în acest domeniu, iar procedeele de sudare s-au dezvoltat și îmbunătățit semnificativ, acest procedeu tehnologic nu este perfect deoarece încă există riscuri în ceea ce privește personalul ce execută lucrarea iar calitatea sudurii încă mai poate fi dezvoltată și perfecționată.

Viitoarele cercetări și dezvoltări în domeniu promit îmbunătățirea acestui procedeu prin automatizarea operațiilor cu ajutorul roboților ce vor reduce anumite riscuri și vor aduce îmbunătățiri în ceea ce privește calitatea sudurii și timpul de execuție, de asemenea se fac cercetări pentru dezvoltarea unor noi tehnici de sudare, și aplicarea acestora, sau a unor procedee deja existente precum sudarea prin frecare sau sudarea prin explozie, în mediul subacvatic.

13. Bibliografie

[1]. Angheloa, N., Matragoci, C., Grigoraș, A., Popovici, V., (1982), *Sudarea în mediu de gaze protectoare*, Editura Tehnică, București.

- [2]. Dinu Dumitru, Vlad Constantin, (1986), *Scafandri și vehicule subacvatice*, Ed. Științifică și Enciclopedică, București.
- [3]. Iacobescu, G., Solomon, G.H., Tonoiu, I., (1999), *Procedee și tehnologii speciale de sudură*, Editura Bren, București.
- [4]. Ștefan Georgescu, Mircea Degeratu, Sergiu Ioniță, (2004), *Lucrări subacvatice realizate cu scafandri. Scule, unelte și utilaje pentru lucrul sub apă. Tăiere și sudare subacvatică*, Ed. Matrixrom, București, ISBN 973-685- 816-2.
- [5]. Ștefan Georgescu, Mircea Degeratu, Sergiu Ioniță, (2005), *Lucrări subacvatice realizate cu scafandri. Control nedistructiv și utilizare de explozivi sub apă. Lucrări tehnice sub apă*, Ed. Matrixrom, București.
- [6]. Veronica-Gabriela Chirea, (2006), *Tehnologii speciale de sudare. Sudarea subacvatică*, Editura PERPESSICIUS, București, ISBN:10-973-8477-66-2.
- [7] *Prescripții privind sudarea și tăierea sub apă*. R.N.R. 48-86, București, 1986.
- [8] Waterwelders.com
- [9] Onlineweld.com
- [10] Diversinstitute.edu
- [11] Mazoonwelds.wordpress.com.

14. Notații

Următoarele simboluri sunt utilizate în cadrul lucrării:

WIG = Wolfram-Inert-Gaz

TIG = Tungsten Inert Gaz

MIG = Metal Inert Gaz

MAG = Metal Activ Gaz

N.D.T = NonDestructive Testing (control nedistructiv).