



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
Universitatea POLITEHNICA din București
Școala Doctorală de Inginerie Industrială și
Robotică

Doctorand:

Ing. Dipl. Andrei MITRU

-REZUMAT-

TEZĂ DE DOCTORAT

Cercetări privind sudarea robotizată a pieselor complexe agabaritice

Coordonator științific,

Prof. univ. habil. dr. ing.ec.mat. Augustin SEMENESCU (UPB)

-2022-

CUPRINS

INTRODUCERE	5
1. STADIUL ACTUAL PRIVIND SUDAREA ROBOTIZATĂ	6
1.1. INTRODUCERE	6
1.1.1. Generalități despre procedeele de sudare	6
1.1.2. Adaptarea roboților pentru procesul de sudare robotizată	7
1.2. SUDAREA CU ARC ELECTRIC ÎN ATMOSFERĂ DE GAZ PROTECTOR CU ELECTROD NEFUZIBIL (GTAW)	7
1.3. SUDAREA CU ARC ELECTRIC ÎN MEDIU PROTECTOR CU ELECTROD FUZIBIL (GMAW)	8
2. STUDIU DE CAZ PRIVIND SUDAREA ROBOTIZATĂ A UNUI SISTEM FLANȘĂ - ȚEAVĂ	9
2.1. INTRODUCERE	9
2.2. PROIECTAREA CONSTRUCTIVĂ ȘI TEHNOLOGICĂ	9
2.2.1. Proiectarea piesei	9
2.2.2. Proiectarea dispozitivului	10
2.2.2.1. Definirea cerințelor	10
2.2.2.2. Obținerea și analiza informațiilor	10
2.2.2.2.1. Specificațiile mașinii	10
2.2.2.2.2. Specificațiile piesei	11
2.2.2.3. Analiza tehnologică a variantelor constructive	11
2.2.2.3.1. Componenta de fixare a flanșei	11
2.2.2.3.2. Dispozitivul C	11
2.3. ANALIZA FUNCȚIONALĂ A ANSAMBLULUI TEHNOLOGIC PENTRU SUDARE	12
2.3.1. Fabricarea dispozitivului	12
2.3.1.1. Componenta de fixare	12
2.3.1.2. Corpul dispozitivului	12
2.3.2. Programarea	13
3. CERCETĂRI PRIVIND ROBOTIZAREA PROCESULUI DE SUDARE A ANSAMBLULUI „SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ MULTIFASCICOL AGABARITIC”	13
3.1. INTRODUCERE	13
3.2. DESCRIEREA ANSAMBLULUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ	14
3.3. MATERIALE UTILIZATE ÎN REALIZAREA ANSAMBLULUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ	15
3.3.1. Oțelul inoxidabil 1.4306	15
3.3.2. Aliajul pe bază de cupru Cu 99,9	16

3.4.CERCETĂRI EXPERIMENTALE DE SUDARE GTAW ROBOTIZATĂ A UNUI ANSAMBLU “SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ” LA SCARĂ REDUSĂ.....	17
3.4.1. Definirea punctelor în cadrul sistemul robotic.....	17
3.4.2. Rezultatele experimentale pe epruveta test nr. 9 sudată cu parametri optimi obținuți din rezultatele anterioare.....	18
4. CARACTERIZAREA MICROSTRUCTURALĂ A ÎMBINĂRILOR SUDATE.....	19
4.1. INTRODUCERE	19
4.2. METODE	19
4.3. REZULTATE OBȚINUTE.....	20
4.3.1. Realizarea probelor sudate.....	20
4.3.2. Testarea calității sudurilor	21
4.4. ANALIZA MICROSTRUCTURII ZONEI DE ÎMBINARE	22
5. CONTRIBUȚII PRIVIND PROIECTAREA PROCESULUI DE SUDARE ROBOTIZATĂ GTAW PENTRU UN SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ AGABARITIC	23
5.1. INTRODUCERE	23
5.2. PROIECTAREA ȘI EXECUȚIA DISPOZITIVULUI “AMIFIX” DE CENTRARE ȘI FIXARE A ANSAMBLULUI PE MASA ROTATIVĂ A SISTEMULUI ROBOTIC PENTRU REALIZAREA CIRCULARITĂȚII ȘI A PLANEITĂȚII.....	24
5.2.1. Definirea cerințelor dispozitivului de centrare și fixare	24
5.2.2. Specificațiile ansamblului schimbător de căldură	24
5.2.3. Concepte de realizare a dispozitivului de centrare și fixare pentru ansamblul schimbător de căldură.....	25
5.3. SUDAREA ROBOTIZATĂ PILOT A ANSAMBLULUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ	26
5.3.1. Implementarea softului de sudare a unei țevi în consola robotului.....	26
5.3.2. Simularea procesului de sudare pilot.....	27
5.3.3. Verificarea softului și a procesului de sudare robotizată prin sudarea pilot a unui șir circular de țevi pe placa tubulară.....	27
5.4. PRIMA VARIANTĂ DE SUDARE ROBOTIZATĂ A ANSAMBLULUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ.....	28
5.4.1. Algoritm de principiu, simularea procesului de sudare și sudarea piesei	28
5.4.2. Interpretarea și validarea procesului de sudare robotizat in prima variantă	29
5.5. ÎMBUNĂTĂȚIRI ADUSE PROCESULUI DE SUDARE ROBOTIZAT AL ANSAMBLULUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ.....	30
5.6. IMPLEMENTAREA CODULUI ÎN COMPONENTA SOFTWARE A SISTEMULUI ROBOTIC	31
5.6.1. Primul program software al consolei sistemului robotic.....	31

5.6.2.	Al doilea program software al consolei sistemului robotic.....	32
6.	MANAGEMENTUL PROCESELOR DE SUDARE.....	32
6.1.	INTRODUCERE	32
6.2.	MANAGEMENTUL FABRICĂRII STRUCTURII SUDATE.....	33
6.2.1.	Prezentarea fluxurilor necesare realizării produsului sudat.....	33
6.3.	CALCULELE ECONOMICE PRIVIND EVALUAREA PROCESELOR DE SUDARE PENTRU DEFINIREA UNEI METODE OPTIME	35
6.4.	METODA ELECTRE	36
6.5.	ANALIZA SWOT.....	37
6.5.1.	Metoda de lipire cu LP60	37
6.5.2.	Metoda de sudare GTAW.....	37
7.	CONCLUZII GENERALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.....	39
7.1.	CONCLUZII GENERALE.....	39
7.2.	CONTRIBUȚII ORIGINALE.....	39
7.3.	DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE.....	40

INTRODUCERE

În cadrul problemelor de producție ale INCD Turbomotoare Comoti care solicitau într-un număr ridicat execuția ansamblului schimbător de căldură, componentă a unui compresor centrifugal de aer industrial (CCAIE), s-a constatat că prin tehnologia existentă de lipire nu se pot executa mai mult de 12 bucăți pe an.

Analiza factorilor de decizie a condus la necesitatea schimbării tehnologiei de realizare a schimbătorului de căldură, identificându-se o nouă soluție: sudarea GTAW.

Noua tehnologie de realizare a ansamblului schimbător de căldură aferent unui compresor centrifugal de aer CCAIE care constă în înlocuirea lipirii cu sudarea GTAW a fost determinată de considerente tehnice și economice. În urma înlocuirii lipirii cu sudarea se reduce timpul de realizare a produsului final cu 25% și se obține o scădere a costurilor de execuție cu 15%.

Diferența principală între cele două procese, lipirea și sudarea GTAW, este constituită de utilizarea materialului de adaos în cazul lipirii și lipsa utilizării materialului de adaos în cazul sudării GTAW.

Prin modificarea tehnologiei de realizare a schimbătorului de căldură, capacitatea de producție și posibilitatea de onorare a comenzilor institutului au crescut la 15 bucăți pe an.

Modificarea tehnologiei de realizare a ansamblului schimbător de căldură, după analiza tehnică și economică nu a asigurat acoperirea în totalitate a comenzilor primite de institut. Aceasta consecință a generat necesitatea unei noi abordări a problemei. Singura soluție care putea rezolva situația creată a fost implementarea unui proces de sudare GTAW robotizată.

Prin noua abordare tehnologică, capacitatea de producție și posibilitatea de onorare a comenzilor institutului au crescut la 45 bucăți pe an.

Dintre obiectivele principale ale acestei teze de doctorat se amintesc:

- Analiza unui studiu de caz care să stabilească direcțiile tezei de doctorat prin identificarea unei piese care poate fi sudată robotizat, în acest caz schimbătorul de căldură aferent unui compresor centrifugal de aer (CCAIE).
- Proiectarea unui dispozitiv poziționare, fixare și suport care să permită sudarea robotizată a schimbătorului de căldură.
- Implementarea unor programe software pentru realizarea procesului de sudare robotizat.
- Realizarea unor teste de verificare și confirmare ale procesului de sudare robotizat cu dispozitivul de fixare proiectat și programul software implementat.
- Efectuarea unor analize metalografice SEM, EDAX elaborate pe epruvete din piesa test.
- Aplicarea noului proces tehnologic pentru producția de serie numai după confirmarea controlului dimensional și a testului de presiune pentru prima piesă conform cerințelor din desenul de execuție.
- Analizarea costului de producție a piesei realizate prin sudarea robotizată comparativ cu sudarea manuală.

CAPITOLUL I

1. STADIUL ACTUAL PRIVIND SUDAREA ROBOTIZATĂ

1.1. INTRODUCERE

Schimbările dinamice ale pieței și concurența existentă determină compatibilitatea cu producția de serie mică și mijlocie. În acest context, se remarcă industria de sudare robotizată care deține o bună rentabilitate din punctul de vedere al costului pe unitate al unei piese comparativ cu realizarea sudării manuale sau cu realizarea sudării automatizate. [1]

Rentabilitatea este evidențiată în fig.1, unde este realizată o analiză în volum de producție a costurilor unei piese pentru cele trei tipuri de sudări: manuală, automată și robotizată.

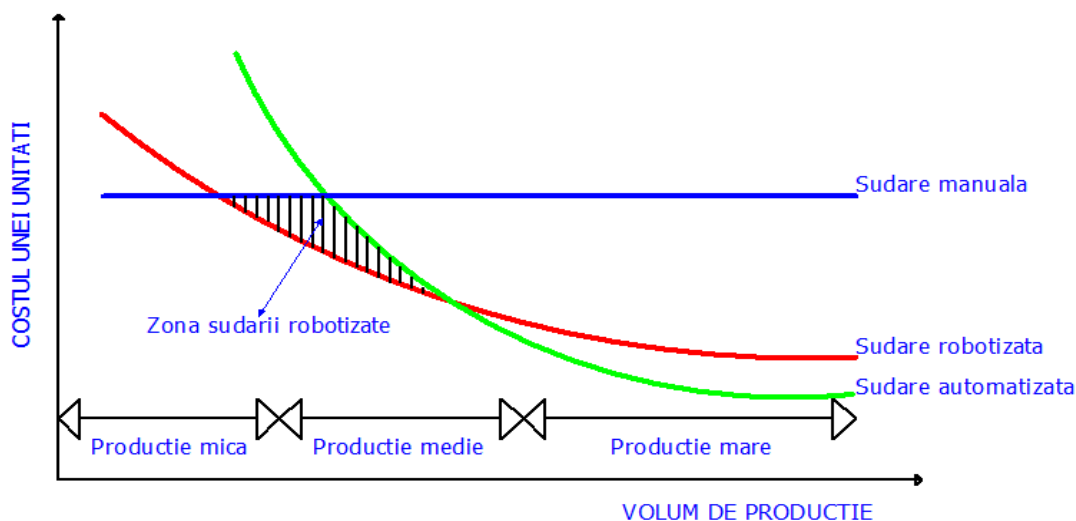


Figura 1 - Zona de aplicare a sudării robotizate.

1.1.1. Generalități despre procedeele de sudare

Cele mai utilizate procedee de sudare cu arc electric sunt :

- GTAW - sudarea cu arc electric în atmosferă de gaz protector cu electrod nefuzibil;
- GMAW - sudarea cu arc electric cu electrod fuzibil în mediu de gaz protector inert/activ .

Sudarea cu arc electric în atmosferă de gaz protector cu electrod nefuzibil (GTAW) este procesul în care între un electrod nefuzibil și metalul de bază se crează un arc electric. Acest procedeu de sudare mai este cunoscut ca și tungsten inert gaz (TIG) sau wolfram inert gas (WIG) intrucât electrodul nefuzibil este din tungsten/wolfram cu puritatea de 100% sau tungsten/wolfram in aliaj cu thoriu, ceriu, lantan sau zirconiu din considerentul de a avea o

temperatură de topire cât mai mare (peste 3400 C). Temperatura înaltă a electrodului reduce posibilitatea de contaminare accidentală a băii de metal topit.

Pentru a fi evitată contaminarea băii de metal topit în timpul sudării de către elemente din mediul ambiant (oxigen, carbon, hidrogen, azot), este folosit un gaz de protecție. Cel mai utilizat gaz de protecție este argonul și amestecurile de gaze pe bază de argon (ex. argon+hidrogen). Trebuie precizat că în țările în care există rezerve masive de Helium se utilizează acest gaz (ex. SUA) din considerente economice.

1.1.2. Adaptarea roboților pentru procesul de sudare robotizată

Necesitatea unui produs înalt calitativ și cerința de a reduce cât mai mult costurile impune folosirea unui robot în procesul de producție. Apariția roboților manipulanți în industrie a determinat introducerea lor în procesul de sudare urmărindu-se astfel îmbunătățirea acestuia. Caracteristicile roboților manipulanți sunt descrise în tabelul 1. [2]

Tabel 1 – Caracteristicile unui robot manipulant

Viteza	Până la 5 m/s
Accelerație	Până la 25 m/s ²
Încărcare	De la 2-3 kg până la 750 kg
Greutate	30-40 kg
Axe	6 axe
Protocol de comunicație	Profibus, Devicenet, Ethernet, Can
Intrări/Ieșiri	Intrări analogice și digitale la fel ca un automat programabil

1.2. SUDAREA CU ARC ELECTRIC ÎN ATMOSFERĂ DE GAZ PROTECTOR CU ELECTROD NEFUZIBIL (GTAW)

Procesul de sudare GTAW este utilizat pe scară largă la majoritatea materialelor metalice: oțeluri slab aliate, oțeluri inox, super aliaje (aliaje pe baza de nichel, crom sau cobalt), aliaje pe bază de titan, aluminiu sau magneziu și este folosit în special în industria aerospațială pentru materiale cu grosimi mici (0,8 ÷ 3 mm).

Procesul de sudare GTAW este generator de radiații, de zgomot și de gaze. Din această cauză, personalul aferent procesului de sudare trebuie prevăzut cu mijloace specifice de protecție a muncii: echipament antiradiații, măști de protecție cu senzor de lumină, antifoane, sisteme de absorbție și ventilație a aerului.[17]

Folosirea procedeului GTAW se explică prin faptul că îmbinarea sudată rezultată este mai rezistentă și de o mai bună calitate, baia de metal topit fiind bine protejată de debitul de argon.[19]

Principalele componente necesare în timpul efectuării procesului GTAW sunt prezentate în fig.2.

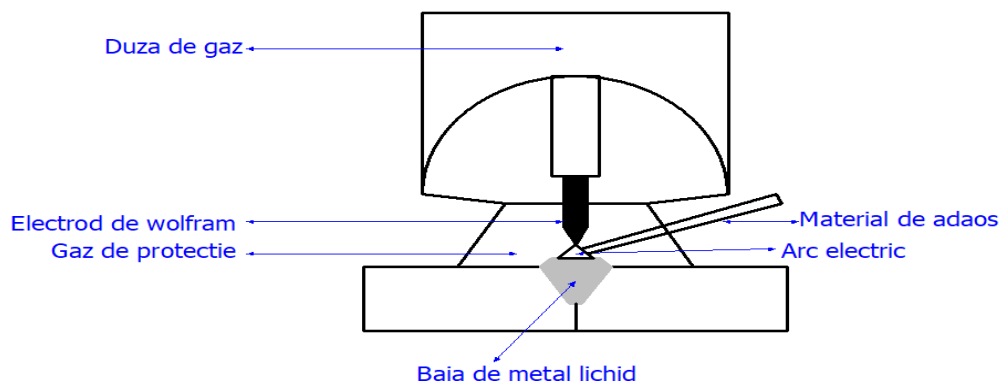


Figura 2 - Schema simplificată a zonei de sudare la procedeul GTAW

1.3. SUDAREA CU ARC ELECTRIC ÎN MEDIU PROTECTOR CU ELECTROD FUZIBIL (GMAW)

În procesul de sudare cu arc electric în mediu protector cu electrod fuzibil (GMAW), arcul electric este stabilit între electrodul consumabil (sârma de adaos), care alimentează continuu baia de metal topit, și piesa de sudat. Inițial, baia de metal topit este protejată de un gaz inert de unde provine numele popular al procesului de sudare „metal inert gas” (MIG). Gazele de protecție active ca dioxidul de carbon (CO_2) sau amescurile de gaze inerte și gaze active sunt folosite în procesul de sudare „metal active gas” (MAG). Denumirea generică a procesului de sudare GMAW include ambele subprocesse MIG și MAG.

Procesul de sudare GMAW are mai multe avantaje decât celelalte procese de sudare prin faptul că se pot suda orice fel de materiale cu grosimi de la 1 mm până la 30 mm, în toate pozițiile de sudare, cu o rată de depunere a materialului de adaos foarte mare, cu o viteză de sudare foarte mare și cu eliminarea întreruperilor necesare pentru realimentarea cu material de adaos. În plus, este necesară o curățire minimă a cordonului de sudură după terminarea procesului din cauza faptului că nu se formează zgura după solidificarea băii de metal topit.

Echipamentul de sudare folosit pentru procesul GMAW constă în : sursa de alimentare, unitatea de avans a sârmei de adaos (electrodului), pistolul de sudare și regulatorul de alimentare cu gaz de protecție reprezentate în fig.3.

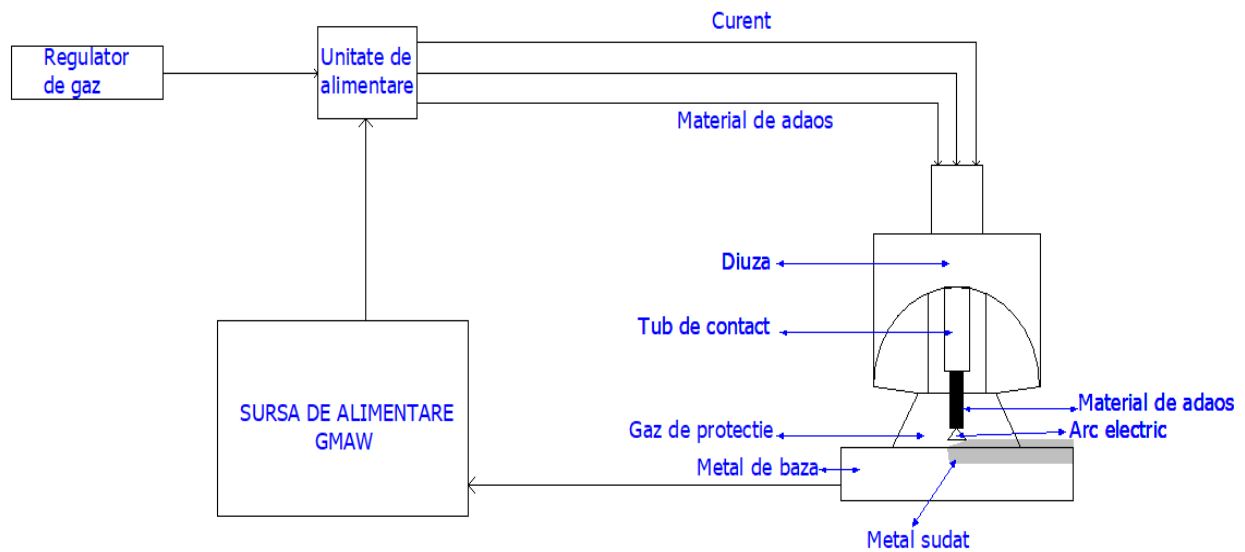


Figura 3 – Reprezentarea schematică a procesului de sudare GMAW

CAPITOLUL II

2. STUDIU DE CAZ PRIVIND SUDAREA ROBOTIZATĂ A UNUI SISTEM FLANȘĂ - ȚEAVĂ

2.1. INTRODUCERE

Obiectivele principale de cercetare științifică din acest capitol sunt:

- Prezentarea unui studiu de caz prin identificarea unei piese care poate fi sudată robotizat.
- Proiectarea unui dispozitiv care să permită sudarea robotizată a piesei respective.
- Analizarea costului de producție a piesei realizate prin sudarea robotizată comparativ cu sudarea manuală.

2.2. PROIECTAREA CONSTRUCTIVĂ ȘI TEHNOLOGICĂ

2.2.1. Proiectarea piesei

În cadrul studiului de caz [36], pentru exemplificarea modului de proiectare a unui dispozitiv necesar sudării robotizate a unei piese, piesa utilizată este o țevă care are la ambele capete sudate o flanșă (fig.4). Această piesă este componentă în sistemul de gaz sau apă sub presiune dintr-o construcție. În general, marea majoritate a flanșelor și țevilor folosite în construcții sunt de dimensiuni mari, dar această piesă se folosește în sisteme mai mici. Motivul alegerii acestor dimensiuni pentru studiul de caz este prețul de cost scăzut raportat la componentele obținute, dimensiunile alese îndeplinind condițiile de mai sus, respectiv de a nu fi prea mari față de spațiul de lucru, dar nici prea mici față de capacitatea robotului.

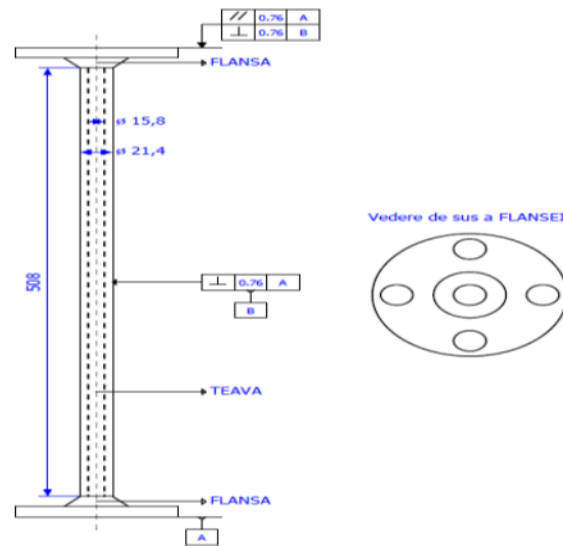


Figura 4 - Desenul schematic al piesei utilizate în studiul de caz

2.2.2. Proiectarea dispozitivului

Proiectul de dispozitiv a fost realizat după execuția piesei de demonstrație. Proiectarea dispozitivului pentru sudarea robotizată a piesei din acest studiu de caz a fost executată conform cu [45].

2.2.2.1. Definirea cerințelor

Dispozitivul de fixare trebuie să țină în poziție țeava și cele două flanșe în timpul operației de sudare. De asemenea, strângerea celor trei componente trebuie să asigure reducerea la maxim a deformațiilor în timpul procesului de sudare. În același timp, dispozitivul trebuie să permită accesul fără restricții a robotului în zona de sudat. Materialul ales pentru execuția dispozitivului trebuie să reziste la încălzirea datorată procesului de sudare. Ultima condiție pe care trebuie să o îndeplinească dispozitivul este să fie ușor de așezat și fixat pe masa robotului și ușor de îndepărtat după sudare.

2.2.2.2. Obținerea și analiza informațiilor

2.2.2.2.1. Specificațiile mașinii

Robotul utilizat este de tipul Fanuc Arc Mate 50ic și este capabil să se rotească în 6 axe. Axa 1 se poate roti la 360°, axa 2 se poate roti la 200°, axa 3 se poate roti la 388°, axa 4 se poate roti la 380°, axa 5 se poate roti la 240°, axa 6 se poate roti la 720°.

Aceste caracteristici implică atingerea aproape a oricarei poziții a robotului în interiorul spațiului de lucru, care are dimensiunile de 1 m lungime, 2 m lățime și 1.5 m înălțime. Astfel, există restricții pentru pozițiile care pot fi atinse de robot.[36]

2.2.2.2.2. Specificatiile piesei

Piesa utilizată în acest studiu de caz este compusă din două flanșe și o țevă de jumătate de inch. Pornind de la dimensiunile componentelor, cerințele pentru piesă au fost de perpendicularitate și paralelism deoarece ansamblul trebuie montat cu contrapiesa în sistem. Toleranțele impuse pentru acest ansamblu se vor controla folosind un poloboc care asigură citirea și precizia impusă în [46]. Materialul de bază al piesei este un oțel carbon slab aliat rezistent la presiuni.

2.2.2.3. Analiza tehnologică a variantelor constructive

2.2.2.3.1. Componenta de fixare a flanșei

Componenta folosită pentru fixarea flanșei este prezentată în fig.5. Flanșa este așezată pe suprafața plată a componentei de fixare realizându-se înălțimea piesei și centrându-se pe interiorul flanșei cu ajutorul unor știfturi care se introduc în găurile flanșei. Gaura din centrul componentei de fixare permite intrarea gulerului flanșei și centrarea componentelor. La proiectarea componentei de fixare s-a ținut cont de dimensiunile și toleranțele flanșei. Această variantă este o metodă simplă de localizare și fixare deoarece nu necesită deplasarea dispozitivului pentru a asambla componentele.

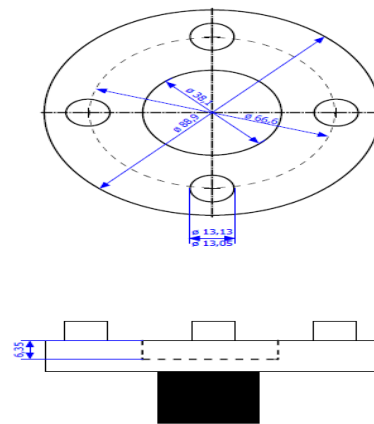


Figura 5 - Componenta de fixare a flanșei

2.2.2.3.2. Dispozitivul C

Dispozitivul C (fig.6 [36]) este realizat dintr-o tijă de oțel așezată pe o placă. O singură componentă de fixare este sudată direct pe placă, țeava poziționându-se în decuparea în V de la capătul tijei în care se introduce celălalt capăt al piesei pentru centrare. Țeava este blocată în poziție folosind o prindere elastică care este ușor de realizat pentru operator și asigură destulă stabilitate în timpul sudării. Principalul avantaj al acestei soluții este reprezentat de lungimea țevii care poate varia semnificativ. Un alt avantaj al acestei soluții este că dispozitivul asigură destul spațiu de manevră pentru robotul de sudare în funcție de capacitățile sale. Dezavantajul acestei soluții îl constituie necesitatea de a poziționa de două ori piesa pentru a o suda la ambele capete.

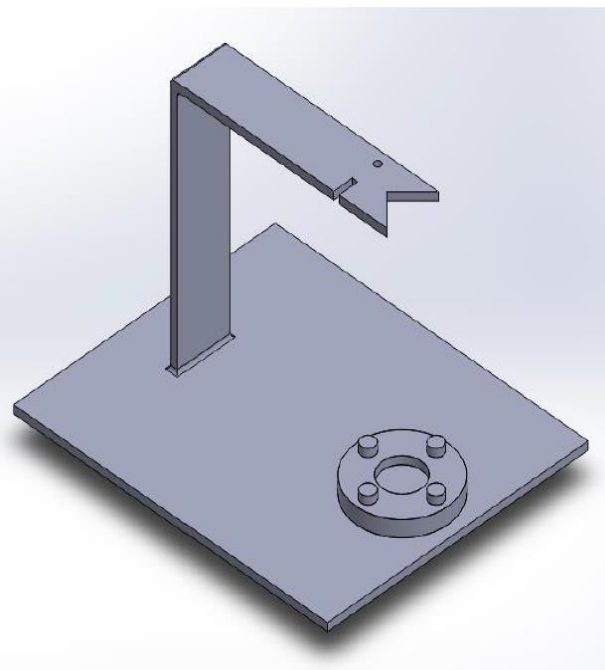


Figura 6 – Dispozitivul C

2.3. ANALIZA FUNCIONALĂ A ANSAMBLULUI TEHNOLOGIC PENTRU SUDARE

2.3.1. Fabricarea dispozitivului

2.3.1.1. Componenta de fixare

Componenta de fixare este piesa dispozitivului aflată cel mai aproape de zona care se va suda a sistemului flanșă + țeavă. Acest lucru înseamnă că lucrează la temperaturi înalte și trebuie să reziste la acestea. Materialul de baza din care este executată componenta de fixare este un oțel carbon slab aliat, sub forma de bară având dimensiunea de $\varnothing 89$ mm și a fost procesată într-un centru de frezare cu comandă numerică. Operațiile de frezare au fost necesare pentru a executa o față dreaptă la curat, un canal pe partea cealaltă cu dimensiunile $\varnothing 38,1 \times 6,35$ mm și execuția a 4 găuri dispuse pe diametrul de $\varnothing 66,6$ mm la 90° având diametrul $\varnothing 13,09 \pm 0,04$ mm. Cele patru știfturi care trebuie asamblate în găurile din componenta de fixare au fost executate pe strung respectând cota de asamblare prin presare la final.

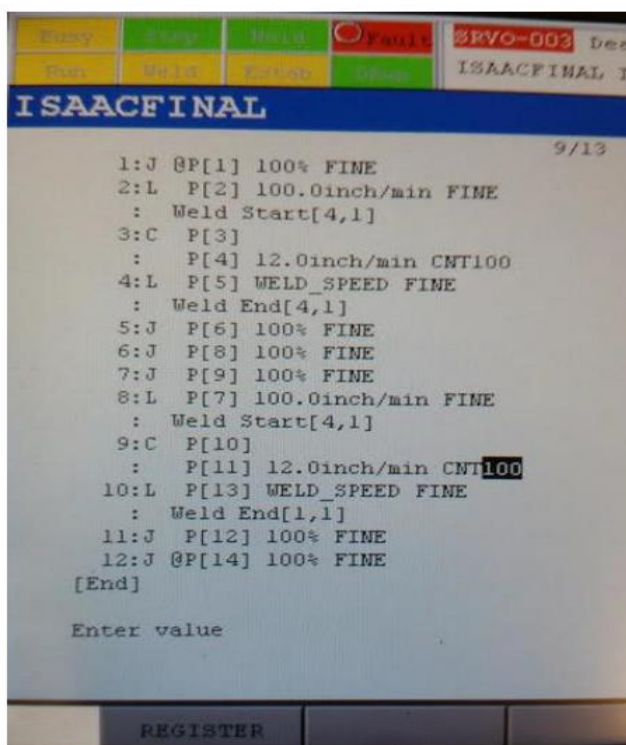
2.3.1.2. Corpul dispozitivului

Materialul de bază din care este executată cealaltă parte a dispozitivului este tot un oțel carbon slab aliat intrucât dispozitivul trebuie să fie capabil să reziste la uzura. Placa de bază și cele două traverse au fost tăiate la dimensiuni cu ajutorul unei ghilotine. Canalul V al traversei

superioare a fost executat prin ștanțare, iar taietura de prindere a fost executată folosind un fierastrău vertical. Cele trei componente au fost sudate pe un dispozitiv de sudare. Componenta de fixare a fost sudată pe placă, numai după ce în prealabil s-a realizat o fixare în poziție verticală a unei piese etalon realizandu-se condițiile de perpendicularitate (0,76 mm) cerute în documentație.

2.3.2. Programarea

Pentru a testa proiectul de dispozitiv, trebuie conceput un program software pentru robot. Acest obiectiv s-a realizat folosind o consolă de programare care permite operatorului să impună mișcările robotului necesare realizării asamblării sudate prin controlul celor 6 axe. Au fost definite câteva puncte de-a lungul cordonului de sudură dintre flanșă și țevă care formează un arc în jurul țevii. Software-ul a fost scris astfel încât robotului să-i fie implementată aceeași traiectorie de fiecare dată când se execută programul. Atât timp cât dispozitivul este plasat în poziția corectă, programul va rula și va executa un arc corect în jurul piesei. Programul care a fost utilizat pentru sudarea acestei piese este prezentat în fig.7.[36]



```
1:J @P[1] 100% FINE
2:L P[2] 100.0inch/min FINE
: Weld Start[4,1]
3:C P[3]
: P[4] 12.0inch/min CNT100
4:L P[5] WELD_SPEED FINE
: Weld End[4,1]
5:J P[6] 100% FINE
6:J P[8] 100% FINE
7:J P[9] 100% FINE
8:L P[7] 100.0inch/min FINE
: Weld Start[4,1]
9:C P[10]
: P[11] 12.0inch/min CNT100
10:L P[13] WELD_SPEED FINE
: Weld End[1,1]
11:J P[12] 100% FINE
12:J @P[14] 100% FINE
[End]

Enter value
```

Figură 7 - Programul software utilizat pentru sudare

CAPITOLUL III

3. CERCETĂRI PRIVIND ROBOTIZAREA PROCESULUI DE SUDARE A ANSAMBLULUI „SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ MULTIFASCICOL AGABARITIC”

3.1. INTRODUCERE

CCAЕ este un compresor centrifugal de aer acționat cu motor electric și este destinat furnizării aerului comprimat industrial necesar.



Figura 8 - Compresor centrifugal de aer acționat cu motor electric (CCA) [47]

Cele 5 trepte ale compresorului de comprimare a aerului sunt formate individual dintr-un rotor centrifug cu palete curbate înapoi, montat pe un pinion propriu și un stator paletat.

După treptele I, II, III și IV este amplasat câte un schimbător de căldură interior, cu rolul de a mișcarea temperatura aerului comprimat la ieșirea din treapta respectivă. După treapta a V-a a compresorului, schimbătorul de căldură va fi montat în exterior.

3.2. DESCRIEREA ANSAMBLULUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ

Ansamblul schimbător de căldură aer-apa pentru CCAE 15-300 are următorii parametri de funcționare:

- Pentru circuitul de aer :
 - debit nominal 4,4 kg/s;
 - temperatura maximă de intrare +140°C;
 - temperatura maximă de ieșire +40°C.
- Pentru circuitul de apă :
 - debit 38,5 ÷ 48,3 m³/h;
 - presiune de intrare 2,5 ÷ 3,5 barg;
 - temperatura maximă de intrare 30°C;
- Puterea termică maximă disipată este de 445 kW.

Dintre componentele principale ale ansamblului schimbător de căldură, se amintesc:

- Placa tubulară frontală, 1 buc, reper / desen de execuție 8.7G168.001.0M, material de bază 1.4306 (X2CrNi19-11 conform EN 10088-1 sau 304L conform AISI/SAE sau S30403 conform UNS) care este un oțel inox austenitic crom-nichel cu un conținut scăzut de carbon.
- Placa tubulară spate, 1 buc, reper / desen de execuție 8.7G168.008.0M, material de bază 1.4306 (X2CrNi19-11 conform EN 10088-1 sau 304L conform AISI/SAE sau S30403

conform UNS) care este un oțel inox austenitic crom-nichel cu un conținut scăzut de carbon.

- Subansamblu element schimbator , 288 buc, reper / desen de execuție 8.7G168.711.0M, compus la rândul său din:
 - Țeava 28x1, 1 buc, reper 8.7G168.002.0M, material de baza Cu 99,9.
 - Țeava 13x1, 1 buc, reper 8.7G168.004.0M, material de baza Cu 99,9.
 - Aripioară, 3 buc, reper 8.7G168.003.0M, material de bază Cu 99,9, tablă cu grosimea de 0,15 mm.
- Subansamblu tub central, 1 buc, reper / desen de execuție 8.7G168.750.0, material de bază 1.4306 (X2CrNi19-11 conform EN 10088-1 sau 304L conform AISI/SAE sau S30403 conform UNS) care este un oțel inox austenitic crom-nichel cu un conținut scăzut de carbon.



Figura 9 - Ansamblu schimbător de căldură reper 8.7G168.700.0M

3.3. MATERIALE UTILIZATE ÎN REALIZAREA ANSAMBLULUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ

3.3.1. Oțelul inoxidabil 1.4306

Oțelul inoxidabil 1.4306 (X2CrNi19-11 conform EN 10088-1 sau 304L conform AISI/SAE sau S30403 conform UNS) este un oțel austenitic crom-nichel cu un conținut scăzut de carbon.

Compoziția chimică, proprietățile mecanice și proprietățile fizice ale acestui material sunt descrise în tabelul 2, tabelul 3 și respectiv tabelul 4.

Tabel 2 - Compoziția chimică a oțelului inoxidabil 1.4306

% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% N	% P	% S
≤ 0,03	≤ 1,0	≤ 2,0	18,0 ÷ 20,0	10,0 ÷ 12,0	≤ 0,11	≤ 0,045	≤ 0,015

Tabel 3 - Proprietățile mecanice ale oțelului inoxidabil 1.4306 la 20°C

Duritate HB30 HB	0,2 % Limita de curgere R_p N/mm ²	Rezistența la tracțiune R_m N/mm ²	Elongația A_5 %	Modul de elasticitate kN / mm ²
≥ 215	≥ 180	460 ÷ 680	45 / 35	200

Tabel 4 - Proprietățile fizice ale oțelului inoxidabil 1.4306 la 20°C

Densitatea g / cm ³	Capacitatea specifică de căldură J/kg K	Conductivitatea termică W / m K	Rezistența electrică Ω mm ² / m
7,9	500	15	0,73

Sudabilitatea pieselor din acest material de bază este foarte bună, în majoritatea cazurilor nefiind impuse condiții speciale de realizare a îmbinărilor sudate. O problemă deosebită este reprezentată de tendința de fisurare la cald datorită formării feritei în cordonul de sudură.

3.3.2. Aliajul pe bază de cupru Cu 99,9

Aliajul pe bază de cupru Cu 99,9 se caracterizează printr-o foarte bună conductivitate electrică și termică. Aliajul este maleabil, având o bună ductibilitate și gradul mare de deformare plastică la rece. Țevile și piesele din tablă pot fi ușor formate în cele mai diferite forme și dimensiuni.[19]

Compoziția chimică, proprietățile mecanice și proprietățile fizice ale aliajului pe bază de cupru Cu 99,9 sunt descrise în tabelul 5, tabelul 6 și respectiv tabelul 7.

Tabel 5 - Compoziția chimică a aliajului pe bază de cupru Cu 99,9

% Cu	% Bi	% Pb	% O	% Alte elemente
99,9	max. 0,0005	max. 0,005	max. 0,040	0,03

Tabel 6 - Proprietățile mecanice ale aliajului pe bază de cupru Cu 99,9 la 20°C

Rezistența la tracțiune R_m MPa	Limita de curgere $R_{p0,2}$ MPa	Elongația $A_{100\text{ mm}}$ %	A %
250	min. 200	min. 8	min. 12

Tabel 7 - Proprietățile fizice ale aliajului pe bază de cupru Cu 99,9 la 20°C

Densitate g / cm ³	Solidificare °C	Conductivitatea electrică %IACS	Conductivitate termică W / m K	Expansiune termică $\mu\text{m} / \text{m K}$
9,0	1070	100	390	17

3.4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE DE SUDARE GTAW ROBOTIZATĂ A UNUI ANSAMBLU “SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ” LA SCARĂ REDUSĂ

În vederea sudării țevilor de cupru componente ale schimbătorului de căldură s-au realizat experimentări asupra unei piese test. Scopul urmărit este dezvoltarea unui program software pentru un sistem robotic de sudură în 8 axe, cu senzor laser CLOOS CST FLEX S și sursă de sudare WIG AC/DC GLW 500. Programul software a sistemului robotic trebuie implementat în consola de control a acestuia folosind limbajul de programare Carola.

Pentru a putea fi executată piesa test, s-au utilizat 20 de tevi de cupru care s-au fixat prin aftuire în interiorul unei structuri care are rolul de susținere a acestora și de a imita ansamblul schimbător de căldură. Piesa test care este copia fidelă a ansamblului schimbător de căldură este prezentată în fig.10.

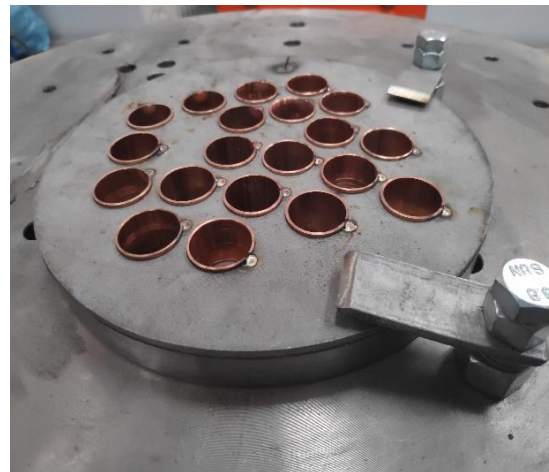
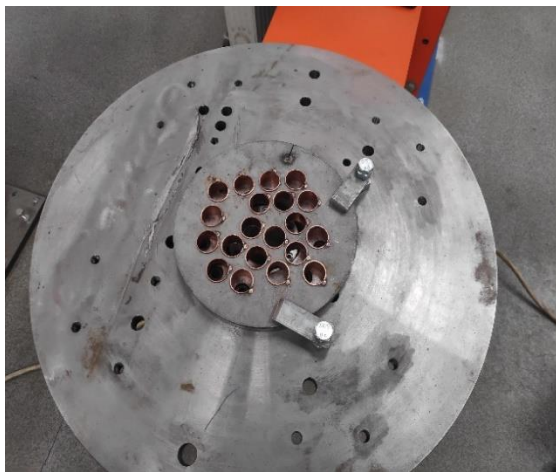


Figura 10 – Piesa test utilizată pentru realizarea sudării cu sistemul robotic a țevilor de cupru

3.4.1. Definirea punctelor în cadrul sistemul robotic

Pentru ca sistemul robotic să sudeze cu pistolul țeava de cupru cu referință 9, se definesc șapte puncte, dintre care trei intermediare. Fiecare punct definit este salvat în memoria consolei sistemului robotic și astfel poziția robotului este înregistrată. Punctul 10 intermediar este prezentat în fig.11 prin poziția finală a sistemului robotic înainte de salvare a punctului în consolă.



Figură 11 – Stabilirea punctului intermediar 10

3.4.2. Rezultatele experimentale pe epruveta test nr. 9 sudată cu parametri optimi obținuți din rezultatele anterioare

Epruveta test numărul 9, țeava de cupru cu referință 9 este prezentată în fig.12, la finalul procesului de sudare cu sistemul robotizat.

În lista LN1 din cadrul programului software al robotului sunt definite valorile parametrilor de sudare:

- viteza de sudare $V_{sud}=15$ cm/min;
- frecvența de oscilație $F_{pend}=0,25$ Hz;
- frecvența de pulsație $F_{puls}=0$ Hz;
- curentul de bază $I_{baza}=125$ A
- curentul de pulsație $I_{puls}=100$ A;
- viteza sârmei de adaos $V_{sarma}=0$ cm/min.



Figura 12 – Imaginea zonelor sudate în cazul imbinării țevii de cupru cu referință 9 în cadrul piesei test a schimbătorului de căldură

În urma controlului vizual al epruvetei test cu referință 9, s-a constatat topirea completă pe toată circumferința țevii. Lățimea cordonului de sudură este acceptabilă și uniformă pe tot conturul țevii, reușind să includă haftul de prindere.

S-a confirmat necesitatea sudării fără material de adaos, topind numai materialul de supraînălțare aferent țevii de cupru.

CAPITOLUL IV

4. CARACTERIZAREA MICROSTRUCTURALĂ A ÎMBINĂRILOR SUDATE**4.1. INTRODUCERE**

În lucrare se prezintă rezultatele obținute la realizarea unui ansamblu eterogen alcătuit dintr-un fascicul de 21 țevi din cupru cu diametrul de 28 mm și grosimea peretelui de 1 mm, sudate la ambele capete de două plăci din oțel inoxidabil 304L, cu grosimea de 20 mm. Sudarea s-a efectuat cu un sistem robotizat, prin topirea capetelor supraînălțate ale țevilor din cupru având înălțimea de 1,5mm \pm 0,5 împreună cu muchiile orificiilor prelucate în placile de oțel 304L, utilizând procedeul de sudare prin topire GTAW (Engl. Gas Tungsten Arc Welding).

Pentru evaluarea sudabilității sunt prezentate analize microstructurale ale zonelor sudate, cu evidențierea efectelor de difuzie și amestecare a elementelor chimice la nivelul sudurii și în zonele de tranziție din ZIT. Elementele de noutate ale lucrării rezultă din analiza zonelor de amestec ce apar la tranziția dintre cele două materiale, prin efectuarea de măsurări ale compoziției chimice în diferite zone ale îmbinării, în condițiile sudării robotizate.

În urma analizei zonelor caracteristice ale îmbinării sudate cu ajutorul microscopului electronic de baleiaj SEM și a analizelor de microcompoziție chimică realizate cu metoda EDAX, s-a constatat că pe interfața dintre sudură și oțelul inoxidabil 304L apare o zonă de amestec, cu structură mixtă, alcătuită dintr-o matrice metalică de aliaj Fe-Cu în care se separă faze globulizate bogate în Cu sau Fe.

4.2. METODE

Sudurile eterogene s-au realizat cu un sistem robotic în 8 axe, echipat cu senzor laser de tip CLOOS CST FLEX S. Postul de lucru în care este amplasat sistemul robotic a avut dimensiunile suficiente pentru efectuarea tuturor mișcărilor necesare realizării sudurilor, respectiv 4 m lățime și 6 m lungime, fiind localizat într-o hală industrială și separat de alte zone de procesare prin intermediul unor pereți rigizi și a unei cortine din material textil (fig.13).

În acest cadru experimental și tehnologic, brațul robotic poate efectua rotiri într-un semicerc cu rază de 2 m în jurul axei suportului de bază, fără atingerea altor echipamente, iar pe zona de lucru poate efectua toate deplasările pe cele 4 direcții, în vederea poziționării pe zona de sudare și efectuării rotirii în jurul axei țevilor pentru realizarea sudurilor. De asemenea, postul de lucru al sistemului robotic este prevăzut cu un sistem de siguranță împotriva coliziunilor accidentale ce pot avea loc în interiorul spațiului de lucru, respectiv o barieră cu infraroșu pentru limitarea accesului personalului în zona activă în timpul desfășurării procesului de sudare.

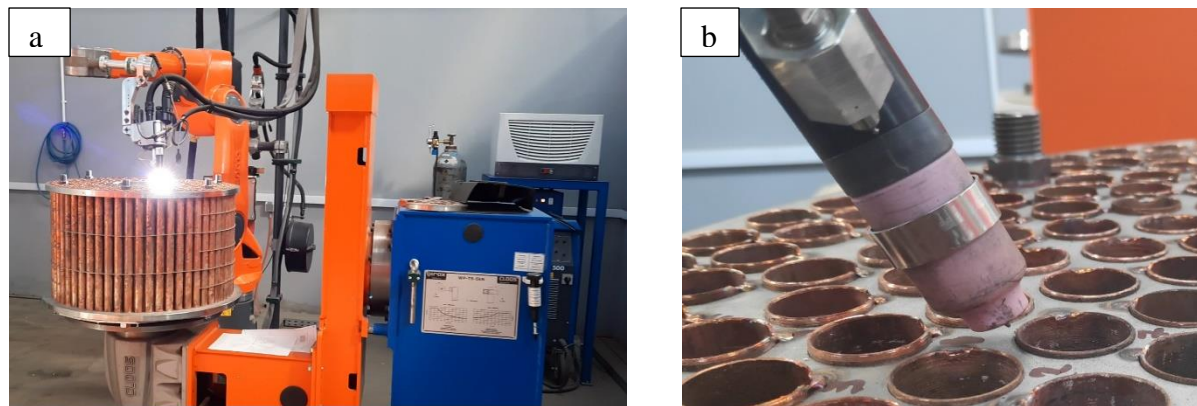


Figura 13 - Postul de lucru pentru sudarea robotizată (a) și poziționarea pistolului de sudare pentru efectuarea operației de prindere în puncte (b).

După sudare, au fost prelevate probe din zonele sudate. Prelevarea s-a realizat utilizând discuri abrazive metalografice cu grosime de 1,25mm sub lichid de răcire, cu mașina automată de debitare cu precizie IsoMet®4000 Buehler (BUEHLER USA, Lake Bluff, IL 60044, USA), din laboratorul LAMET, UPB.

Analiza metalografică s-a efectuat cu ajutorul unui microscop electronic de baleiaj SEM Inspect S (FEI Europe B.V., Eindhoven, Netherlands) echipat cu analizor de compoziție chimică AMETEC EDAX Z2e, din laboratorul LAMET, UPB. Măsurarea durității în diferite zone ale îmbinării sudate s-a realizat cu aparatul semiautomat Shimadzu HMV 2T (Tokyo, Japan, Shimadzu Duisburg, Germany), din laboratorul LAMET, UPB.

4.3. REZULTATE OBTINUTE

4.3.1. Realizarea probelor sudate

Sudarea țevilor din cupru în plăcile din oțel inoxidabil 304L s-a realizat fără material de adaos, prin topirea extremităților capetelor țevilor din cupru având înălțimea medie de 1,5mm $\pm 0,5$, împreună cu marginile orificiilor din placa de oțel 304L. Cele 2 plăci tubulare utilizate pentru efectuarea probelor au avut diametrul exterior de 714 mm, diametrul interior 240 mm și grosimea de 20 mm.

Pentru realizarea unei îmbinări corecte, supraînălțarea maximă a țevilor din cupru peste nivelul suprafeței plăcilor din oțel 304L s-a stabilit la valori cuprinse în domeniul maxim 2 mm și minim 0.5 mm. Din testele efectuate s-a stabilit că o valoare a supraînălțării țevilor de cupru peste 2 mm poate determina formarea unei băi metalice topite excesive, caracterizată de o solidificare mai lentă și obținerea unei forme neregulate a sudurii (scurgerea metalului topit în afara zonei perfect circulare, formarea unor cratere de solidificare, sau topire insuficientă a flancului plăcii din oțel 304L etc.). Valori ale supraînălțării țevilor din cupru sub limita de 0,5 mm nu asigură volumul necesar al sudurii, ducând la formarea unor imperfecțiuni de tip lipsă de umplere a rostului, înălțime insuficientă a sudurii și formarea unei băi metalice neomogene, care nu asigură etanșeitătea îmbinării sudate.

Variația curentului în timpul procesului robotizat de sudare a unei țevi din Cu 99.9 pe placa din oțel 304L este reprezentată în fig.14. Debitul de argon la pistolul a fost stabilit la 10 l/min iar timpul de prepurjare cu argon a fost de minim 1 sec, la fiecare operație de sudare. Timpul de purjare cu argon la încheierea sudării a fost de minim 2 sec, pentru a se asigura o răcire rapidă sub protecție de gaz inert.

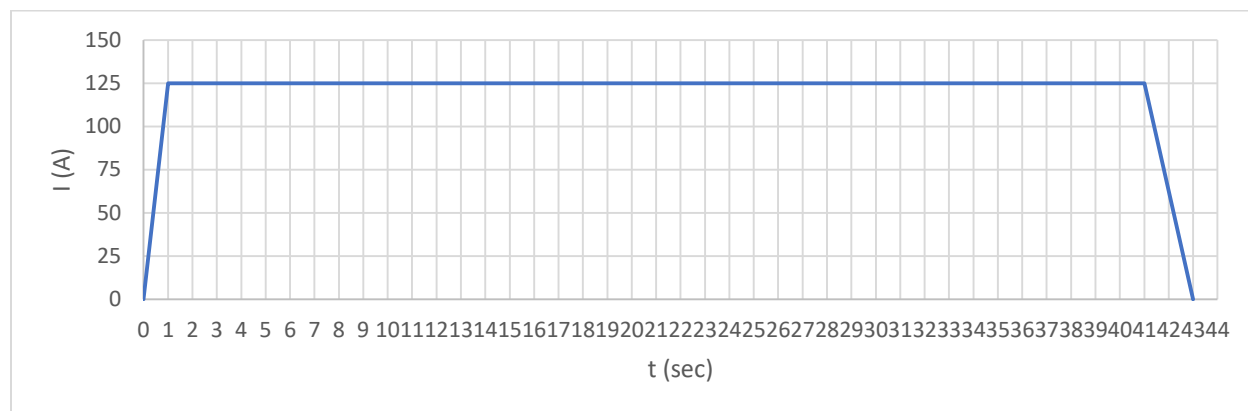


Figura 14 - Variația curentului în timpul procesului robotizat de sudare

În cadrul procedurii de sudare utilizat GTAW (sudare prin topire cu arc electric în mediu de gaz inert cu electrod nefuzibil din W), lungimea cordonului de sudură pentru fiecare țevă a fost de 93 mm din care 88 mm reprezintă perimetrul țevii de cupru cu diametru de 28 mm, la care s-au adăugat 5 mm peste punctul de start al procesului de sudare, pentru retopirea zonei de început și evitarea formării craterului final al sudurii.

4.3.2. Testarea calității sudurilor

Inspekția calității sudurilor realizate cu tehnologia de sudare robotizată proiectată s-a efectuat cu metode nedistructive și distructive.

Mai întâi s-a efectuat o examinare vizuală cu proporție de 100% a sudurilor utilizând o lupă cu mărire de 5x și o lampă cu putere de iluminare de 100 Lux. La inspekția vizuală s-a constatat repetabilitatea formei geometrice a cordoanelor de sudură pe toată circumferința tevelor de cupru. La inspekția dimensională lățimea cordonului de sudură, cuprinsă între 3 ÷ 4 mm, este uniformă pe tot conturul țevii de cupru cu o supraînaltare cuprinsă între 0,5 ÷ 1 mm.

A doua metodă de examinare nedistructivă a sudurilor a fost controlul cu lichide penetrante (conform SR EN 571-1: 1999, SR EN 571-1 și prescripția tehnică CR6-2003). Acest tip de examinare constă în aplicarea prin pulverizare, pe toată suprafața supusă controlului, a unui film subțire și continuu de lichid penetrant (tip DP-55 Sherwin), lăsând circa 10-15 minute pentru ca acesta să pătrundă în micile imperfecțiuni de suprafață sau în cele volumice care comunică cu suprafața. După aceea s-a îndepărtat excesul de penetrant prin spălare cu apă, s-a uscat suprafața cu aer cald. Pe suprafața uscată s-a aplicat prin pulverizare un strat uniform și continuu de dezvoltant (tip D-100 Sherwin) care, datorită proprietăților de absorbție, pune în evidență discontinuitățile deschise la suprafață. Examinarea cu lichide penetrante s-a realizat în

lumină vizibilă și au fost consemnate imperfecțiunile constatate în raportul de examinare (crater final în sudură, supraînălțare insuficientă, forma neuniformă a cusăturii). După aplicarea măsurilor pentru evitarea formării imperfecțiunilor constatate cu ocazia controlului cu lichide penetrante s-au realizat alte piese sudate, la care nu s-au mai înregistrat imperfecțiuni externe.

În final, produsul sudat a fost supus unui test global de etanșeitate efectuat cu apă sub presiune la 12.5 bar, timp de 15 minute, nefiind constatate pierderi prin sudurile optimizate.

Testarea distructivă a constat în prelevarea de probe pe direcție transversală față de sudurile efectuate și examinarea acestora prin microscopie electronică de baleiaj (SEM). Pentru obtinerea probelor necesare analizei de macro și microscopie electronica s-a extras mai întâi din piesa test o bucată taiată cu un disc de flex având grosimea de 1 mm pe direcția gaurilor adiacente țevii cu referința 9. Cele două probe obținute au fost pregătite în vederea analizei metalografice.

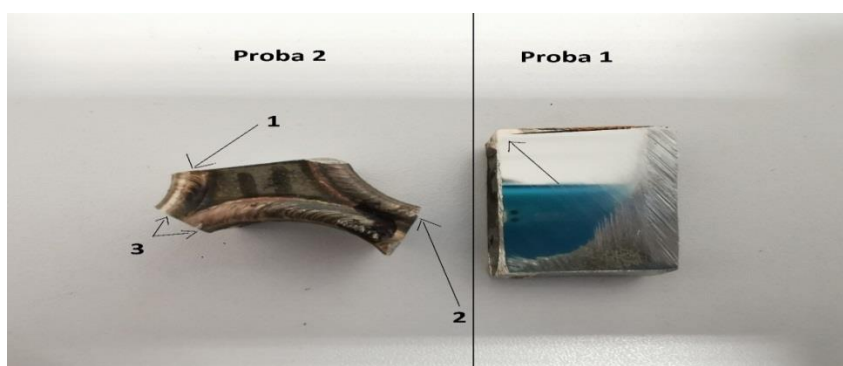
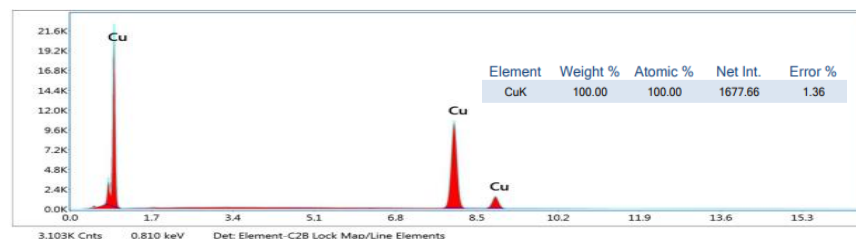
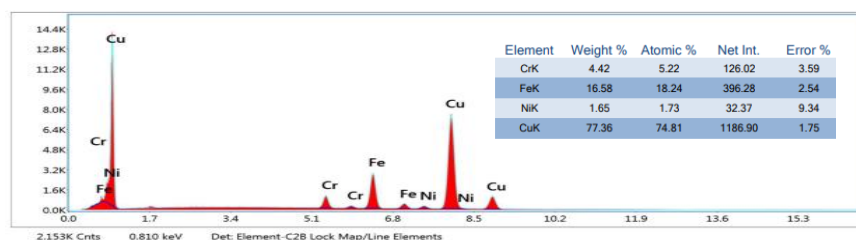
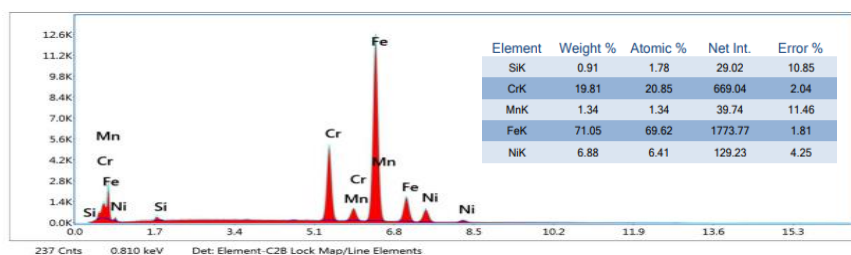
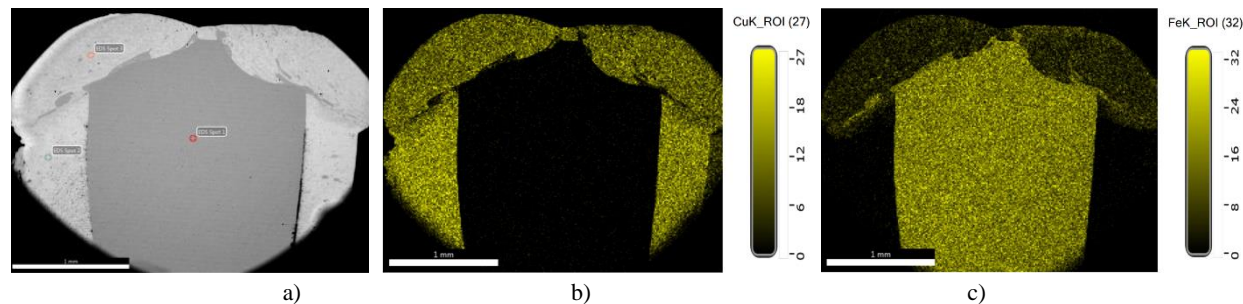


Figura 15 – Punctele pe cele două probe asupra cărora se realizează analiza la microscopul optic

4.4. ANALIZA MICROSTRUCTURII ZONEI DE ÎMBINARE

Analiza microstructurii zonei sudate a constat în examinarea la diferite puteri de mărire a interfeței dintre cele două materiale (Cu și oțel inoxidabil 304 L), a zonelor de difuzie și amestec mecanic reciproc pentru formarea sudurii și a materialelor de bază. Mai întâi s-au efectuat analize de microcompoziție chimică pe materialul de bază al plăcii tubulare (Spot 1, 304 L), pe peretele țevii din cupru (Spot 3) și pe sudură (Spot 3) (fig.16). Din datele analizei punctuale EDS rezultă că sudura este un nou aliaj cu bază Cu (peste 77wt%), în care se regăsesc elemente de aliere ce provin din piesa de oțel inoxidabil (peste 4 wt.% Cr, circa 16 wt.% Fe, circa 1.6 wt.% Ni). Există și unele diferențe de compoziție chimică la nivelul oțelului 304 L față de compoziția standard în special în ceea ce privește concentrația de Ni (circa 7 wt%, față de 8-10.5 wt% din standardul de produs). Această diferență care se poate datora zonei de măsurare, care a fost destul de aproape de zona sudată (circa 1mm), unde au fost posibile și efecte de difuzie, dar și situării lotului din care s-a prelevat piesa în domeniul de compoziție mai apropiat de valorile minime.



d)

Figura 16 - Localizarea punctelor de determinare a compoziției chimice pe secțiunea transversală din sudura eterogenă Cu-304 L (a); b), c) imaginile de distribuție elementală asociate pentru elementele Cu și Fe; d) spectrul elementelor chimice și concentrația acestora în zonele specificate în fig.16 a).

CAPITOLUL V

5. CONTRIBUȚII PRIVIND PROIECTAREA PROCESULUI DE SUDARE ROBOTIZATĂ GTAW PENTRU UN SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ AGABARITIC

5.1. INTRODUCERE

Se va analiza proiectarea și execuția unui dispozitiv de centrare și fixare al ansamblului pe masa rotativă a sistemului robotic pentru realizarea circularității și a planeității.

Capitolul va descrie primul proces de sudare realizat asupra ansamblului schimbător de căldură, denumit pilot.

Capitolul va prezenta rezultatele primei variante de sudare robotizată a ansamblului schimbător de căldură. Vor fi stabilite ulterior îmbunătățiri aduse procesului de sudare robotizat al ansamblului schimbător de căldură.

5.2. PROIECTAREA ȘI EXECUȚIA DISPOZITIVULUI “AMIFIX” DE CENTRARE ȘI FIXARE A ANSAMBLULUI PE MASA ROTATIVĂ A SISTEMULUI ROBOTIC PENTRU REALIZAREA CIRCULARITĂȚII ȘI A PLANEITĂȚII

5.2.1. Definirea cerințelor dispozitivului de centrare și fixare

Dispozitivul de centrare și fixare pe masa rotativă a sistemului robotic al ansamblului schimbător de căldură trebuie să țină în poziție fixă ansamblul și să asigure planeitatea de maxim 0,5 mm și circularitatea de maxim 0,5 mm a flanșei de sudat în timpul desfășurării procesului de sudare.[85]

De asemenea, dispozitivul nu trebuie să permită rotirea piesei independent de rotația mesei sistemului robotic. Totodată, trebuie ținut cont că greutatea maximă a ansamblului și dispozitivului să nu depășească 500 kg, greutatea maximă admisă de masa rotativă a sistemului robotic. Având în vedere că ansamblul are greutatea de 300 kg, greutatea dispozitivului nu trebuie să depășească 200 kg.

În același timp, dispozitivul trebuie să permită o fixare facilă pe masa rotativă a sistemului robotic, o asamblare ușoară a piesei pe dispozitiv, accesul fără restricții a brațului robotic în zonele de sudat și îndepărtarea ușoară a piesei după sudare.

Materialul ales pentru execuția dispozitivului de centrare și fixare al piesei trebuie să asigure rezistența la încălzirile și răcirile repetate caracteristice procesului de sudare.

De asemenea, pentru reducerea deformațiilor în timpul procesului de sudare, materialul trebuie să aibă un coeficient de dilatare identic sau cât mai apropiat de al materialului de bază al plăcilor tubulare. În consecință, având în vedere că materialul de bază al plăcilor tubulare este 1.4306 (X2CrNi19-11 conform EN 10088-1 sau 304L conform AISI/SAE sau S30403 conform UNS), materialul din care s-a realizat dispozitivul de centrare și fixare este 304L, sub forma de bară cu diametru de 260 mm.

5.2.2. Specificațiile ansamblului schimbător de căldură

Principalele componente ale ansamblului schimbător de căldură utilizate în procesul de sudare robotizată sunt placa tubulară frontală, placa tubulară spate, subansamblul element schimbător și subansamblul tub central.



Figura 17 - Ansamblul schimbător de căldură înaintea procesului de sudare

Procesul de sudare efectivă se realizează, pe de-o parte, între placa tubulară frontală și cele 288 de capete ale țevilor aferente subansamblului element schimbător. Pe de altă parte, după întoarcerea piesei, se sudează placa tubulară spate și celalalte capete ale țevilor subansamblului element schimbător.

5.2.3. Concepte de realizare a dispozitivului de centrare și fixare pentru ansamblul schimbător de căldură

În ambele faze ale tehnologiei de sudare a ansamblului schimbător de căldură, poziționarea și centrarea piesei pe masa rotativă a sistemului robotic se realizează prin utilizarea unui dispozitiv. Acesta trebuie să se centreze pe de-o parte în diametrul interior al mesei rotative a sistemului robotic, iar pe de altă parte, trebuie să se centreze în diametrul interior al subansamblului element schimbător.

Fixarea piesei pe dispozitiv se realizează datorită greutateii de 300 kg a ansamblului schimbător de căldură.

S-a proiectat și executat un dispozitiv de centrare și fixare, denumit “Amifix” pentru ansamblul schimbător de căldură, având aceleași diametre la capete, dar prevăzut cu suprafețe de așezare (umeri) atât pe masa rotativă, cât și pe placa tubulară, așa cum apare în fig.18.

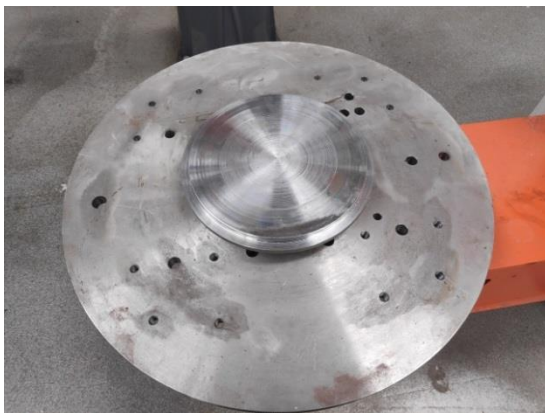


Figura 18 - Varianta finală a dispozitivului de centrare și fixare “Amifix”

La finalul execuției variantei finale a dispozitivului “Amifix”, s-a constatat o reducere semnificativă a timpului de centrare și fixare a piesei, obținându-se o planeitate a plăcii tubulare de maxim 0,5 mm și o circularitate de maxim 0,5 mm. Ansamblul schimbător de căldură a fost așezat pe masa rotativă a sistemului robotic cu ajutorul variantei finale a dispozitivului de centrare și fixare “Amifix”, așa cum apare în fig.19.



Figura 19 - Fixarea și centrarea piesei cu dispozitivul “Amifix” pe masa sistemului robotic

5.3. SUDAREA ROBOTIZATĂ PILOT A ANSAMBLULUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ

5.3.1. Implementarea softului de sudare a unei țevi în consola robotului

Prin încercări succesive pe epruvete s-a implementat softul de sudare al unei țevi de cupru pe placa tubulară. În scopul realizării acestui obiectiv s-au parcurs o serie de etape.

Prima etapă a constat în determinarea și salvarea punctelor intermediare în memoria sistemului robotic aflate pe traiectoria către țeava de cupru, așa cum s-a procedat și la sudarea robotizată a piesei test.[88]

A fost stabilită distanța de 1 mm între electrodul de wolfram și marginea țevii.[89] Au fost definite valorile parametrilor de sudare în cadrul celor 3 liste din memoria sistemului robotic: lista de start, lista normală și lista de final.

Procesul de sudare se va desfășura cu pistolul înclinat la 60° față de placa tubulară, în poziția orizontală 1G, cu masa rotativă a sistemului robotic în poziție orizontală la unghiul de înclinare 0°.

De asemenea, procesul de sudare se va desfășura fără material de adaos, topind numai materialul aflat în supraînălțarea țevilor față de suprafața plăcilor tubulare printr-o singură trecere.

Curentul nominal de sudare utilizat este $I_s = 125$ A. Timpul de scădere al curentului la final este de 2 sec. Debitul de argon la pistol este de 6 l/min. Timpul de prepurjare al argonului este de minim 1 sec. Timpul de purjare al argonului postsudare este de minim 2 sec.

S-a utilizat ca gaz de protecție argon tip 5.0, având puritatea minim 99,999%, îmbuteliat în butelii de oțel, având culoarea gâtului buteliei marcată în culoarea verde închis, tip RAL 6001, cu o capacitate de umplere de 10,7 m³ la o presiune de 200 bar.

A fost utilizată o duză ceramică cu diametrul de 12 mm, având diametrul electrodului de wolfram WT20 (wolfram + 2 ÷ 4% thoriu) de 3,2 mm.

Prin realizarea tuturor acestor etape, activitatea a însemnat elaborarea unui soft în consola sistemului robotic pentru sudarea pilot a piesei cu parametrii stabiliți.[90]

5.3.2. Simularea procesului de sudare pilot

S-a lansat apoi în execuție programul software dezvoltat pentru piesă, fără a avea activ arcul electric și s-a urmarit ca traiectoria capului de sudare să nu intre în coliziune cu componentele piesei sau ale dispozitivului.[92]

La finalul simulării procesului de sudare, s-a constatat că pistolul nu a intrat în contact cu nicio componentă a piesei sau a dispozitivului. Sistemul robotic nu s-a oprit accidental și nu au existat coliziuni nedorite.[93]

5.3.3. Verificarea softului și a procesului de sudare robotizată prin sudarea pilot a unui șir circular de țevi pe placa tubulară

Având la bază rezultatul pozitiv obținut în urma simulării procesului de sudare și tehnica de realizare software stabilită, s-a trecut la etapa următoare de testare a programului software activând arcul electric în timpul execuției programului.[10]



Figura 20 - Sudarea pilot a șirului circular de țevi pe placa tubulară

În timpul procesului de sudare, nu s-au observat abateri de la traiectoria obținută în simularea procesului și nici distorsiuni ale arcului electric în timpul trecerilor succesive de la o țeava, la alta ale sistemului robotic.

Cordoanele de sudură au fost realizate uniform și fără neconformități de suprafață evidente.

5.4. PRIMA VARIANTĂ DE SUDARE ROBOTIZATĂ A ANSAMBLULUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ

5.4.1. Algoritmul de principiu, simularea procesului de sudare și sudarea piesei

Pentru reducerea deformațiilor și evitarea supraîncălzirii locale a piesei s-a implementat prin soft ordinea de execuție a sudării țevilor.



Figura 21 – Gruparea și sudarea sectoarelor de câte 10 țevi pe placa tubulară

Pe piesă s-au grupat sectoare de 10 țevi de la interior spre exterior dispuse la 60 de grade pe circumferința, începând cu sectorul S11. După o rotație completă, simularea procesului de sudare a piesei continuă la sectorul alăturat S211. Se realizează o nouă rotație completă, după care se trece la sectorul alăturat S311. Se repetă procesul de sudare pentru sectoarele S411 și S511.

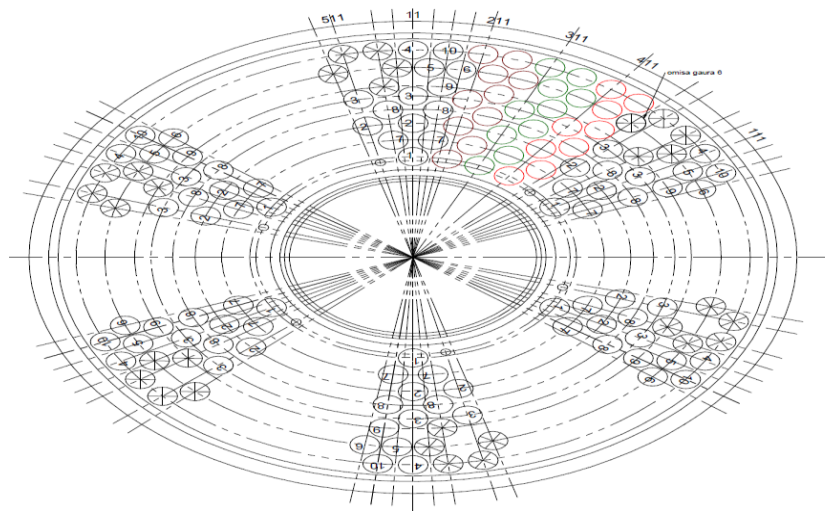


Figura 22 – Dispunerea sectoarelor de 10 țevi pe placa tubulară

Ținând cont de poziția celor șase tije de rigidizare, pentru a nu produce o posibilă coliziune cu capul de sudare al sistemului robotic, după simularea procesului de sudare, nu se vor suda 5 țevi adiacente. Cele 5 țevi de cupru adiacente celor șase tije de rigidizare vor fi sudate GTAW robotizat la final.

La finalul procesului de sudare a piesei, s-a verificat vizual aspectul tuturor țevilor sudate, identificând și marcând, dacă este necesar, zonele care prezintă neconformități.

5.4.2. Interpretarea și validarea procesului de sudare robotizat în prima variantă

După parcurgerea etapelor de simulare a procesului de sudare și sudarea implicită a piesei în prima variantă descrise la paragraful 5.4, la finalul inspecției vizuale și a probei de etanșeitate s-a constatat că procesul de sudare robotizat satisface condițiile impuse în documentație. Totodată, s-au constatat o serie de observații legate de procesul tehnologic.

O parte din țevile de cupru nu au fost asamblate corect cu suprainălțarea stabilită, având ca și consecință cordoane de sudură imperfecte.

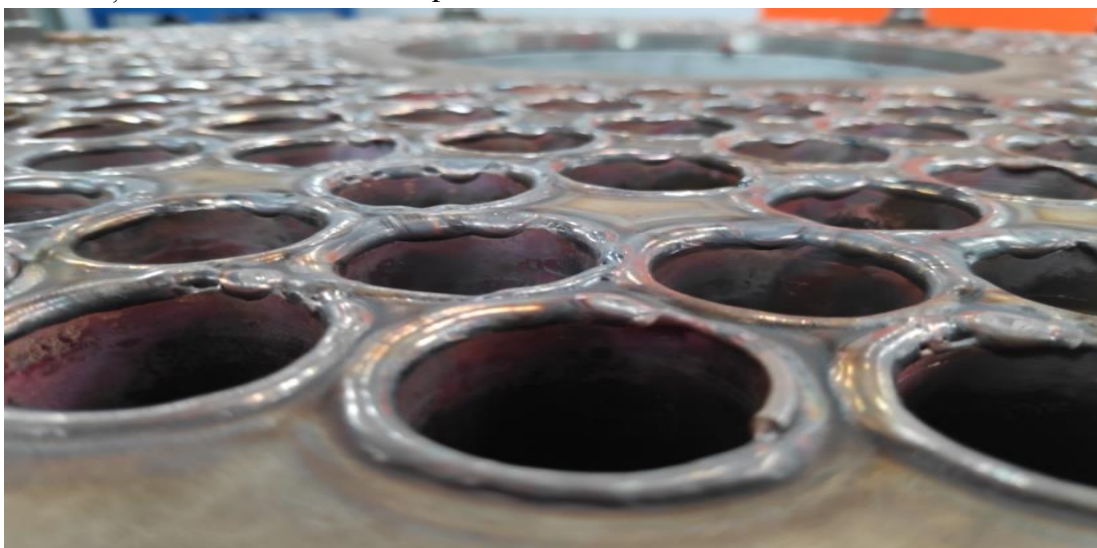


Figura 23 – Țevi ale piesei cu cordoane de sudură imperfecte

De asemenea, s-a constatat existența unor cordoane de sudură care nu au înglobat în totalitate aftul de prindere și poziționare a țevii de placa tubulară. Acest aspect s-a datorat dimensiunilor mai mari ale unor afturi de sudură.

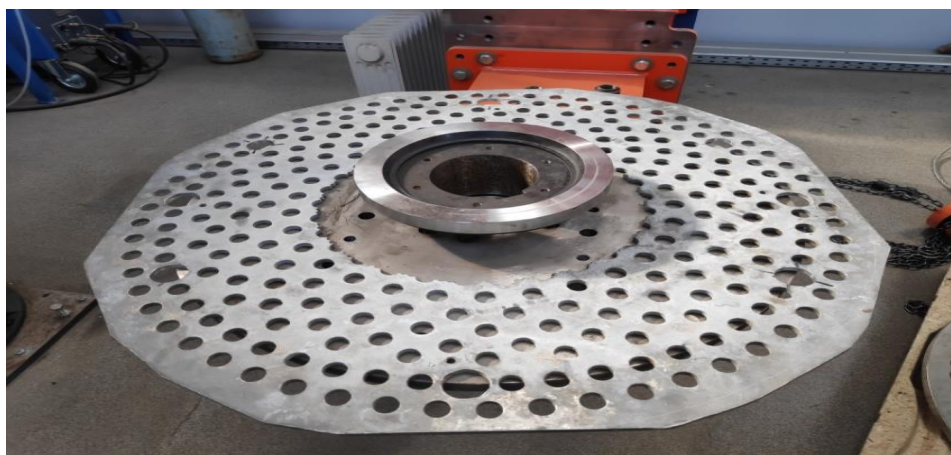
O altă observație rezultată din sudarea robotizată în prima variantă a fost constatarea apariției craterelor în cordonul de sudură la sfârșitul procesului de sudare a fiecărei țevi. Fenomenul s-a datorat scăderii bruște a curentului de sudare de la valoarea nominală la 0 și purjării argonului în baia de metal topit.

Ultima observație rezultată din sudarea robotizată în prima variantă a fost că pe parcursul procesului de sudare s-a constatat o tendință de supraîncălzire a piesei datorată oridinii consecutive de sudare a sectoarelor de zece găuri stabilite inițial.

Toate observațiile de la această fază au necesitat o reanalizare a întregului ciclu de execuție și implementarea de modificări tehnologice și software pentru îmbunătățirea procesului de sudare robotizat.

5.5. ÎMBUNĂȚĂȚIRI ADUSE PROCESULUI DE SUDARE ROBOTIZAT AL ANSAMBLULUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ

S-a proiectat și executat un șablon plan din aluminiu, denumit „Amisab”, cu grosimea de 5 mm, având același diametru cu cel al plăcilor tubulare. Pentru realizarea uniformă a supraînălțării țevilor de cupru de maxim 2 mm, șablonul de aluminiu „Amisab” este prevăzut cu 6 șuruburi dispuse la 60° pe diametrul exterior. Prin înfiletarea șuruburilor se realizează înălțimea de 2 mm. Șablonul de aluminiu „Amisab” se așează cu șuruburile în sus peste dispozitivul de centrare și fixare poziționat pe masa rotativă a sistemului robotic. Piesa se așează în dispozitivul de centrare și fixare sprijinindu-se pe șablonul de aluminiu „Amisab” în cele 6 șuruburi. Rolul șablonului de aluminiu „Amisab” este de a asigura supraînălțarea uniformă a tuturor țevilor de cupru.



Figură 24 – Șablonul de aluminiu „Amisab” conceput pentru realizarea supraînălțării uniforme a piesei

Astfel, necesitatea fixării țevilor de cupru de plăcile tubulare prin aftuire s-a eliminat prin implementarea șablonului de aluminiu „Amisab” în scopul îmbunătățirii procesului de asamblare și sudare a celor 288 de țevi de cupru.

Pentru evitarea suprapunerii punctului de start cu punctul final al cordonului de sudură circular, în programul software s-a definit un punct suplimentar aflat la 5 mm distanță de punctul de start. Punctul s-a adăugat pentru fiecare țevă în scopul eliminării apariției neconformităților în cordonul de sudură la sfârșitul procesului de sudare.



Figura 25 – Cordoane de sudură realizate prin definirea a 5 puncte pentru fiecare țevă în sistemul robotic

În scopul evitării apariției craterelor în cordonul de sudură, la sfârșitul procesului de sudare al fiecărei țevi, în lista de final a programul software s-a modificat timpul de cădere a curentului de la 2 sec la 5 sec.

Pentru reducerea deformațiilor și evitarea supraîncălzirii locale a piesei s-au realizat modificări software asupra ordinii de execuție a sudării sectoarelor de țevi.

Sectoare de zece țevi se vor grupa pe piesă, de la interior spre exterior, dispuse la 60 de grade pe circumferință, începând cu sectorul S11.

Dupa o rotație completă, procesul de sudare continuă la sectorul S311, apoi din 60° în 60°. Se realizează o nouă rotație completă din 60° în 60°, după care se trece la sectorul S511 și se sudează robotizat. Se efectuează o nouă rotație completă din 60° în 60°, după care se trece la sectorul S211 și se sudează robotizat. Se realizează o altă rotație completă din 60° în 60°, după care se trece la sectorul S411 și se sudează robotizat. Procesul de sudare se finalizează după rotația completă din 60° în 60° a sectorului S411.

Procesul de sudare robotizat necesită prezența unui operator pentru toate operațiile aferente poziționării, fixării, “sudării la rece”, sudării efective, deprinderii și transportului piesei sudate care este asistat de un specialist programator pentru ajustarea și implementarea softului de procesare. Operația GTAW robotizată se execută de un singur operator la care se adaugă și necesitatea existenței unui programator cu înaltă calificare care să implementeze codul pentru componenta software a sistemului robotic.

O modificare evidentă a procesului tehnologic de realizare a ansamblului schimbător de căldură este constituită din îmbunătățirea condițiilor de lucru ale operatorului, care nu mai este obligat să lucreze în condiții care pot să îi afecteze starea de sănătate cum ar fi inhalare de fum, provenit prin topirea metalelor, radiația luminoasă GTAW, stropi de metal topit, atingerea accidentală a piesei încălzite.

5.6. IMPLEMENTAREA CODULUI ÎN COMPONENTA SOFTWARE A SISTEMULUI ROBOTIC

5.6.1. Primul program software al consolei sistemului robotic

Utilizând primul program software dezvoltat, din totalul de 288 de țevi aflate în componența ansamblului schimbător de căldură au fost sudate un numar de 258 de țevi. Țevile aflate în vecinătatea celor șase tije de rigidizare au fost sudate separat. În concluzie, pentru restul de 30 de țevi a fost conceput un program dedicat.

Prin urmare, au fost definite 4 puncte intermediare, 50 de puncte pentru un singur sector de zece țevi și 5 puncte de translație a mesei sistemului robotic. În scopul realizării procesului de sudare robotizat, pentru 258 din totalul de 288 de țevi ale unei plăci tubulare au fost salvate in consolă 59 de puncte.

În figura 26 sunt reprezentate cele 5 sectoare numite S11, S211, S311, S411, S511 în culorile verde, bleu, galben, portocaliu și respectiv alb. Prin realizarea rotației mesei sistemului

robotic, fiecare din aceste 5 sectoare va fi translatat pe rând de șase ori din 60° în 60° în ordinea stabilită.

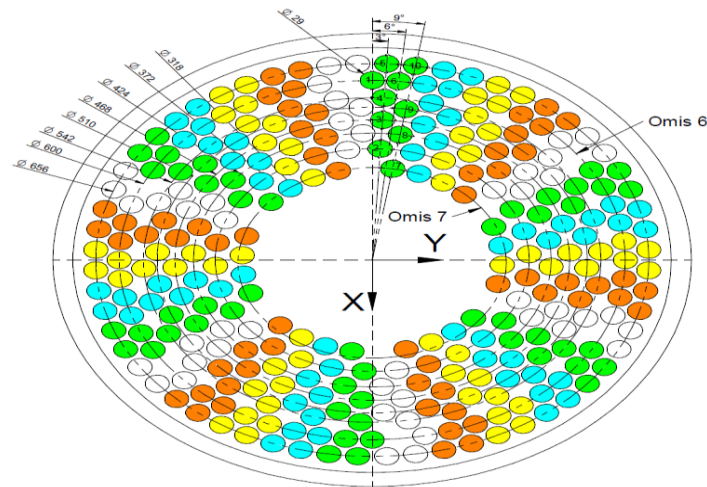


Figura 26 - Reprezentarea sectoarelor S11, S211, S311, S411, S511 în culori diferite

5.6.2. Al doilea program software al consolei sistemului robotic

Codul pentru al doilea program software a fost dezvoltat cu scopul sudării țevilor aflate în vecinătatea celor 6 tije de rigidizare rămase din sectoarele S411 și S511, primare și translatate. La final, toate cele 288 de țevi componente au fost sudate pe partea frontală a plăcii tubulare.

În urma cercetărilor efectuate asupra posibilității de îmbunătățire a tehnologiei de realizare a ansamblului schimbător de căldură prin înlocuirea lipirii cu sudarea GTAW robotizată a țevilor de cupru, s-a obținut o reducere semnificativă a timpului de execuție a piesei.

Înlocuirea lipirii cu sudarea GTAW robotizată a necesitat o investiție financiară majoră în achiziția sistemului robotic CLOSS CST FLEX S în 8 axe.

CAPITOLUL VI

6. MANAGEMENTUL PROCESELOR DE SUDARE

6.1. INTRODUCERE

Activitatea de cercetare științifică din capitolul 6 constă în analiza diferitelor metode de sudare pentru a alege cea mai eficientă metodă din punct de vedere tehnico-economic. Astfel, sunt prezentate calculele privind fiecare procedeu de sudare în parte, precum și metoda ELECTRE pentru stabilirea unei singure metode și pentru a forma necesarele concluzii privind desfășurarea procesului de sudare ales.

În prima parte a capitolului 6 este prezentată informația despre managementul fabricării piesei sudate în care este prezentat fluxul informațional și tehnologic.

Partea fundamentală din capitol constă în calcul tehnico-economic pentru 3 metode diferite de execuție a ansamblului schimbător de căldură, componenta a unui compresor centrifugal de aer industrial (CCAЕ), care implică și analiza SWOT cu referire la metoda optimă care poate fi folosită pentru procesul de execuție al ansamblului schimbător de căldură.

6.2. MANAGEMENTUL FABRICĂRII STRUCTURII SUDATE

Managementul fabricării structurii sudate este un proces important în vederea obținerii unui produs de calitate superioară în condiții specifice de timp, a dinamicii pieței, a factorilor externi, impuse de obiectivele inițiale ale producției. Principalul obiectiv al managementului fabricării structurii sudate este de a asigura un proces tehnologic de eficiență maximă la capacitatea anumită a fabricii, având în vedere cerințele specifice pentru organizarea producției și calificarea personalului de sudare. Sudarea este un proces special și are un impact semnificativ asupra calității finale a produsul.

6.2.1. Prezentarea fluxurilor necesare realizării produsului sudat

Pentru utilizarea maximă a capacității de producție a unei întreprinderi este necesar cunoașterea tuturor proceselor care sunt necesare elaborării unui produs. Pentru administrarea și gestionarea a acestor procese se folosește noțiunea de flux tehnologic care contribuie la stabilirea și realizarea obiectivelor de bază a organizației.

Fluxul informațional se referă la circuitul informațiilor tehnologice legate de produs/tehnologie în interiorul unei organizații (între compartimentele productive, de proiectare, de aprovizionare, livrare, ambalare etc) sau între diverse entități sau organizații. Fluxul informațional definește modul în care circulă și sunt utilizate anumite informații dintre diferite departamente din cadrul unei companii. Un flux informațional viguros trebuie să aibă o modalitate prin care se înregistrează totalitatea informației care circulă în organizație. Pașii principali în implementarea unui flux informațional constă în faza de execuție, faza decizională, faza de răspuns și faza de arhivare, care sunt importante în egală măsură.

Managementul unei organizații (companie, firmă, unitate de învățământ, unitate sanitară, institut de cercetare etc.) este definit printr-o organigramă, în care se regăsesc toate compartimentele care funcționează în cadrul acesteia, cu indicarea relațiilor de interacțiune, nivelul de coordonare, subordonare și ierarhia la vârf. În fig.27 este ilustrat un exemplu de flux informațional corespunzător procesului de sudare, necesar realizării produsului “Schimbător de căldură”.

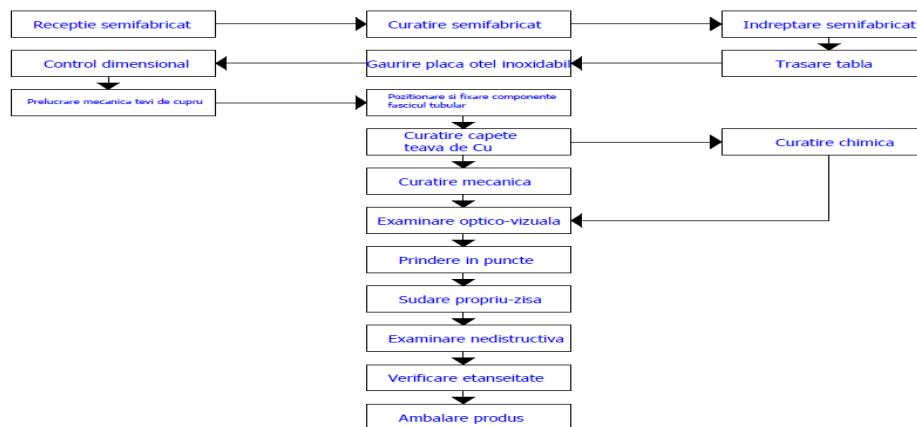


Figura 27 - Fluxul informațional corespuzator procesului de sudare, necesar realizării produsului “Schimbător de căldură”

Sarcinile și responsabilitățile personalului implicat în activitățile de prelucrare, sudare, planificarea execuției, supraveghere și inspecție, trebuie să fie clar definite, conform standardului “SR EN ISO 14731:2007. Coordonarea sudării. Sarcini și responsabilități”, care cuprinde sarcinile și responsabilitățile aferente calității, incluse în coordonarea activităților referitoare la sudare. În ceea ce privește personalul care se ocupă cu activitățile de sudare sau conexe sudării se precizează că:

Sudorul sau operatorul sudor

- Pregătește/verifică aparatele de sudură;
- Poziționează piesele în vederea tăierii sau sudării;
- Respectă regulamentul intern al societății;
- Se îngrijește de integritatea și buna funcționare a dispozitivelor folosite;
- Asigură curățarea locului de muncă;
- Are capacitatea de a realiza îmbinări sudate conform calificării;
- Efectuează preîncălzire când este necesar;
- Îndepărtează neconformitățile de la suprafața cordonului de sudură;
- Setează parametrii procesului de sudare.

Inginer sudor

- Întocmește documentația tehnologică (WPS, pWPAR);
- Asigură alegerea corectă a materialelor de adaos;
- Participă la calificarea sudorilor sau operatorilor sudori;
- Cunoaște:
 - Legislația;
 - Prevederile;
 - Prescripțiilor tehnice;
 - Standardele;
 - Alte acte normative.
- Supraveghează ca materialele de bază să fie conforme cu documentația tehnică
- Stabilește cauzele apariției imperfecțiunilor și ia măsuri corespunzătoare pentru remedierea lor.

Responsabilul tehnic cu sudura

- Verifică dacă tehnologia de execuție este în concordanță cu procedura de sudare aprobată;
- Verifică documentația tehnică preliminară de instalare, montare și/sau reparare;
- Urmărește efectuarea verificării calității îmbinărilor și vizează documentele privind verificarea îmbinărilor sudate;
- Ține evidența la zi a sudorilor autorizați, în registrul de evidență a sudorilor.
- Avertizează celelalte structuri de personal asupra pericolelor existente;

Responsabilul cu controlul calității

- Execută inspecția calității;
- Elaborează buletine de încercare;
- Stabilește calificativul de admis / respins pentru piesa sudată.

6.3. CALCULELE ECONOMICE PRIVIND EVALUAREA PROCESELOR DE SUDARE PENTRU DEFINIREA UNEI METODE OPTIME

În fig.28, fig.29, fig.30 sunt prezentate grafice ale costului de materiale, ale costului de manoperă, ale costului total de producție aferent unui ansamblu schimbător de căldură pentru fiecare din cele 3 procese (sudare robotizată, sudare manuala, lipire) obținute prin calcul.

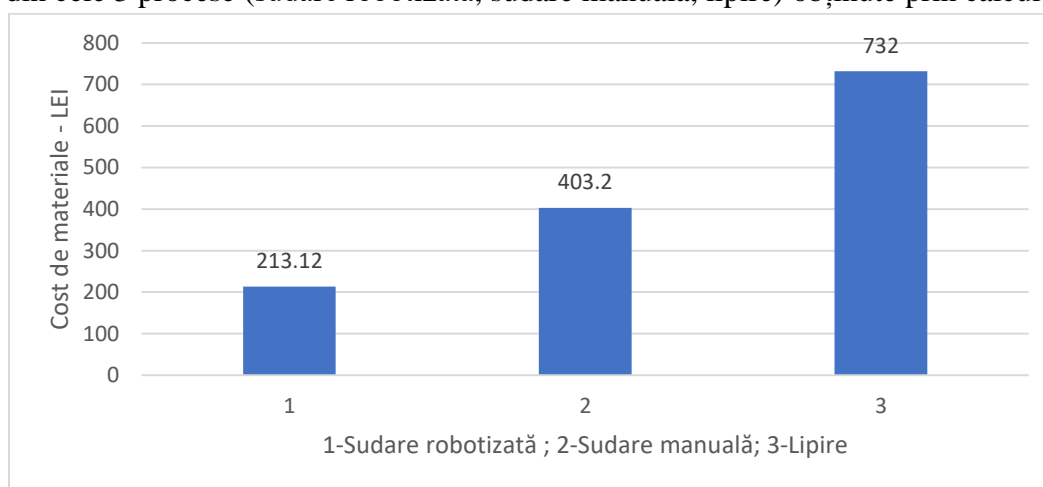


Figura 28 - Costul de materiale pentru execuția unui ansamblu schimbător de căldură

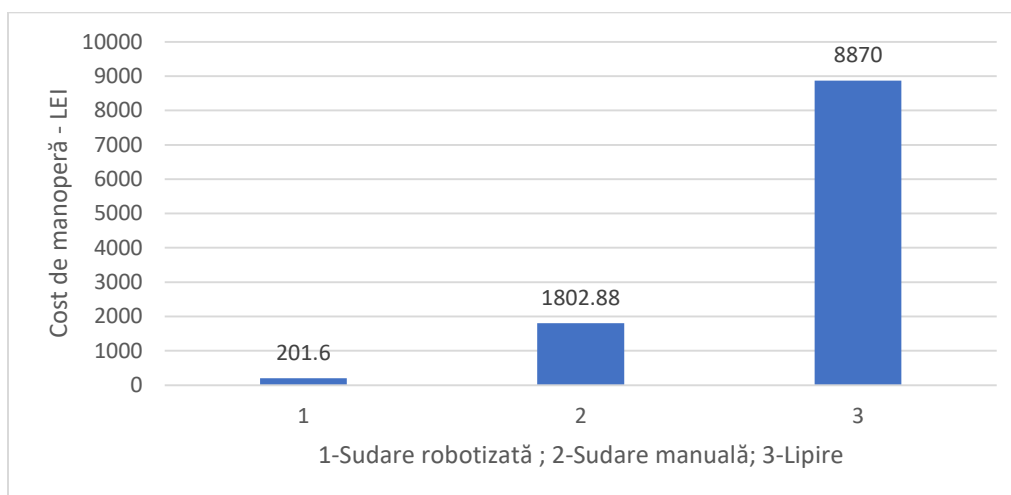


Figura 29 - Costul de manoperă pentru execuția unui ansamblu schimbător de căldură

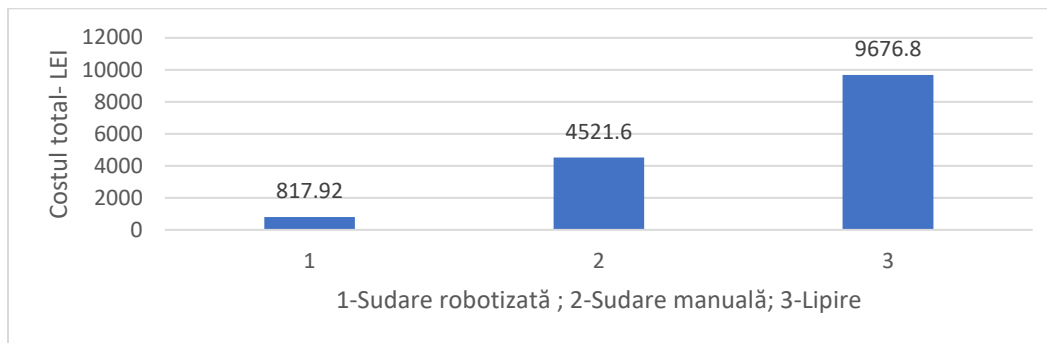


Figura 30 - Costul total pentru execuția unui ansamblu schimbător de căldură

6.4. METODA ELECTRE

Metoda ELECTRE este un instrument matematic care poate fi utilizat pentru alegerea procedurii optime de sudare dintre mai multe variante posibile, aceasta servind la compararea variantelor $V_1, V_2, V_3, \dots, V_x$, din punct de vedere al criteriilor $C_1, C_2, C_3, \dots, C_x$. După cum am evidențiat mai sus aplicarea metodei ELECTRE se bazează pe două grupe de indicatori și anume: indicatori de concordanță (C_c) și indicatori de discordanță (C_d). Mai întâi se întocmește lista principalelor procedee posibile care pot fi utilizate pentru a se realiza produsul sudat, apoi se adaugă datele reale cultivate în urma analizei proceselor de sudare și anume pentru fiecare din criterii propuse pentru analiză, conform modelului din tabelul următor.[98]

Tabel 8 - Matricea ”Procedee de asamblare nedemontabilă și criterii de analiză”

Procedeele de asamblare nedemontabilă	Criterii de analiză						
	Numărul de intervenții pentru remediere din 576 de capete (CAPETE)	Durata de fabricație (ORE)	Productivitate (PIESE/LUNĂ)	Profit (RON)	Investiția în dispozitiv (RON)	Cost materiale (RON)	Cheltuieli pentru consum de energie (RON)
Lipirea cu LP60	120	160	2	10000	1500	7320	290
GTAW manuală	60	40	4	15000	2000	459	380,16
GTAW robotizată	20	8	16	25000	2500	389	364,8
Coeficientul de importanță, K_i	0,20	0,10	0,10	0,25	0,20	0,05	0,10
Criteriul minim sau maxim de analiză	minim	minim	maxim	maxim	minim	minim	minim

Coficienții de importanță au fost stabiliți cu ajutorul metodei experților și anume de un panel de experți din domeniu.

La finalul efectuării tuturor calculelor, pentru etapa finală de analiză și alegerea variantei optime cu ajutorul metodei ELECTRE, se combină indicii de concordanță și de discordanță prin introducerea unui prag de discordanță și a unui prag de concordanță.

Conform pragurilor de concordanță și de discordanță se stabilește varianta optimă pentru procedeul de realizare a schimbătorului de căldură agabaritic este metoda GTAW robotizată.

6.5. ANALIZA SWOT

6.5.1. Metoda de lipire cu LP60

Tabel 9 - Analiza SWOT pentru metoda de lipire cu LP60

<p>Puncte tari:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cost redus al sistemului. 2. Personal calificat existent. 3. Gradul de poluare mai redus în comparație cu metoda de sudare GTAW. 	<p>Puncte Slabe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Costuri suplimentare privind utilizarea materialului de adaos. 2. Un număr mult mai mare de remedieri în comparație cu alte metode de sudare. 3. Greutatea în producerea pieselor în cantitate mare. 4. Prezența majoră a factorului uman, care poate duce nu doar la remedieri dar și la accidente de muncă. 5. Consumul suplimentar al țevelor de cupru.
<p>Oportunități:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Producerea pieselor mici care necesită în mare parte doar sudarea manuală. 	<p>Amenințări:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Factorul uman. 2. Intrarea unor noi concurenți pe piața care folosesc tehnologii mai avansate. 3. Creșterea inflației înseamnă creșterea salariilor personalului. 4. Riscul de a rămâne fără forța de muncă calitativă.

6.5.2. Metoda de sudare GTAW

Tabel 10 - Analiza SWOT pentru metoda de sudare GTAW

<p>Puncte tari:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se reduce timpul de realizare a produsului final cu 50%. 2. Se obține o scădere a costurilor de execuție. 3. Lipsa utilizării materialului de adaos care reduce costurile de execuție. 	<p>Puncte Slabe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Costurile ridicate din cauza cheltuielilor cu personalul specializat în programarea sistemului robotizat. 2. Durata mai lungă a școlarizării și a atestării personalului. 3. Implementarea unui soft și implicarea a
--	---

<p>4.Reducerea consumului de țeava de cupru necesară, prin scurtarea lungimii fiecărei țevi cu 6 mm, si pentru tot ansamblu 1728 mm. 5.Eficiența ridicată. 6.Calitatea înaltă. 7.Excluderea factorului uman. 8.Reducerea consumului de metal. 9.Realizarea structurilor de complexitate practic nelimitată. 10.Flexibilitate și mobilitate ridicate. 11.Poluare redusă și consum redus de energie.</p>	<p>unui programator specializat. 4.Cost suplimentar necesar privind dezvoltarea elementelor de prindere și pentru dispozitivul de fixare a ansamblului schimbător de căldură pe masa sistemului robotic. 5.Costuri ridicate a întregului sistem. 6. Costurile ridicate cu evaluarea, verificarea si calificarea procesului de sudare robotizat pe epruvete și eşantioane de piese. 7. Apariția tensiunilor și deformațiilor după sudare. 8. Modificarea locală a proprietăților metalului de bază, a caracteristicilor de rezistență mecanică, rezistență la coroziune etc.</p>
<p>Oportunități: 1.Faptul că timpul de realizare este mult mai rapid fata de alte metode de sudare, semnifică faptul că firma care deține aceasta tehnologie poate sa mărească cantitatea de piese efectuate, care duce la creșterea profitului. 2.Faptul că robotul se poate programa în diverse scenarii, poate largi baza de clienți a întreprinderii, ceea ce duce la dezvoltarea acesteia în timp. 3.Trecerea întreprinderii în formatul 24/7.</p>	<p>Amenințări: 1.Lipsa investițiilor în sistemul robotizat care poate duce la o deteriorare a acestuia, și la o calitate mai scăzută a procesului de sudare. 2.Exista piese mici la care este mai convenabil folosirea metodei clasice manuale de sudare.</p>

În urma efectuării analizei tehnologiilor de asamblare din punct de vedere tehnico-economic a ansamblului schimbător de căldură aferent unui compresor centrifugal de aer CCAE, metoda GTAW robotizată a prezentat avantaje mai considerabile în comparație cu metodele de asamblare GTAW manuală și lipire.

În cazul efectuării schimbării metodei existente de asamblare prin lipire, pe metoda automatiză GTAW utilizând robotul CLOOS CST FLEX S și sursa de sudare WIG AC / DC GLW 500 costurile producției scad, timpul de execuție a produsului final scade, capacitatea de producție crește, profitul companiei crește și calitatea produsului crește.

CAPITOLUL VII

7. CONCLUZII GENERALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

7.1. Concluzii generale

Problema de cercetare din teza de doctorat implică un control eficient al producției. Compania trebuie să pună accent astfel pe automatizarea procesului prin realizarea de software capabil să gestioneze rapid necesitățile de producție. Se va urmări realizarea unei linii de producție automatizată, unde intervenția operatorului uman este minimă.

Industria roboților de sudare este un succes, dar nu este nici pe departe un proces tehnologic ușor, fără provocari. Procesul de sudare este dificil de controlat. Parametrizarea procesului și realizarea de software sunt de asemenea activități complexe.

Avantajul major al unei soluții de robot industrial constă în faptul că eroarea implicită reprezentată de factorul uman este eliminată. Astfel, calitatea cordonului de sudură și rata cu care este realizat cresc semnificativ. Ceea ce crește este și complexitatea procesului pentru care va trebui programat robotul industrial astfel încât să își îndeplinească scopul. Programarea roboților industriali este implementată de specialiști și în acest context, pentru unele aplicații, roboții industriali sunt dificil de integrat. Pe de altă parte, ținând cont că operatorul uman este înlocuit de un robot industrial, costurile de producție vor scădea semnificativ.

7.2. Contribuții originale

Soluția de realizare a ansamblului schimbător de căldură pentru un compresor centrifugal de aer industrial (CCA) prin schimbarea tehnologiei de lipire cu tehnologia de sudare robotizată semnifică o cercetare aprofundată care implică reproiectarea piesei, proiectarea unui dispozitiv de fixare a piesei și aplicarea noii tehnologii.

Pe baza rezultatelor obținute pe epruvete s-a putut demonstra că procesul de sudare robotizată GTAW este o metodă optimă de asamblare a componentelor. Prin activitatea de cercetare, micile modificări ale unor componente (scurtarea celor 288 de țevi din Cu 99,9 la lungimea de 436 mm, proiectarea și execuția dispozitivului de poziționare, fixare și suport) au asigurat realizarea ansamblului schimbător de căldură într-un timp cât mai scurt, la un nivel calitativ înalt.

Stabilirea noii tehnologii de realizare a ansamblului schimbător de căldură s-a finalizat ca urmare a unei activități de cercetare continue care implică următoarele contribuții:

- Proiectarea și adaptarea piesei pentru sudarea GTAW cu sistemul robotizat;
- Proiectarea unui dispozitiv de poziționare, fixare și suport care să permită așezarea și fixarea piesei pe masa rotativă a sistemului robotizat;
- Dezvoltarea și îmbunătățirea unor programe software dedicate prin care sistemul robotizat să sudeze componentele ansamblului schimbător de căldură;
- Analizarea costurilor de producție prin aplicarea managementului procesului de sudare robotizat. Dezvoltarea unei comparații între procesul de realizare anterior prin lipire și noua tehnologie de sudare GTAW robotizată.

Modificarea tehnologiei de realizare a ansamblui schimbător de căldură a fost testată și verificată pe o serie de epruvete. Rezultatele testelor au condus la stabilirea parametrilor optimi de sudare. S-a proiectat un dispozitiv de poziționare, fixare și suport pentru piesă la care s-au adus îmbunătățiri pe parcursul asamblării primei piese pe masa rotativă a sistemului robotizat. Modificările au fost concepute pentru o mai buna centrare și fixare a piesei.

Pe tot parcursul cercetării realizate atât pe epruvete, cât și pe primul ansamblu schimbător de căldură s-a elaborat un program software, după care acesta a fost permanent optimizat prin dezvoltare de cod și modificarea parametrilor de sudare.

Prin comparația dintre sudarea GTAW și lipire, în cadrul analizei costurilor de producție a piesei, s-a constatat că diferența dintre costuri nu corespundea cerințelor de producție. Pentru a putea face față cerințelor de producție, a fost necesară cercetarea tehnologiei de sudare GTAW robotizată.

7.3. Direcții viitoare de cercetare

O primă direcție viitoare de cercetare este reprezentată de identificarea unor valori de parametri de sudare care, prin lansarea programului software al sistemului robotic, să reducă timpul de execuție a ansamblului schimbător de căldură și mai mult decât s-a obținut în teza de doctorat. Cercetarea aprofundată a valorilor parametrilor de sudare prin experimentări poate avea ca rezultat reducerea consumului de Argon, reducerea consumului de energie electrică, reducerea consumului de electrozi.

Reducerea timpului de execuție al ansamblului schimbător de căldură se poate realiza, de asemenea, prin stabilirea unei soluții care să implice dezvoltarea unui singur program software cu ajutorul căruia să se sudeze robotizat pe placa tubulară toate cele 258 de găuri și cele 30 de găuri din vecinătatea tijelor de rigidizare, în același ciclu de execuție al componentei software. Prin urmare, aceasta reprezintă o altă direcție viitoare de cercetare având în vedere că teza propune două programe software separate pentru sudarea robotizată a ansamblului schimbător de căldură.

Soluția propusă de teză poate avea ca direcție viitoare de cercetare înlocuirea procesului de lipire cu sudarea GTAW robotizată a tuturor schimbătoarelor de căldură.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [1] M. Rosheim, “Robot Evolution: The Development of Anthrobots”, New York: John Willey & Sons, 1994.
- [2] J. Norberto, A. Loureiro, G. Bolmsjo, „Welding Robots – Technology, System Issues and Applications, ISBN-10: 1852339535, Springer-Verlag London Limited, 2006.
- [10] Bolmsjö G., Olsson M., Nikoleris G., and Brink K. Task programming of welding robots. In Proceedings of the Int. Conf. on the Joining of Materials, JOM-7, pag. 573-585, May-June 1995.
- [17] Beom-Sahng Ryuh and Gordon R. Pennock, "Arc Welding Robot Automation Systems", Industrial Robotics: Programming, Simulation And Applications, 2006, doi:10.5772/4918.

- [19] S. Gorsse, B. Ouvrard, M. Gouné, A. Poulon-Quintin, “Microstructural design of new high conductivity – high strength Cu-based alloy”, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 633, Pages 42-47, ISSN 0925-8388, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.01.234>, 2015.
- [36] Isaac Nathaniel Williams, *"Design and implementation of a fixture for robotic welding"*, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 2016.
- [45] Pachbbai Shilesh S., Laukik P. Raut. *"A Review on Design of Fixtures."* *International Journal of Engineering Research and Neral Science* 2.2, 2014.
- [46] *"Pipe Fitter's Handbook"*, Anvil International, 2012.
- [85] Juho Jouttijärvi, Melvin Vimal Raj, “Semi-Automatic Robot Welding for Workshops”, Saimaa University of Applied Sciences, Faculty of Lappeenranta, 2018.
- [88] Mikael Ericsson, ”Simulation of robotic TIG-welding”, ISBN 91-628-5702-9, LUTMDN/(TMMV-5170)/1-96/(2003), 2003.
- [89] Asefa Robsan Abebe, Liu Chao Hua, “Study of Simulation Technology for Gas Metal Arc welding Robot using Robot Studio”, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, ISSN: 2278-0181, Vol. 9 Issue 04, 2020.
- [90] Frank L. Lewis, John M. Fitzgerald, Ian D. Walker, Mark R. Cutkosky, Kok-Meng Lee, Ron Bailey, Frank L. Lewis, Chen Zhou, John W. Priest, G. T. Stevens, Jr., John M. Fitzgerald, Kai Liu, “Mechanical Engineering Handbook”, Ed. Frank Kreith, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
- [92] Luminita Popa, Simona Duicu, “Modeling and simulation of welding robot trajectory using Catia software”, 1st International Conference on Machine Design and Automation, Antalya, Turkey, Volume: Mathematical Methods and Optimization Techniques in Engineering, 2013.
- [93] I. Dávila-Ríos, L. M. Torres-Trevino and I. Lòpez-Juàrez, "On the Implementation of a Robotic Welding Process Using 3D Simulation Environment," 2008 Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA '08), 2008, pp. 283-287, doi: 10.1109/CERMA.2008.71.
- [98] Roy, Bernard Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *la Revue d'Informatique et de Recherche Opérationelle (RIRO)* (8):57–75., (1968).