

CUPRINS

	pag.
1.Introducere.....	5
1.1.Principiul procedurii.....	6
1.2.Domenii de aplicare.....	9
2.Contribuții la dezvoltarea procesului de sudare cu arc rotitor.....	12
2.1.Dezvoltarea echipamentelor de sudare.....	13
2.1.1.Sistemul de fixare și refulare.....	18
2.1.2.Sistemul de magnetizare.....	30
2.1.2.1.Sisteme cu magneți permanenți.....	30
2.1.2.2.Sisteme cu bobine de excitație.....	33
2.1.2.3.Câmpul magnetic.Experimentări cu sisteme interioare	44
2.1.3.Realizări de echipamente de sudare cu arc rotitor.....	54
2.2.Determinarea analitică a parametrilor de sudare.....	59
2.3.Diagnosticarea acustică a procesului de sudare cu arc rotitor.....	62
2.3.1.Arcul electric ca sursă de zgomot.....	62
2.3.2.Înregistrarea zgomotului arcului rotitor.....	67
2.4.Sistem de comandă și control a procesului de sudare cu arc rotitor.....	77
2.4.1.Programe de prelucrare.....	84
2.4.2.Prelucrări off-line.....	92
2.4.3.Experimentări.....	92
2.4.4.Concluzii.....	95

3. Contribuții la dezvoltarea aplicațiilor procesului de sudare cu arc rotitor.....	96
3.1. Sudarea barelor.....	97
3.1.1. Încălzirea cu arc rotitor a pieselor cu secțiune plină.....	97
3.1.2. Sudarea barelor Φ 10mm.....	105
3.1.3. Concluzii.....	110
3.2. Sudarea profilelor.....	111
3.2.1. Câmpul magnetic la sudarea profilelor.....	111
3.2.2. Sudarea țevilor pătrate.....	120
3.2.2. Concluzii.....	124
3.3. Sudarea oțelurilor inoxidabile austenitice.....	125
3.3.1. Particularități la sudarea cu arc rotitor a oțelurilor austenitice.....	125
3.3.2. Sudarea țevilor $\phi 6 \times 1$ mm.....	130
3.3.3. Concluzii.....	133
3.4. Sudarea țevilor zincate.....	134
3.5. Realizarea îmbinărilor eterogene de tipul oțel carbon - oțel inoxidabil.....	142
3.5.1. Caracteristici fizice ale materialelor de bază.....	143
3.5.2. Câmpul magnetic.....	145
3.5.3. Sudarea țevilor Φ 20x2 mm.....	154
3.5.4. Concluzii.....	160
4. Contribuții originale și considerații finale.....	162
4.1. Contribuții originale.....	163
4.2. Concluzii.....	165
Bibliografie.....	168

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

1.INTRODUCERE.

Lucrarea de față reprezintă o sinteză a studiilor și experimentărilor făcute de autor în domeniul creșterii parametrilor calitativi și fiabilității procedeului de sudare cu arc rotitor.

Experimentările din cadrul lucrării au fost efectuate la Institutul de Sudură și Încercări de Materiale Timișoara, institut în care autorul își desfășoară activitatea de 7 ani.

Pentru încrederea acordată cât și pentru grija și îndrumarea deosebit de competentă, autorul dorește să exprime prețuirea și recunoștința sa conducătorului științific, prof.dr.ing.Voicu Safta.

La elaborarea lucrării autorul s-a bucurat de grija și sprijinul conducerii ISIM Timișoara, care i-a creat condiții excelente pentru formarea sa profesională și desfășurarea activității de cercetare.

Autorul își exprimă, de asemenea recunoștința și gratitudinea sa față de conf.dr.ing.Dorin Dehelean, cărui îi datorează formarea sa ca cercetător științific în domeniul sudurii, cât și pentru sprijinul continuu și prietenesc acordat.

1.1.PRINCIPIUL PROCEDEULUI.

Sudarea cu arc rotitor este un procedeu de sudare cu arc electric prin presiune.Procedeul se bazează pe utilizarea influenței unui câmp magnetic exterior asupra arcului electric,arc ce se rotește pe suprafețele frontale ale pieselor ce se sudează.După ce încălzirea pieselor a atins un anumit nivel se comandă refularea lor,realizându-se astfel îmbinarea sudată [1].

În felul acesta ,sudarea cu arc rotitor reprezintă o combinație între procedeele de sudare cu arc electric,respectiv prin presiune.

În figura 1 se prezintă principiul procedeeului de sudare cu arc rotitor.Rotația arcului electric este comandată de un câmp magnetic radial,forța electromagnetică rezultată fiind tangențială la conturul pieselor ce se sudează .

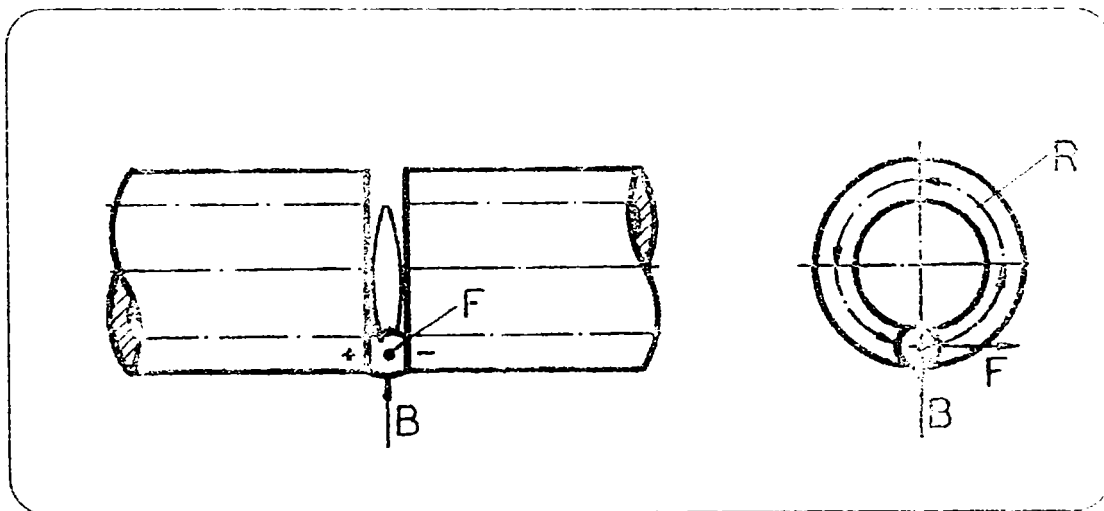


figura 1

Procedeul de sudare cu arc rotitor oferă posibilitatea realizării unei îmbinări cap la cap a profilelor cu contur închis, fără a avea nevoie de elemente în mișcare de rotație. Astfel echipamentul de sudare devine mai simplu și mai robust, iar productivitatea crește considerabil [2]. Profilele ce se pot suda cu arc rotitor se pot împărți în două categorii:

- profile cu contur circular și eliptic;
- profile cu contur poligonal.

Pentru ambele cazuri, viteza de rotație are în cazul pieselor din materiale feromagnetice o variație tipică în timp, cu observația că la sudarea profilelor cu contur poligonal, mișcarea arcului este complexă fiind compusă dintr-o mișcare liniară în zona laturilor, respectiv o schimbare bruscă de direcție în zona colțurilor.

Principiul procedurii constă în poziționarea celor două țevi 1 ce trebuie sudate cap la cap, la o distanță între ele (întrefier) $d=0,7-2$ mm, fixate în bacurile de strângere 2 ce permit deplasarea pe direcția axială, figura 2. În zona întrefierului dintre țevi se fixează simetric cu suprafețele frontale, sistemul de magnetizare 3, care generează câmpul magnetic radial necesar rotirii arcului. Arcul electric este alimentat de la o sursă de curent continuu 5, cu caracteristică căzătoare.

După alimentarea sistemului urmează amorsarea arcului, realizată prin atingerea pieselor, urmată apoi de revenirea lor în poziția întrefierului reglat inițial. La revenirea țevilor în poziția inițială se amorsează arcul electric, interacțiunea dintre câmpul magnetic radial și intensitatea curentului electric având ca rezultat o forță electromagnetică F , tangentă la conturul țevilor. Această forță F acționează asupra arcului electric determinând rotirea lui. Deplasarea arcului realizează topirea suprafețelor frontale ale ambelor țevi într-un timp scurt (0,5 -10sec.). Sudura se realizează prin refularea pieselor.

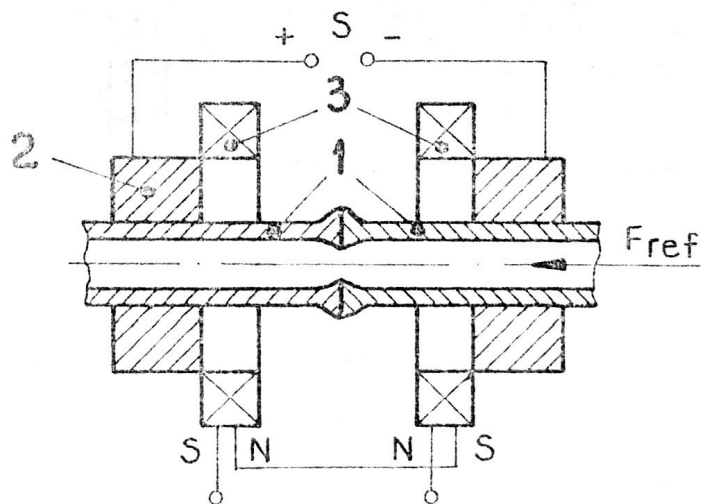
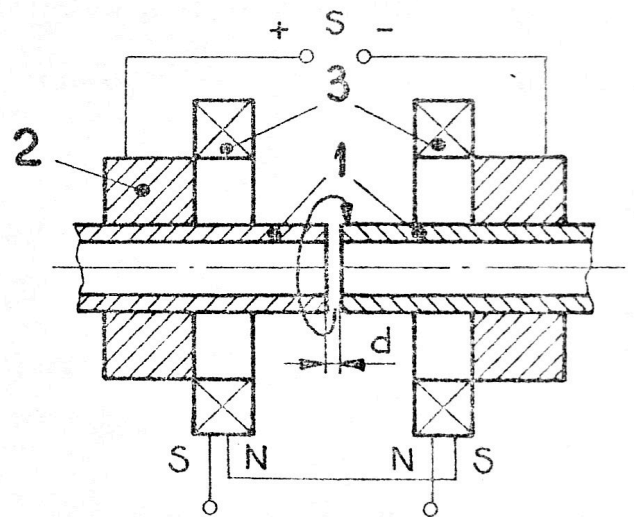
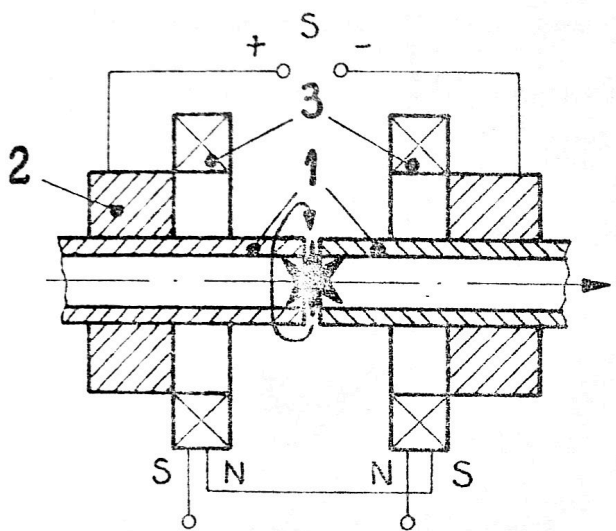
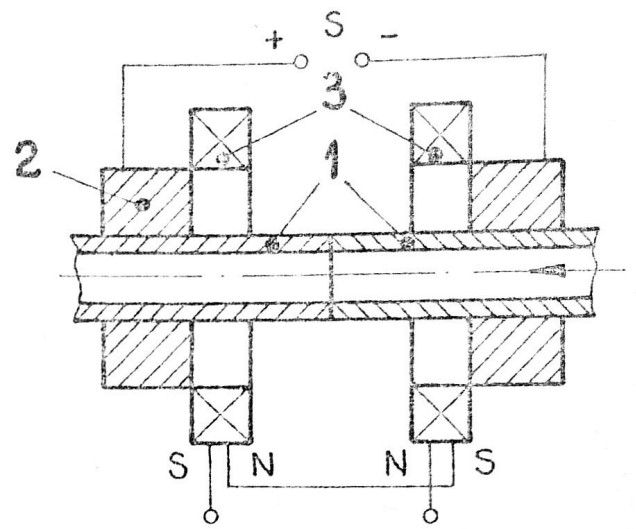
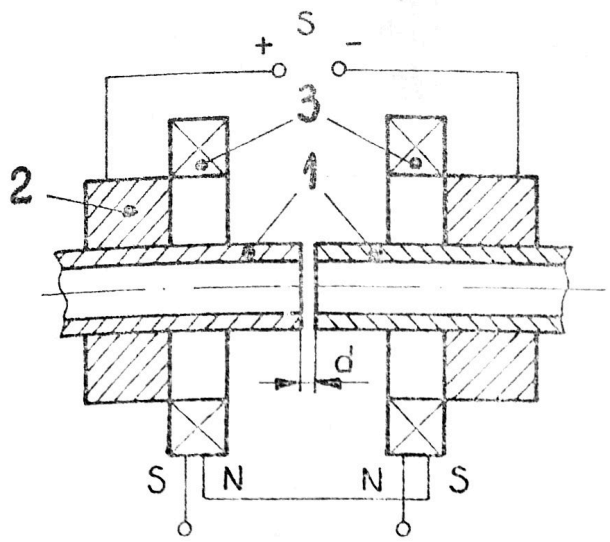


Fig. 2

1.2.DOMENII DE APLICARE.

Din punctul de vedere al sferei de aplicație ,sudarea cu arc rotitor este un procedeu de sudare cu domeniu restrâns de aplicare.Se aplică în general la sudarea cap la cap a țevelor (profilelor) cu contur închis,rezultate bune obținându-se și la sudarea îmbinărilor țeavă-flanșă,țeavă-placă.

Sudarea cu arc rotitor își găsește cea mai mare aplicabilitate la sudarea țevelor din oțel carbon cu diametre până la 100 mm și grosime a peretelui până la 5 mm.La diametre mai mari, pentru a asigura uniformitatea proceselor de încălzire sunt necesare viteze de rotație a arcului mari care conduc la o instabilitate a procesului de sudare [1].Odată cu creșterea grosimii țevelor,datorită neomogenității câmpului magnetic pe grosimea țevii,arcul electric este împins spre zona de câmp magnetic minim,încălzind doar o parte a secțiunii materialului.

Pe plan mondial domeniile de aplicabilitate ale procedurii sunt [3,4,5,6,]:

-țevi din oțeluri nealiate:

-diametre:10 până la 100 mm;

-grosimea peretelui:0,5-5 mm;

-secțiunea sudabilă: maxim 1000 mm²;

-țevi din oțeluri slab aliate:

-diametre:maxim 70mm;

-grosimea peretelui:maxim 5 mm;

-secțiunea sudabilă:maxim:700 mm²;

-țevi cu profil pătrat sau dreptunghiular:

-latura: maxim 69 mm;

-grosimea peretelui: maxim 5mm;

-secțiunea sudabilă: maxim 100 mm²;

-îmbinări de tipul țevă-placă [7,8,9]:

-materiale: oțeluri nealiat;

-grosimea peretelui țevilor: maxim 4 mm;

-grosimea plăcii: maxim 6 mm;

-diametrul țevilor: maxim 90 mm;

-îmbinări de tipul țevă-flanșă [10,11]:

-materiale: oțeluri nealiat și slab aliat;

-diametrul țevilor : maxim 80 mm;

-grosimea peretelui: maxim 5mm;

-secțiunea sudabilă: maxim 10.000 mm²

- țevi de Cu sau aliaje de Cu [12,13];

-materiale: ECu; CuNi10Fe; CuZn20Al2;

-diametre: maxim 40 mm;

-grosimea peretelui: maxim 2,5mm.

Pe lângă îmbinările prezentate mai sus, sudarea cu arc rotitor se aplică la realizarea unor subansamble în producția de serie mare [14,15,16,17,18,19].

În figura 3 sunt prezentate exemple tipice ale aplicării sudării cu arc rotitor.
[20,21,22,23,24,25,].

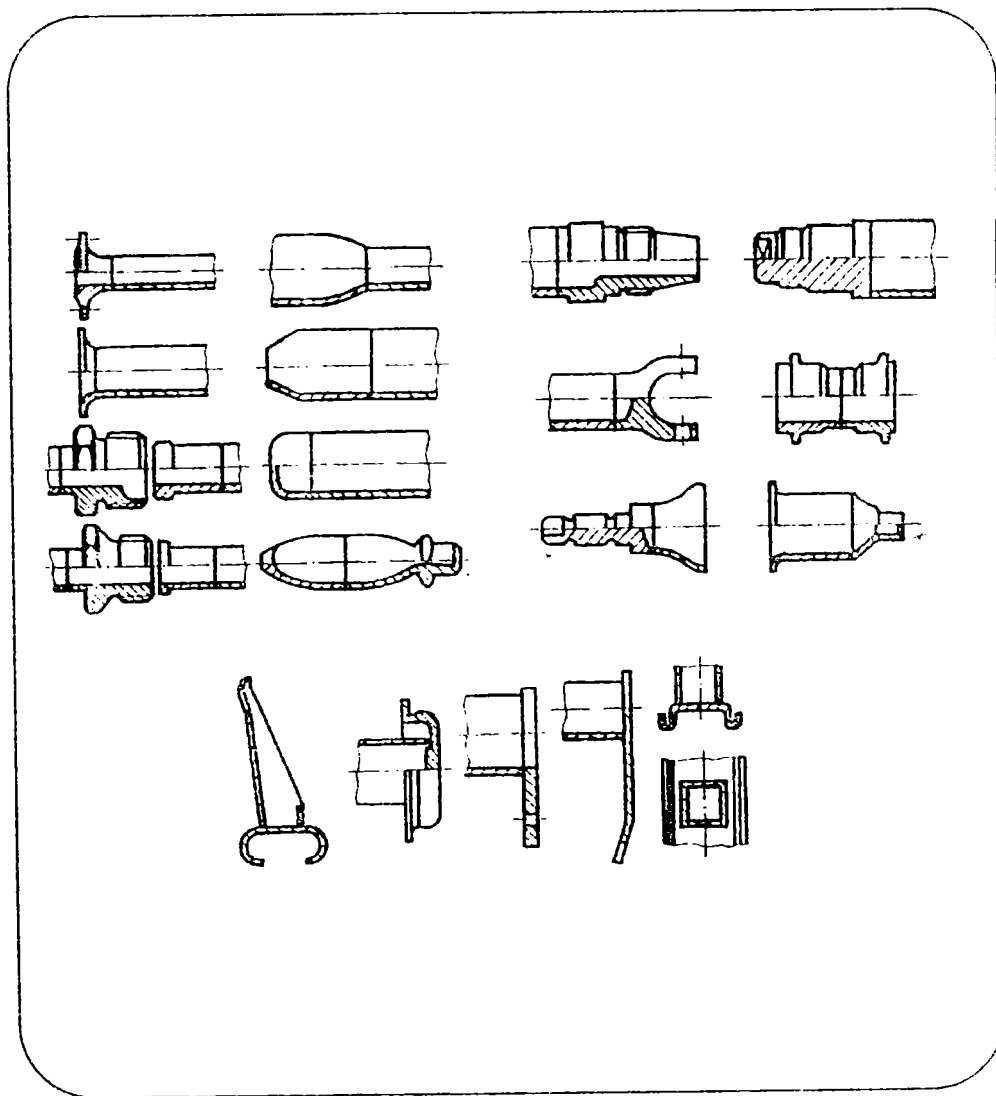


figura 3

CAPITOLUL 2

CONTRIBUTII LA DEZVOLTAREA

PROCESULUI DE SUDARE CU

ARC ROTITOR.

2.1.DEZVOLTAREA ECHIPAMENTELOR DE SUDARE.

Pentru un control riguros al procesului de sudare ,este necesară cunoașterea influenței factorilor ce intervin la realizarea unei îmbinări sudate.În procesul de sudare cu arc rotitor intervin trei elemente distincte:

- reperele de sudat;
- tehnologia de sudare.
- echipamentul de sudare;

Reperele de sudat intervin în realizarea îmbinării sudate ,prin felul materialului de bază (proprietăți fizico-chimice),prin geometria lor,cât și prin pregătirea în vederea sudării a suprafețelor frontale [19].

Pregătirea pieselor pentru sudare are importanța întrucât eventualele neregularități ale suprafețelor frontale, respectiv abaterile de la planitate ale acestora influențează stabilitatea procesului de rotație a arcului.Piesele se pregătesc prin strunjire frontală,urmărindu-se ca abaterea de la perpendicularitate a suprafețelor ce se sudează să nu depășească 0,15 mm, iar rugozitatea 50 μ m.

În ceea ce privește **tehnologia de sudare**, analiza acțiunii parametrilor de sudare a condus la concluzia că aceștia au efecte diferite asupra procesului de sudare, respectiv asupra calității îmbinării sudate și deci este utilă împărțirea lor în parametrii principali (PP),parametrii secundari (PS) și parametrii globali (PG).

Parametrii principali (PP)

I_s -curentul de sudare;

t_s -timp de încălzire;

B_r -inducția magnetică radială;

d -întrefierul;

F_{ref} -forța de refulare;

Parametrii secundari (PS)

U_a -tensiunea arcului;

I_{ref} -curentul de refulare;

V_{ref} -viteza de refulare;

t_{ref} -timpul de refulare;

Parametrii globali (PG)

V_{rot} -viteza de rotație a arcului;

Sudarea cu arc rotitor fiind un procedeu de sudare cu arc electric și presiune, împărțirea parametrilor se poate face și astfel:

-parametrii de încălzire

- I_s - curentul de sudare;
- t_s - timpul de încălzire;
- B_r - inducția magnetică radială;
- d - întrefierul;
- U_a - tensiunea arcului;
- D_{gaz} -debitul gazului de protecție;

-parametrii de presiune

- F_{ref} - forța de refulare;
- t_{ref} - timpul de refulare;
- V_{ref} -viteza de refulare;
- I_{ref} - curentul de refulare.
- S_{ref} - scurtarea la refulare.

Influența și interacțiunea dintre principalii parametrii de sudare este prezentată schematic în figura 4.

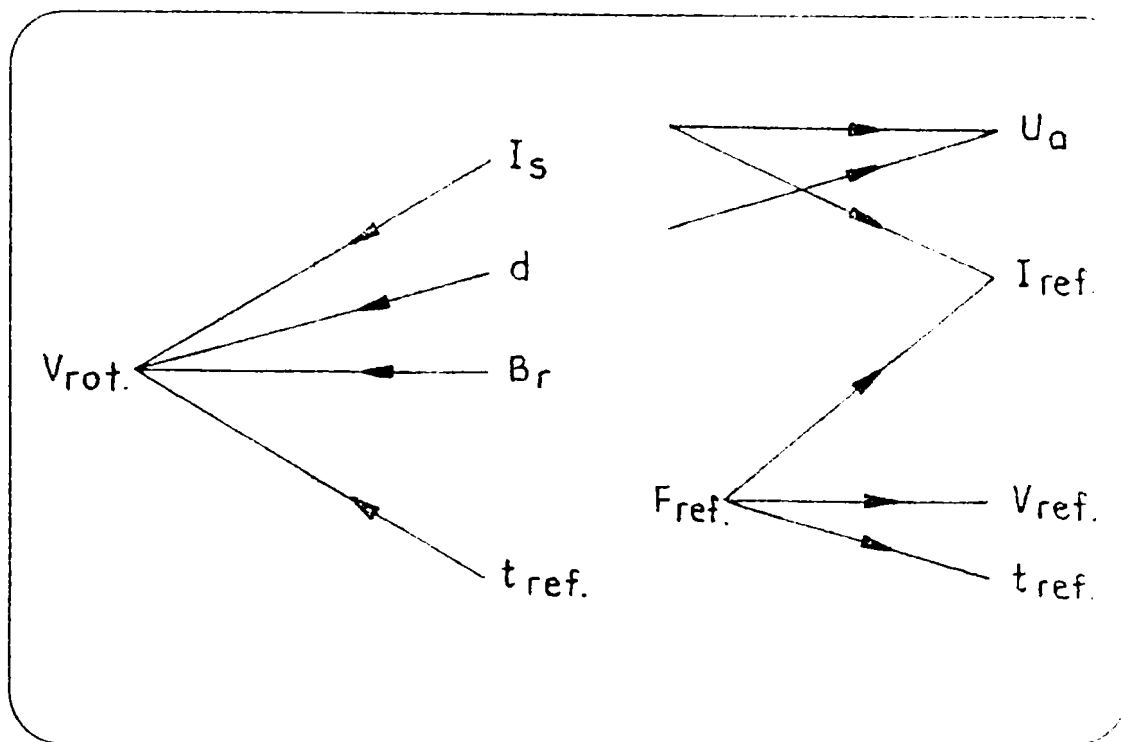


figura 4

Procesul de sudare cu arc rotitor poate fi descompus în următoarele etape, figura 5 [2]:

- a-fixarea pieselor în bacuri;
- b-încălzirea pieselor cu arc rotitor;
- c-refularea pieselor.

Asemănător cu celelalte procedee de sudare prin presiune, la sudarea cu arc rotitor rezultatul sudării (sudura) depinde de modul de încălzire pieselor, respectiv modul de desfășurare al procedeeului de deformare.

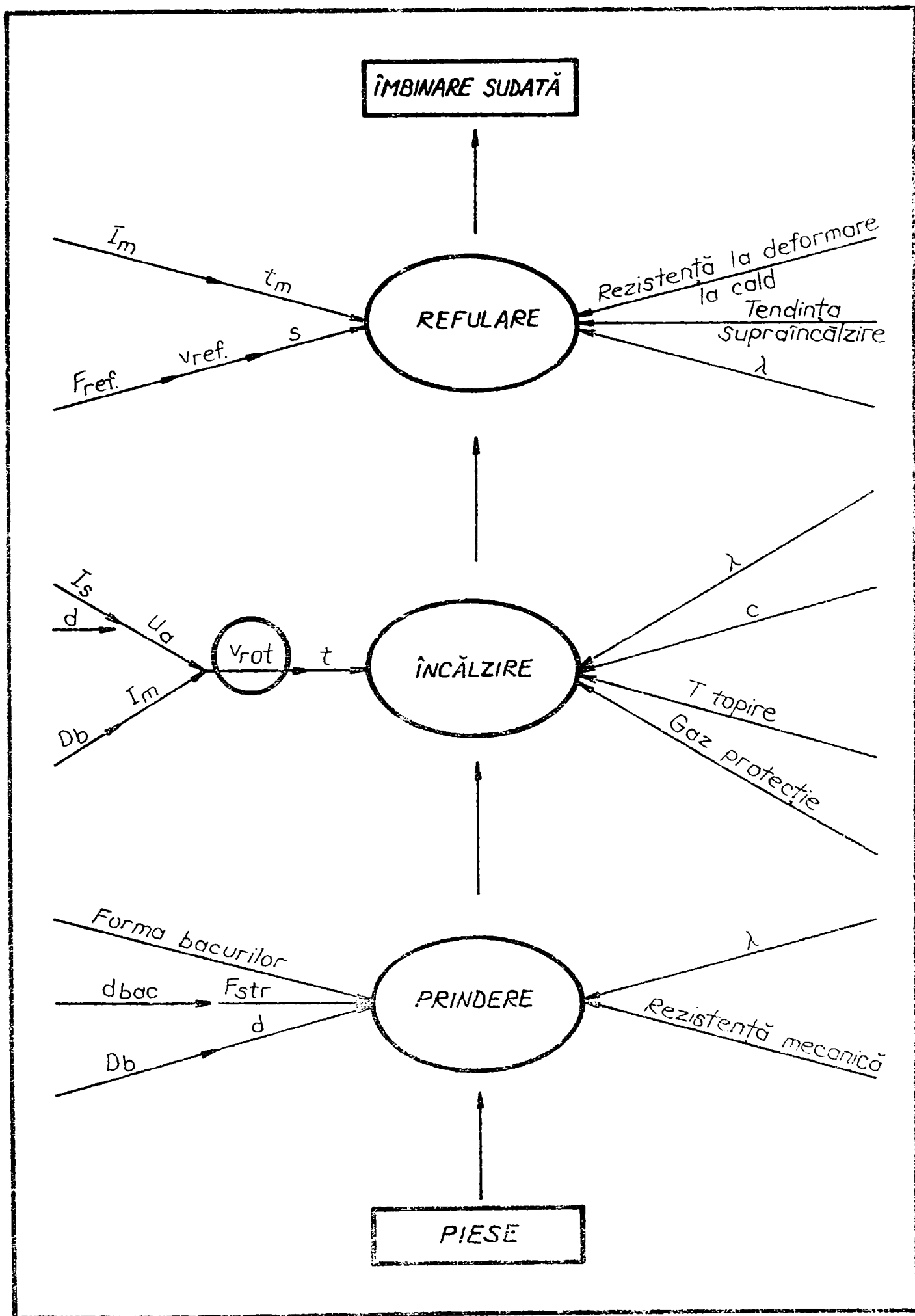


Fig. 5

G71.665
MEC / GOM

UNIVERSITATEA
BIBLIOTECA

Alegerea **echipamentului de sudare**, poate influența într-un mod evident realizarea îmbinării sudate atât prin caracteristicile tehnice cât și prin modul de realizare a secvențelor (fazelor) necesare desfășurării procesului de sudare cu arc rotitor.

În general, echipamentele de sudare cu arc rotitor au în componență următoarele părți:

- sursa de sudare;
- sistemul de fixare-poziționare și refulare a reperelor de sudat;
- sistemul de magnetizare;
- sistemul de comandă.

2.1.1.Sistemul de fixare și refulare

Se compune din bacurile de fixare - poziționare, sania de refulare (mobilă) cât și din sistemul de acționare al acestora. Este asemănător cu cel al echipamentelor de sudare prin presiune cu deosebirea că trebuie să asigure posibilitatea operării cu viteze de refulare mari (minim 50 mm/sec).

Sistemul de fixare și refulare trebuie să asigure, realizarea următoarelor operații :

- strângerea și desfacerea bacurilor de fixare;
- poziționarea reperelor de sudat;
- mișcările de avans-revenire și refulare a saniei mobile.

Sania mobilă execută două operații:amorsarea arcului și refularea.

Pentru amorsarea arcului electric se folosesc mai multe metode , cele mai des utilizate fiind:

-amorsare prin mișcare de avans-retragere a saniei mobile.În acest caz piesele se fixează în bacuri,cu întrefierul necesar reglat.Pentru amorsare ,sania execută o mișcare de avans până la atingerea pieselor,urmată de conectarea sursei și de retragerea limitată a saniei, la întrefierul reglat anterior.Această modalitate de amorsare este eficientă,dar introduce în ciclul de sudare două mișcări în plus.

-declanșarea ciclului de sudare cu piesele în contact,amorsarea realizându-se prin retragerea saniei mobile.Sistemul este cel mai eficient,dar presupune ,pentru retragerea controlată,un limitator hidraulic de cursă reglabil sau traductori de deplasare conectați la un microprocesor [26,27].

-amorsarea cu electrod de cărbune,ciclul de sudare fiind declansat prin intermediul unui senzor de curent.Modalitatea este simplă,sania mobilă executând o singură mișcare de refulare .Se poate aplica cu rezultate bune la țevile cu pereți groși ($s > 2\text{mm}$),sudate cu regimuri moi,la curenți mari existând pericolul arderii materialului în punctul de amorsare.Un dezavantaj al acestui mod de amorsare constă în faptul că operația în sine se execută manual de operator.Pentru a reduce ponderea îndemânării operatorului în realizarea amorsării, în figura 6 se prezintă un sistem de amorsare în care,electrodul de cărbune este fixat în mandrina unui pistol de tip SBAE [28].

Mișcarea electrodului, cât și conectarea sursei de sudare sunt similare cu cele de la sudarea bolțurilor, cu deosebirea că pentru a opri ciclul de sudare în cazul unui rateu la amorsare, declanșarea ciclului de sudare este realizată de un senzor de curent.

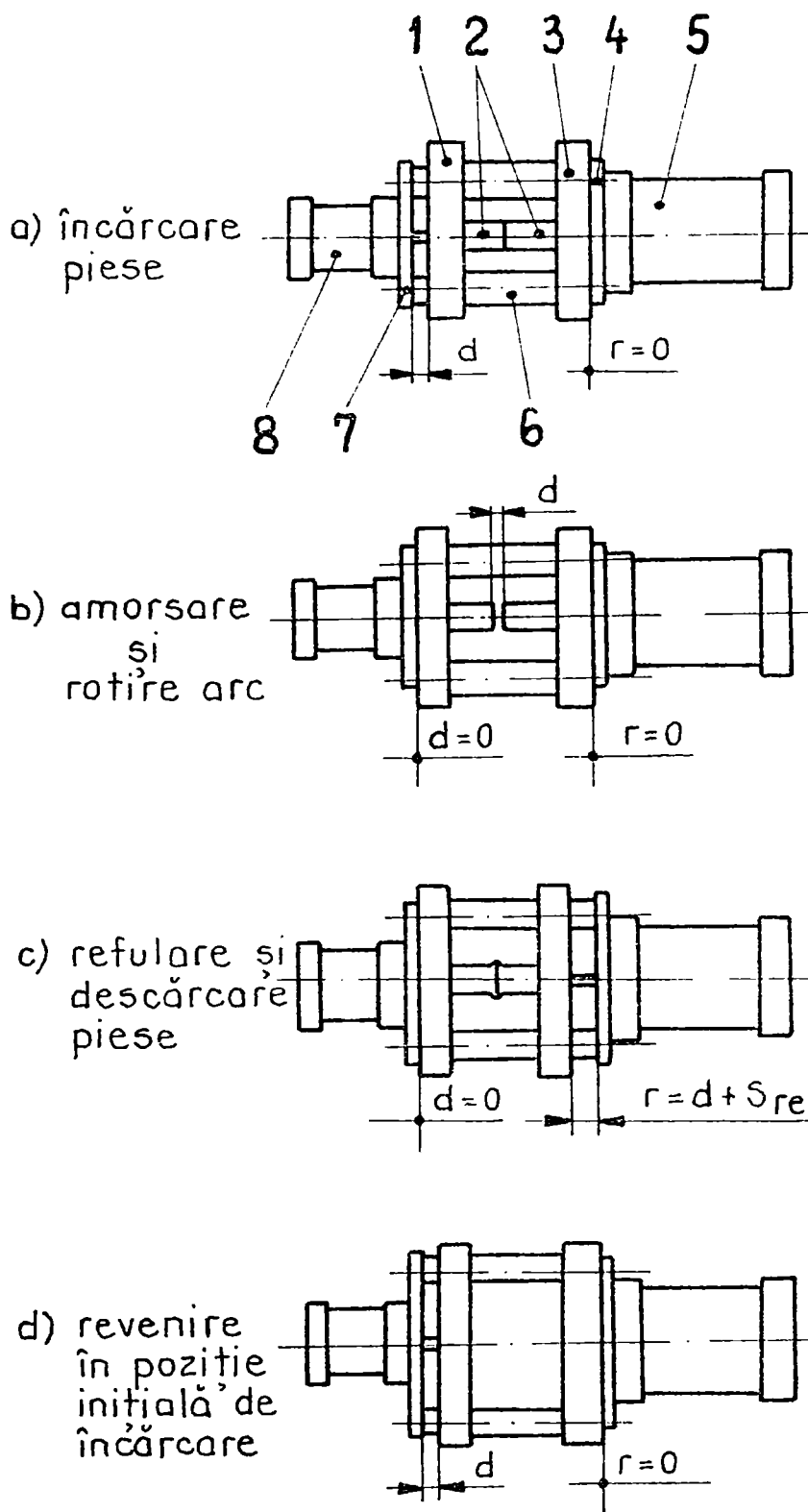
- o varianta care elimină operația de reglare a întrefierului la fiecare prindere a pieselor, se propune în figura 7. Varianta constă în principiu în utilizarea a două sanii mobile, una pentru amorsare respectiv una pentru refulare. Sania de amorsare execută mișcarea de avans-retragere, cu o cursă limitată mecanic, egală cu întrefierul, sania deplasându-se în cursul ciclului de sudare între două poziții limitate: una de avans, respectiv una retrasă. Sania de refulare execută o mișcare cu o cursă egală cu $S_{ref} - d$ - întrefierul. Cursa saniei de refulare este limitată constructiv doar pentru poziția retrasă.

Sistemul funcționează astfel:

- faza de încălzire piese. Sania de refulare este în poziție retrasă, poziție limitată mecanic, sania de amorsare fiind în poziția avans. În această poziție piesele se fixează în bacuri, fără întrefier între ele.

- faza de amorsare și rotire arc. Prin comanda ciclului de sudare, sania de amorsare se retrage cu o cursă limitată, egală cu întrefierul. Are loc amorsarea și faza de încălzire cu arc rotitor.

- faza de refulare. După ce încălzirea a atins un anumit nivel, sania de refulare execută mișcarea de refulare, cu o cursă egală cu $S_{ref} + d$.



- 1 - Janie de m.n.sare
- 2 - piese de sudat
- 3 - sanie de refulare
- 4 - limitator
- 5 - cilindru de refulare
- 6 - coloane de ghidare
- 7 - limitator
- 8 - cilindru de amorsare

Fig. 7

- faza de revenire în poziția inițială. După descărcarea pieselor, se comandă manual un buton de "revenire", prin care șania de amorsare revine în poziția de avans, respectiv șania de refulare în poziția retrasă. Din această poziție se începe un nou ciclu de sudare, prin încărcarea pieselor.

Avantajele acestui sistem de amorsare sunt:

-întrefierul se reglează o singură dată pentru un lot de piese (pentru o tehnologie anume), eliminându-se o operație din ciclul de sudare. Astfel se îmbunătățesc condițiile de repetabilitate a ciclului de sudare;

-nu există pericolul alunecării pieselor în baciuri la mișcarea de avans, deci pericolul modificării întrefierului.

Dezavantajele sunt:

- se introduce un cilindru de acționare în plus;

-există două șanii în mișcare, care în cazul unor prelucrări mecanice medii, prin jocurile introduse, pot conduce la creșterea abaterii de la concentricitate.

Acționarea sistemului de fixare și refulare poate fi:

-pneumatică;

-hidraulică;

-pneumo-hidraulică.

O variantă simplificată constă în utilizarea uneia din cele 3 sisteme de mai sus pentru acționarea saniei de refulare, acționarea bacurilor efectuându-se manual cu excentric sau cu șuruburi. Această variantă se utilizează în general, în cazul fixărilor individuale, când forțele de fixare sunt relativ mici, când frecvența fixărilor este scăzută, când nu se necesită condiții deosebite de precizie și când productivitatea nu este ridicată.

SISTEME DE ACTIONARE PNEUMATICĂ, figura 8, datorită forțelor dezvoltate, limitate, se folosesc la sudarea țevelor cu diametre de maxim 25 mm (secțiune sudabilă de maxim 100 mm²). Limitarea utilizării sistemului pneumatic este cauzată atât de forțele de refulare relativ mici dezvoltate (8 kN) cât și de problema prinderii și fixării reperelor de sudat. Forțele reduse dezvoltate de sistemul pneumatic împreună cu necesitatea unor forțe de strângere mari ($F_{str} = 1,1-1,5 F_{ref}$) conduc la sisteme mecanice complexe, cu fiabilitate redusă și la scăderea randamentului mecanismelor, din cauza introducerii elementelor de amplificare a forțelor [29].

În plus în cazul unei strângeri necorespunzătoare, în etapa de refulare poate apărea fenomenul de alunecare în bacuri, a unuia din reperele de sudat. Alunecarea conduce, datorită proeminențelor cu care este prevăzută partea activă a bacurilor, la deteriorarea suprafeței exterioare a reperelor. În funcție de condițiile de calitate impuse, deteriorarea suprafeței exterioare a țevelor poate fi considerată ca defect, piesa rezultată fiind un rebut. În plus alunecarea conduce la scăderea presiunii specifice de refulare, scădere ce poate avea ca rezultat, în unele cazuri, reducerea caracteristicilor îmbinării sudate.

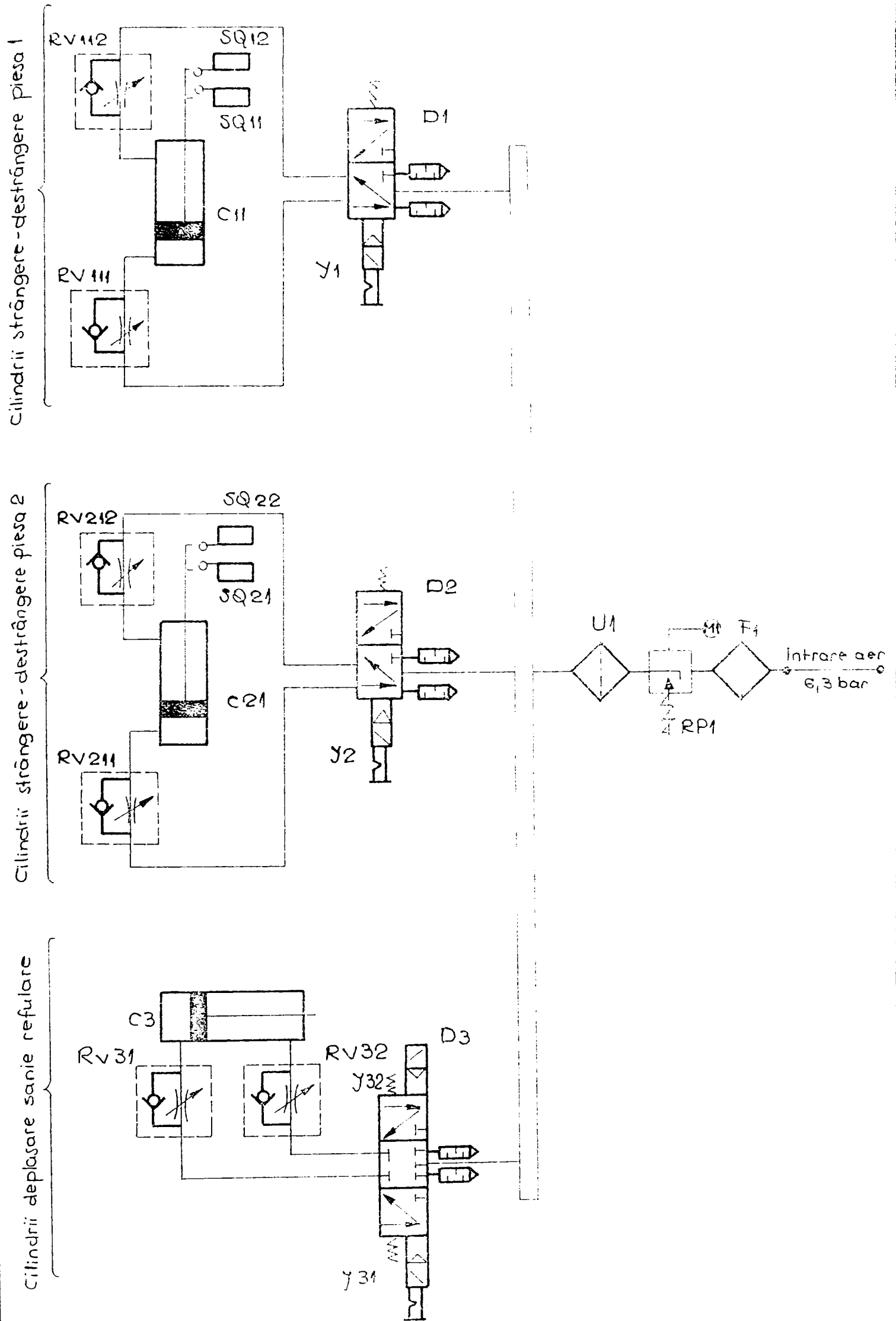


Fig. 8

Principalele avantaje ale acestui mod de acționare sunt: greutate redusă; suportă supraîncărcări fără pericol de avarii; alimentare comodă cu energie; posibilități largi de reglare a vitezei și forței dezvoltate, cu mijloace relativ simple; nu influențează deloc mediul în care funcționează; întreținere ușoară chiar de către operator; pericol redus de accidentare; aerul comprimat care a efectuat lucrul mecanic nu necesită instalații speciale de evacuare, fiind trimis direct în atmosfera și poate fi utilizat și în alte scopuri cum ar fi de exemplu curățirea locului în care are loc sudarea de stropii rezultați.

Dezavantajele acționării pneumatice sînt: limitarea secțiunii sudabile; la viteze mari de deplasare a pistoanelor, la sfîrșitul cursei acestora, apare o lovitură puternică, ce poate deteriora cilindrul pneumaticii sau dăuna sănătății operatorului; destinderea bruscă a aerului comprimat în cilindrul duce la scăderea temperaturii, ce provoacă separarea și depunerea apei pe pereți, favorizînd coroziunea elementelor instalației; randament relativ scăzut mai ales în cazul utilizării unor conducte lungi, cu multe coturi și schimbări de secțiune și în cazuri unor etanșări necorespunzătoare; gabarit mare la forțe mari, din cauza presiunii economice limitate a aerului comprimat.

Domeniul rațional de utilizare al acționării pneumatice îl constituie sudarea cap la cap a țevilor cu secțiune de maxim 100 mm² [30].

ACTIONAREA HIDRAULICĂ [29,30,31,32] are o utilizare largă și, în comparație cu acționarea pneumatică, are o serie de avantaje dintre care cele mai importante sunt:

-realizează presiuni de lucru ridicate (de la 20 până la 100 daN/cm²) și deci forțe de acționare mari,cu cilindri ușori cu gabarit redus,fapt ce conduce la reducerea gabaritului ,creșterea rigidității sistemului,eliminarea unor surse de vibrații.Acționarea hidraulică permite obținerea unor forțe de refulare de 100 kN,respectiv,viteze de refulare de până la 1000 mm/sec [32];

-durata de exploatare este mult mai mare,deoarece uzura este mult mai redusă;

-forțele de acționare dezvoltate se transmit liniștit fără șocuri;acest fapt permite realizarea de deplasări și opriri la cotă,lărgind astfel,posibilitățile de mecanizare și automatizare.

Principial o asemenea acționare se compune ,figura 9 [34],din două circuite:unul pentru acționarea saniei de refulare și unul pentru acționarea bacurilor de fixare-poziționare.

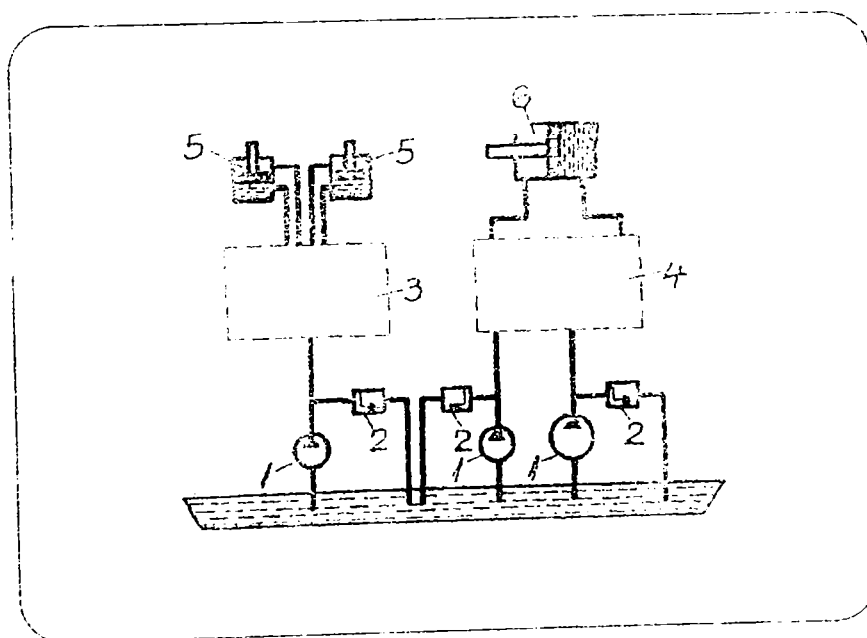


figura 9

unde:

- 1-pompe de ulei
- 2-supape de siguranță
- 3-grup de comandă pentru bacuri
- 4-grup de comandă pentru refulare
- 5-cilindrii hidraulici pentru bacuri
- 6-cilindru hidraulic pentru refulare

ACTIONAREA PNEUMO-HIDRAULICĂ (figura 10).La acest tip de acționare ,forța de acționare este realizată cu ajutorul aerului comprimat și a uleiului sub presiune,ce lucrează în unități pneumohidraulice (transformatoare pneumohidraulice).Energia aerului comprimat este utilizată pentru realizarea unui salt de la presiunea joasă a acestuia,la presiunea ridicată a uleiului.În circuitele hidraulice se interpun cilindrii hidraulici de lucru,care transmit forța de acționare dezvoltată [35,36.,37,38].

Principalele avantaje ale acestui mod de acționare sunt:posibilitatea realizării unor forțe de acționare mult mai mari decât la acționarea pneumatică,cu instalații mai simple,mai ieftine și care necesită un volum de ulei mult mai mic decât cele hidraulice.La un volum de ulei de 2-3 litri și la o presiune a aerului comprimat de 6-7 daN/cm² se poate obține o presiune a uleiului de până la 200 daN/cm.²

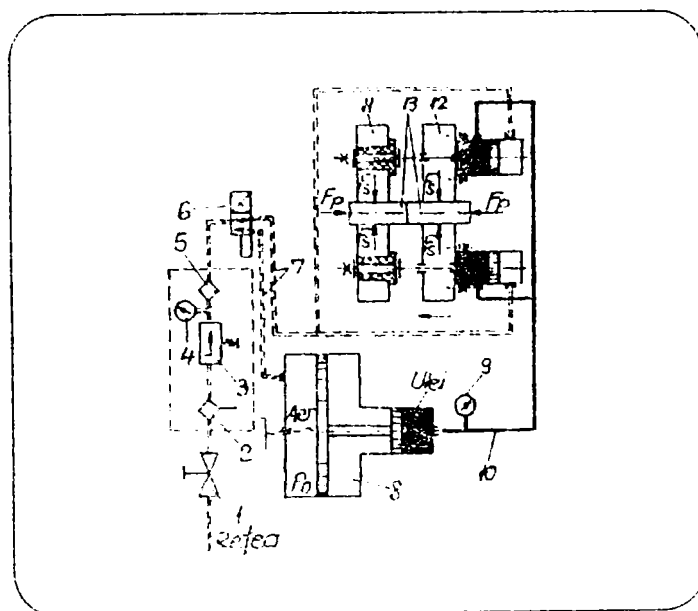


figura 10

unde:

- 1-robotet
- 2,3,4,5-grup FRU
- 6-distribuator
- 7-conducte etaj pneumatic
- 8-amplificator pneumo-hidraulic
- 9-manometru
- 10-conducte etaj hidraulic
- 11-bacuri mobile de strângere
- 12-bacuri fixe de strângere
- 13-repere de sudat

2.1.2.Sistemul de magnetizare.

Câmpul magnetic radial necesar rotirii arcului,se poate obține folosind următoarele variante [39]:

- sisteme cu magneți permanenți;
- sisteme cu bobine de excitație;

2.1.2.1.Sisteme cu magneți permanenți..

O soluție eficientă pentru obținerea câmpului magnetic o reprezintă utilizarea magnetilor permanenți.Sistemul este prezentat în figura 11 și este compus din doi magneți permanenți inelari așezați în opoziție.Magneții permanenți sunt poziționați simetric atât față de întrefier,cât și în jurul țevilor [40].

În cazul magnetilor permanenți,valoarea inducției câmpului magnetic poate fi schimbată prin modificarea distanței dintre cei doi magneți permanenți,figura 12.

Acest sistem prezintă unele particularități față de sistemul electromagnetic,concretizate prin următoarele avantaje:

- nu necesită un sistem de alimentare cu energie electrică;
- având o configurație geometrică inelară asigură o inducție magnetică radială constantă pe toată circumferința întrefierului dintre țevi;
- asigură un câmp magnetic relativ intens la un gabarit redus;
- au un preț scăzut și sunt ușor de întreținut sau de schimbat în cazul spargerii lor.

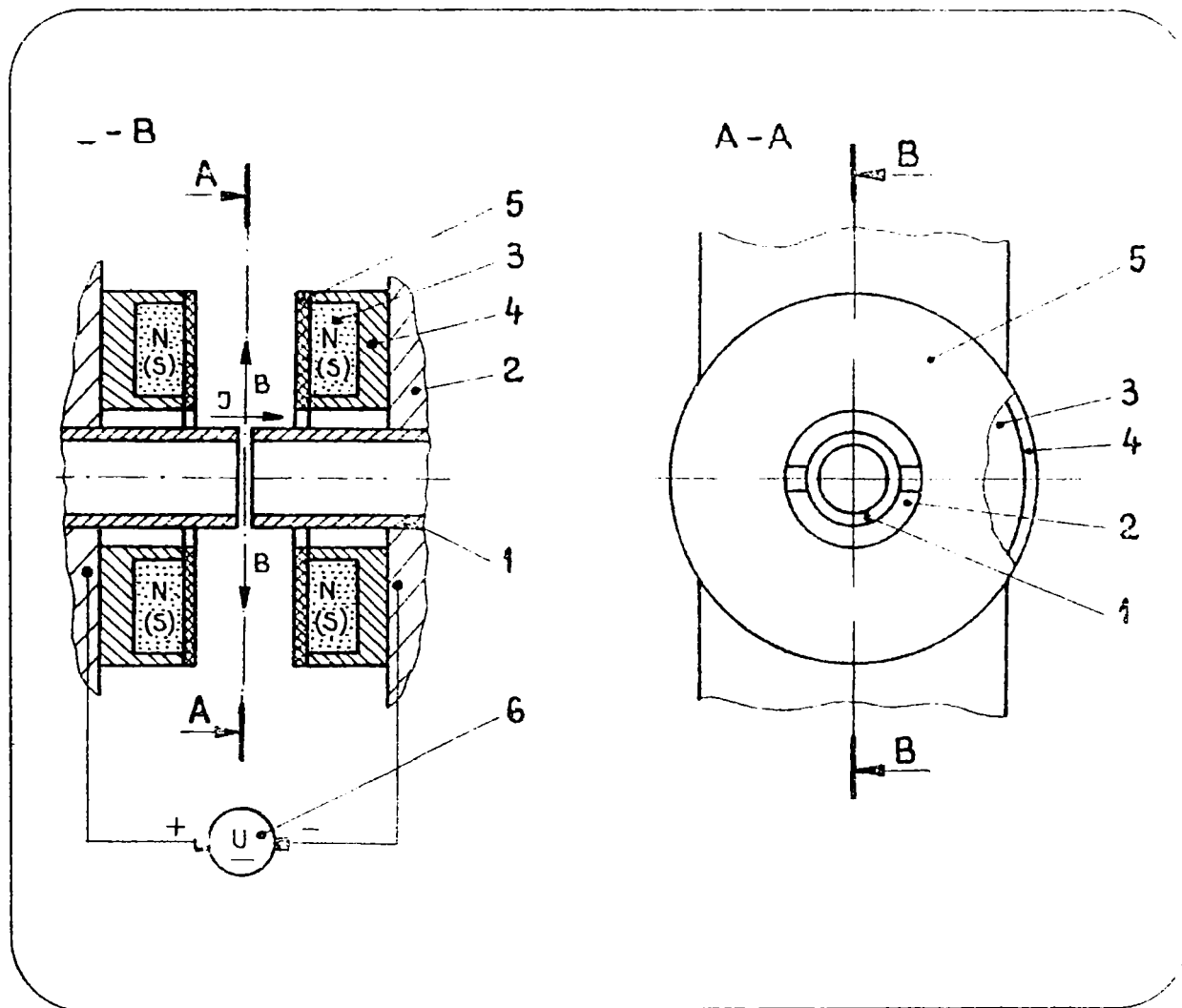


figura 11

Dintre dezavantajele acestui sistem se pot enumera:

- câmpul magnetic nu se poate modifica în timpul procesului de sudare;
- sunt greu utilizabili în cazul reperelor de lungimi mari.

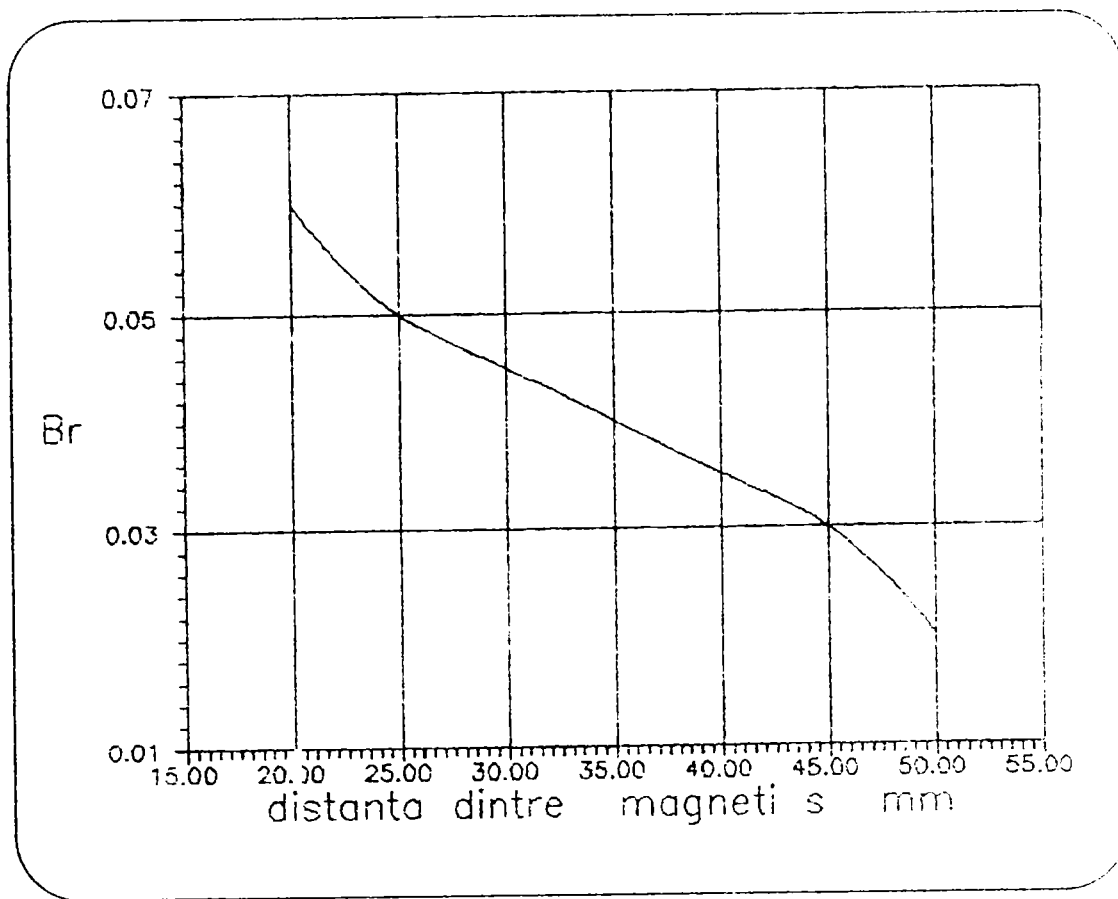


figura 12

2.1.2.2.Sisteme cu bobine de excitație.

Sistemele cu bobine de excitație se împart în trei grupe distincte [2,41,42,43]:

- sisteme exterioare,la care magnetizarea țevilor se realizează din exterior;
- sisteme interioare,la care magnetizarea se realizează din interiorul țevii;
- sisteme integrate,la care bobinele de excitație fac corp comun cu bacurile de strângere și poziționare.

Sisteme exterioare.

Cele mai cunoscute tipuri de bobine de excitație exterioară sunt:

a-două bobine cilindrice identice,plasate la o distanță D și excitate în opoziție,astfel încât în zona dintre ele să se producă un câmp magnetic radial,figura 13,[2].

Dezavantajele acestui sistem sunt:

-bobinele cilindrice nu asigură un câmp radial constant pe grosimea țevii.În cazul materialelor feromagnetice diferența dintre câmpul magnetic pe exteriorul țevii și câmpul magnetic pe interiorul ei poate fi de ordinul a 6 ori câmpul din interior.

În schimb datorită modificării întrefierului magnetic în timpul sudării se produce o micșorare a neuniformităților câmpului magnetic,deci un efect favorabil asupra procesului de rotație a arcului.

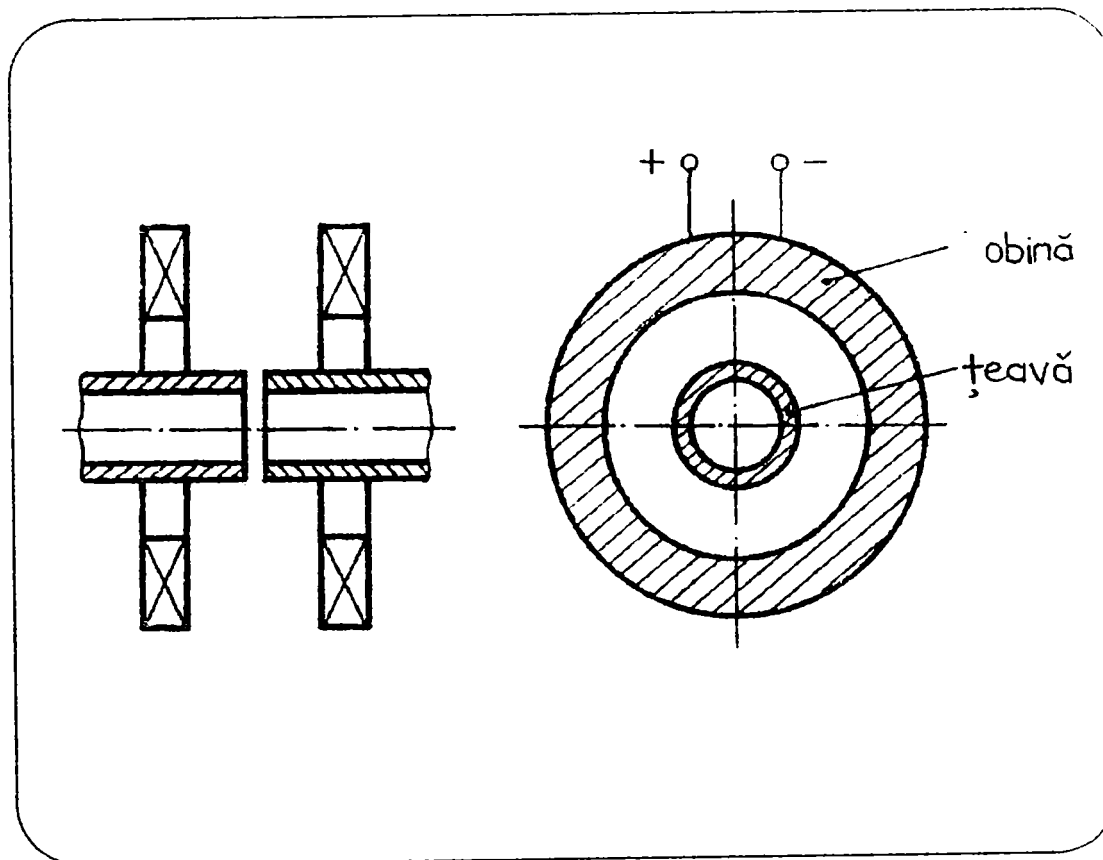


figura 13

b-patru semibobine cilindrice plasate două câte două, ca și bobinele cilindrice, figura 14 [2].

Aceste sisteme se folosesc în cazul sudării țevelor cu o lungime mare, unde pentru extragerea piesei sudate din bacurile mașinii de sudare este necesară construirea bobinelor de magnetizare din câte două semibobine, dintre care una să fie deplasabilă. Cele două semibobine sunt practic echivalente din punctul de vedere al câmpului magnetic produs de o bobina cilindrică

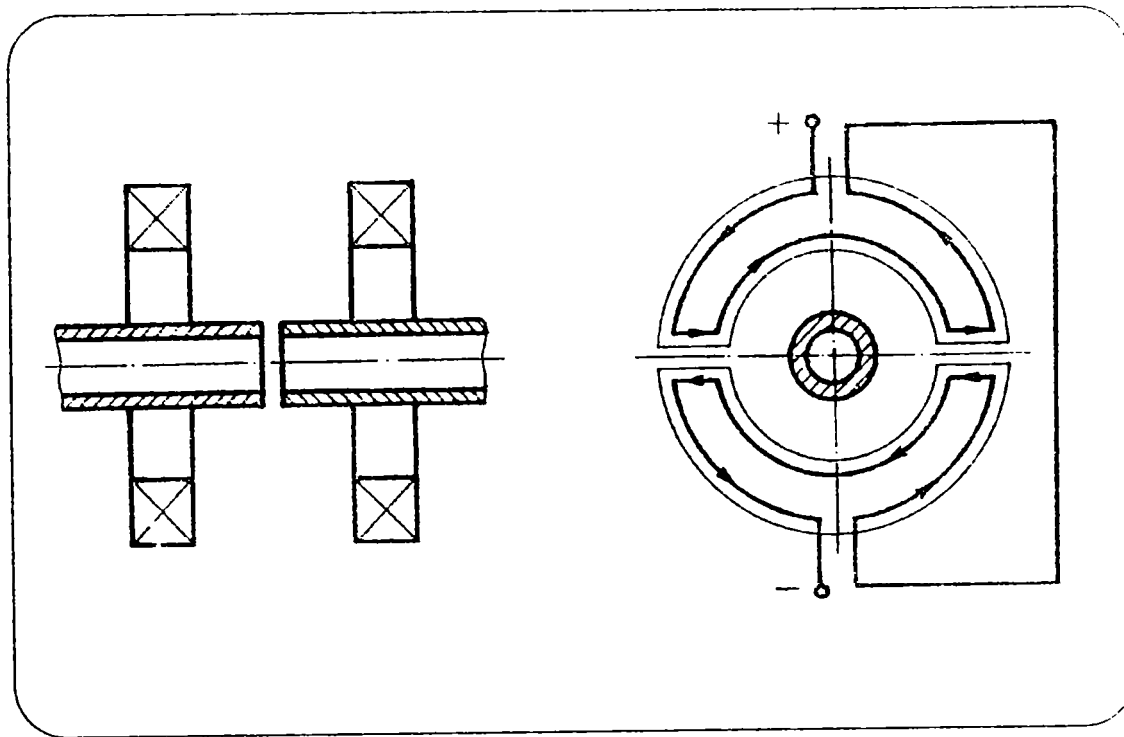


figura 14

Cele două semibobine sunt practic echivalente din punct de vedere al câmpului magnetic produs de o bobină cilindrică cu un număr de spire mai redus. Din această cauză observațiile efectuate pentru cazul bobinelor cilindrice rămân valabile și în acest caz.

c-bobinele stea, figura 15 au apărut din necesitatea reducerii consumului de cupru (relativ ridicat la bobinele cilindrice). Acestea sunt realizate din bobinele cilindrice identice care se confecționează ușor [2]

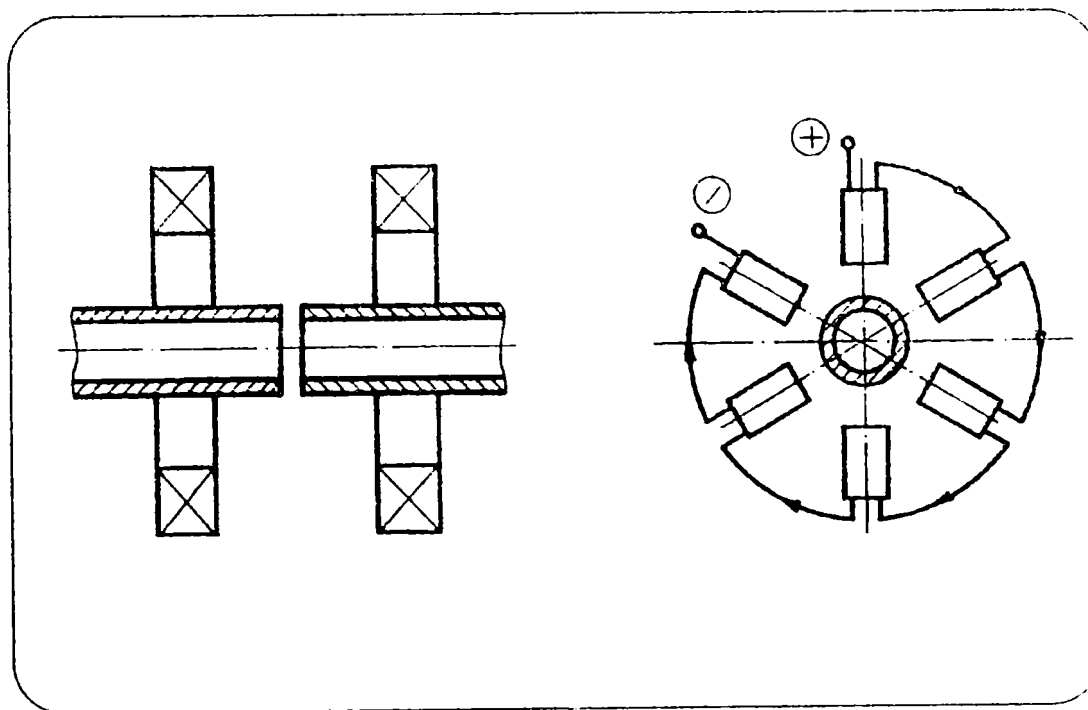


figura 15

Totodată bobinele stea pot fi secționare,permițând deschiderea, în vederea extragerii pieselor sudate de lungime mare.Alura câmpului magnetic este favorabilă,dar valorile inducției magnetice radiale sunt relativ scăzute.

Mărirea câmpului magnetic radial poate fi făcută prin ridicarea numărului de amperspire de excitație.

d-bobina stea,magnetizare radială , [2,39].

Pentru cazurile de mai sus,magnetizarea țevilor s-a făcut în lungul axei lor,caracteristicile magnetice ale materialului de bază influențând semnificativ,procesul de magnetizare.În cazul materialelor feromagnetice câmpul magnetic în întrefier este determinat,în primul rând,de materialul ce se introduce în spațiul dintre bobine și mai puțin de forma bobinei.Pentru a reduce intensitatea acestui fenomen este optimă o magnetizare transversală a țevilor,figura 16,17.

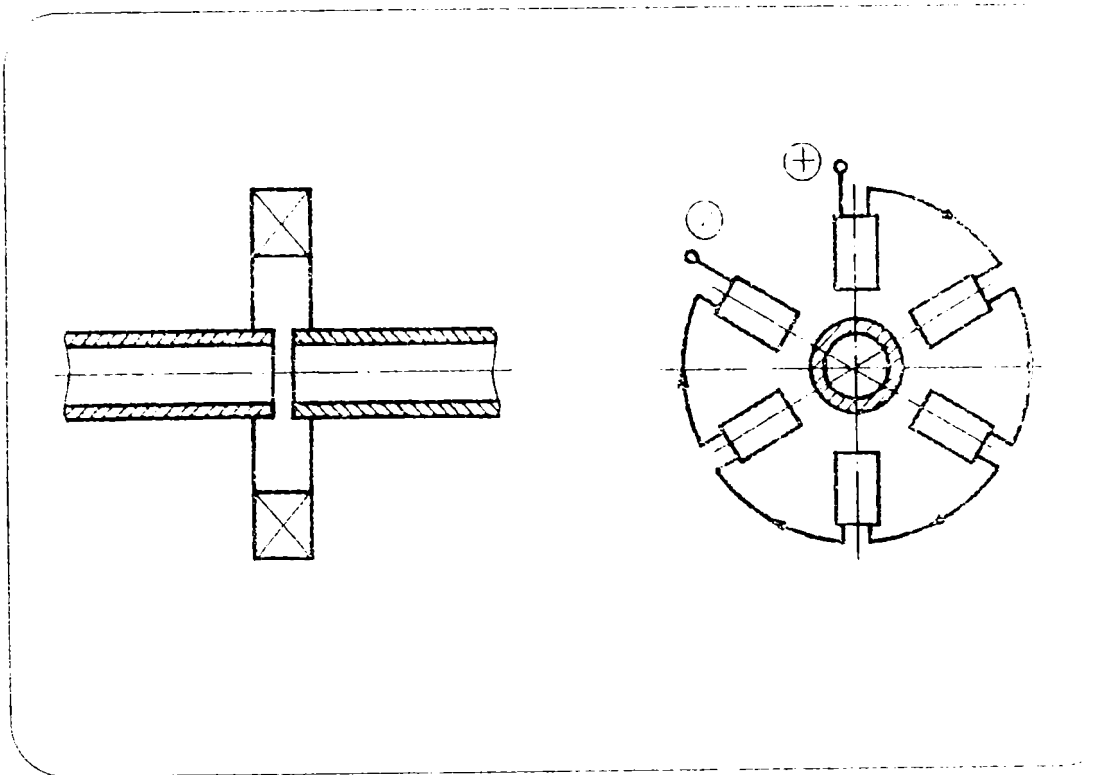


figura 16

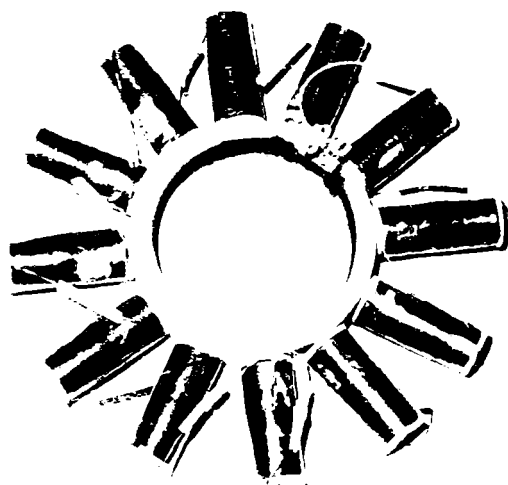


figura 17

O problemă importantă la realizarea bobinelor de excitație o reprezintă forma miezului bobinelor.

Bobinele de excitație exterioare prezentate mai sus au avut în general forme cilindrice sau semicilindrice. O soluție mult aplicată este prezentată în figura 18, în care miezurile bobinelor sunt dispuse paralel, fiind conectate magnetic între ele prin intermediul unei tălpi comune, obținându-se astfel un câmp magnetic omogen. Un dezavantaj al acestei soluții îl constituie faptul că pentru obținerea unor inducții magnetice corespunzătoare, se necesită curenți de magnetizare mari, ce implică utilizarea unui sistem de răcire. Acest inconvenient conduce la un ansamblu constructiv complicat, cu un preț de cost mare. Un alt dezavantaj al acestei soluții este slaba concentrare a fluxului magnetic.

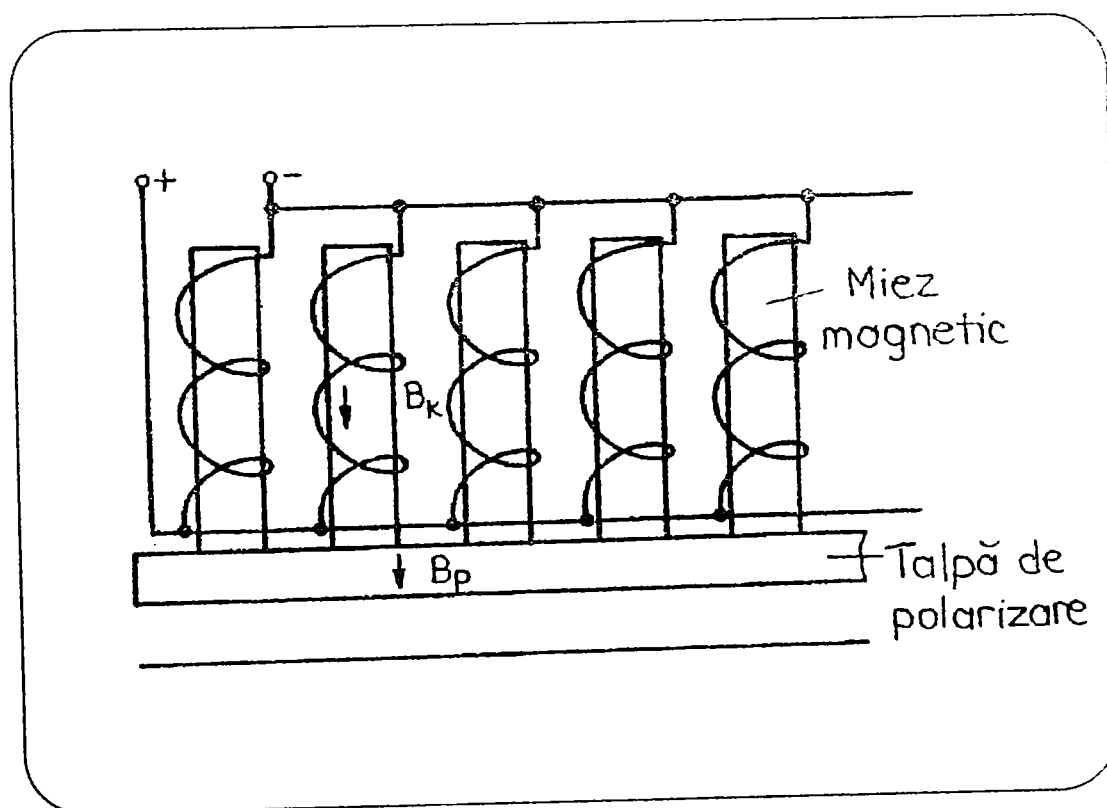


figura 18

Pentru a contracara acest dezavantaj s-au realizat semibobine de excitatie cu un singur miez ,figura 19.La această variantă posibilitatea de concentrare a fluxului pe cele două axe este prezentată în figura 20, respectiv figura 21 [41].

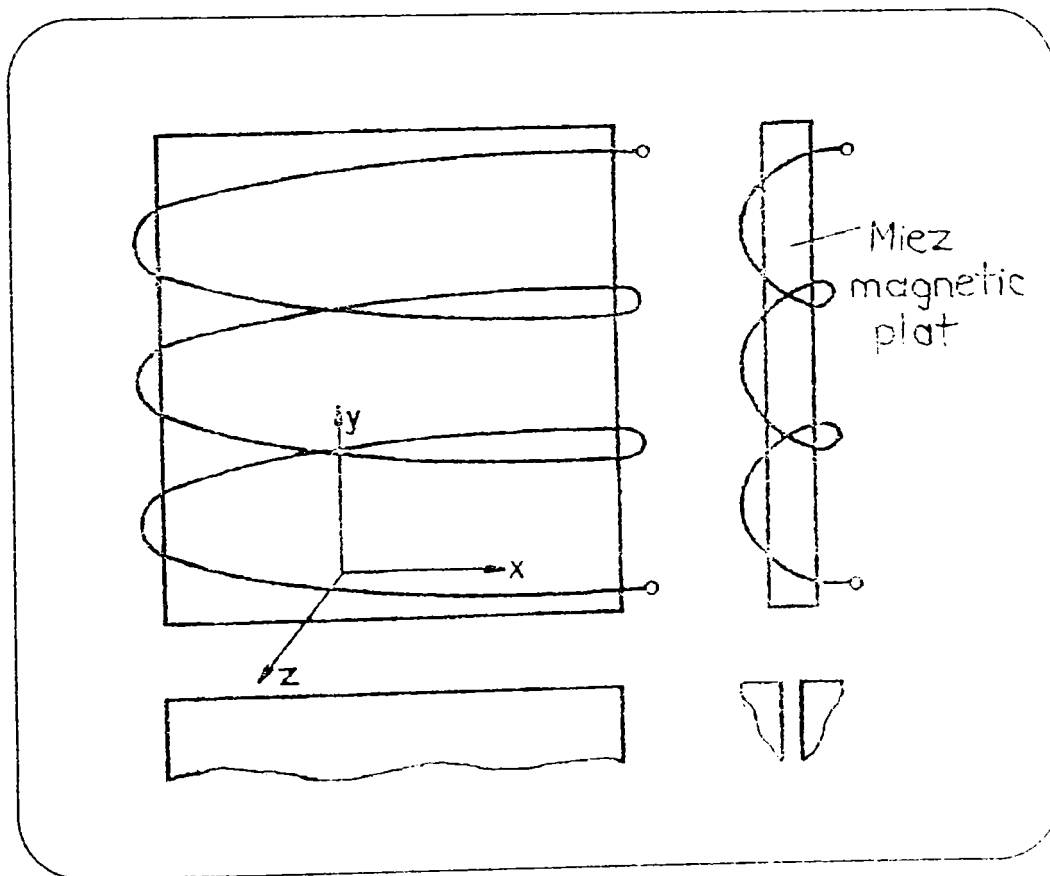


figura 19

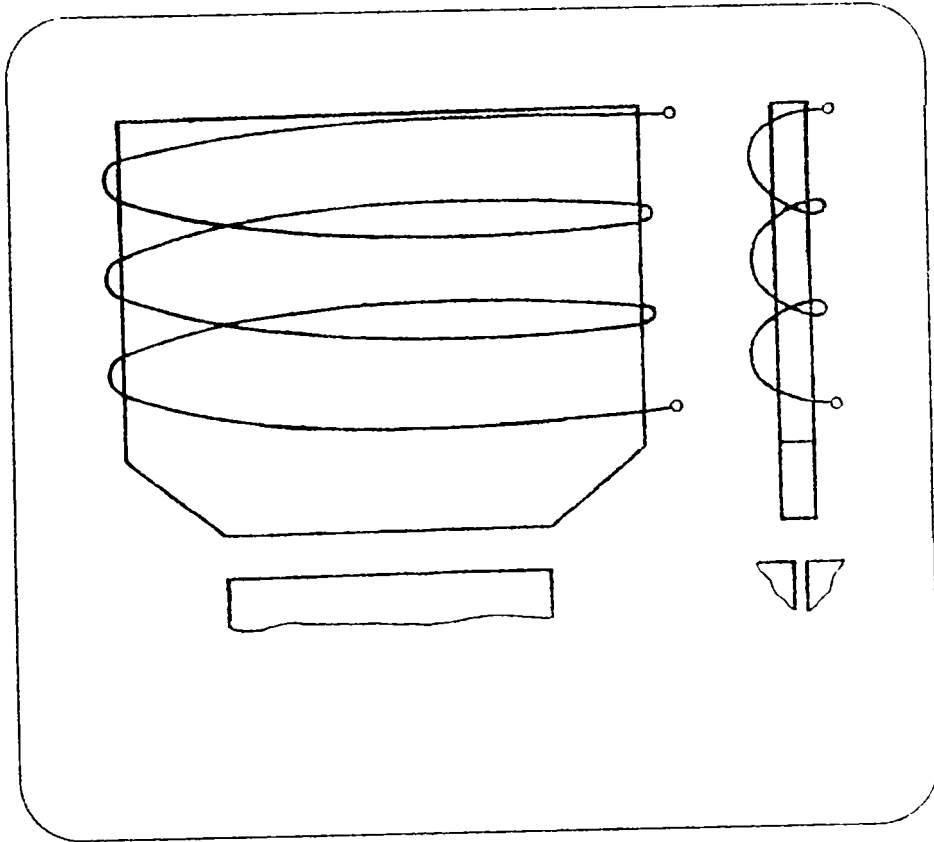


figura 20

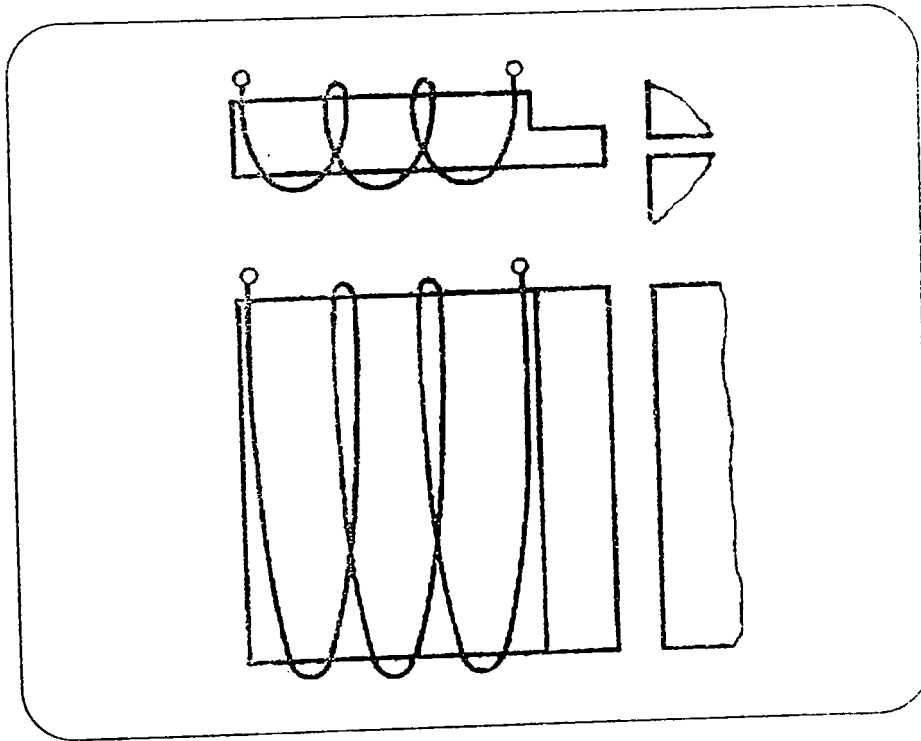


figura 21

Sisteme interioare

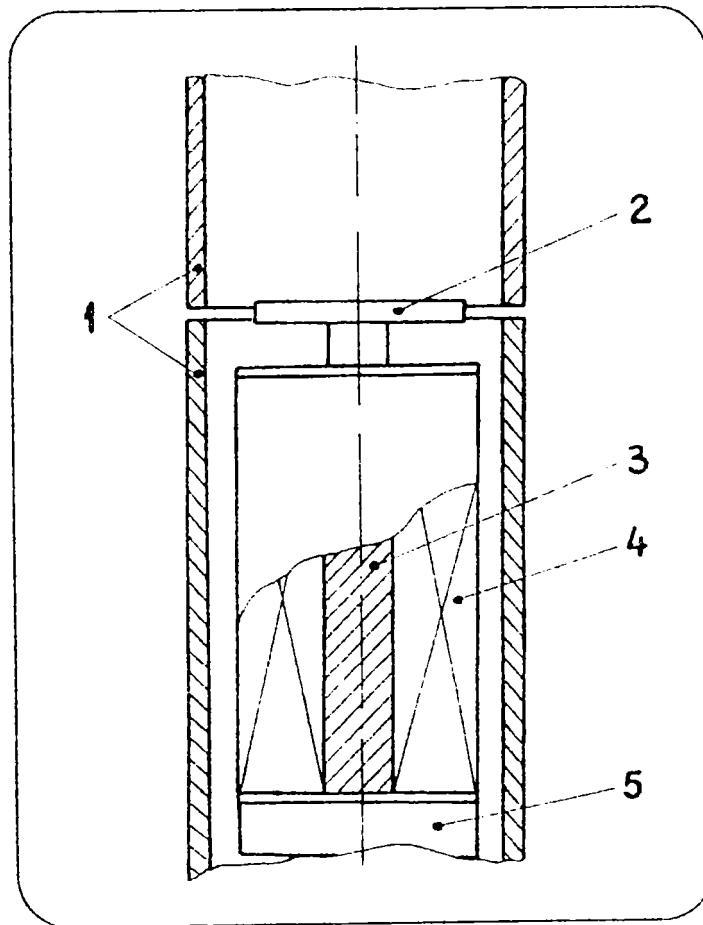


figura 22 a

Datorită unor motive de accesibilitate, sistemul se poate aplica la sudarea țevilor cu lungimi mici (sau cel puțin unul din repere cu lungimea mică) având diametrul interior de minim 40 mm.

Un astfel de sistem prezentat în figura 22 (a,b), [39,41], este compus dintr-un miez magnetic (3), peste care se află dispusă înfășurarea bobinei (4). Concentrarea și închiderea liniilor de câmp se realizează prin placa de magnetizare (2), întreaga bobină fiind izolată electric față de corpul mașinii și față de țevi prin bușea izolatoare (5).



figura 22 b

Sistemele cu bobine de excitație sunt alimentate de la o sursă de curent continuu, curentul de magnetizare putând fi modificat între 0 -10 A.

Se folosesc în general scheme clasice cu autotransformator figura 23, sau cu tiristori figura 24.

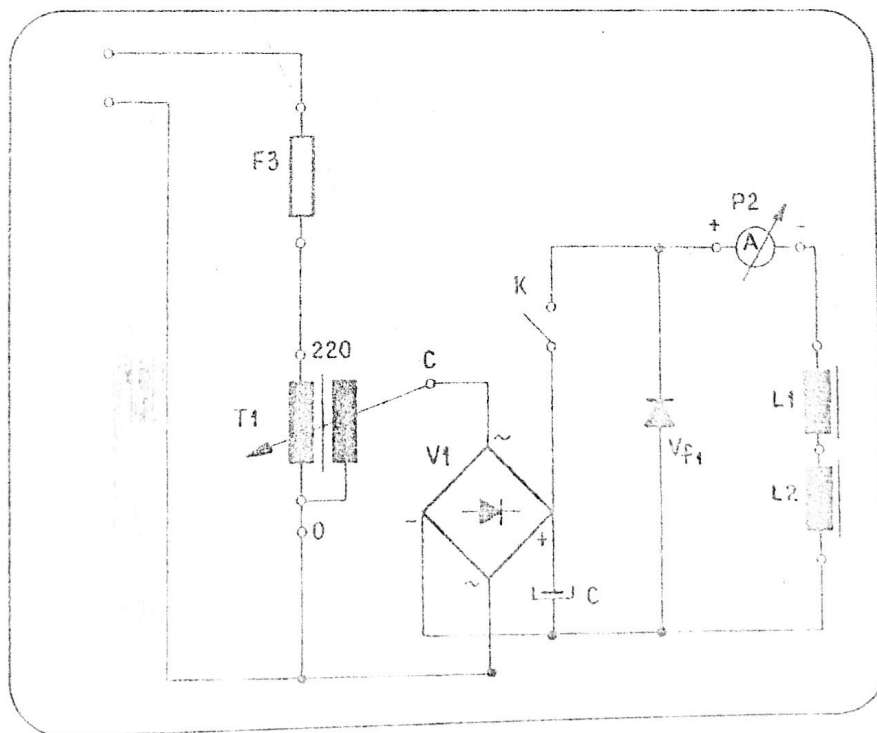


figura 23

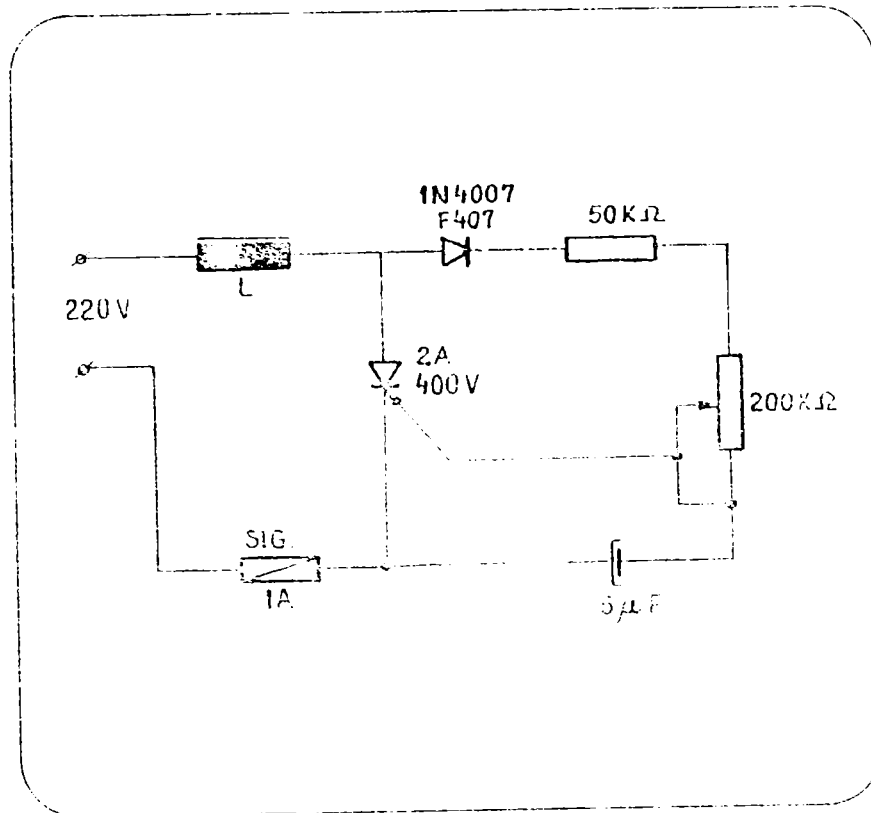


Figura 24

2.1.2.3. Câmpul magnetic. Experimentări cu sisteme interioare.

Rotăția arcului electric în interiorul dintre țevi se realizează sub acțiunea unui câmp magnetic radial, forța electromagnetică rezultată fiind tangentă la conturul pieselor ce se sudează [1].

Pentru ca procesul de rotire să se desfășoare în mod uniform este necesar ca inducția magnetică să îndeplinească următoarele condiții [2]:

- inducția radială B_r să fie constantă pe grosimea țevii, care se sudează. În caz contrar, datorită neomogenității câmpului magnetic, arcul electric va fi împins spre zona de câmp magnetic minim. În acest caz el va încălzi doar porțiune a pieselor. Aspectul devine critic în cazul pieselor (țevilor) cu grosimi mai mari de 4 mm.

- inducția axială B_z să fie minimă. Componenta axială a câmpului magnetic imprimă arcului o mișcare de rotație în jurul axei sudurării și stabilitatea arderii acestuia.

Stabilitatea rotației arcului depinde de polaritatea curentului acestuia. Indiferent de polaritate nu se poate obține o rotație stabilă a arcului electric dacă intensitatea câmpului magnetic H este mai mică decât o valoare H_{min} sau mai mare decât o valoare H_{max} . Ambele valori extreme cresc cu mărirea curentului arcului [2].

Condițiile de mai sus sunt ideale,ele neputând fi realizate cu un sistem de magnetizare real.Din această cauză este necesară găsirea unor soluții pentru excitarea magnetică, care să se apropie cât mai mult de cerințele formulate.

Pentru fiecare tip de bobină de excitație,se pot defini următorii parametri care determină valoarea și configurația câmpului magnetic:

- curentul de magnetizare;
- poziția plăcii de magnetizare față de întrefier.

Curentul de magnetizare

După cum s-a arătat în capitolul 2.1.2.2, bobinele de excitație sunt alimentate de la o sursă reglabilă de curent continuu.În general,curentul de magnetizare este menținut constant în tot timpul sudării,obținându-se la fel ca și cazul magnetilor permanenți,un câmp magnetic constant.

Pentru o mai rapidă stabilizare a rotației arcului electric,s-a constatat că este benefică utilizarea comenzii programate a curentului de magnetizare în paralel cu comanda programată a curentului de sudare [39,41, 42]

Programul prezentat în figura 25 se poate împărți în trei etape:amorsarea arcului,încălzirea și refularea.Pentru o stabilizare cât mai rapidă a rotației arcului electric este nevoie de o amorsare cu un curent de sudare, respectiv magnetizare mare.Valorile acestor curenți la amorsare sunt duble față de valorile fazei de încălzire.

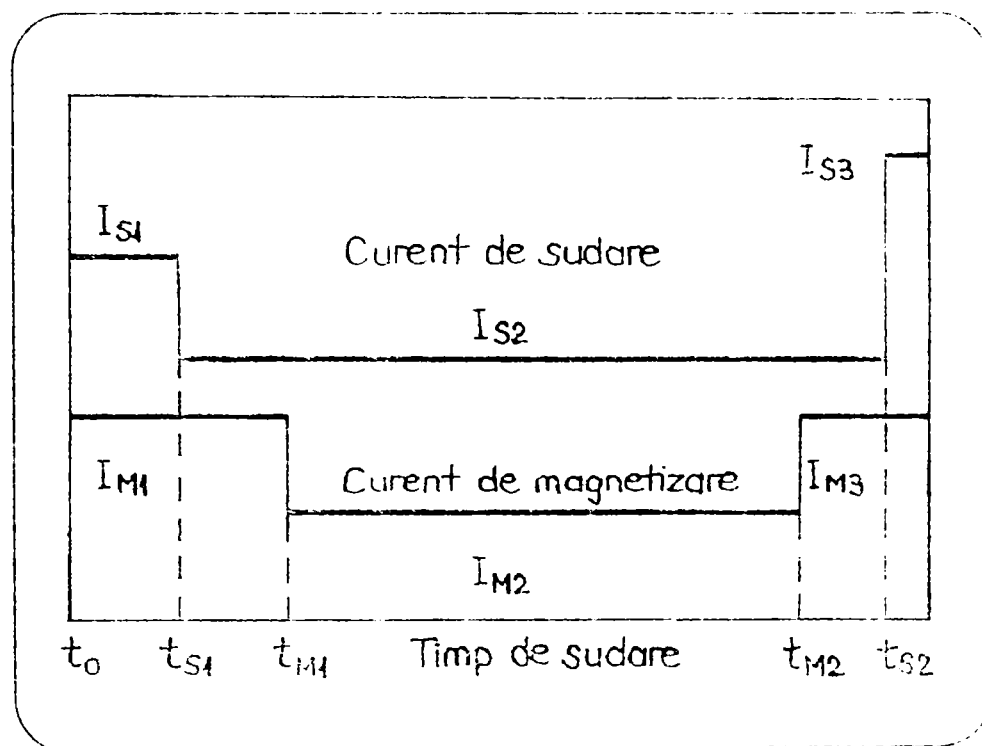


figura 25

unde:

- I_{s1}, I_{M1} - curenți de sudare și magnetizare la amorsare
- I_{s2}, I_{M2} - curenți de sudare și magnetizare
- I_{s3}, I_{M3} - curenți de sudare și magnetizare de varf

În timpul fazei de încălzire atât curenții de sudare cât și cel de magnetizare sunt menținuți constanți. Înainte de refularea pieselor se comandă creșterea curenților de magnetizare, în scopul unei scurte accelerări a arcului. Această accelerare este necesară deoarece în faza finală de ardere stabilă a arcului, viteza acestuia scade datorită punților de metal topit ce reprezintă un obstacol în calea deplasării uniforme a arcului.

Pentru diferite tipuri de sisteme interioare și exterioare în figura 26 se prezintă variația inducției magnetice B în funcție de curenții de magnetizare [39].

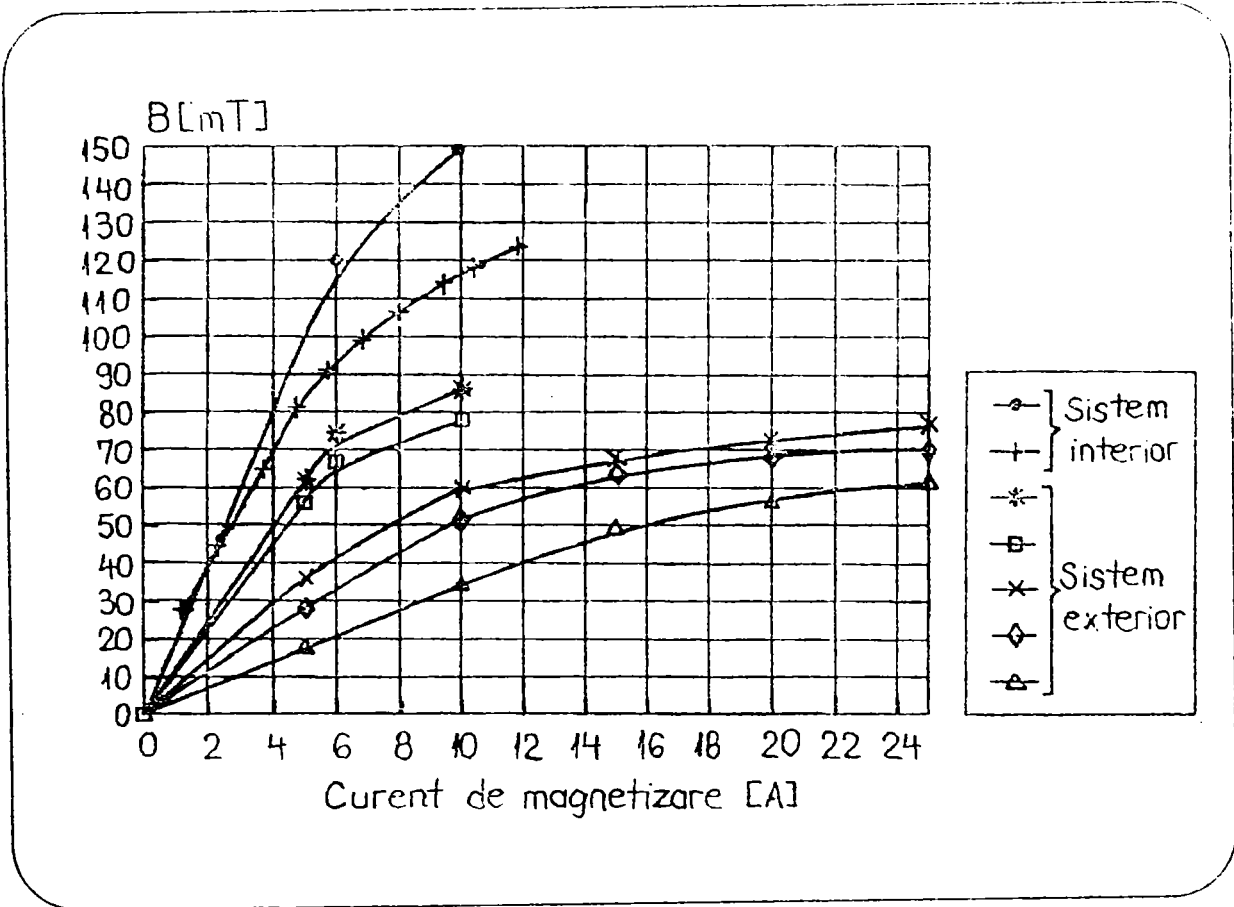


figura 26

Se observă că la același curent de magnetizare, valoarea inducției magnetice este dublă la sistemul interior față de sistemul exterior. Sistemul exterior permite utilizarea unor curenți de magnetizare mari ($I = 20-22$ A) datorită folosirii unui agent de răcire a bobinelor.

Poziția bobinei de excitație față de întrefier.

Poziția bobinei de excitație se definește ca fiind distanța dintre placa de magnetizare și axa întrefierului, figura 27.

Prin modificarea poziției plăcii de magnetizare față de axa întrefierului dintre țevi există posibilitatea practică de a modifica componenta axială a câmpului magnetic, independent de influențele specifice induse de părțile mecanice ale mașinii.

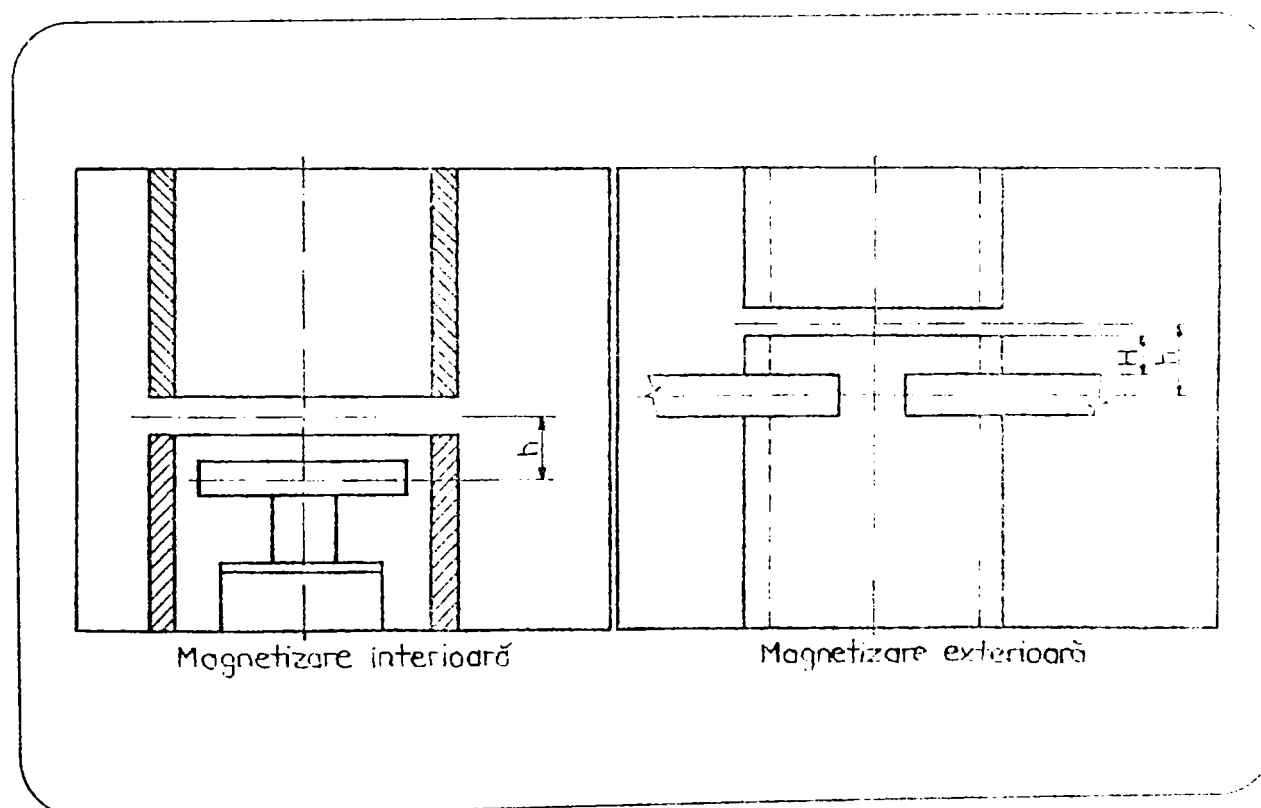


figura 27

La sistemul de magnetizare exterior, creșterea valorii lui H ($H > 0$) conduce la înrăutățirea amorsării, arcul electric fiind menținut sub limita critică de rotire.

Accelerarea arcului este scăzută, figura 28 [39] astfel că la începutul fazei de ardere stabilă (după deconectarea curentului de amorsare) acesta să aibă o viteză insuficientă. La valoarea lui $H=+10$, frecvența de rotație este de cca. 40 Hz. În acest caz nu se poate obține o stabilizare a frecvenței de rotație, arcul electric deplasându-se doar pe marginea interioară a țevilor. Această situație apare la toate sistemele de excitație exterioare și este independentă de variantă sau dimensiuni.

Odată cu scăderea lui H ($H=-5$) are loc o îmbunătățire a rotației arcului electric, în faza de amorsare atingându-se frecvențe de 500 Hz. În cazul unei poziții extreme la $H=-10$, comportarea arcului se înrăutățește dar nu atât de pronunțat ca în cazul unei poziții la $H=+10$. În acest caz arcul electric se accelerează într-un timp scurt (comparabil cu cel la $H=0$) dar rotirea este neuniformă, cu decelerări și accelerări bruște.

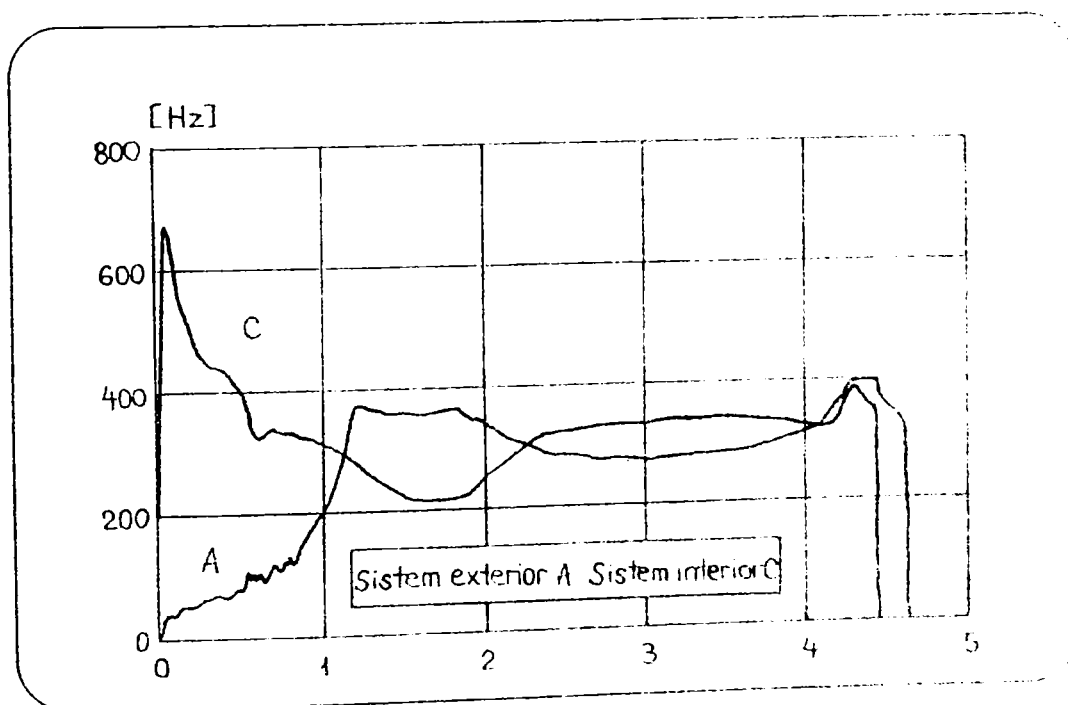


figura 28

În cazul sistemelor interioare, modificarea poziției plăcii de magnetizare față de întrefier are o influență mult mai mare, deoarece întrefierul dintre placa de magnetizare și diametrul interior al țevilor, este mic (5,5mm). Raportul între deplasarea H și s , reprezintă o măsură pentru devierea liniilor de câmp magnetic ce se propagă din placa de magnetizare spre rostul de sudare.

Acest raport influențează de asemenea și raportul dintre componenta axială și cea radială a câmpului magnetic.

În orice poziție a plăcii de magnetizare, arcul electric se accelerează foarte rapid. Stabilizarea arcului la frecvențe de rotire de 300-500 Hz se realizează, în general, în mai puțin de 100 ms. Această accelerare și stabilizare rapidă se datorează valorii ridicate a componentei radiale a câmpului magnetic. În cazul sistemelor interioare raportul dintre valoarea componentei radiale și a celei axiale este mare, astfel încât modificarea componentei axiale nu produce efecte relevante [39].

Experimentări cu sisteme interioare.

Pentru încercarea sistemelor de magnetizare cât și pentru studiul proceselor de sudare cu arc rotitor, s-a realizat standul de încercări și sudare tip SAR [39].

Standul, figura 29, se compune, dintr-un cadru sudat pe care este montat un dispozitiv de fixare-poziționare. Dispozitivul de fixare-poziționare este format din două bacuri, unul fix respectiv unul mobil. Cele două bacuri sunt izolate electric

unul față de celălalt. Cursa de reglare a bacului mobil este de 150 mm, în bacuri putându-se fixa țevi cu diametrul de maxim 110 mm.

Având în vedere accesibilitatea dintre cele două bacuri, pe stand se pot monta atât bobinele interioare cât și cele exterioare.

Pentru alimentarea bobinelor s-a folosit o sursă de curent continuu, tensiunea de alimentare fiind de 48V, la un curent reglabil 0-10A. Ca sursă de sudare s-a folosit un redresor RSA 500, cu caracteristică căzătoare.

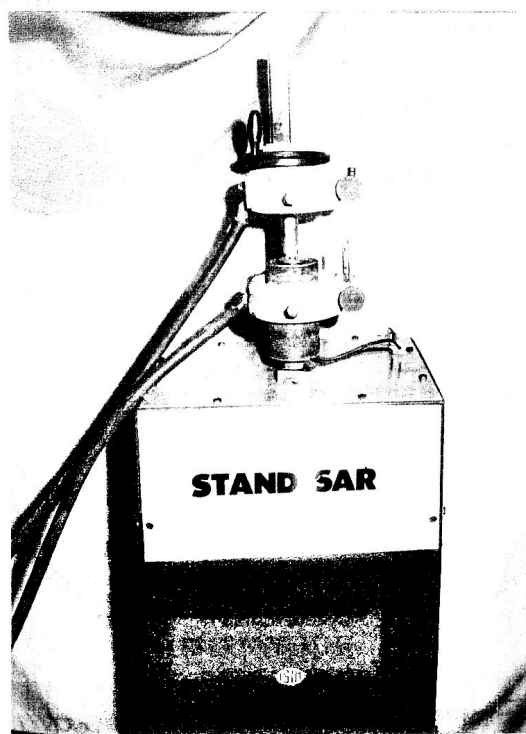


figura 29

Pentru a utiliza eficient bobinele interioare este importantă stabilirea diametrului plăcii de magnetizare, D , cât și cunoașterea efectului poziției acestei plăci față de întrefierul dintre țevi.

Din experimentări, pentru țevi având diametrul de $\Phi 70 \times 4$ mm, a rezultat o valoare de 5 mm pentru rostul dintre diametrul interior al țevii și placa de magnetizare. La o valoare mai mică a acestui rost, rotația arcului electric poate fi conturbată de prezența plăcii de magnetizare (arcul poate "fugi" pe placa de magnetizare). În figura 30 se prezintă variația inducției magnetice radiale B_r , funcție de curentul de magnetizare I_m , pentru două diametre ale plăcii de magnetizare: 1-38mm, 2-55mm (țevi $\Phi 70 \times 4$ mm, întrefier 2mm). Diferențele dintre cele două plăci sunt sesizabile la curenți de magnetizare mai mari de 2 A, valoarea inducției B_r pentru placa 2 fiind dublă față de cea a plăcii 1. Diferența este importantă, știut fiind faptul că o inducție magnetică intensă conduce (în corelație cu curentul de sudare) la o accelerare rapidă a arcului electric.

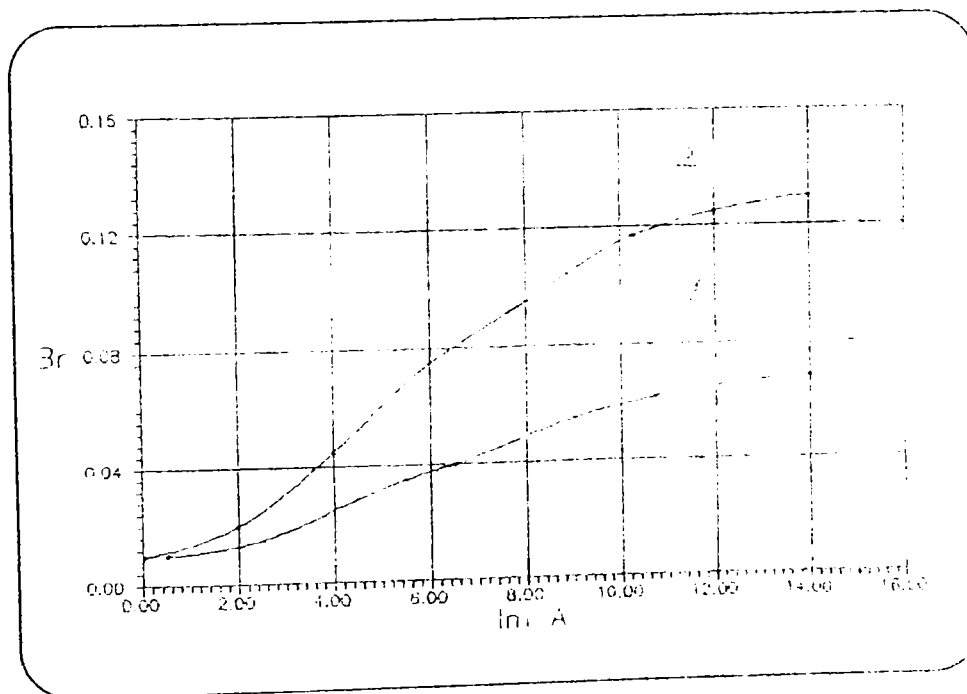


figura 30

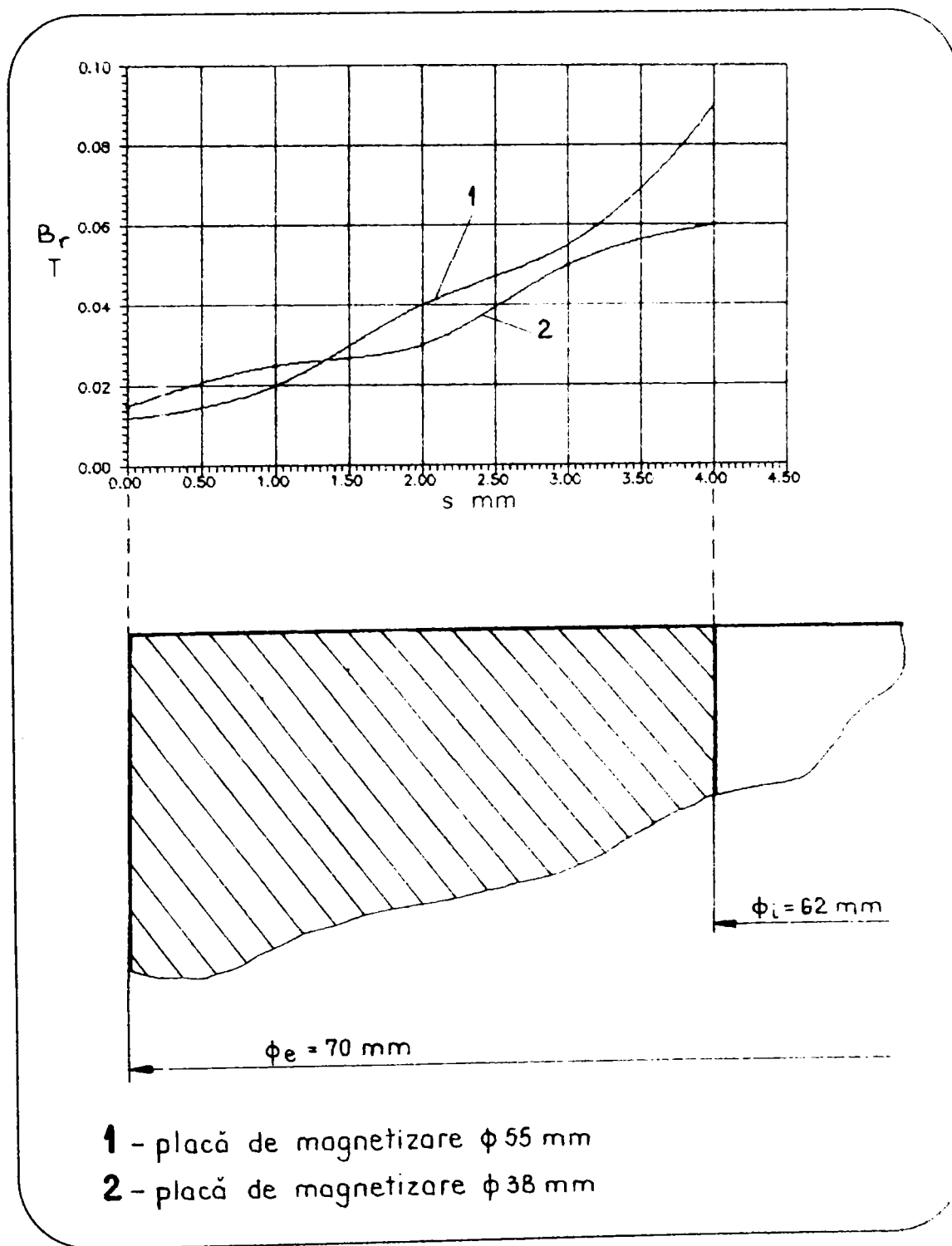


figura 31

În figura 31 pentru cele două dimensiuni ale plăcii de magnetizare se prezintă variația câmpului magnetic radial pe grosimea peretelui țevii de Φ 70 x 4 mm.

Pentru țevile de $\Phi 70 \times 4\text{mm}$, la un curent de magnetizare de $I_m=4\text{A}$,
devierea liniilor de câmp este prezentată în figura 32.

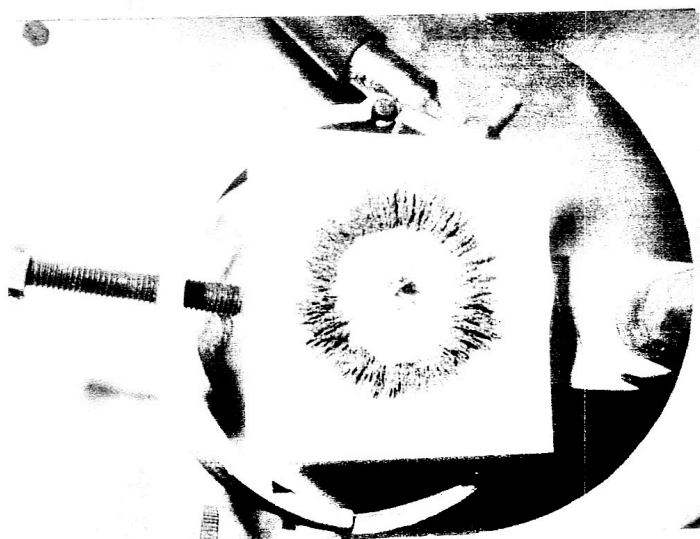


figura 32

Accelerarea și stabilizarea cât mai rapidă a areului este factorul cel mai important în desfășurarea optimă a procesului de încălzire cu arc rotitor ,iar în cazul bobinelor interioare acesta reprezintă cel mai mare avantaj.

2.1.3. Realizări de echipamente de sudare cu arc rotitor .

Echipamentele de sudare cu arc rotitor se realizează în două variante și anume:

- a-echipamente de sudare staționare;
- b-echipamente de sudare portabile.

În general, echipamentele de sudare cu arc rotitor sunt semiautomate: încărcarea-descărcarea pieselor se realizează manual, ciclul de sudare desfășurându-se automat. Acolo unde se impune, procedeul se poate aplica prin automatizarea operațiilor auxiliare [43,44,45].

Echipamentele de sudare staționare sunt destinate sudării pieselor în atelier, în condițiile unei productivități ridicate. Sunt realizate în general în două variante: universale respectiv specializate. Dintre echipamentele realizate pentru definitivarea experimentărilor necesare lucrării de doctorat se pot aminti:

ROTARC 4-1 (figura 33)[46,47]. Este o mașină staționară fiind destinată în principal sudării țevilor de diametre mici ,maximum 14 mm. Pentru o mai bună poziționare ,în vederea sudării , mașina este prevăzută cu un sistem de reglare $x-y$ a concentricității dintre țevi.

Câmpul magnetic radial poate fi realizat atât cu ajutorul bobinelor de excitație (bobină stea) cât și cu magneți permanenți. Construcția este compactă , în cadrul mașinii fiind amplasat atât sistemul electric de comandă cât și sistemul pneumatic de comandă. Principalele caracteristici tehnice ale mașinii sunt:

- acționarea:electrică și pneumatică;
- forța de refulare:maxim 2 kN;
- secțiunea sudabilă:maxim 60 mm²;
- productivitate: minim 60 suduri/oră;
- strângerea pieselor:manual mecanic cu șurub;
- ciclul de sudare :automat;



figura 33

Mașina ROTARC 4-1 este utilizată și într-o aplicație specializată și anume la sudarea conductelor de alimentare a motoarelor Diesel, figura 34,[48,49]. Noua tehnologie înlocuiește o tehnologie de lipire, realizându-se economii importante prin reducerea manoperei, cât și prin eliminarea necesarului de material de adaos (aliaj de lipit, gaz carburant).



figura 34

ROTARC 6 (figura 35) [50]. Este o mașină staționară, destinată sudării cap la cap a țevelor cu diametre de până la 60 mm. Acționarea mașinii se realizează prin intermediul unui grup hidraulic. Sistemul electric se află montat într-un dulap de comandă separat. Alimentarea se face de la o sursă de curent continuu, cu caracteristică externă căzătoare și o tensiune de mers în gol de minim 70 V, de exemplu RSA 500, RSA 500-M. Principalele caracteristici ale mașinii sunt:

- acționarea :electrică și hidraulică;
- forța de refulare: maxim 12 kN;
- forța de strângere: maxim 15 kN;
- secțiunea sudabilă: maxim 450 mm²;
- productivitatea: minim 70 suduri/oră;
- strângerea pieselor : hidraulică cu acționare manuală;
- ciclul de sudare: automat.

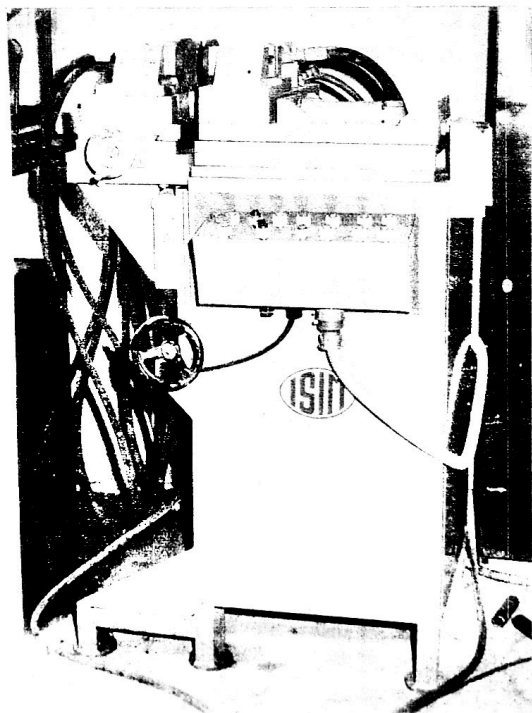


figura 35

Echipamentele portabile se utilizează pentru sudarea în condiții de șantier.

În figura 36 se prezintă cleștele de sudare tip PORTROTARC [28]. Acesta este compus din doi semiclești, unul fix respectiv unul mobil, montați pe două coloane de ghidare. Semicleștele mobile execută mișcările de amorsare și de refulare. Reperetele de sudat sunt fixate prin intermediul barelor de strângere, în cei doi clești. Acționarea cleștelui PORTROTARC poate fi pneumatică sau pneumo-hidraulică, în funcție de secțiunea reperelor de sudat.

Caracteristici tehnice:

- secțiunea sudabilă: max. 100 mm² (acționare pneumatică)
max. 400 mm² (acționare pneumo - hidraulică)
- strângerea pieselor: acționare mecanică,
- productivitatea: minim 40 suduri/oră;
- sistem de magnetizare: magneti permanenți în opoziție;
- ciclul de sudare: automat;
- masă: 11,5 kg.

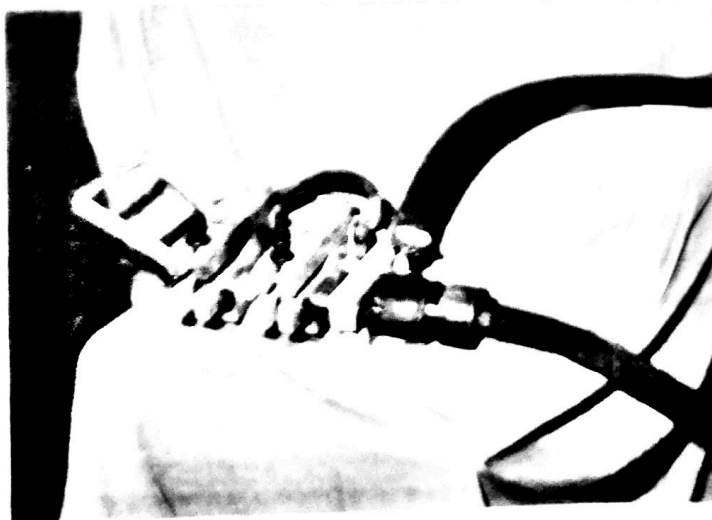


Figura 36

2.2.DETERMINAREA ANALITICĂ A PARAMETRIILOR DE SUDARE.

Elaborarea unei tehnologii de sudare presupune determinarea unei valori numerice pentru fiecare parametru de sudare. Practic, există un număr nelimitat de posibilități de realizare, din punct de vedere tehnologic, la unei îmbinări sudate.

Din analiza procesului de sudare cu arc rotitor se observă că optimizarea tehnologică nu poate fi făcută pe baza unei metode analitice directe [2]. Într-o parte parametrii de sudare nu există relații matematice, ci se pot defini doar relații empirice, cu valabilitate condiționată și limitată.

În tabelul 1 sunt date, orientativ, tehnologii de sudare cu arc rotitor pentru diferite tipuri de îmbinări și de materiale.

tabelul 1

Material de bază	J_v A/mm ²	P_{rot} daN/mm ²	t s	B_r T	I_p A	U s	V A	V s
oțel carbon	0,5- 1,2	6 - 12	2-10	0.02-0.05	-			
oțel aliat	-	>20	-	0.04-0.09	<100	3-20	(2-5) t	<1
țevă- flanșă	1	8 - 10	2-5	0.06-0.10				
țevă- placă	>3	< 0.5	<0.5	-				

Relațiile pentru calculul analitic al parametrilor de sudare sunt prezentate în tabelul 2 [51,52,53].

P	Unitate de măsură	Relații de calcul	Observații
I_s	A	$I_s = \frac{P}{U_s}$ $P = \frac{q}{*}$ $q = q \cdot A_s$ $q = \max(q_{tr}, q) \text{ (vezi fig.37)}$	P-puterea arcului * -randamentul încălzirii. q-puterea termică efectivă a arcului *=0,9 pt. t=1-4s *=0,8 pt. t=5-10s q puterea specifică
A_s	mm ²	$A_s = \frac{\bar{v}}{i} (D_e - D_i)^2$	
j_s	A/mm ²	$j = 0,5 - 1,2 \text{ pt.}$ $j > 3 \text{ pt.}$	oțeluri carbon oțeluri aliate
U_s	V	$U_s = 15,5 + 6,5 d$	d-întrefierul dintre țevi
F_{ret}	daN	$F_{ret} = P_{ret} \cdot A_s$	P_{ret} - presiunea specifică de refulare daN $P_{ret} = (6 - 12) \frac{\dots}{\text{mm}^2}$ A_s - secțiunea pieselor
d	mm	$d = 1,5 + 0,5 \text{ mm}$	
t	sec	$t_1 = 1 - 5 \text{ s}$ $t_2 = 6 - 10 \text{ s}$	t_1 -regim dur t_2 -regim moale
F_{sr}	daN	$F_{sr} = (1,5 - 2) F_{ret}$	
I_{ref}	A	$I_{ref} = 1,5 I_s$	
V_{rf}	mm/s	$V_{rf} = 100 - 200$	
V_{rot}	mm/s	$V_{rot} = D f$	D-diametrul piesei f-frecvența de rotație f= 200rot/s

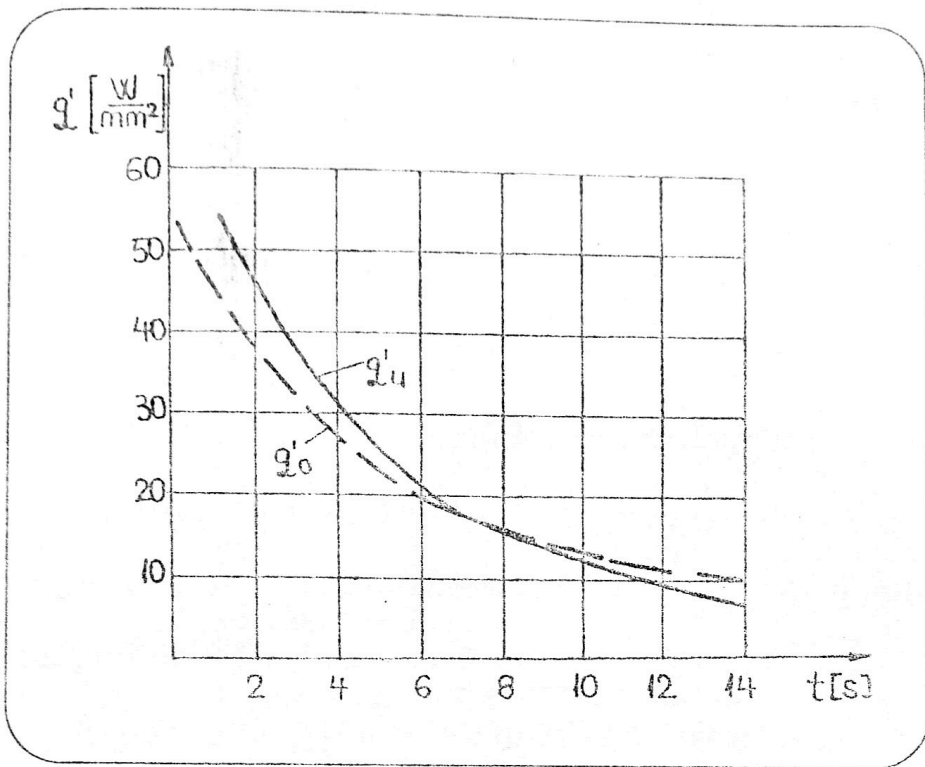


figura 37

2.3. DIAGNOSTICAREA ACUSTICĂ A PROCESULUI DE SUDARE CU ARC ROTATOR

2.3.1. Arcul electric ca sursă de zgomot.

Cercetarea proceselor fizice ce au loc în arcul electric la sudare este dificilă datorită temperaturilor ridicate caracteristice, produse în volume de dimensiuni mici. De aceea în cele mai multe cazuri aprecierea acestor fenomene se face prin măsurarea mărimilor electrice (tensiune, curent). Sunt utilizate, de asemenea, sisteme adecvate pentru determinarea modului de transfer al materialului (analiza picăturilor) respectiv a forțelor care acționează în spațiul arcului electric.

O metoda mai puțin utilizată până în prezent pentru studiul fenomenelor din arcul electric este legată de prelucrarea emisiilor sonore (zgomotul) a arcului.

Primele lucrări în acest domeniu se referă la zgomotul produs de arcul electric ce arde între electrozii de cărbune [54]. Cu creșterea intensității curentului prin arc se produce o modificare a intensității acestui zgomot. Această modificare este explicată prin creșterea uniformității oscilațiilor de tensiune și, ca urmare, variațiilor de presiune. Vaporizarea intensă a materialului anodic cu creșterea unor micropete de ardere cauzează, în coroborare cu forțele magnetice, un zgomot de frecvență scăzută ($\approx 1,5$ KHz). Variațiile de frecvență înaltă (≈ 80 kHz) ale curentului și tensiunii arcului pot fi explicate ca rezultat al unui mecanism instabil al căderii anodice [55,56,57].

A fost determinată, de asemenea, o corelare acustică a trecerii picăturilor prin arc cu oscilațiile de tensiune ale acestuia.

Modificarea transferului picăturilor de la modul prin picături grobe la cel prin picături fine, odată cu creșterea curentului de sudare, este însoțită de o schimbare a zgomotului caracteristic.

Zgomotul produs de un arc electric la sudarea fără transfer de material este datorat mai multor cauze ca [55,56,57]:

- deplasarea petelor catodice și anodice;
- producerea unor fenomene de rezonanță în sistemul arc electric-electrod-duză;
- producerea unor zgomote determinate de sursa de sudare;
- producerea unor zgomote la ieșirea gazului de protecție din duză.

În cazul arcelor electrice cu transfer de material, zgomotele produse de acestea sunt influențate de caracteristicile de material (procesul de emisie, conductibilitate termică), precum și de variațiile de curent și tensiune al arcului care se pot manifesta și în variații de presiune. În același timp, pot avea un rol important procesele de disociere - ionizare.

În timpul arderii sale, arcul electric de sudură produce un zgomot caracteristic, datorat schimbărilor bruște de presiune ce au loc în zona arcului. Caracteristicile acestui zgomot sunt dependente de procesul de sudare și de condițiile de ardere a arcului.

Sudarea cu arc rotitor oferă un domeniu deosebit de favorabil diagnosticării acustice a procesului de sudare[58,59].Arcul electric este obligat, prin procesul de sudare, să se rotească cu viteză mare între suprafețele frontale ale pieselor de sudat, rotație care este însoțită de un zgomot tipic.Observațiile directe asupra procesului de sudare au arătat existența unei corelații între zgomotul produs de arc electric și procesul de rotație al arcului [66,67,68].

Un operator instruit poate aprecia calitatea procesului de rotație în mod direct,ascultând zgomotul produs de arc.El poate aprecia modul de variație al vitezei de rotație a arcului (accelerări sau încetiniri ale acestuia),precum și asupra unor eventuale perturbări ale procesului de rotație prin stropi sau scurtecircuite.

Viteza de rotație a arcului electric este un parametru important al procesului de încălzire cu arc rotitor.Viteza depinde de valorile curentului de sudare și ale inducției magnetice ,fiind influențată de asemenea, de mediul (gazul) în care are loc sudarea.Indiferent de valorile acestor mărimi ,viteza de rotație are în cazul pieselor din materiale feromagnetice o variație tipică, figura 38.Rotația arcului cuprinde 4 faze și anume:

- perioada inițială,în care are loc o mișcare accelerată a arcului cu o viteză relativ redusă;

- perioada tranzitorie, în care se semnalează un salt rapid al vitezei, ca urmare a modificării proprietăților magnetice ale materialului (depășirea punctului Curie);

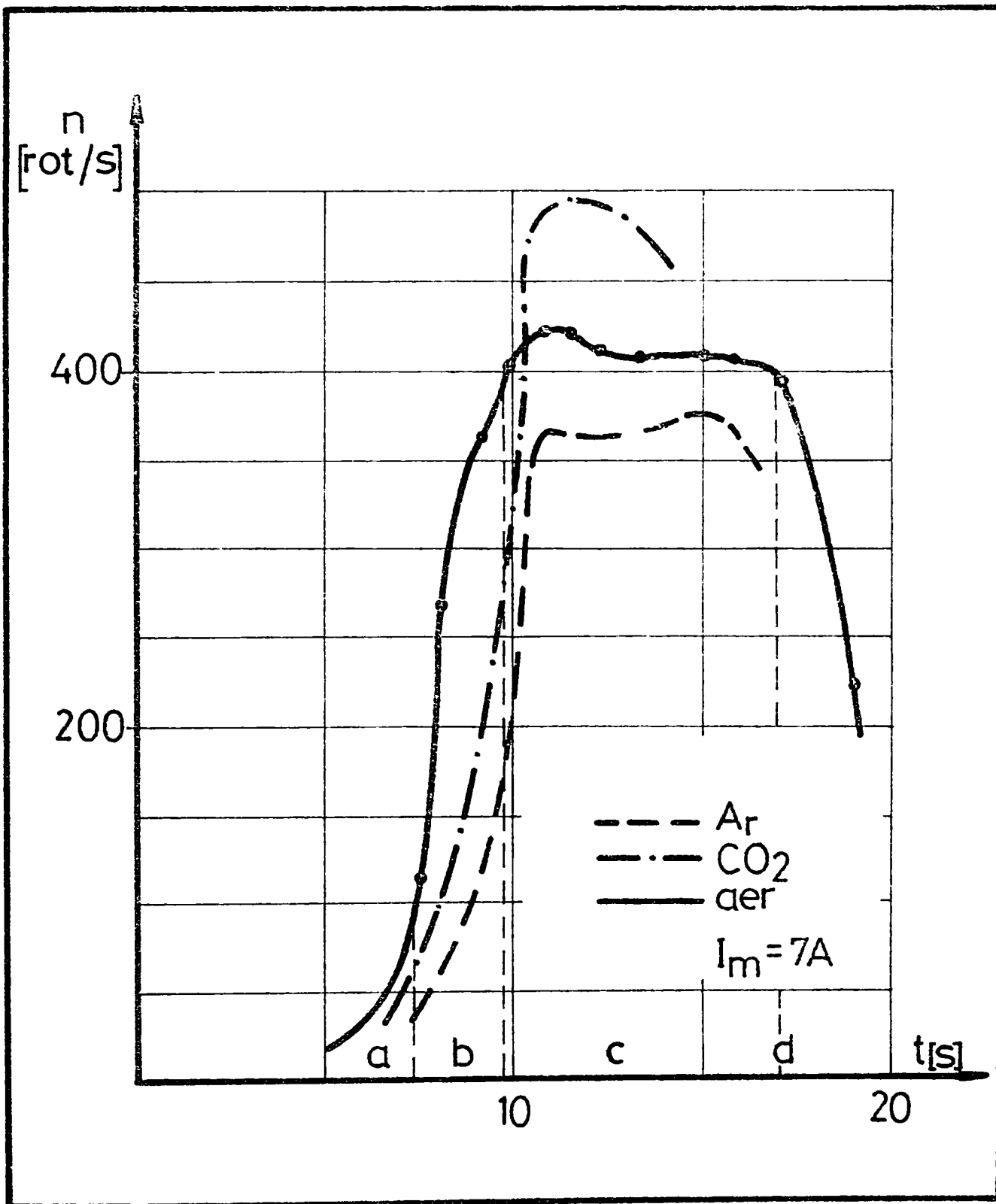


Fig. 38

-perioada arderii stabile ,caracterizată printr-o rotație a arcului cu o viteză constantă;

-perioada finală ,în care se produce o încetinire a arcului.

Din punct de vedere al procesului de încălzire al arcului, ar fi de dorit sistarea acestui proces la sfârșitul etapei de ardere stabilă. După această etapă se produce o topire a materialului ,picăturile de metal topit creând un obstacol în calea deplasării uniforme a arcului [69].

Influența cea mai mare asupra calității sudurilor o are etapa de încălzire cu arc rotitor a pieselor [70]. Timpul de ardere stabilă a arcului rotitor depinde de parametrii U_a, I_s, I_m , d. De exemplu, pentru țevile de $\Phi 34 \times 3$ mm se obțin timpi de rotație stabilă de ordinul 15 - 20 secunde la $I_s = 150$ A și $I_m = 3-9$ A, respectiv de 2-3 secunde dacă I_s crește peste 300A sau I_m crește peste 10 A [2].

Trecerea de la arderea stabilă a arcului la arderea nestabilă este legată de topirea capetelor pieselor. Picăturile de material topit sunt antrenate de arc rotitor în sensul de deplasare al acestuia. Asupra picăturii acționează următoarele forțe:

- forța centrifugă;
- forța gravitațională;
- adeziunea;
- tensiunea superficială.

În cazul în care componenta radială a forței rezultante depășește o anumită valoare critică, picătura este expulzată sub forma de împrăscări însoțite de un zgomot puternic. Ca urmare a împrăscărilor, lungimea arcului crește până la atingerea lungimii de stingere, când are loc întreruperea arcului.

Având în vedere numărul mare al parametrilor de sudare este dificilă o urmărire continuă a acțiunii fiecăruia dintre aceștia [69,72,74]. Având în vedere acestea, este de preferat, determinarea unor mărimi globale care să caracterizeze efectul mai multor parametrii.

2.3.2. Înregistrarea zgomotului arcului rotitor.

Pornind de la investigațiile făcute în [60,61,62], s-a urmărit obținerea unor concluzii privind posibilitatea măsurării, înregistrării și interpretării diagramei nivelului de presiune sonoră. Astfel, aceasta diagramă este compusă din porțiuni distincte, caracteristice numai procedurii de sudare cu arc rotitor [76]. Pentru cazul unui ciclu de sudare corespunzător (curba 1, figura 39), se disting următoarele faze [63,64,65]:

-amorsarea arcului electric poate fi identificată printr-o creștere bruscă a nivelului, urmată de o descreștere gradată, care după 1,5-2 secunde va atinge un minim;

-următoarea porțiune se caracterizează printr-un nivel constant,corespunzătoare fazei de ardere stabilă a arcului (preîncălzirea).La sfârșitul acestei faze nivelul scade,instabilitatea curbei fiind datorată creșterii băii de metal topit;

-faza de refulare este pusă în evidență printr-un salt al nivelului de presiune sonoră.

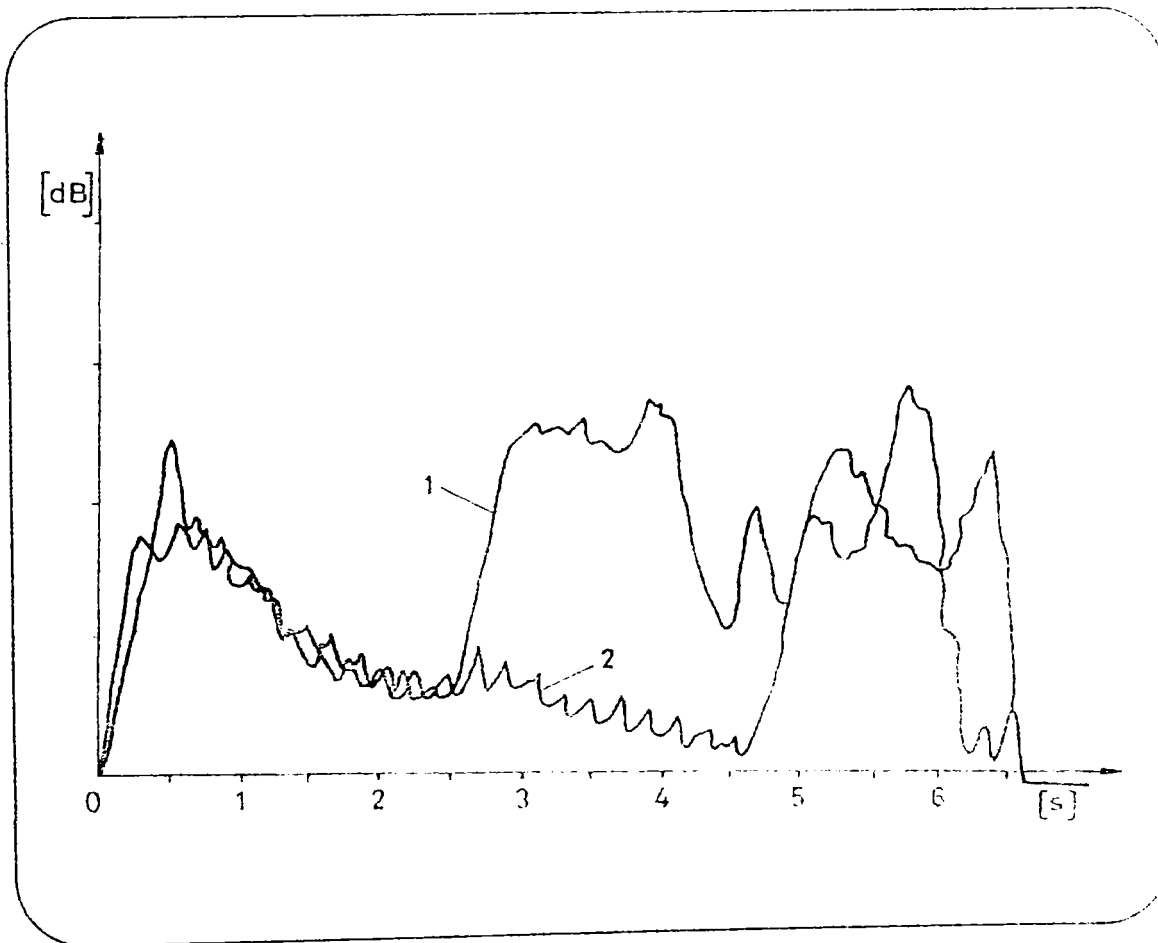


figura 39

În figura 40 se prezintă schema montajului experimental utilizat pentru studiul zgomotului arcului rotitor [69,70,71,74,75]. Zgomotul a fost preluat cu ajutorul unui traductor acustic, fiind apoi amplificat și introdus într-un sistem de achiziție date. Prelucrarea s-a realizat pe un calculator PC [69]. Simultan cu zgomotul arcului au fost înregistrate curentul de sudare și tensiunea arcului.

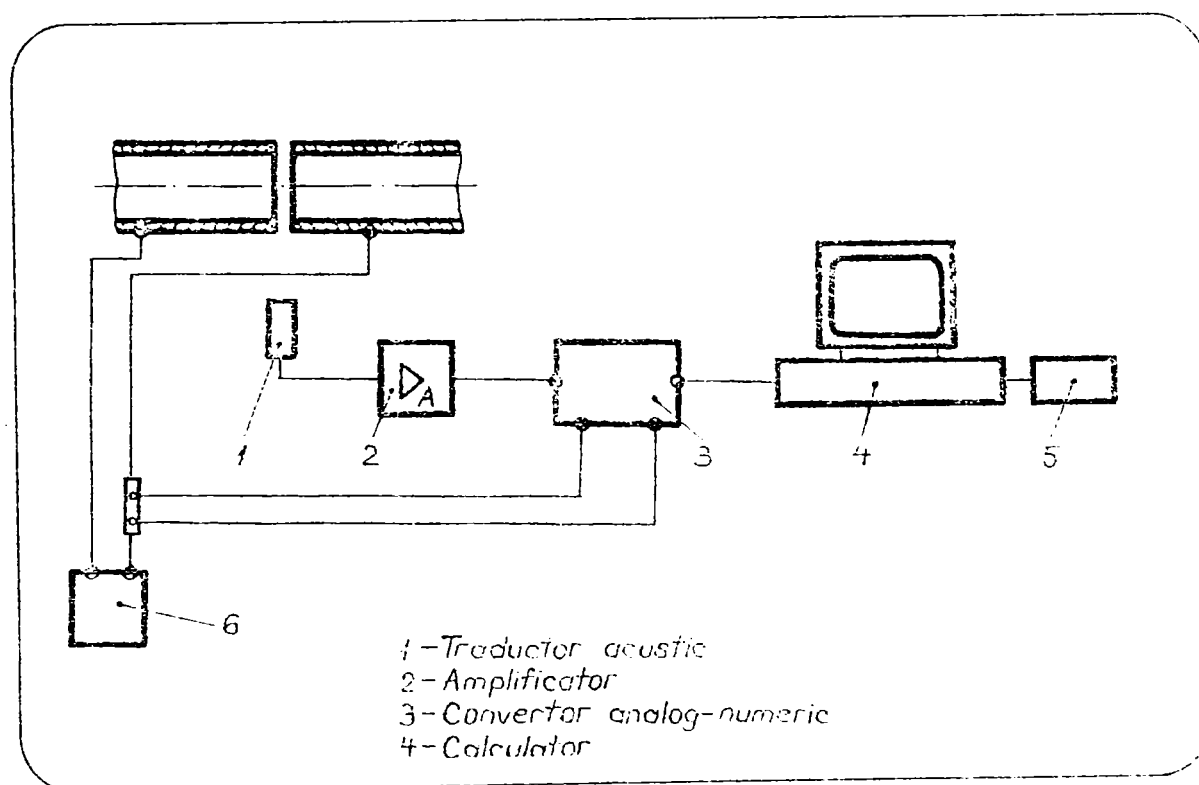


figura 40

În figurile 41,42,43,44,45 se prezintă variația în timp a nivelului de presiune sonoră, a curentului de sudare și tensiunii arcului pentru patru regimuri caracteristice de sudare:

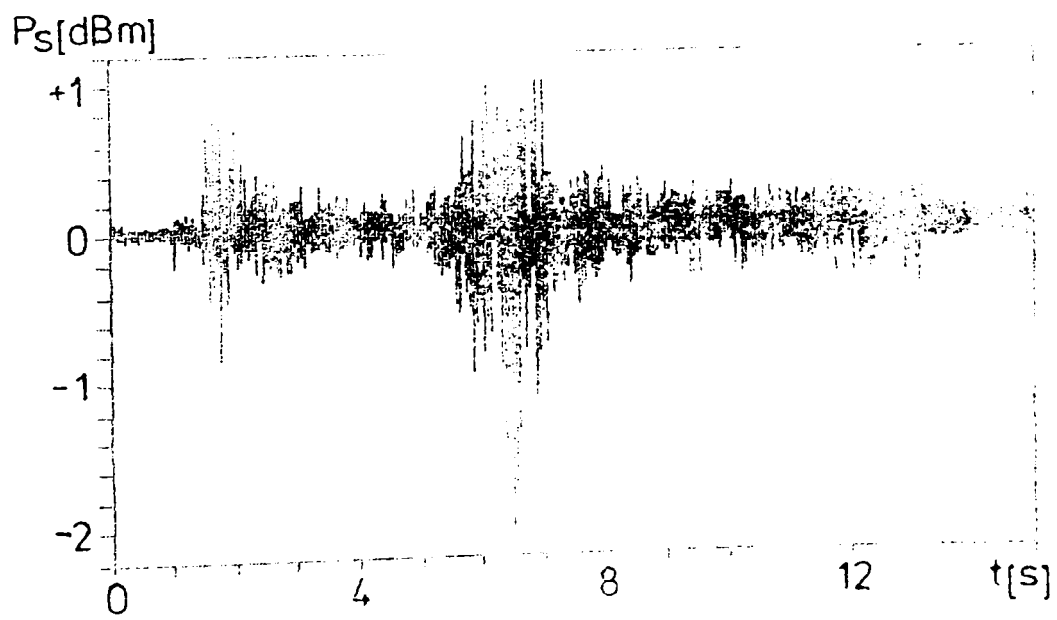
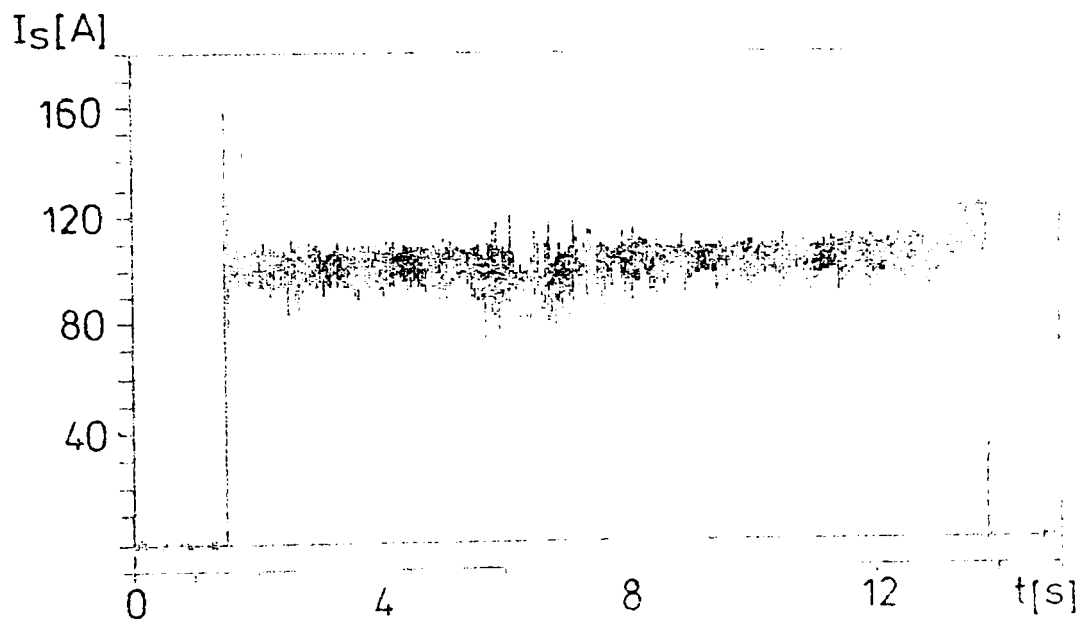
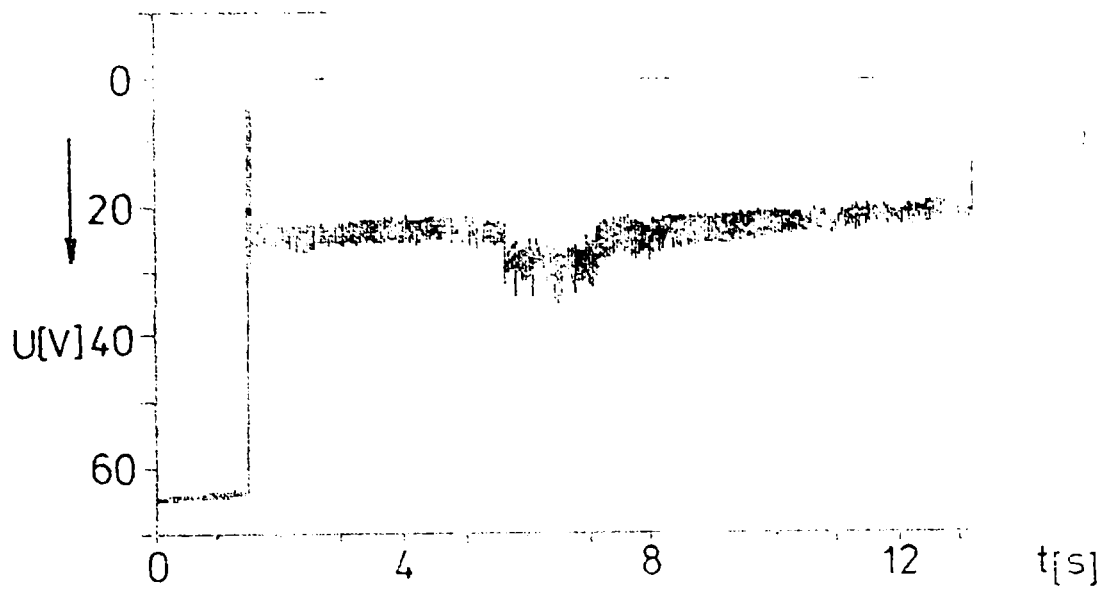


Fig. 41

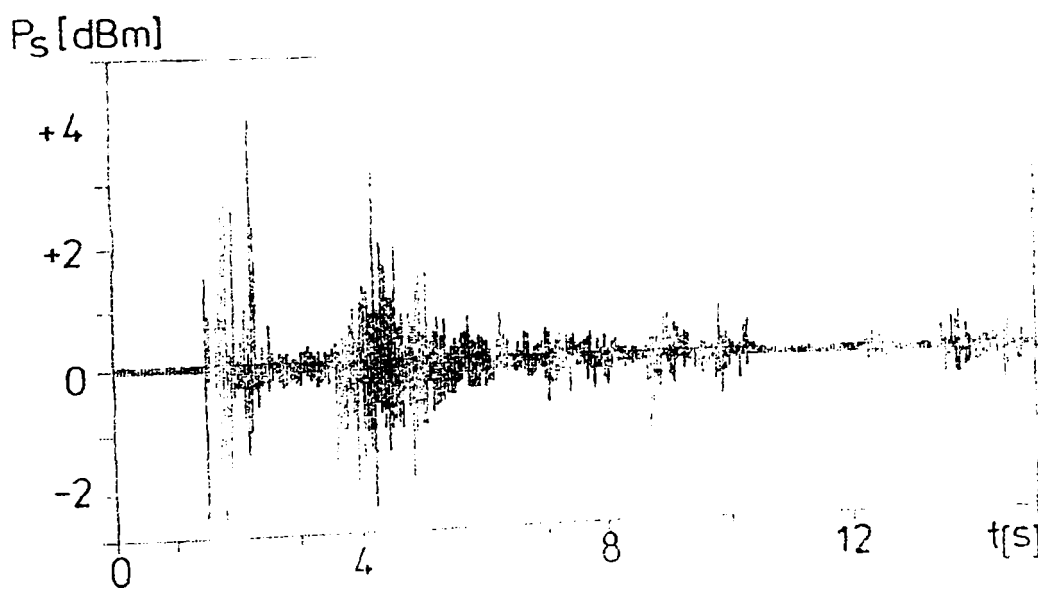
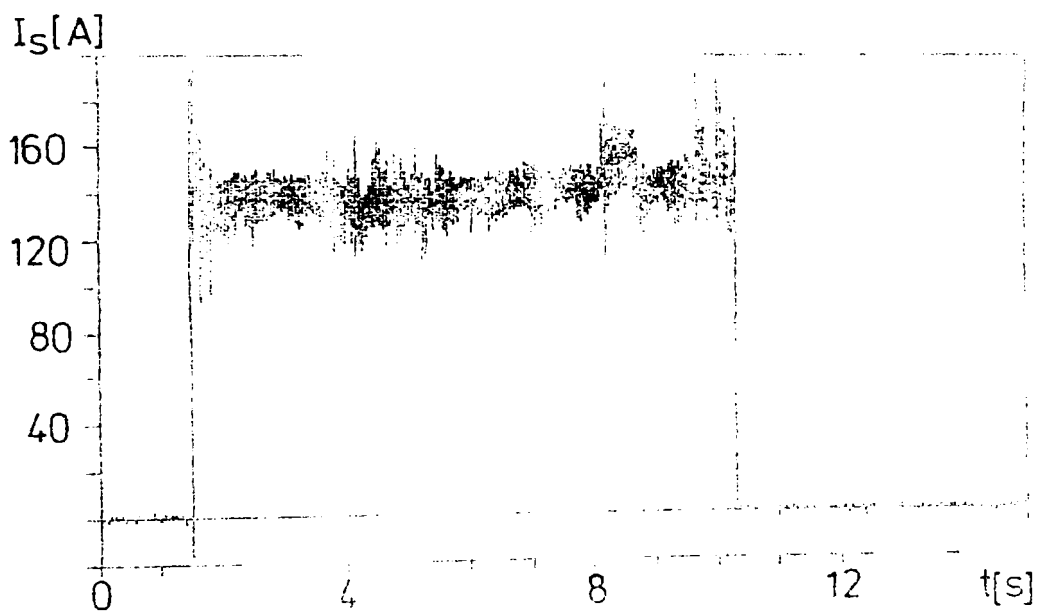
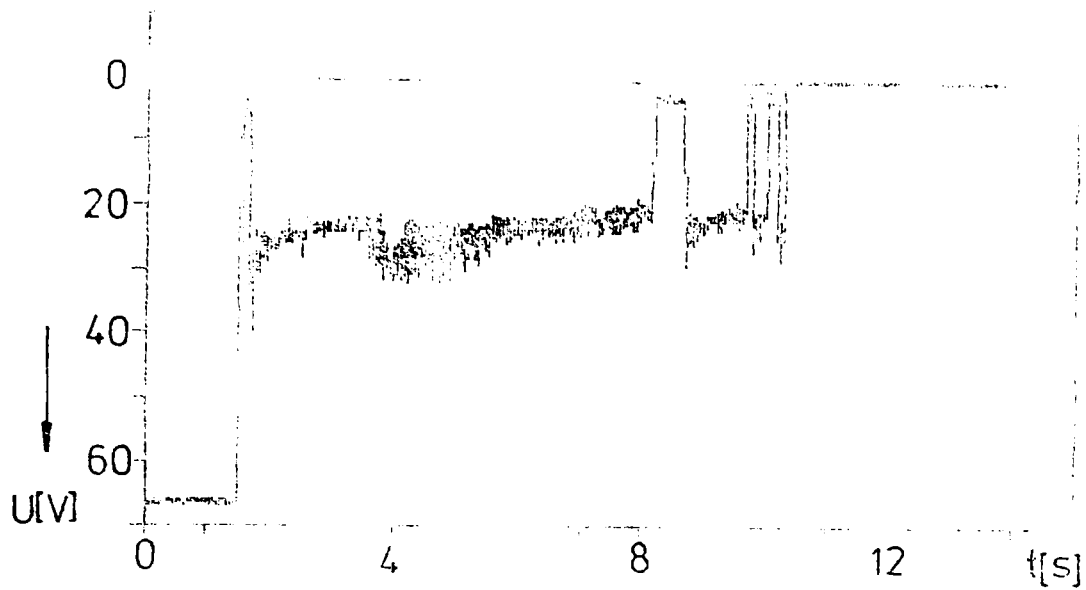


Fig. 42

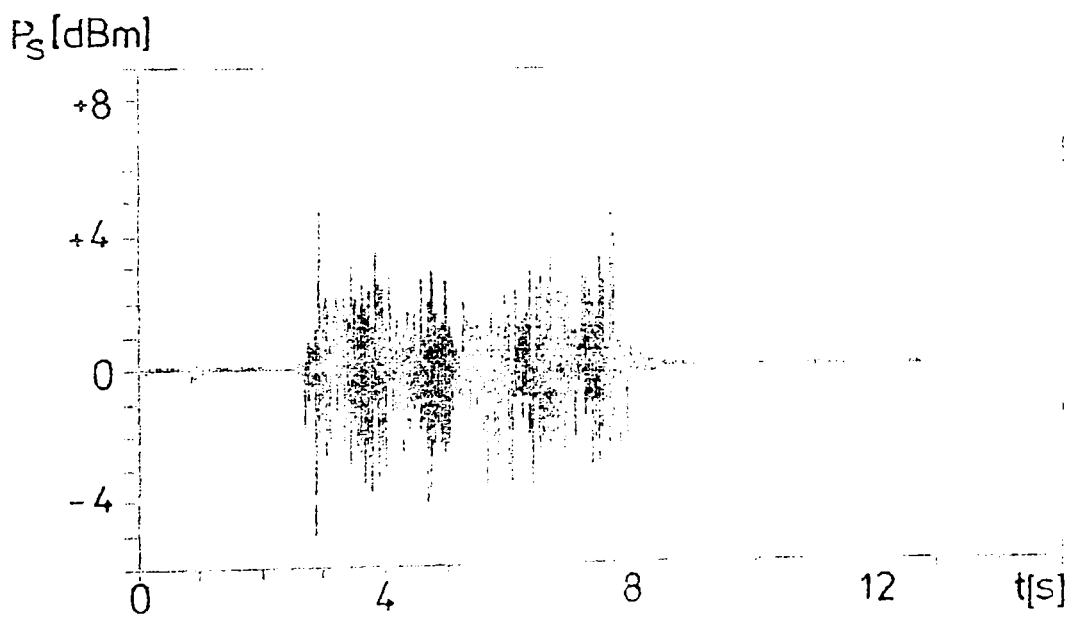
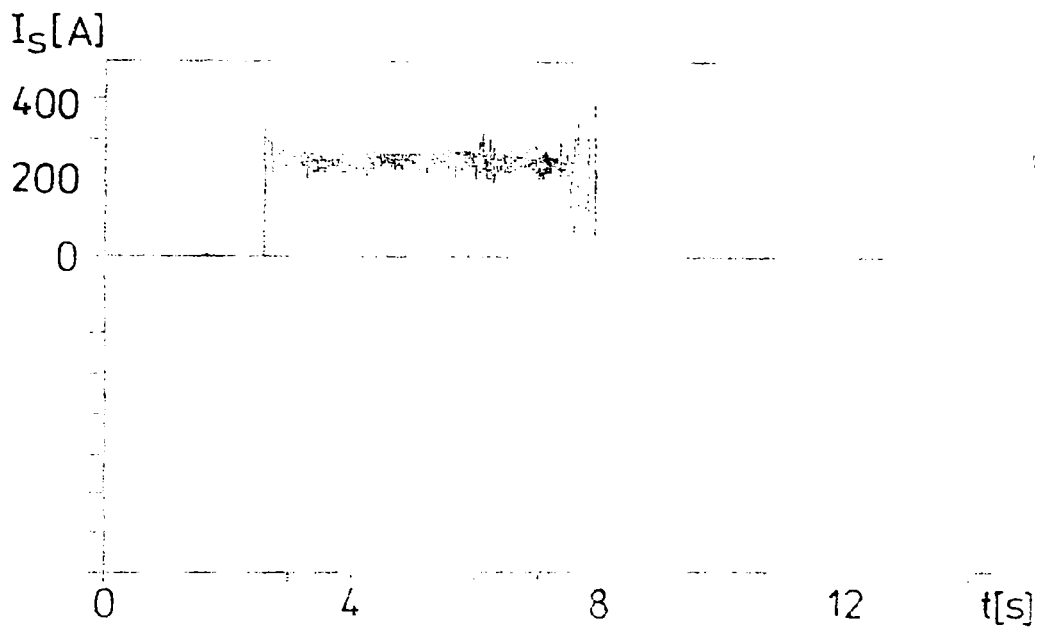
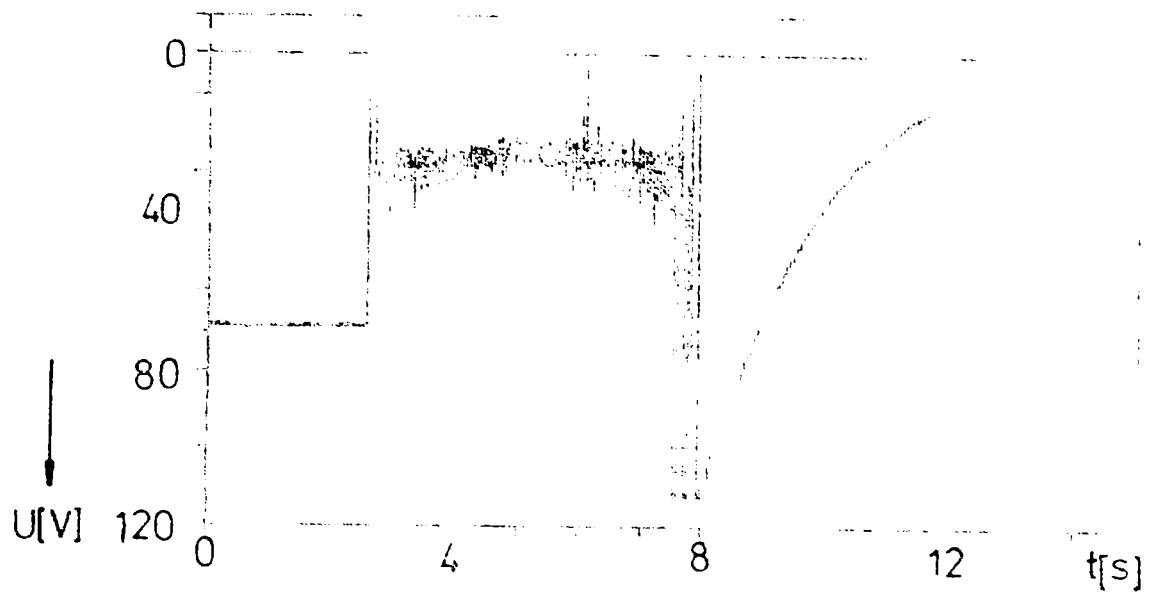
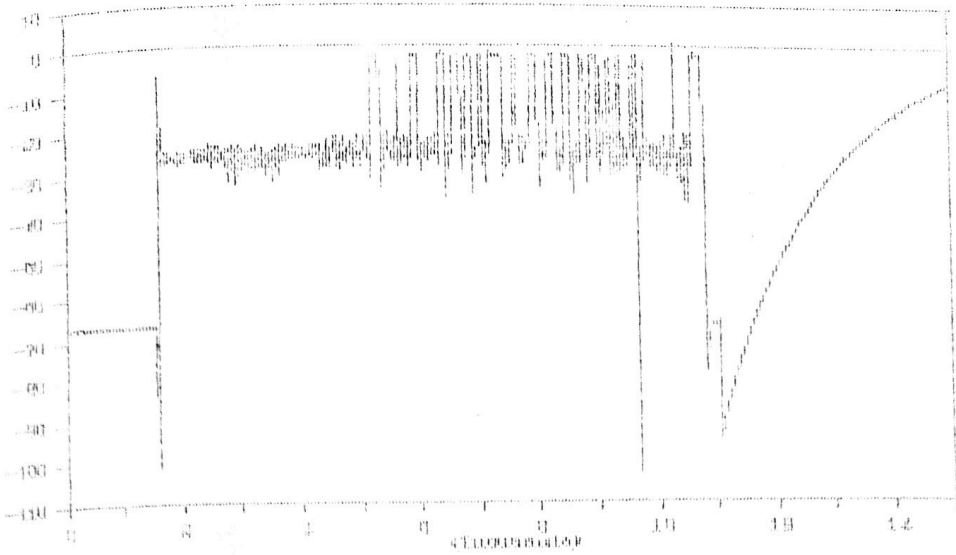
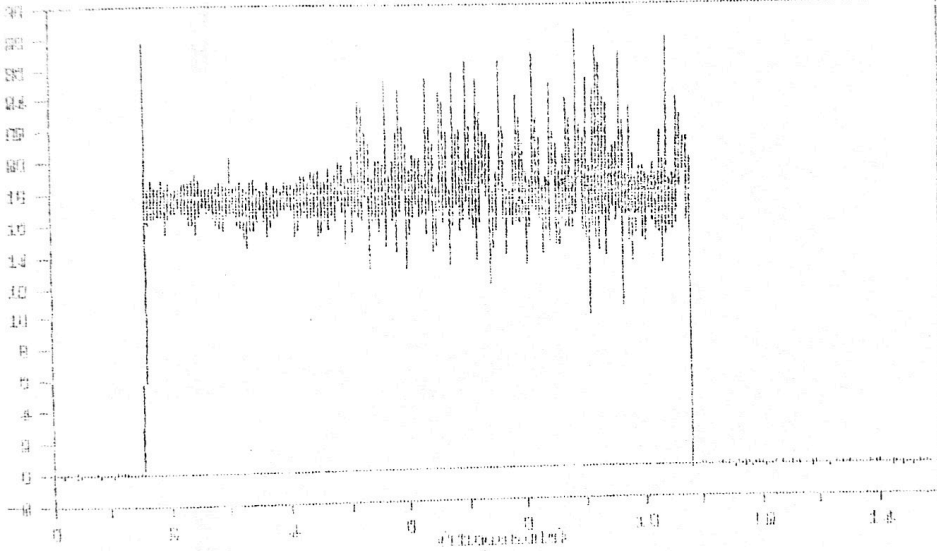


Fig.43

U
[V]



I_s
[A]



P_s
[dBm]

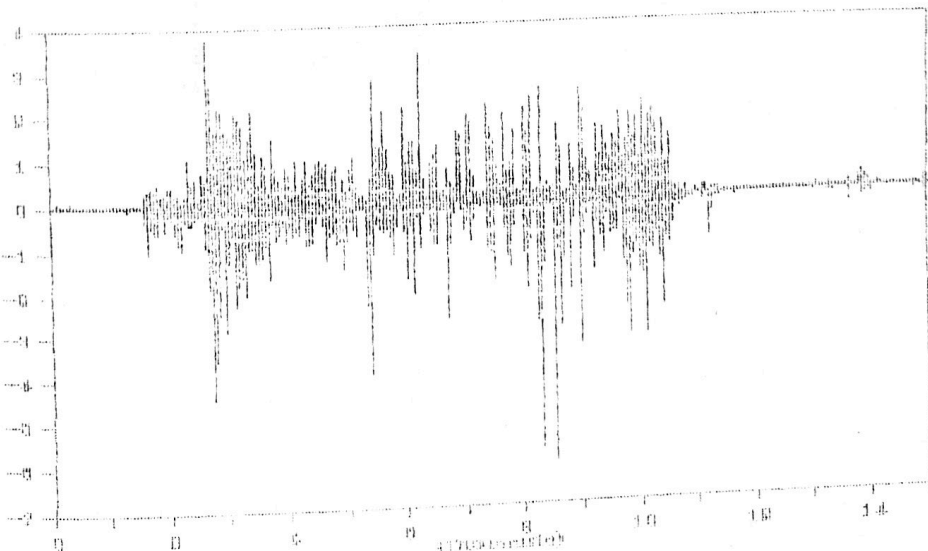


Fig. 44

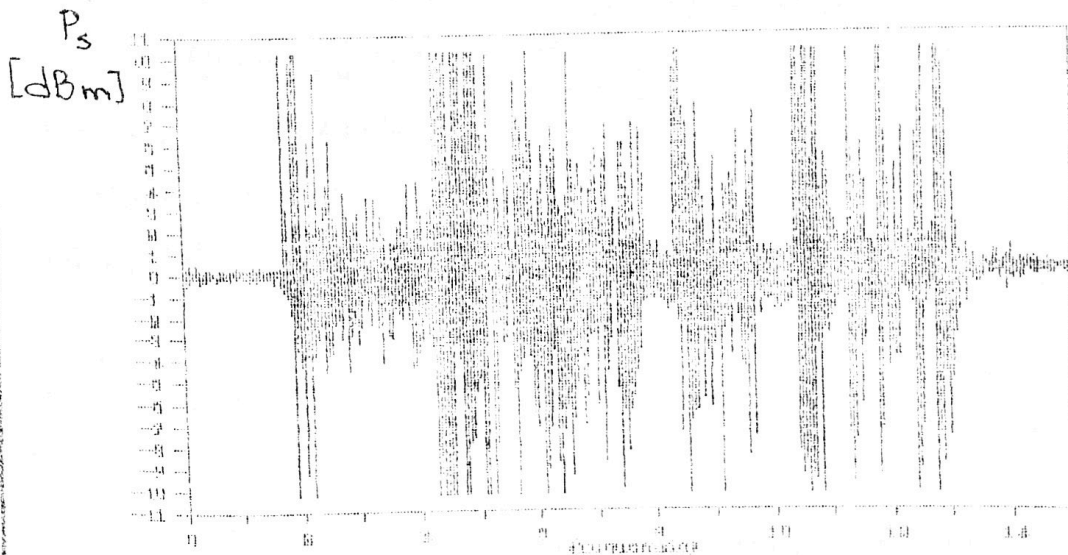
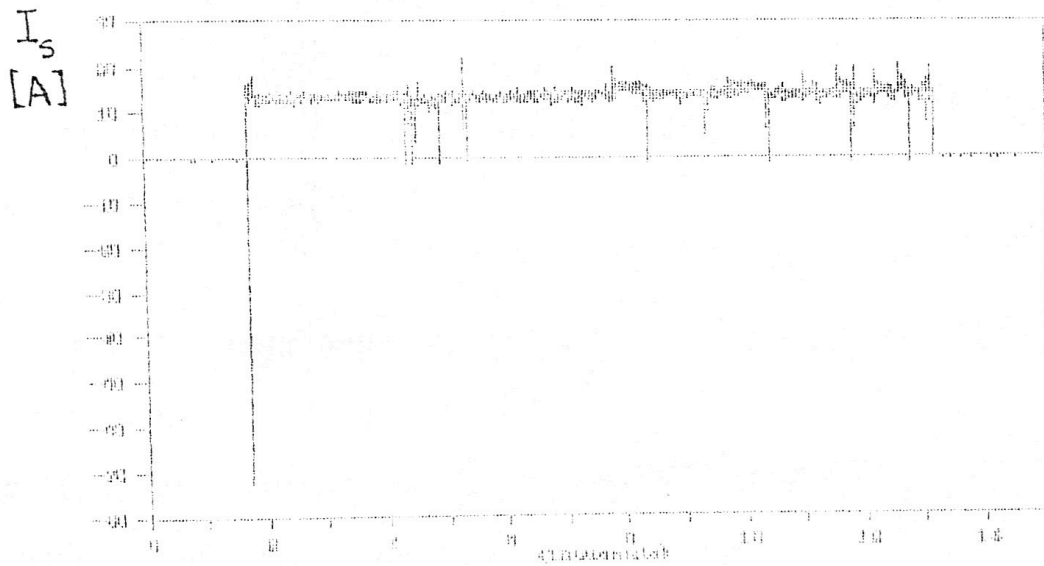
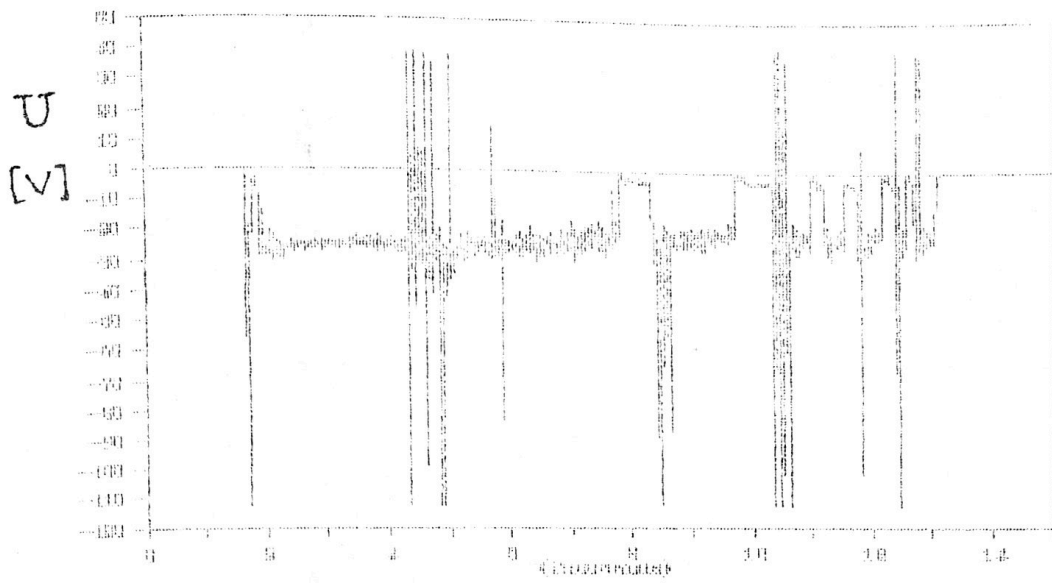


Fig. 45

-în figura 41 se prezintă un regim corespunzător unei rotații stabile a arcului electric $I_s = 100 \text{ A}$; $d = 1,5 \text{ mm}$;

-în figura 42 se prezintă un regim corespunzător unei rotații stabile cu întreruperi la sfârșitul perioadei de ardere $I_s = 140 \text{ A}$; $d = 1,5 \text{ mm}$;

-în figura 43 se prezintă un regim de sudare dur , $I_s = 240 \text{ A}$, $d=2\text{mm}$;rotația arcului este intensă ,zgomotoasă;

-în figurile 44 și 45 se prezintă regimuri de sudare defectuoase ,specifice unor valori mari ale curentului de sudare și a întrefierului.

Experimentările s-au efectuat folosind țevi din oțel OLT 35 având dimensiunile $\Phi 34 \times 3 \text{ mm}$.

Analizând diagramele din figurile de mai sus ,se pot constata următoarele:

-în figura 41 s-a utilizat un regim moale de sudare,caracterizat prin timp lung de încălzire ($t=12,5 \text{ sec}$) la un curent de sudare redus ($I_s=100\text{A}$);diagrama presiunii sonore prezintă un nivel constant,ceea ce confirmă o ardere stabilă a arcului.La 4,5 secunde după amorsare se observa o variație bruscă a nivelului,corespunzătoare depășirii punctului Curie.Ca urmare are loc un salt de viteză al arcului, arcul își mărește lungimea, deformarea acestuia crește,corespunzător acestui moment sesizându-se o creștere a tensiunii.

-regimul din figura 44 se caracterizează printr-o perioadă scurtă de ardere în regim stabil ($t=4 \text{ sec}$, $I_s=160\text{A}$), urmată până la stingere de o ardere instabilă.

-arderea instabilă se sesizează în diagrama nivelului de presiune sonoră prin variații bruște ale acestuia, variații datorate de expulzării punților de metal

topit. Formarea punților, manifestată prin scurtecircuite, este confirmată de diagramele tensiunii și curentului.

Se pot trage următoarele concluzii [69,72,75,76]:

-în timpul fazei de rotire a arcului electric există relații evidente între energia electrică și energia sunetului;

-variația nivelului de presiune sonoră este corelată cu modul de desfășurare a procesului de rotire a arcului;

-amorsarea și întreruperea arcului electric, producerea unor scurtecircuite sau întreruperi ale arcului electric sunt însoțite de variații ale nivelului de presiune sonoră;

-schimbarea bruscă a vitezei de rotație a arcului, caracteristică modificării prin încălzire a proprietăților magnetice ale materialului, este însoțită de o creștere a nivelului de presiune sonoră;

-nivelul de presiune sonoră este influențat de diverși parametri de sudare ca lungimea arcului, curentul de sudare, mediul în care are loc sudarea;

-cele două componente ale câmpului magnetic, axial și radial, influențează energia sunetului;

-deregări ale mașinii de sudare, slaba pregătire pentru sudare a pieselor se regăsesc în diagrama nivelului de presiune sonoră;

-stabilitatea unei tehnologii se poate verifica în diagrama nivelului de presiune sonoră.

2.4.SISTEM DE COMANDĂ A PROCESULUI DE SUDARE CU ARC ROTITOR.

În cadrul tendințelor actuale de dezvoltare a procedeului de sudare cu arc rotitor se poate remarca importanța acordată automatizării asistate de calculator pentru asigurarea calității îmbinărilor sudate [78,79,80,81].

Procedeul de sudare cu arc rotitor se pretează bine la automatizare având avantajul că pentru rotirea areului pe conturul pieselor, în vederea topirii, nu este necesară deplasarea unui cap de sudare.În general prin automatizare se urmărește [75,82]:

- scăderea timpilor auxiliari, prin alimentarea respectiv descărcarea automată a pieselor;

- asigurarea reproductibilității calității îmbinărilor sudate prin comanda , reglajul și supravegherea procesului de sudare.

Față de cazul în care se sudează cu o mașină cu alimentare manuală , la care verificarea calității sudurilor se face prin sondaj cu probe mecano-tehnologice de control , în cazul asigurării automate a calității, timpul de producție poate fi redus cu 40%.Astfel se elimină verificările care necesită cea 5 min/ buc.,nemaifiind necesare nici încercările distructive.

Automatizarea procesului în ansamblu, prin încărcarea și descărcarea automată a pieselor, reduce timpul de producție cu încă 20%.

Așa cum am mai arătat, viteza de rotație a arcului rotitor reprezintă un parametru complex care are o evoluție tipică în timp și caracterizează în mod global evoluția fazei de încălzire a materialului la sudare.

Din acest motiv, sistemul de comandă al procesului de sudare conceput are ca mărime de intrare acest parametru. Componenta și schema de principiu a funcționării sistemului de comandă este prezentată în figura 46 [72,73,75,77].

Variația vitezei de rotație a arcului rotitor este înregistrată cu ajutorul unei fotodiode montată într-un sistem de măsură utilizând tehnica de calcul. Înelitoarea semnalelor optice culese este prezentată în figura 47.

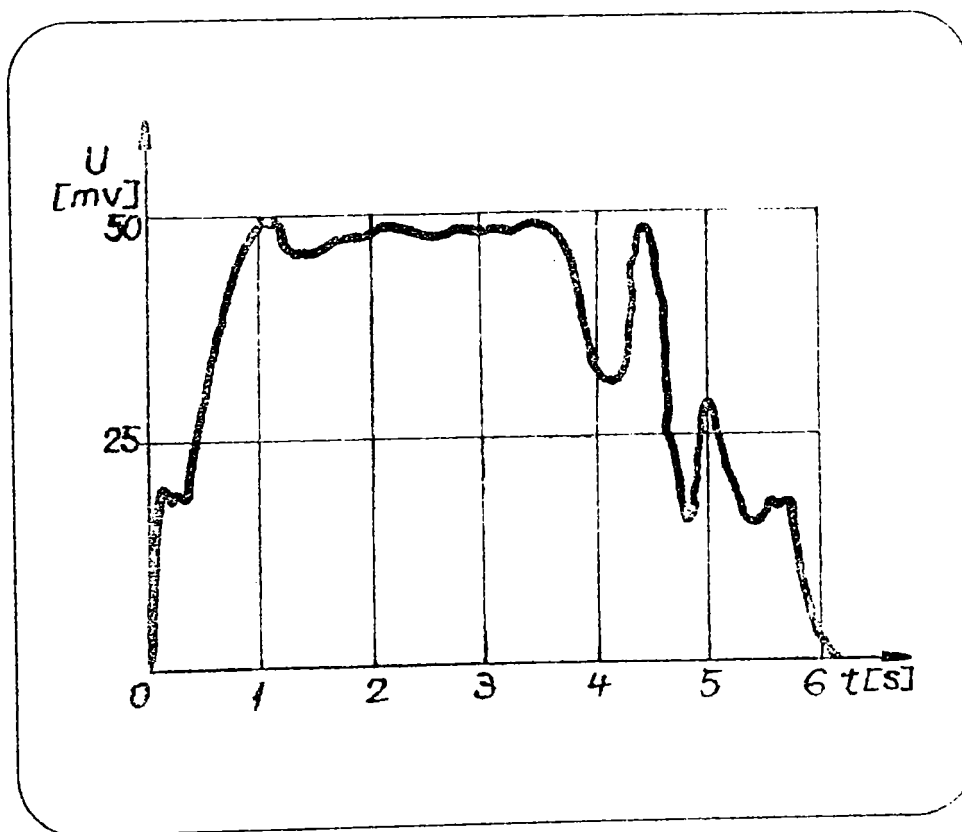


figura 47

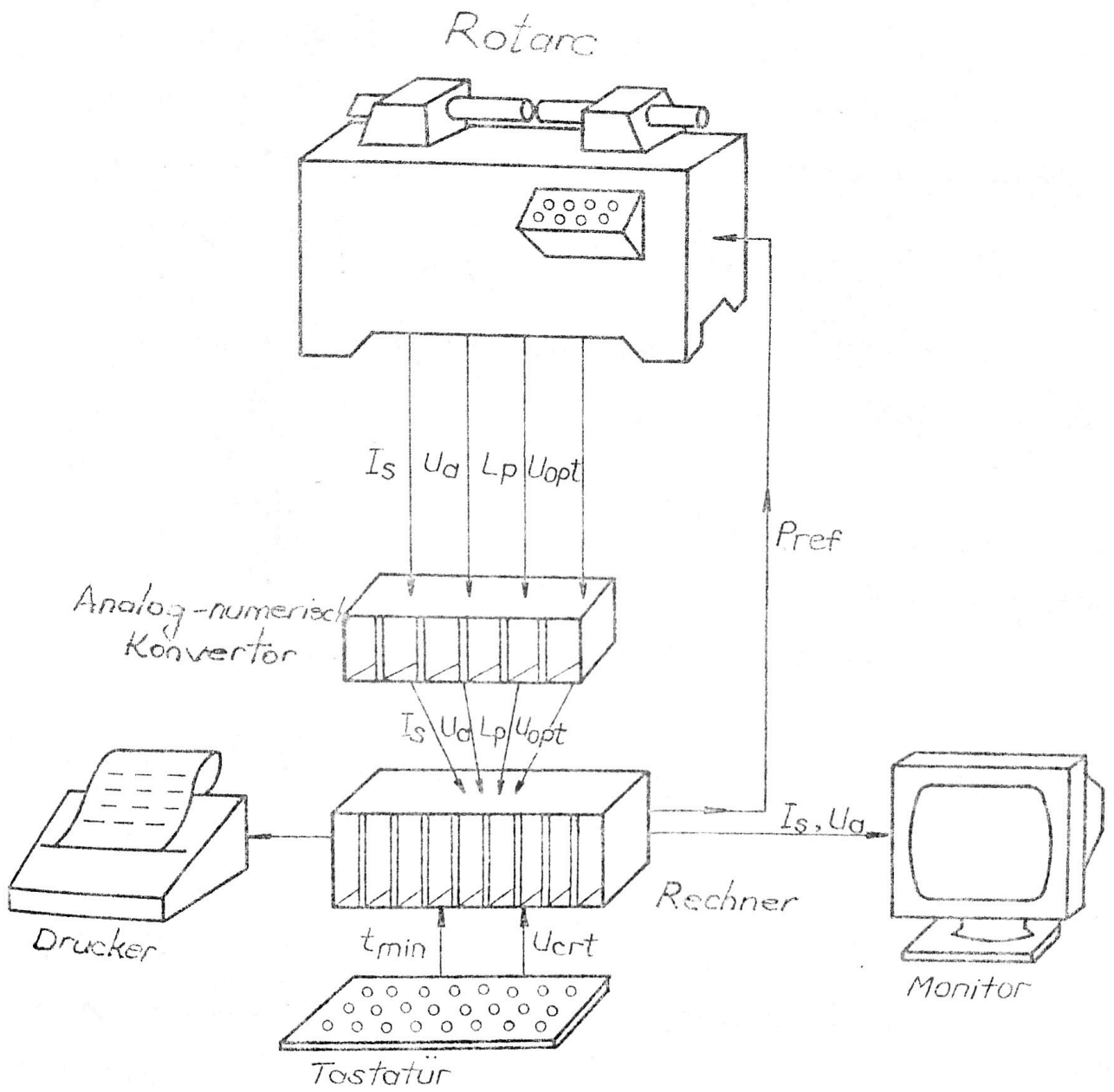


Fig. 46

În timpul procesului de sudare se controlează permanent viteza de rotație a arcului și se stabilește nivelul de palier al acestuia. Sistemul comandă trecerea la faza de refulare în momentul sesizării unei scăderi peste un anumit nivel a vitezei de rotație. Această scădere corespunde încheierii fazei de ardere stabilă a arcului și trecerii în faza următoare, de ardere instabilă.

Sistemul funcționează practic independent de valorile efective ale parametrilor etapei de încălzire (curent de sudare, tensiunea arcului, inducția magnetică etc.).

În felul acesta timpul de încălzire cu arc electric devine un parametru derivat, a cărui valoare este un rezultat al acțiunii celorlalți parametri.

Întrucât parametrii corespunzători etapelor de prindere și refulare depind în mai mică măsură de dimensiunile pieselor și mai mult de materialul de bază, valorile lor se stabilesc prin experimentări preliminare.

Valorile lor nu trebuie adaptate direct la desfășurarea procesului efectiv de încălzire cu arc rotitor.

Funcționarea sistemului de comandă presupune arderea unui arc electric relativ stabil. Acesta nu poate funcționa decât pentru anumite valori ale curentului de sudare și lungimii arcului, domenii care se stabilesc prin experimentări preliminare.

Practic sistemul propus permite urmărirea calității unei serii de piese sudate pentru care tehnologia a fost elaborată anterior.

Echipamentul de control conceput este constituit din următoarele blocuri funcționale [83]:

- blocul traductoarelor ;
- modulul de achiziție a datelor și de conversie analog-digitală;
- sistemul de calcul.

Modulul de achiziție de date este format din patru părți:

- blocul de achiziție de date, care realizează procesarea semnalelor analogice și conversia analog-numerică;
- circuitele, care asigură separarea galvanică;
- interfața, care asigură legătura dintre calculator și BAD
- sursele de alimentare ale BAD.

BAD este alcătuit din convertorul analog numeric DAS 12009 și din circuite care asigură protecția intrărilor la supratensiuni.

Blocul circuitelor, care realizează separarea galvanică este alcătuit din circuite de tip buffer cu un curent de ieșire mare, care acționează circuite de tip optocuplor pentru separarea galvanică a circuitului de măsură pe calculator.

Deoarece DAS 12009 funcționează cu trei tensiuni de alimentare:

- +5V - 500 mA;

- +15V - 50 mA;

- -15V - 100 mA, este necesară și prezența blocului surselor de alimentare, care trebuie să conțină surse de tensiune corespunzătoare datelor de catalog ale DAS 12009.

Interfața este alcătuită din mai multe blocuri funcționale. Ele au rolul realizării comunicației între calculator și BAD.

Realizarea blocului BAD.

Blocul de achiziție a datelor și de conversie analog-digitală este prevăzut cu 8 intrări diferențiale de tensiune în domeniul $\pm 10V$. De la aceste intrări se pot preleva valori momentane ale mărimilor care se măsoară, în formă numerică, cu o eroare de 0,05%. Eroarea se referă numai la blocul de conversie analog-digitală, eroarea instalației fiind determinată în principal de erorile introduse de blocul traductoarelor, la care se adaugă erorile introduse de sistemul de calcul.

Echipamentul înregistrează valorile momentane ale parametrilor de sudare (ex.: tensiune, curent de sudare, curent de magnetizare etc.) precum și de la alți traductori specifici, putându-se determina următoarele mărimi [83]:

-valoarea efectivă pentru parametrii de sudare (valori momentane);

-valoarea medie a parametrilor mășurați;

-valoarea maximă;

-puterea activă;

-frecvența;

-formele de undă pentru parametrii de sudare mășurați, respectiv se poate face o analiza armonică a formei de undă.

Placa de achiziție are următoarele caracteristici:

-8 canale de intrare analogice diferențiale sau 16 canale de intrare cu masă comună;

-rezoluție de achiziție -12 biți;

-placă compatibilă cu fundul de sertar IBM-AT standard ISA;

-partea de măsurare este alimentată de la o sursă de tensiune separată de + 5V și $\pm 15V$.

Bornele intrărilor analogice sunt mufe BNC montate pe un sertar special,compatibil, ca dimensiuni fizice, cu un modul periferic (de exemplu FDD 5,25").

2.4.1. Programe de prelucrare.

Programele aferente funcționării sistemului de comandă se împart în două grupe (figura 48) [72,73]:

- programul de achiziție și de comandă a fazei de refulare;
- program de prelucrări off-line.

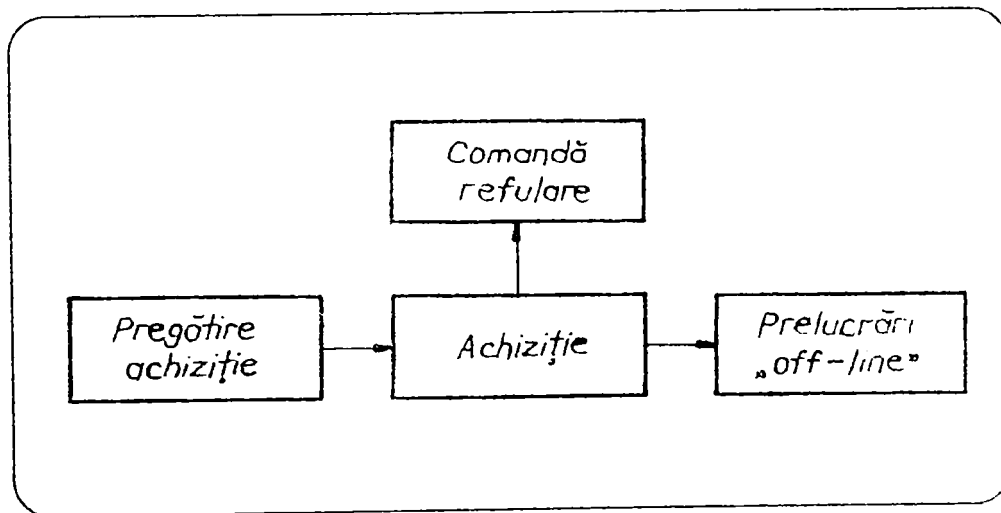


figura 48

Programul de achiziție și de comandă a fazei de refulare se compune din două părți distincte și anume:

- pregătirea achiziției;
- achiziția propriu-zisă + comanda fazei de refulare.

Schemele de principiu ale conexiunilor elementelor ce compun sistemul de comandă sunt prezentate în figurile 49 și 50.

După definirea structurilor de date pentru depunerea rezultatelor (tablouri) se trece la definirea unor mărimi de bază și la acordarea de valori acestora. Mărimile de bază sunt (figura 51):

- abaterea inferioară A_i ;
- abaterea superioară A_s ;
- limita critică L_c .

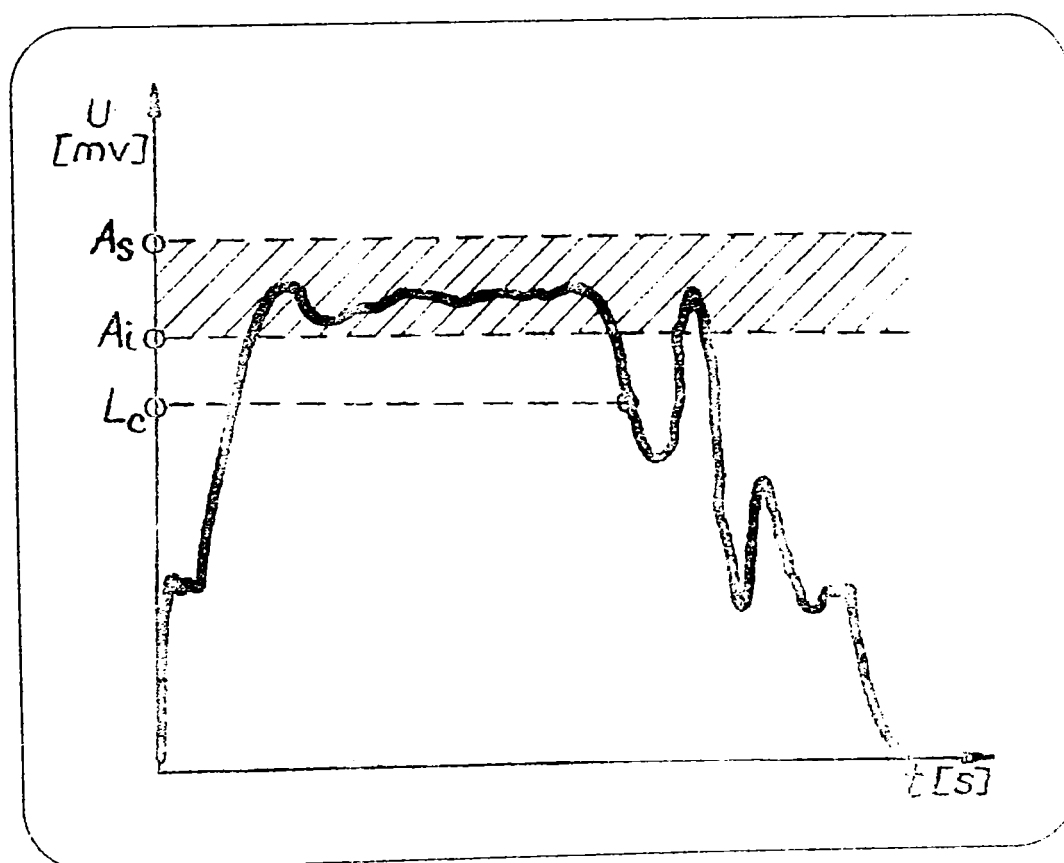


figura 51

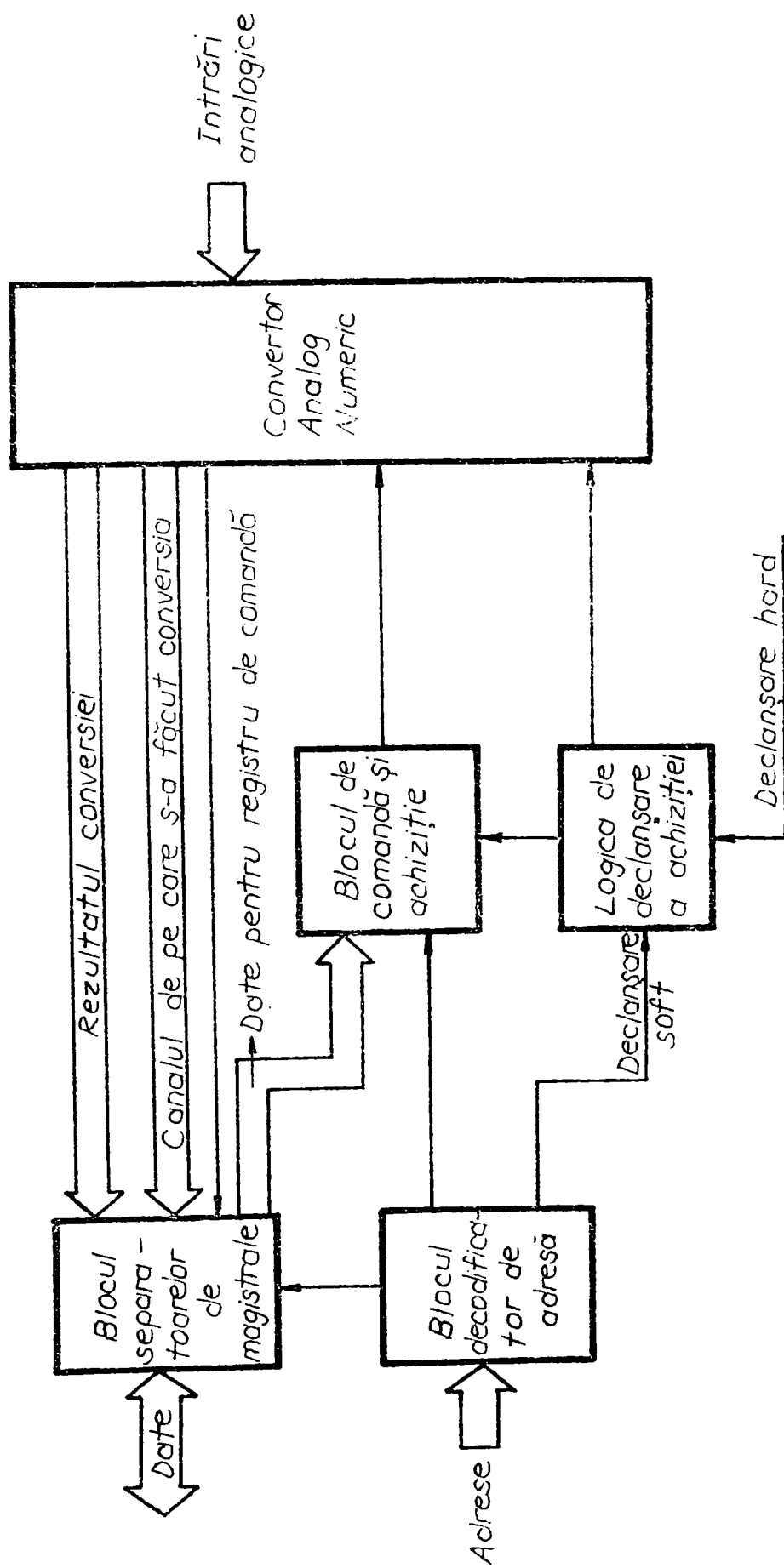


Fig. 49

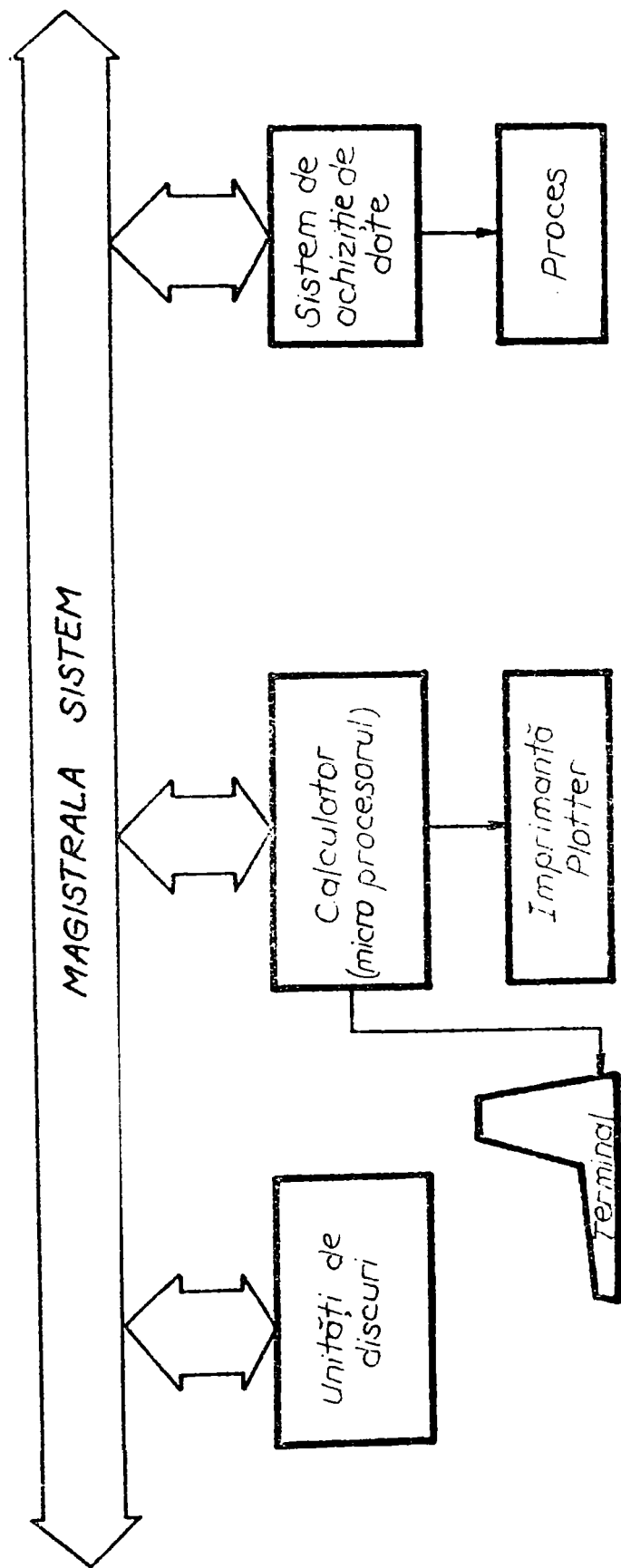


Figure 50

Abateră inferioră și superioră definește un domeniu ,domeniu în care viteza de rotație a arcului are nivelul de palier corespunzător fazei de ardere stabilă a arcului.

Acest domeniu se poate defini cantitativ prin stabilirea pe cale experimentală de valori pentru cele două abateri ,sau calitativ ,metodă prin care se stabilește un procent de abatere față de nivelul de palier ,indiferent de valoarea acestuia.

Limita critică, care se stabilește tot experimental ,corespunde încheierii fazei de ardere stabilă a arcului și trecerii în faza de ardere instabilă.Atingerea limitei critice reprezintă momentul declanșării fazei de refulare.

De asemenea în această fază a programului se alege perioada de eșantionare și numărul mărimilor de măsurat.

În faza de pregătire a achiziției se definește o variabilă denumită "Semafor" ce are semnificațiile:

- "Semafor"=0 mărimea măsurată este în creștere;

- "Semafor"=1 mărimea măsurată s-a stabilizat.

Schema de principiu a programului efectiv de achiziție și de comandă a fazei de refulare este prezentat în figura 52,53.

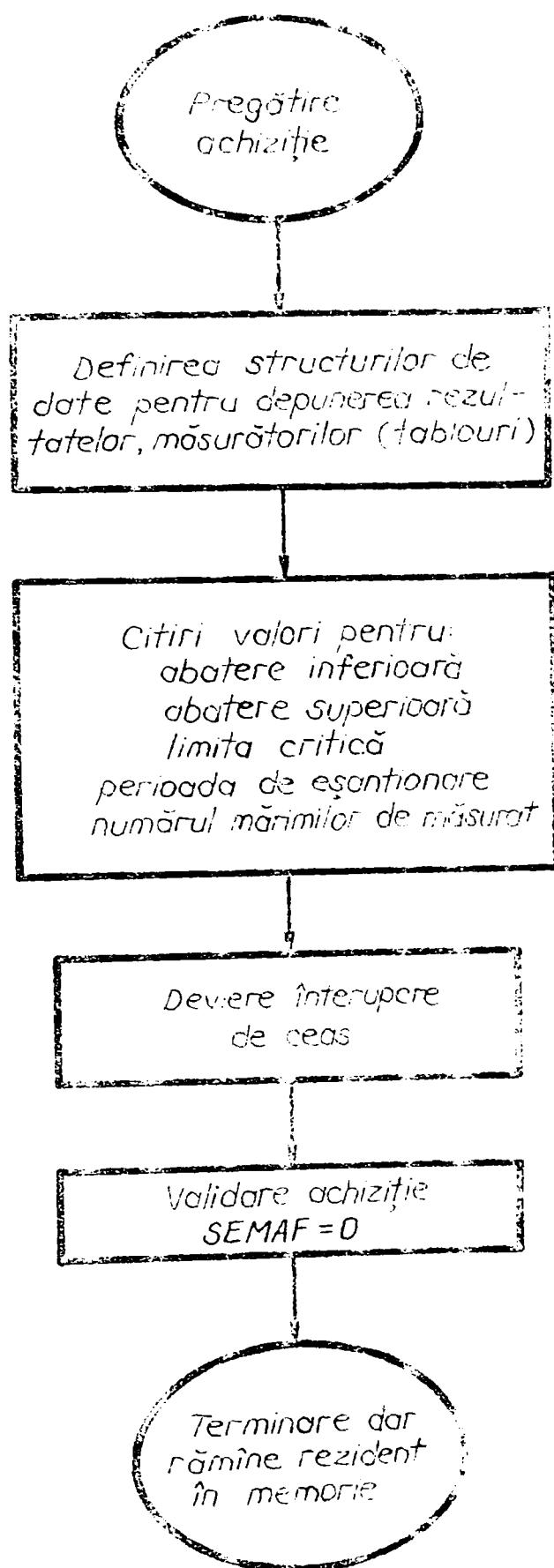


Fig. 52

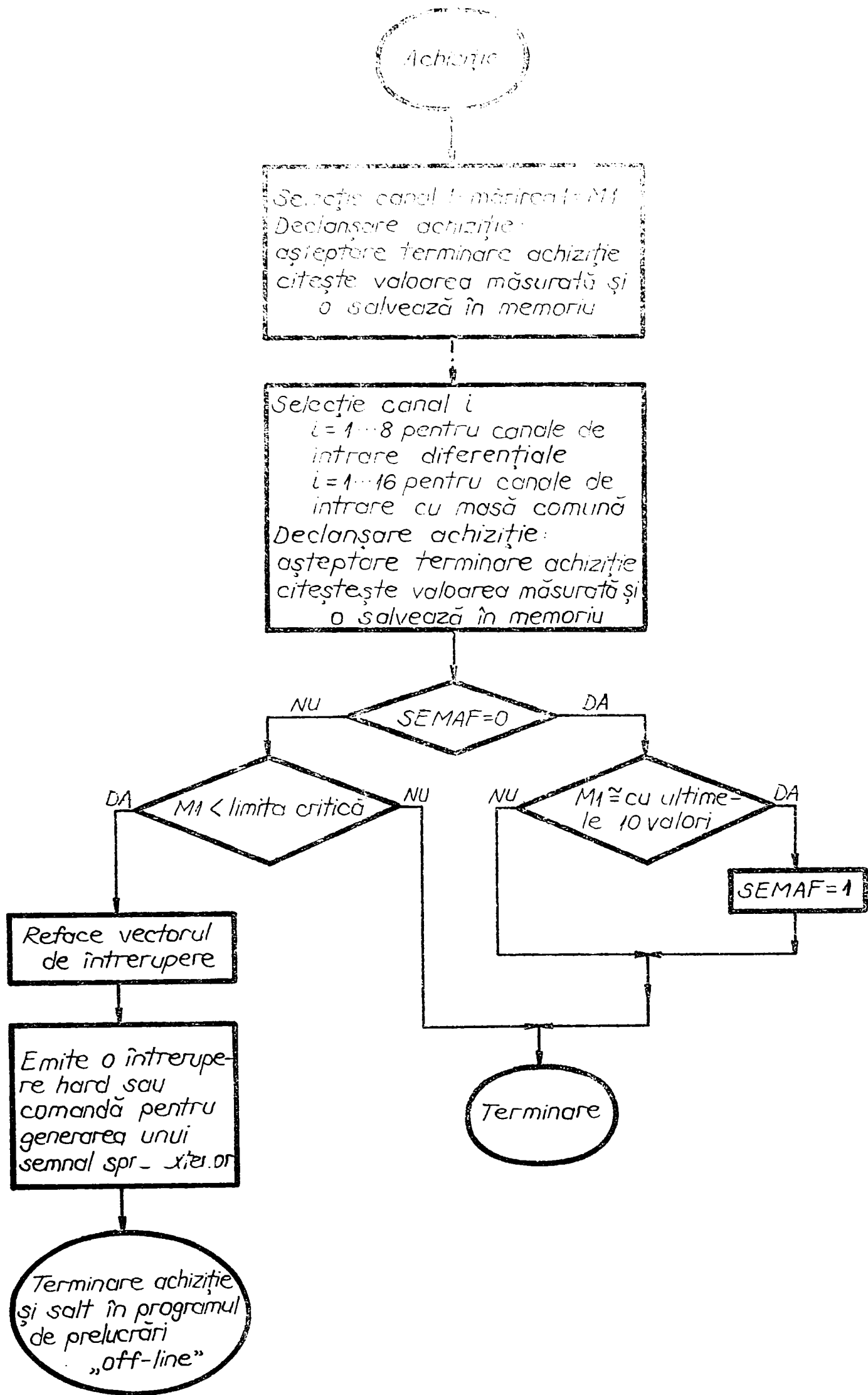


Fig. 53

După selecția canalului se declanșează achiziția. Variabila "Semafor" are valoarea inițială 0, arcul fiind în faza de accelerare.

Urmează compararea mărimii măsurate cu ultimele 10 valori, comparare prin care se testează faza în care se află procesul de rotație. Dacă mărimea măsurată este mai mare (procesul se află încă în faza de accelerare) se continuă compararea. Dacă mărimea măsurată este aproximativ egală se acordă variabilei "Semafor" valoarea 1.

În acest caz mărimea măsurată se va compara, într-un subprogram, cu cele două mărimi A_1 și A_2 . Acest subprogram, ce va avea o bază de timp, are rolul de a urmări nivelul de palier (faza de ardere stabilă) și de a evita o comandă aleatoare în cazul unor valori eronate, ce depășesc domeniul definit de A_1 și A_2 .

După terminarea perioadei de palier impuse, mărimea măsurată se va compara cu L_c (limita critică). Dacă mărimea măsurată are o valoare mai mică decât L_c se va emite o întrerupere hard sau o comandă la un port pentru generarea unui semnal spre exterior, comanându-se astfel faza de refulare.

Prin terminarea achiziției se realizează automat un salt în programul de prelucrări off-line.

2.4.2.Prelucrări off-line.

Aceste operații se efectuează după terminarea procesului de sudare ,fiind lansate de programul de bază.Se vor putea determina următoarele mărimi:

- valoarea efectivă pentru parametrii de sudare (valori momentane);
- valoarea medie a parametrilor mășurați;
- valoarea maximă;
- forme de undă pentru parametrii mășurați ,respectiv se va putea face o analiză armonică a formei de undă.

De asemenea valorile medii ale parametrilor mășurați se vor putea compara cu valorile prescrise ale parametrilor de sudare.

2.4.3.Experimentări.

Folosind principiul sistemului de comandă propus în figurile 54 și 55 se prezintă două piese sudate (Φ 34 x 3 mm, OLT 35) ce au fost realizate printr-o simulare a comenzii fazei de refulare ,după cum urmează [71,76]:

-la prima probă refularea s-a comandat după trecerea în faza de ardere instabilă și de încetinire a vitezei arcului rotitor.Sub aspect calitativ îmbinarea sudată este necorespunzătoare prezentând o porțiune poroasă caracteristică expulzării de metal topit.

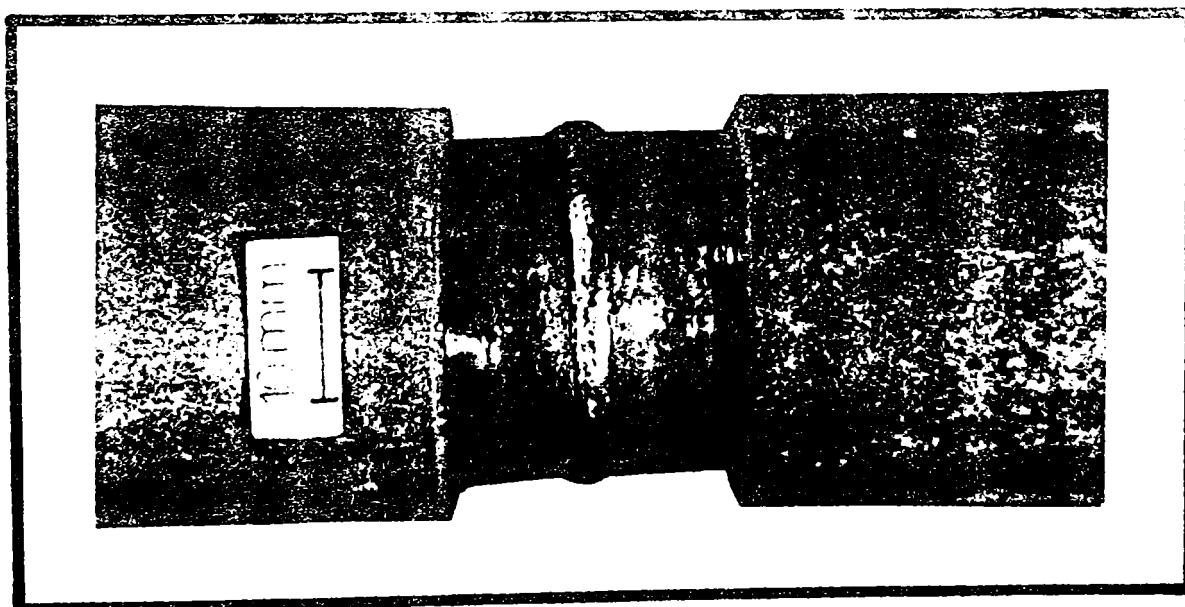
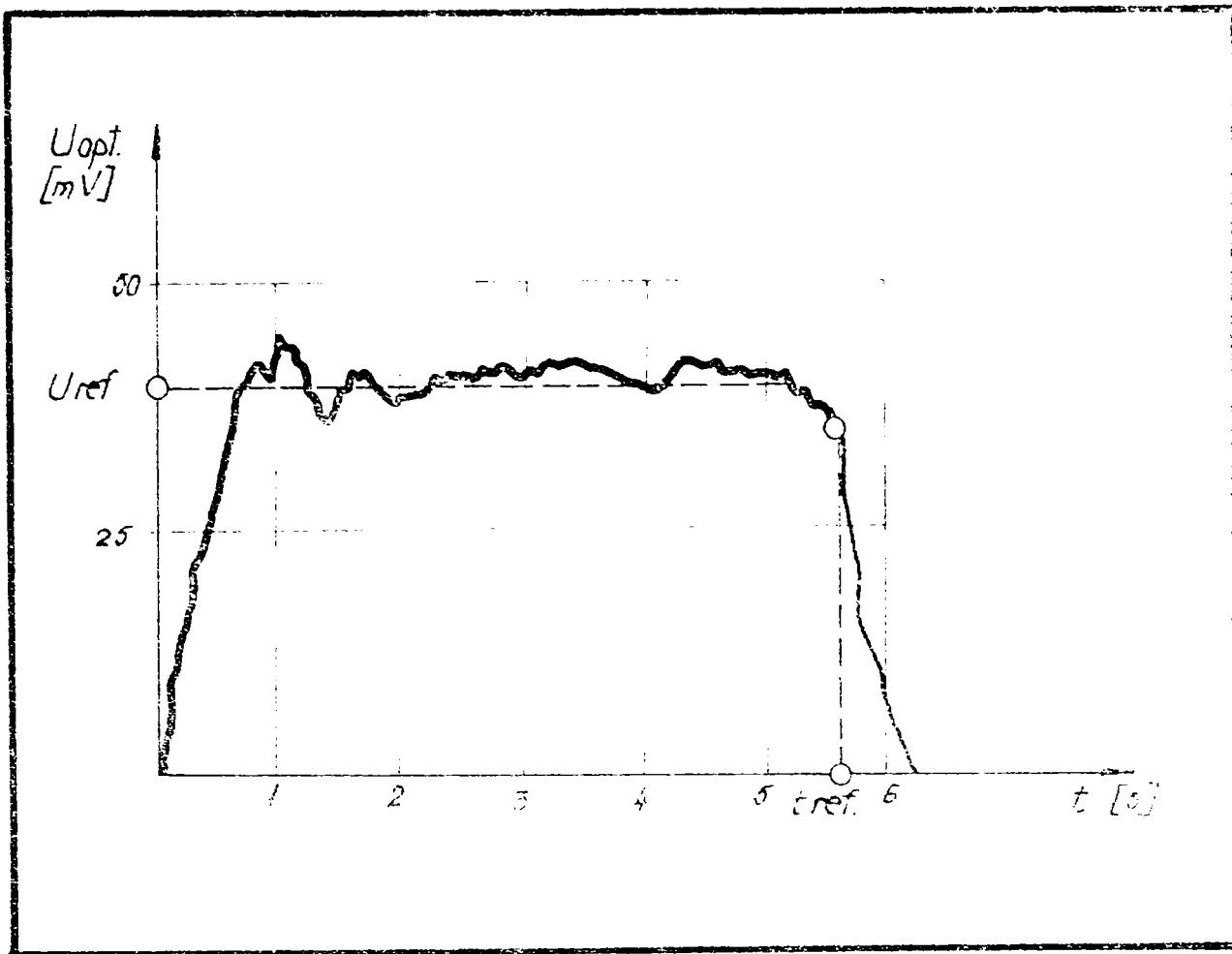


Fig. 54

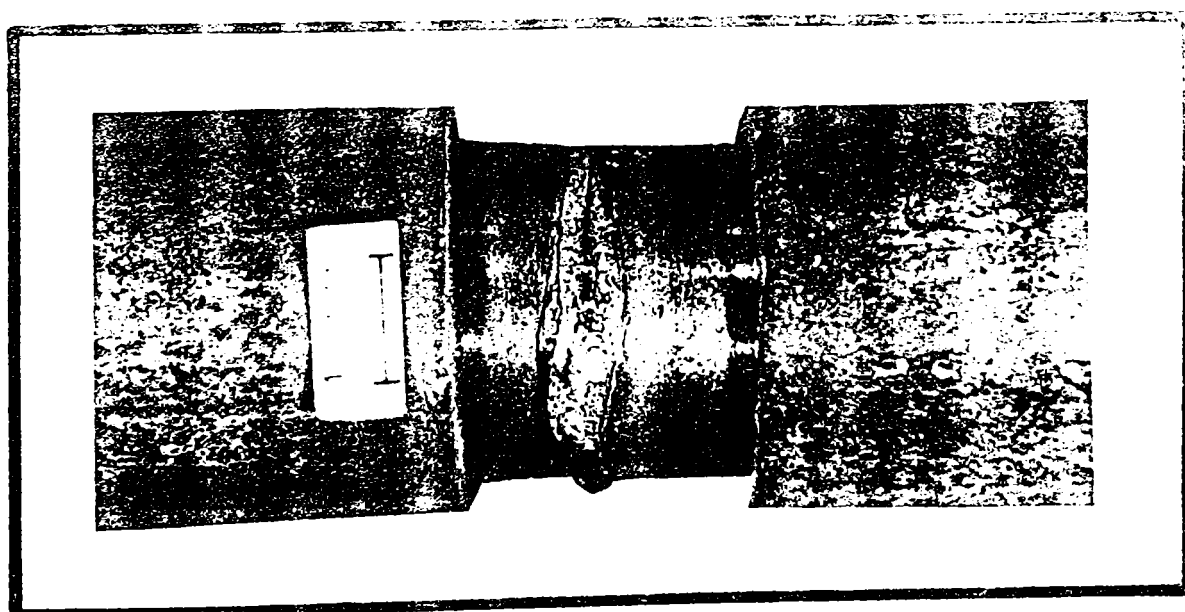
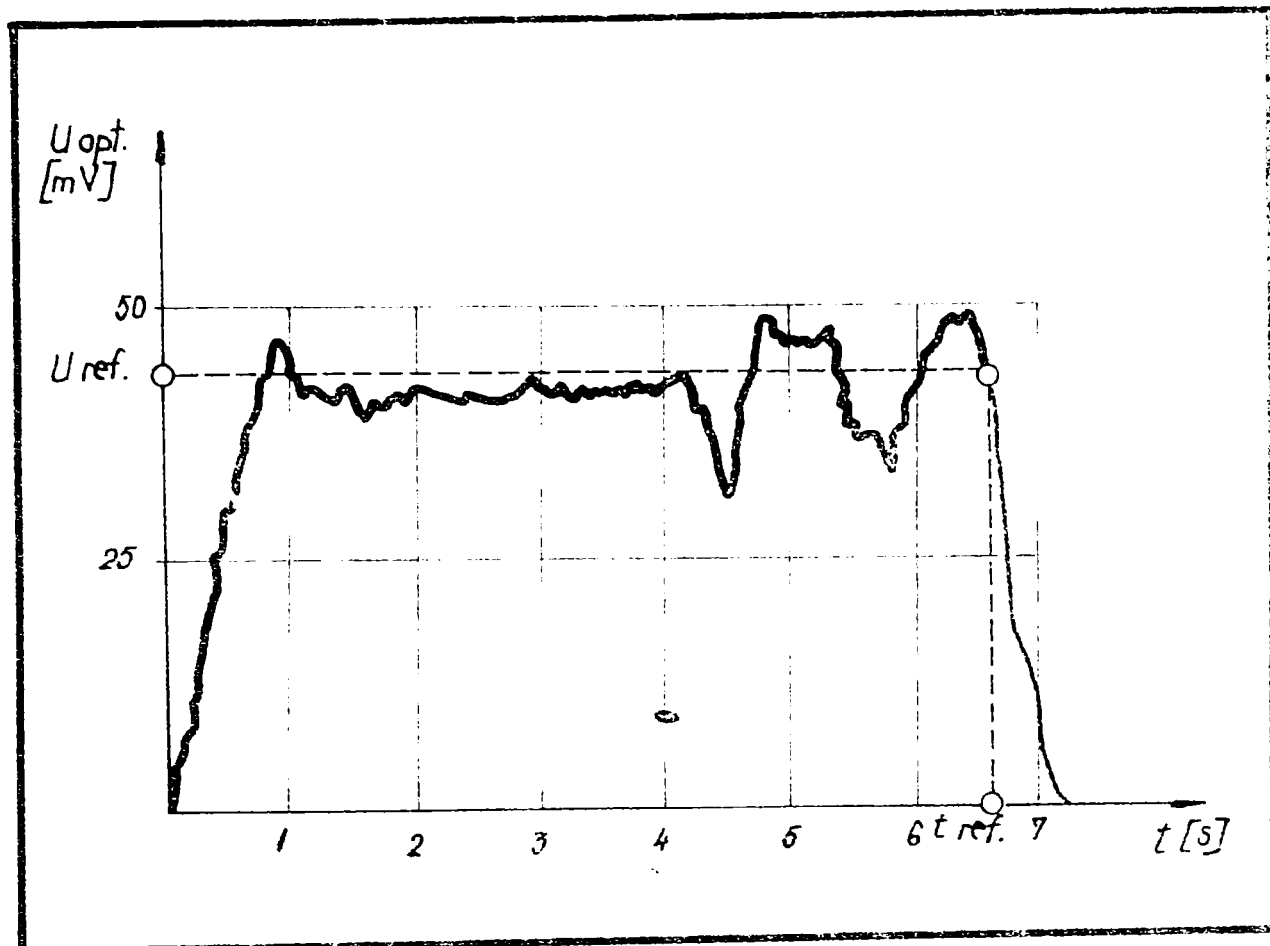


Fig. 55

-în cel de-al doilea caz refularea s-a comandat la sesizarea unei scăderi a vitezei de rotație, după parcurgerea nivelului de palier. Calitativ îmbinarea sudată este corespunzătoare.

Probele s-au efectuat pe mașina de sudare cu arc rotitor tip ROTARC 6.

2.4.4. Concluzii.

Concepția , funcționarea și realizarea sistemului de comandă se bazează pe experimentări realizate cu ajutorul unui stand având o structură similară cu cea propusă spre realizare. Experimentările au avut drept scop verificarea sistemelor de măsurare precum și studierea posibilității de realizare a unui sistem de comandă folosind emisia optică și acustică.

CAPITOLUL 3

CONTRIBUTII LA DEZVOLTAREA APLICATIILOR SUDĂRII CU ARC ROTITOR

3.1.SUDAREA BARELOR.

După cum s-a arătat,procedul de sudare cu arc rotitor se aplică cu precădere la sudarea cap la cap a țevilor.În cele ce urmează se prezintă o extindere a utilizării procedului la sudarea cap la cap a barelor.

3.1.1.Încălzirea cu arc rotitor a pieselor cu secțiune plină.

Asupra unui arc electric amorsat între două bare din material feromagnetic,având raza r ,va acționa o forță electromagnetică,datorită câmpului magnetic propriu,dată de expresia [84]:

$$F = \frac{\mu \mu_0}{2 \pi} I_s^2 \frac{a}{r^2 - a^2}$$

unde: a-distanța de la punctul de ardere a arcului la axa barei;
 μ -permeabilitatea relativă a aerului;
 μ_0 -permeabilitatea magnetică a mediului.

Dacă arcul electric se găsește în axa barei, forța electromagnetică rezultată are valoare nulă. Ca urmare, după amorsare, arcul va tinde să se stabilizeze în axă, după cum se poate observa și în figura 56 a.

În continuare, după atingerea temperaturii Curie în axă, arcul se va deplasa radial sub acțiunea câmpului magnetic propriu, stabilizându-se pe un diametru preferat, încălzirea secțiunii barelor fiind neuniformă.

În figura 56 b se prezintă efectul rotației arcului electric după 8 secunde de ardere. Se observă că arcul nu a topit întreaga secțiune, marginile barelor rămânând netopite. Probele din figura 56, ce au confirmat modul de deplasare al arcului pe suprafețele frontale ale barelor, s-au realizat folosind curenți mici de încălzire.

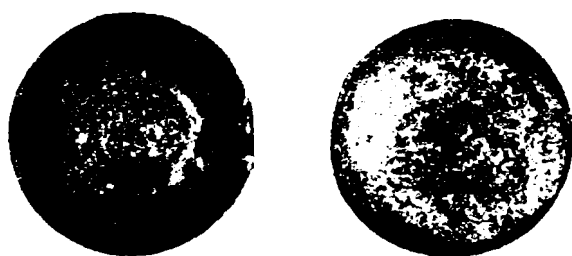


figura 56

Încălzirea unei bare pătrate este prezentată în figura 57, observându-se și la aceste profile o porțiune neîncălzită, similară cu cea a barelor rotunde. Pentru ambele situații, aceste zone se vor regăsi în îmbinarea sudată la nivelul bavurii, rezultatul încălzirii neuniforme fiind peliculele de oxizi din această zonă.

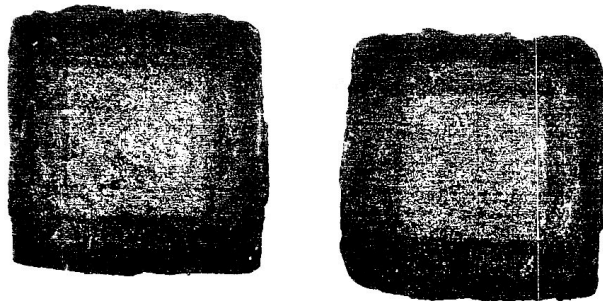


figura 57

Definindu-se următoarele mărimi :

A - aria secțiunii barelor;

A_s - aria secțiunii topite;

D - diametrul barelor;

D_s - diametrul secțiunii topite;

în figura 58 se prezintă corelația dintre $A/A_s, D/D_s$ și timpul de încălzire cu arc rotitor [84,85].

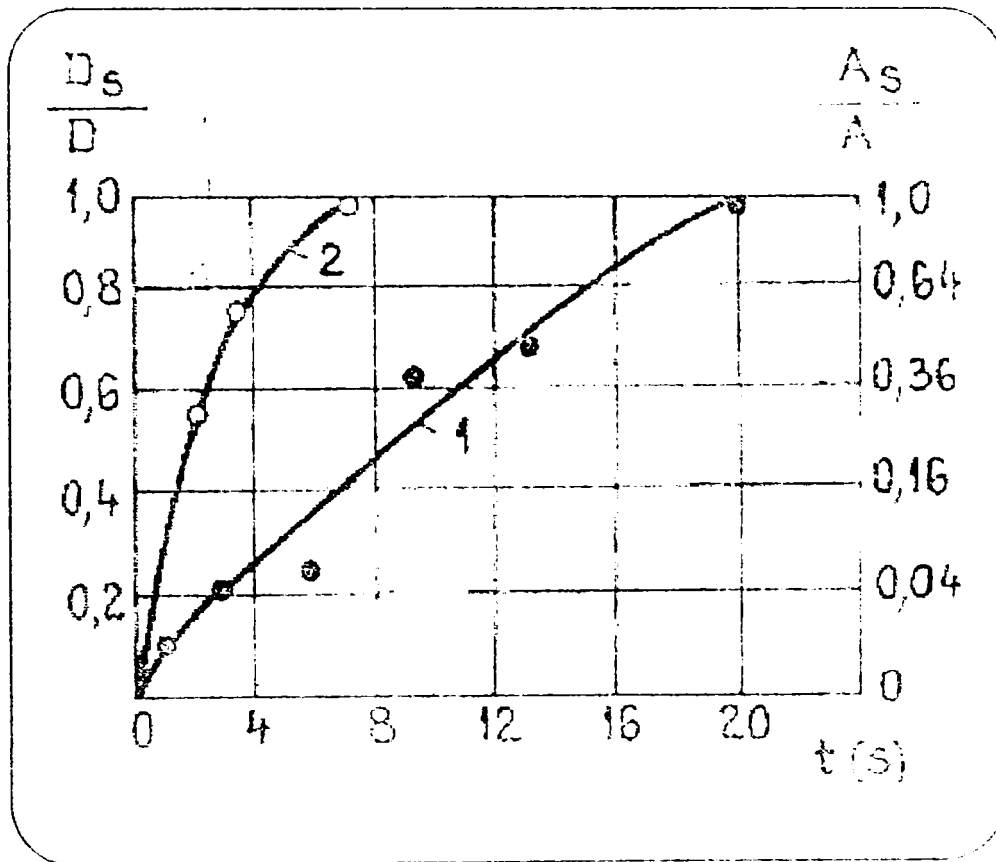


figura 58

Variațiile câmpului magnetic în întrefierul dintre bare și în lungul barelor sunt prezentate în figurile 59 și 60. Se observă că inducția radială este nulă în axa barelor.

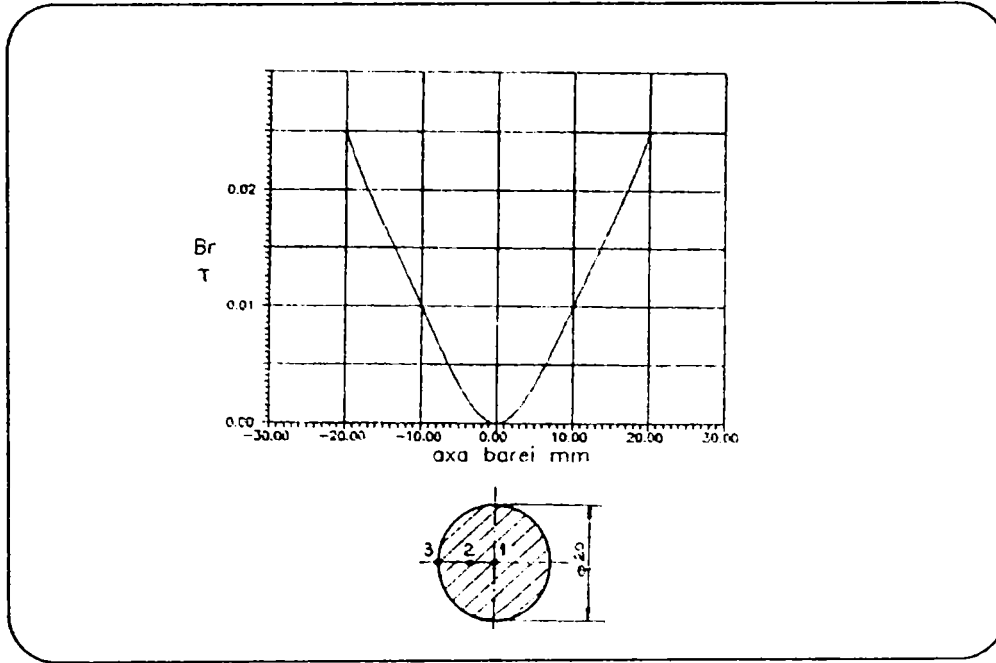


figura 59

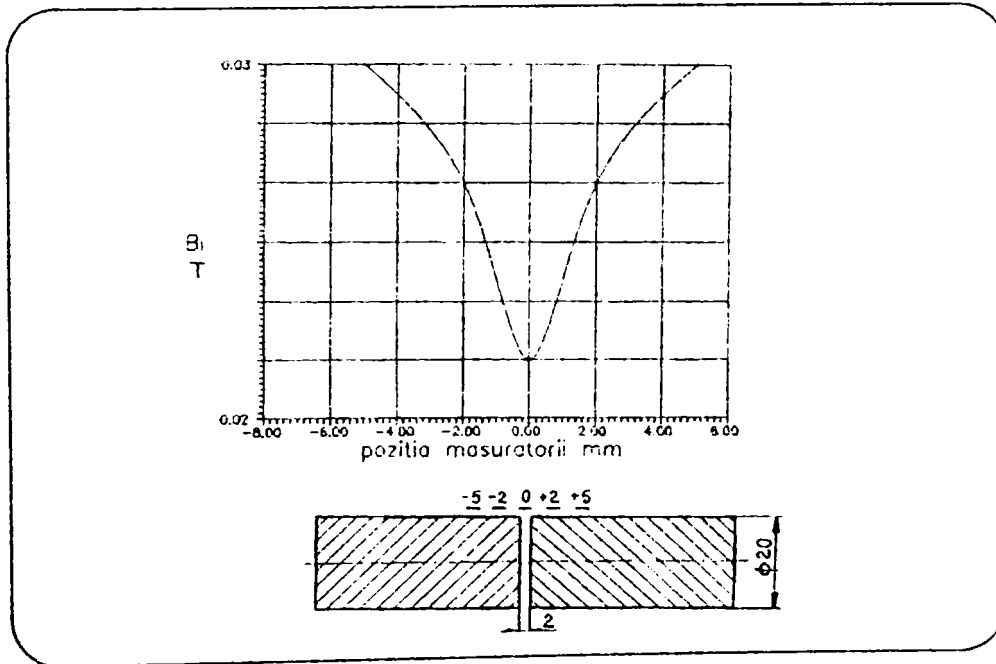


figura 60

În cazul folosirii unor curenți de sudare mari,imediat după amorsare,arcul electric intens acționează asupra unui volum restrâns din materialul de bază,conducând la topirea acestuia pe o anumită adâncime cât și la supraîncălzirea zonei influențate termic,figura 61 .

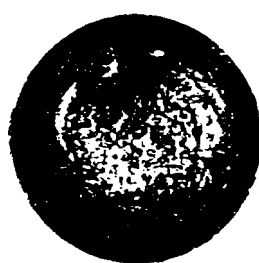


figura 61

Un întrefier mare (de exemplu $d=2$ mm la $I_s=100A$,față de $d=1mm$),la același curent de sudare conduce la stingerea arcului după amorsare și crearea unei punți de metal între cele două piese,figura 62.Fenomenul apare la orice valoare a curentului de sudare,în cazul unui întrefier mai mare decât cel corespunzător.

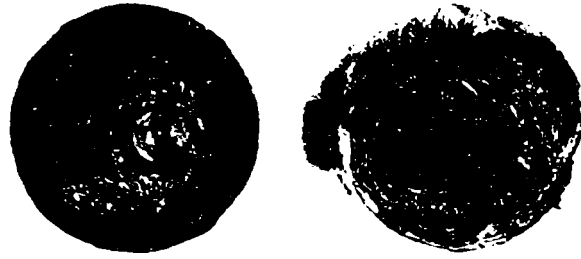


figura 62

Odată cu depășirea punctului Curie, se modifică extinderea ca arie a zonei încălzite, volumul de metal topit crescând. Datorită saltului de viteză a arcului, metalul topit este antrenat de acesta într-o mișcare de rotație, cu o tendință pronunțată spre expulzare din zona întrefierului. În figura 63 se observă că baia de metal topit are aspectul unui vârtej, cu un crater în axa pieselor.

Ca urmare, întregul proces de încălzire la curenți mari este caracterizat de o ardere instabilă, însoțită de expulzări de metal topit.

Datorită mișcării de rotație a băii de metal topit, cu tendința de deplasare spre circumferință, întrefierul dintre bare scade, până la stingerea prin scurtcircuitare a arcului. Deci se obțin timpi scurți de încălzire, ce conduc la un nivel redus al încălzirii materialului de bază, încălzire caracterizată prin stratul supraîncălzit de metal topit.



figura 63

Această supraîncălzire conduce la creșterea grăunților și la formarea structurii Widmanstätten, care fragilizează structura în ansamblu. Probele rezultate s-au sudat în zona centrală a secțiunii, iar la încercarea de îndoire s-au rupt fragil. Aspectul ruperii (cu grăunți mari) este cuprins în figura 6-4.



figura 64

3.1.2.Sudarea barelor ϕ 10 mm.

S-a folosit ca material de bază (MB) un oțel OL 37 cu diametrul de 10mm.Structura materialului este ferită și perlită,având proporția constituenților (P/F) \approx 20/80 (STAS 7626-79) și mărimea grăuntelui real 7-8 (STAS 5490-80).Aspectul structurii este prezentat în figura 65.

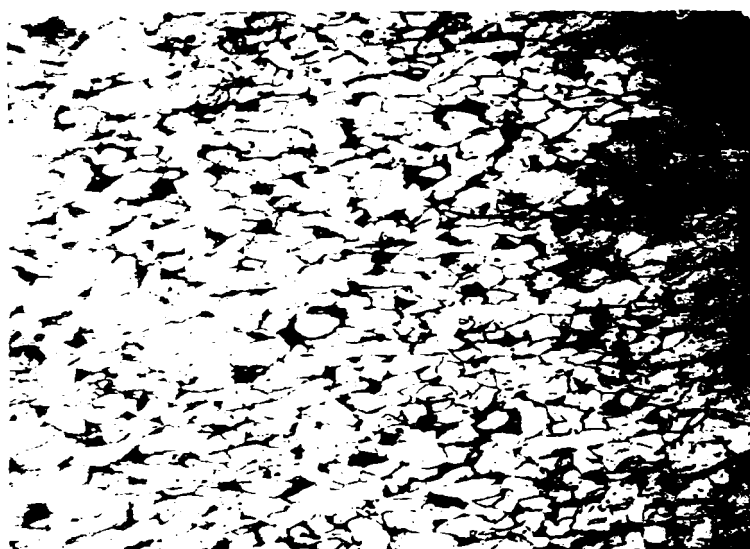


figura 65 (atac nital 2%,100X)

La încercările de duritate Vickers (HV5) pe materialul de bază s-au determinat valori cuprinse între 201 și 227 HV5, ceea ce indică o durificare a materialului prin ecrusare la tragere, în mod obișnuit oțelul OL 37 având valori ale durității mai scăzute.

Din analiza unui număr mare de probe s-a ajuns la concluzia că la sudarea barelor $\phi 10$ se recomandă utilizarea unor regimuri de sudare moi ($I_s=100A$), caracterizate prin timpi lungi de sudare($t=10sec.$).

Folosind curenți de sudare mici s-au obținut timpi mari de rotire a arcului (de până la 60 secunde),dar în aceste cazuri reacțiile chimice cu atmosfera au un efect negativ asupra calității îmbinării sudate. Pentru faza de refulare s-au utilizat presiuni specifice identice cu cele folosite la sudarea țevelor și anume $P_s = 60 N/mm^2$.Cu aceste regimuri se obțin îmbinări a căror aspect este prezentat în figura 66 [86].



figura 66

Înălțimea bavurii,ca și scurtarea la refulare,sunt dependente de curentul de sudare și de timpul de încălzire.

La $I_s=100A$ și $t_{s0}=10$ secunde înălțimea bavurii este de $h=2mm$,scurtarea la refulare fiind de $S_{ref}=6,5$ mm.La același curent de sudare h și S_{ref} sunt direct proporționale cu timpul de încălzire.

Pentru o îmbinare cu caracteristici corespunzătoare ,la barele $\phi 10$ mm din OL37,se considera $h_{min}=1,5mm$ și $S_{refmin}=5mm$.

După prelevarea unei probe metalografice din îmbinarea sudată,pregătire și atac chimic, în urma examinărilor,s-au constatat următoarele:

-analiza macroscopică nu a evidențiat defecte de sudare în secțiunea efectivă (figura 67).Bavura îmbinării este simetrică și uniformă pe toată circumferința.

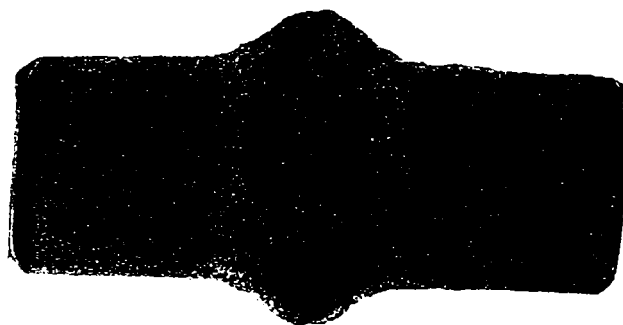


figura 67 (atac nital 10%)

-la analiza microscopică s-au decelat următoarele structuri:

- ZC (zona centrală): ferită, perlită ferită aciculară fină, proporție constituenți (P/F) 60/40 și mărime grăunte real 9-10. Valoarea durității în această zonă este de aproximativ 188 HV5. Nu se observă defecte de sudare. Aspectul structural al ZC este prezentat în figura 68.

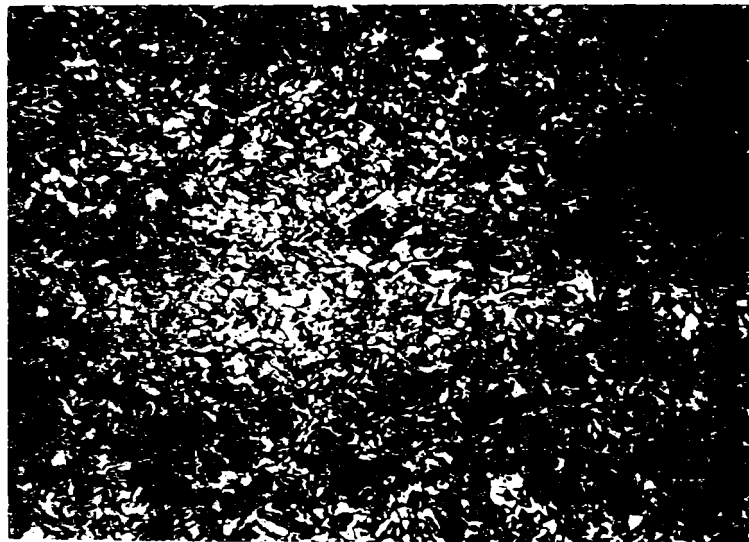


figura 68 (atac nital 2%, 100X)

În ZC, dar la nivelul bavurilor (în afara secțiunii efective) s-au observat pelicule de oxizi (incluziuni) pe linia de sudare.

- în zona influențată termic (ZIT), structura este formată din ferită și perlită de granulație fină (9-10) în zona de normalizare și (8-9) în zona de transformări incomplete. La încercarea de duritate din ZIT s-au obținut valori cuprinse între 143 și 153 HV5, ceea ce indică o înmuiere a acestei zone față de MB, datorată eliminării efectului de ecruisare prin normalizare. Aceasta înmuiere se reflectă și la încercarea de tracțiune, unde ruperea s-a produs în ZC la valori mari ale R_m , mai mari decât cele ale MB, printr-o curgere a materialului în ZIT (figura 69).



figura 69

3.1.3. Concluzii.

Sudarea cu arc rötitor , se poate aplica eficient și la sudarea cap la cap a barelor cu diametre de 10 mm.

Folosind regimuri de sudare moi, se obțin îmbinări sudate în care modificările structurale din timpul sudării, în ansamblul lor sunt corespunzătoare, caracteristicile mecanice fiind la nivelul materialului de bază.

3.2.SUDAREA PROFILELOR.

O extindere a aplicării procedurii de sudare cu arc rotitor,o constituie sudarea țevilor având profile diferite de cel circular .

3.2.1.Câmpul magnetic la sudarea profilelor.

Experimentările efectuate au urmărit studiul comportării arcului rotitor la deplasarea acestuia în întrefierul dintre două țevi având profile diferite de cea circulară, pentru probe utilizându-se țevi pătrate , dreptunghiulare si eliptice.

Câmpul magnetic necesar rotirii arcului s-a creat folosind unul din următoarele sisteme de magnetizare și anume:

- o bobină exterioară ,formată din 12 bobine elementare dispuse în stea. Sistemul asigură magnetizarea transversală a țevilor,conducând la reducerea neuniformității câmpului magnetic pe grosimea materialului cu cca. 30% față de magnetizarea longitudinală.În același timp,prin poziția bobinei față de arc electric,componenta axială a câmpului este practic nulă.Alimentarea bobinei de excitație s-a realizat de la o sursă variabilă de curent continuu.Curentul maxim de excitație ce s-a aplicat a fost de $I_m = 12 \text{ A}$.

-doi magneti permanenți așezați în opoziție. Magnetii au avut dimensiunile de 134/57/14 mm .Distanța dintre magneti a fost de 45 mm.

Distribuțiile câmpului magnetic radial în întrefier ,pentru profile pătrate, dreptunghiulare și eliptice ,sunt prezentate în figurile 70 ,71 și 72. Utilizând un curent de magnetizare de $I_m=8A$, cu ajutorul pulberii de fier,s-au vizualizat devierile liniilor de câmp pentru profilele studiate.

Pentru cazul profilelor ce prezintă muchii drepte și colțuri se poate observa că valoarea inducției magnetice radiale pe conturul țevilor nu este constantă, prezentând un maxim în zona colțurilor .Diferența inducției radiale dintre zonele cu muchii drepte față de zonele colțurilor este semnificativă și anume de până la 0,02 T.Observația este valabilă pentru ambele sisteme de magnetizare utilizate.Pentru cazul țevilor eliptice neuniformitatea e mai redusă , diferențele de inducție magnetică între zonele corespunzătoare razei mici ,respectiv razei mari , fiind de 0,01 T.

Cu ajutorul standului de încercări tip SAR,s-a studiat încălzirea cu arc rotitor a țevilor cu profilele mai sus menționate.După cum se poate constata în figura 73 , pentru țevile cu profil dreptunghiular , încălzirea pe contur a pereților țevilor este neuniformă. În zona colțurilor ,datorită unui câmp magnetic radial de intensitate mare,arcul se deplasează pe interiorul țevii,cu o viteză ridicată.Ca urmare colțurile vor fi insuficient topite și încălzite.Neuniformitatea încălzirii se poate observa și în figura 74.

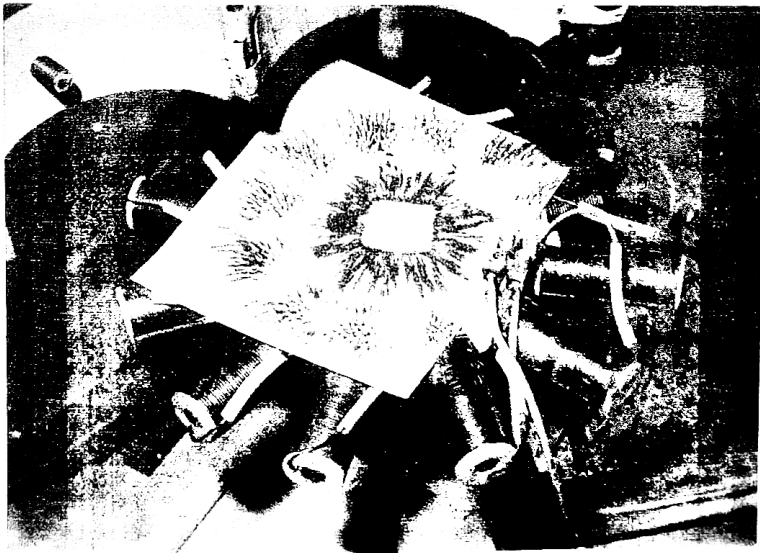
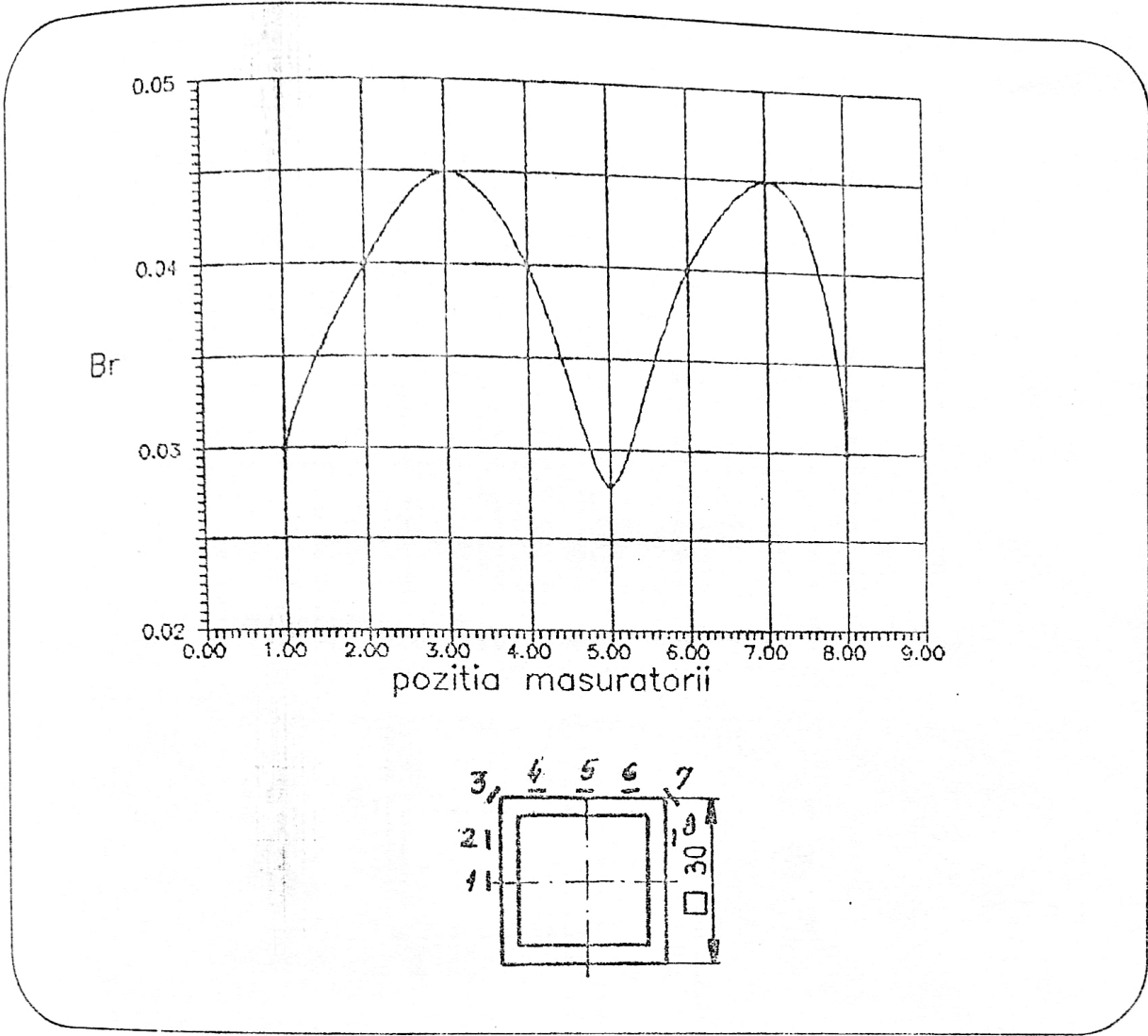


figura 70

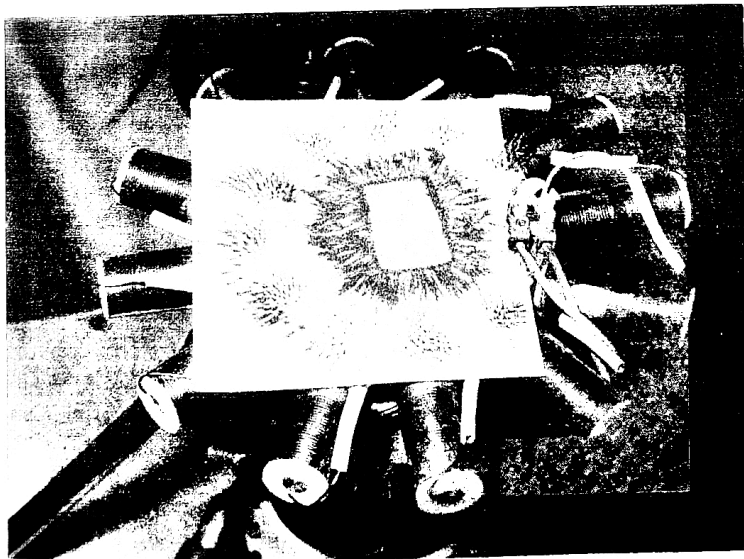
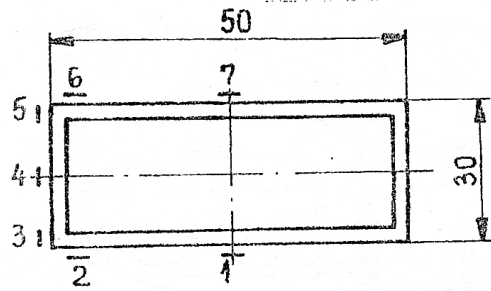
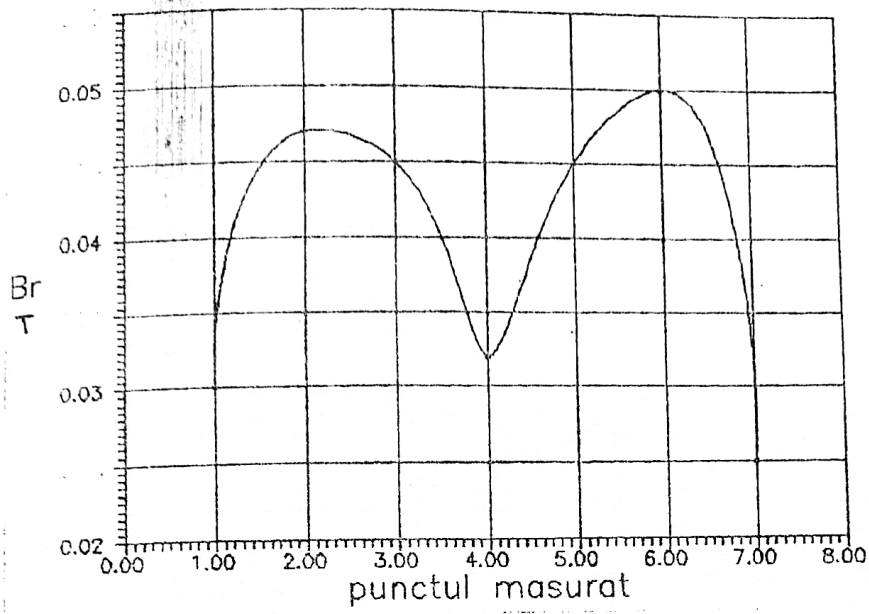


figura 71

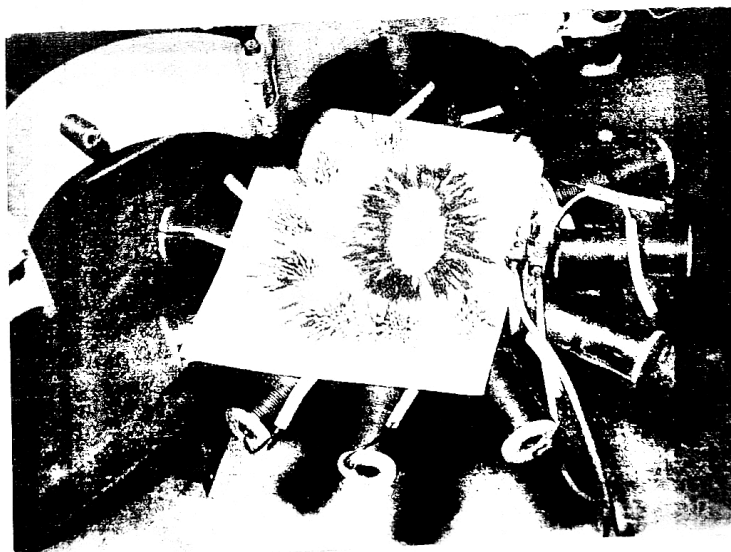
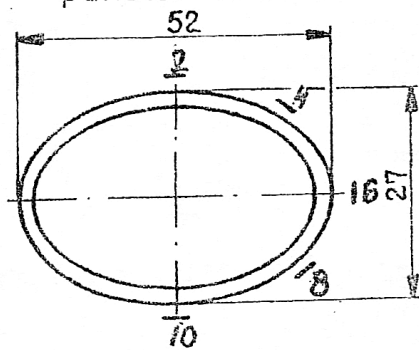
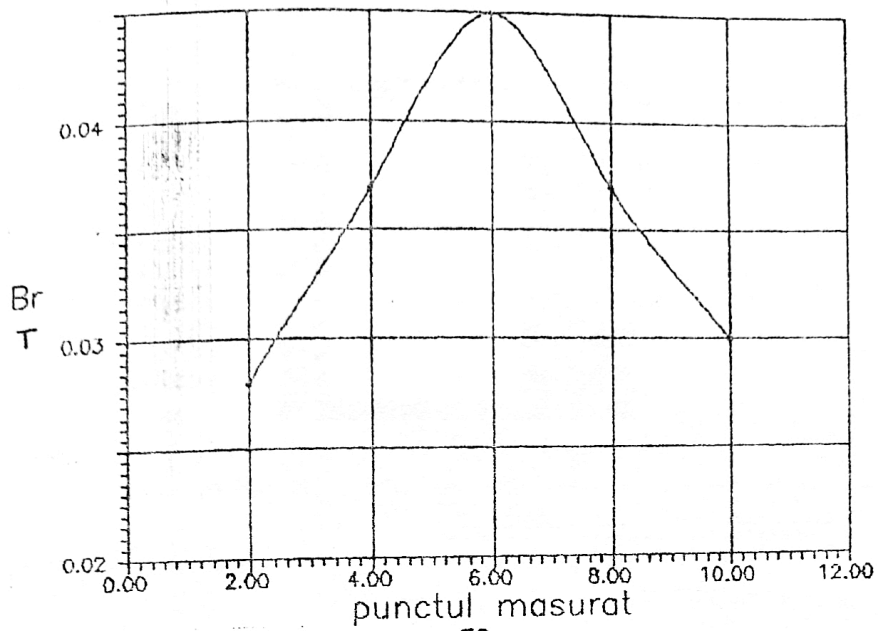


figura 72

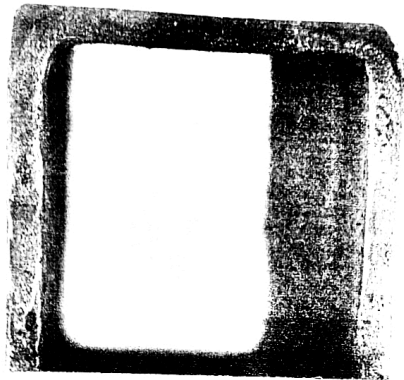


figura 73

suprafața frontală încălzită cu arc rotitor

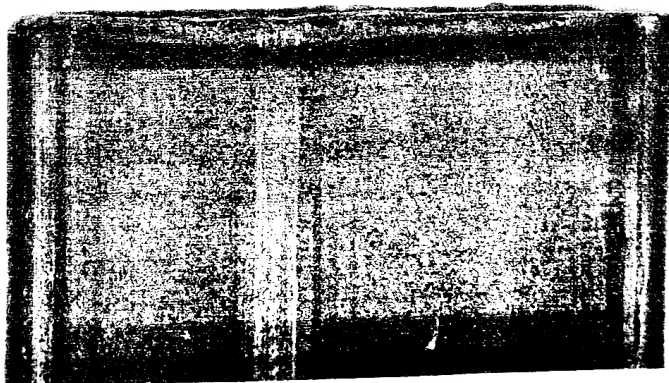


figura 74

Concluzia ce se poate trage este că la parametrii de sudare constanți pe timpul desfășurării procesului de sudare, folosind o magnetizare radială circulară și constantă, datorită neuniformității câmpului radial, arcul va avea două faze de deplasare:

-deplasare cu viteză mare în zona colțurilor, cu o încălzire insuficientă;

-deplasare cu viteză mică în zona laturilor, cu o încălzire puternică.

Încăzirea neuniformă a colțurilor conduce la o deformare insuficientă a acestora în timpul operației de refulare. Scurtarea la refulare va fi determinată de gradul de deformare al colțurilor, scurtare însă insuficientă pentru zona laturilor. În timpul refulării, piesele se vor "sprijini" pe colțuri, presiunea specifică la refulare nefiind constantă și anume mai mică în zona laturilor.

Ca urmare în zona laturilor presiunea de refulare va fi insuficientă pentru expulzarea tuturor impurităților. După cum se poate observa și la proba din figura 75, ca urmare a topirii excesive și a refulării insuficiente, apar scurgeri de material în zona bavurilor. La analiza microscopică s-au decelat, în zona centrală ZC, defecte de tipul incluziunilor solide, figura 76.



figura 75 (atac nital 10%)

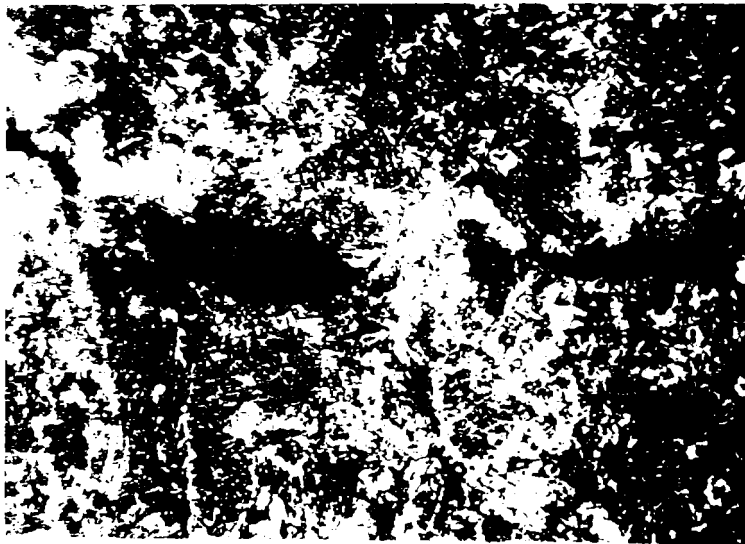


figura 76 (atac nital 2%, 100X)

Impuritățile rămase în îmbinare explică și valorile mai ridicate ale durezzații în zona centrală , duritate specifică bavurii unei îmbinări sudate corespunzător , tabelul 3.

tabelul 3

Nr.crt.	Zona cercetată	Duritatea Vickers HV5
1	MB1	153
2		160
3		151
4	ZIT1	133
5		137
6		142
7	ZT	270
8	ZIT2	147
9		135
10	MB2	158
11		146
12		140
13		142

Pentru țevile eliptice ,neuniformitatea încălzirii este mai redusă ,devenind evidentă cu creșterea raportului dintre diametrele D/d , figura 77.În cazul țevilor experimentate ,accelerarea și decelerarea arcului sunt sesizabile acustic numai la curenți mici de sudare (80A-120A).La creșterea curentului , viteza de deplasare a arcului crește ,rămânând practic constantă.



figura 77

3.2.2.Sudarea țevilor pătrate.

Pentru a obține o încălzire uniformă pe toată secțiunea profilelor este necesară o uniformizare a vitezei arcului rotitor prin scăderea câmpului magnetic radial în zona colțurilor, respectiv creșterea în zona laturilor.

O soluție propusă, obținută prin modificarea unei bobine stea, este prezentată în figura 78 .Pentru a obține o încălzire uniformă a țevilor, încălzire condiționată de o viteză constantă de rotație a arcului , pe zona laturilor profilelor, miezurile bobinelor de excitație s-au prelungit, obținându-se în aceste zone ,o creștere a valorii inducției radiale.În acest mod inducția radială variază cu maxim 0,01T.O altă soluție posibilă ar fi o alimentare separată a bobinelor elementare de excitație la valori diferite ale curentului de magnetizare.

figura 78

Folosind acest sistem de magnetizare , s-au obtinut imbinări ale tevilor pătrate $30 \times 30 \times 2$ mm. de tipul celor prezentate în figura 79 și 80. Se observă că bavura imbinării este uniformă și continuă, ceea ce explică o încălzire uniformă pe circumferință. Parametrii recomandați pentru un regim de sudare cu două trepte sunt: $I_{s1} = 200A$; $t_{s1} = 2,5sec$; $I_{s2} = 300A$; $t_{s2} = 0,5sec$; $I_{s3} = 8A$.



figura 79



figura 80 (atac nital 10%)

La analiza metalografică , executată conform STAS 10952/2-78 în zona ZC (zona centrală) s-a decelat o structură de ferită și perlită, proporția constituenților (STAS 7626-79) fiind 10/90, mărimea grăuntelui real (STAS 5490-80) 7-9. Nu se observă defecte de sudare. Aspectul structural al ZC este prezentat în figura 81.

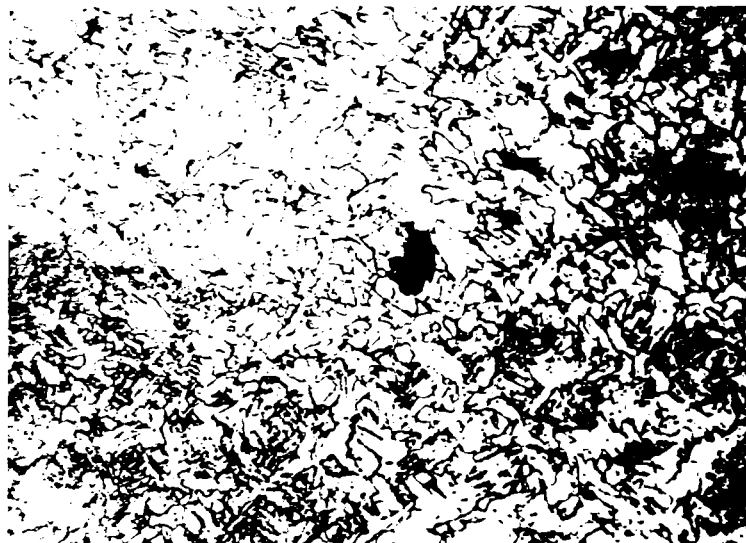


figura 81 (atac nital 2%, 100X)

Încercarea de duritate Vickers (HV5) s-a executat conform STAS 492/1-85; STAS 5540/5-85, rezultatele fiind prezentate în tabelul 4.

tabelul 4

Nr.ert.	Zona cercetată	Duritatea Vickers HV5
1		127
2	MB1	129
3		133
4	ZIT1	122
5		118
6	MT(ZT)	136
7	ZIT2	129
8		131
9		146
10	MBL	148
11		139

Folosind același sistem de magnetizare în figura 82 se prezintă, aspectul unei îmbinări dintre două țevi eliptice.

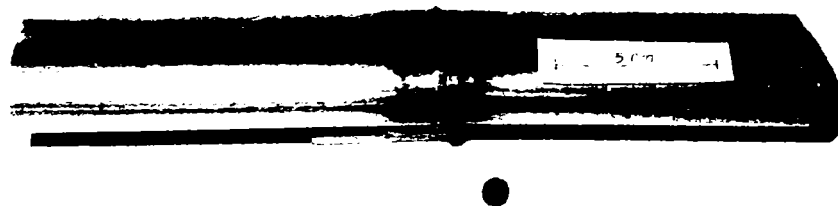


figura 82

3.2.3. Concluzii.

-folosind sistemele clasice de magnetizare , câmpul magnetic radial nu este constant pe circumferința țevilor cu profile pătrate, dreptunghiulare și eliptice. Aceasta prezintă un maxim în zona colțurilor , respectiv a razei mici.

-valorile diferite ale inducției radiale conduc la viteze diferite de deplasare a arcului rotitor în zona colțurilor, respectiv a laturilor. Astfel se obține o încălzire neuniformă, iar gradul diferit de deformare a celor două zone , conduce la defecte de sudare în zona laturilor.

-cu o adaptare minimă, sistemele clasice pot fi utilizate la sudarea profilelor , obținându-se o variație a inducției radiale pe circumferința profilelor de numai 0,01 T. Folosind regimuri aplicate la țevile circulare, corespunzătoare secțiunilor pieselor, se obțin îmbinări sudate de calitate.

3.3.SUDAREA OTELURILOR INOXIDABILE AUSTENITICE.

3.3.1.Particularități la sudarea cu arc rotitor a oțelurilor austenitice..

La sudarea cu arc rotitor a țevilor din oțeluri inoxidabile ,față de cazul sudării țevilor din oțel carbon,apar următoarele aspecte caracteristice [1]:

- modificarea configurației câmpului magnetic în întrefierul dintre țevi;
- utilizarea unei protecții gazoase;
- modificarea programată a curentului de sudare;
- utilizarea unor presiuni specifice de refulare mari.

Cea mai importantă problemă o constituie realizarea protecției gazoase,în condițiile în care arcul se deplasează cu o viteză mare într-un spațiu extins.Viteza mare de deplasare ,împreună cu temperaturile înalte ce se dezvoltă conduc la formarea unor turbulențe ce au ca efect amestecarea aerului cu gazul de protecție.

Gazele sau amestecurile de gaze folosite ,cu mici deosebiri,sunt cele utilizate la procedeele WIG și MIG, tabelul 5 [87].

În cazul utilizării unei protecții de argon, mișcarea arcului electric este instabilă, având o viteză scăzută, arcul având o formă tronconică, ceea ce conduce la o rezistență aerodinamică mare. Folosirea unui adaos mic de hidrogen, conduce la îmbunătățirea mișcării de rotație, hidrogenul fiind și un bun stabilizator al arcului electric. Aceași comportare a arcului rotitor o găsim la un amestec de heliu și hidrogen [87,88,89,90].

tabelul 5

Gaz de protecție	Raport amestec de gaz
Argon	100 % Ar
Helium	100 % He
Argon - Helium	25 - 80 % He
Argon - H ₂	2,5 ; 5,0 ; 6,5 % H ₂
Argon - CO ₂	2,5 % CO ₂

În figurile 83a și b [87] sunt prezentate variante de realizare a protecției gazoase. În figura 83a se prezintă un sistem de protecție recomandat în cazul folosirii unor gaze de protecție mai grele ca aerul (argon), iar în figura 83 b un sistem recomandat pentru gaze de protecție mai ușoare ca aerul (helium). În figura 83a se observă că alimentarea cu gaz de protecție ,atât din interiorul țevii cât și din exterior, se face de jos în sus. În figura 83b, alimentarea interioară se face de jos, iar alimentarea exterioară de sus în jos.

În ambele cazuri materialul supus sudării trebuie să fie prevăzut cu un orificiu de ieșire a gazului de protecție, pentru ca în partea superioară a țevilor să nu rămână resturi de aer.

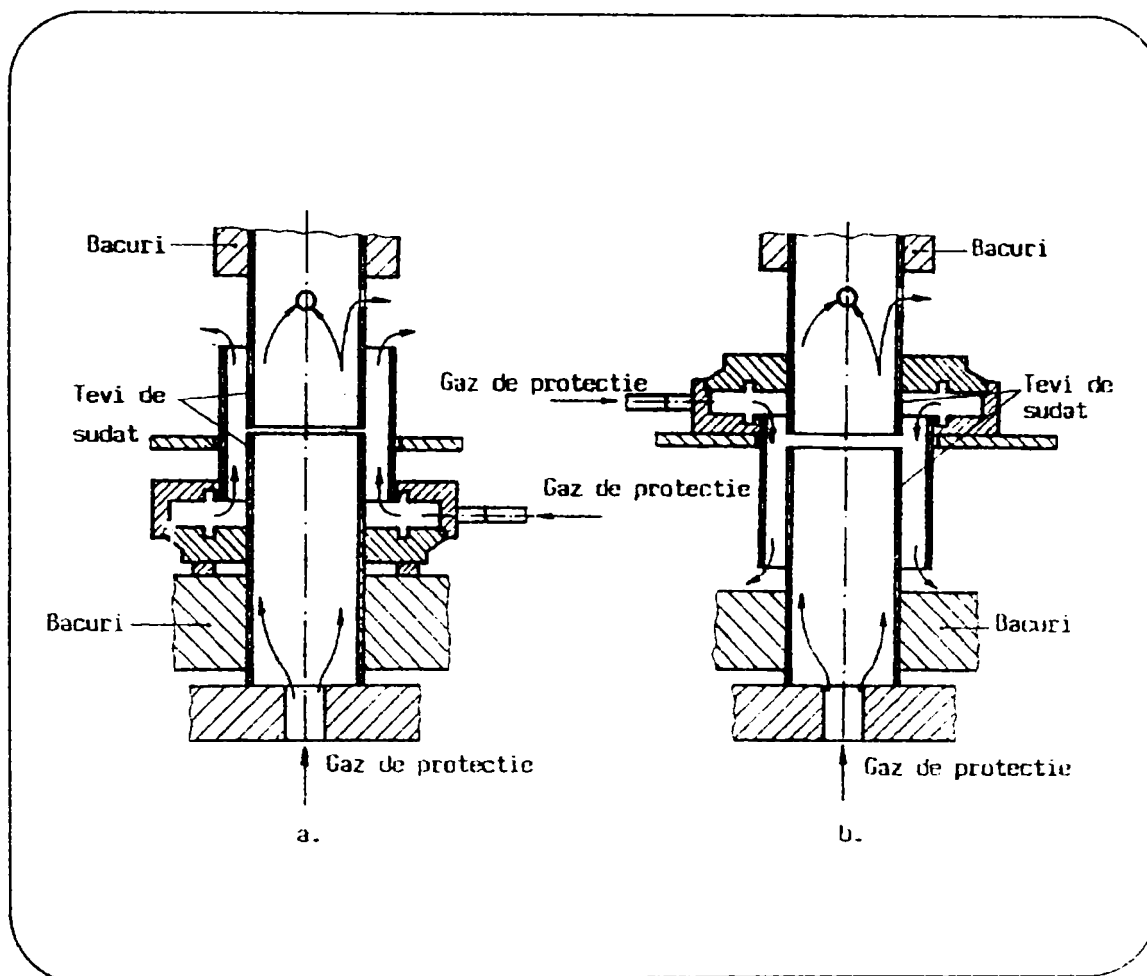


figura 83

În cazul sudării cu arc rotitor a țevilor din materiale nemagnetice, se impune un câmp magnetic radial de minim $0,04 \text{ T}$ [1]. Pentru a obține această valoare, în figura 84 se prezintă un sistem de prindere și magnetizare, folosit la sudarea oțelurilor inoxidabile [91].

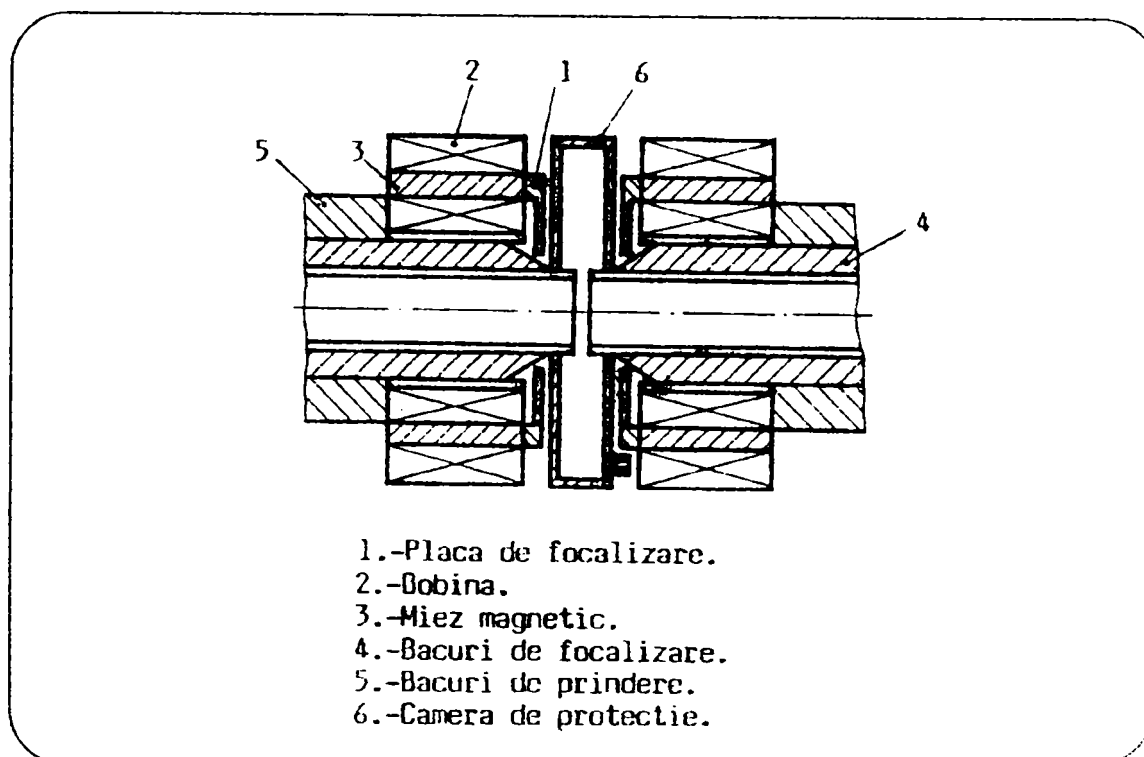


figura 84

Pentru a concentra câmpul magnetic o soluție o reprezintă folosirea în interiorul țevelor de sudat a unor miezuri magnetice (vezi cap.3.5.).

Bobinele utilizate sunt cele clasice,diferența constând în prelungirea miezurilor magnetice cu plăci (diafragme) de focalizare.Bacurile de prindere sunt compuse din bacurile propriu-zise și din bacurile de focalizare.bacuri ce se prelungesc până în apropierea întrefierului dintre țevi.

De asemenea prezintă importanță, simetria liniilor câmpului magnetic față de planul întrefierului, simetrie ce poate fi influențată de amplasarea diferită a materialului feromagnetic de-o parte și de alta a sistemului de magnetizare (dispozitivul de strângere, șania de refulare, cadrul mașinii). Printr-o proiectare și dispunere judicioasă a acestor părți, se poate obține în planul întrefierului un câmp magnetic radial aproape simetric.

În general pentru sudarea oțelurilor aliate, se recomandă următoarele valori pentru parametrii de sudare [1].

- presiunea specifică la refulare F_{ref} - min 150 N/mm^2 ;
- curentul de preîncălzire $I_p < 100 \text{ A}$;
- timpul de preîncălzire $t_p = 320 \text{ sec}$;
- curentul de vârf $I_v = (2-5)I_p$;
- timpul de menținere a curentului de vârf $t_v < 1 \text{ sec}$;
- inducția magnetică radială $B_r = 0,04 - 0,09 \text{ T}$.

3.3.2. Sudarea țevilor $\phi 6 \times 1$ mm.

Materialul de bază folosit a fost un oțel inoxidabil austenitic de tipul 10TiNiCr180 (STAS3583-87), îmbinarea cap la cap regăsindu-se în realizarea unor schimbătoare de caldură [92,93]. Sudurile s-au realizat pe cleștele de sudare cu arc rotitor tip Portrotarc, modul de realizare a protecției gazoase cu argon pur fiind prezentată în figura 85. Soluția prezentată este avantajoasă, protecția realizându-se prin piesele de sudat. Gazul iese în întrefierul dintre piese obținându-se o protecție eficientă. Consumul de gaz este nesemnificativ chiar la sudarea țevilor de dimensiuni mari, debitul gazului de protecție fiind de $D_{\text{gaz}}=10\text{l/min}$. În cazul țevilor de $\Phi 6 \times 1$ mm, la un timp efectiv de sudare de maximum 2-3 secunde (inclusiv timpii auxiliari de deschidere și închidere a protecției), față de sudarea WIG consumul de gaz este redus cu 50 %.

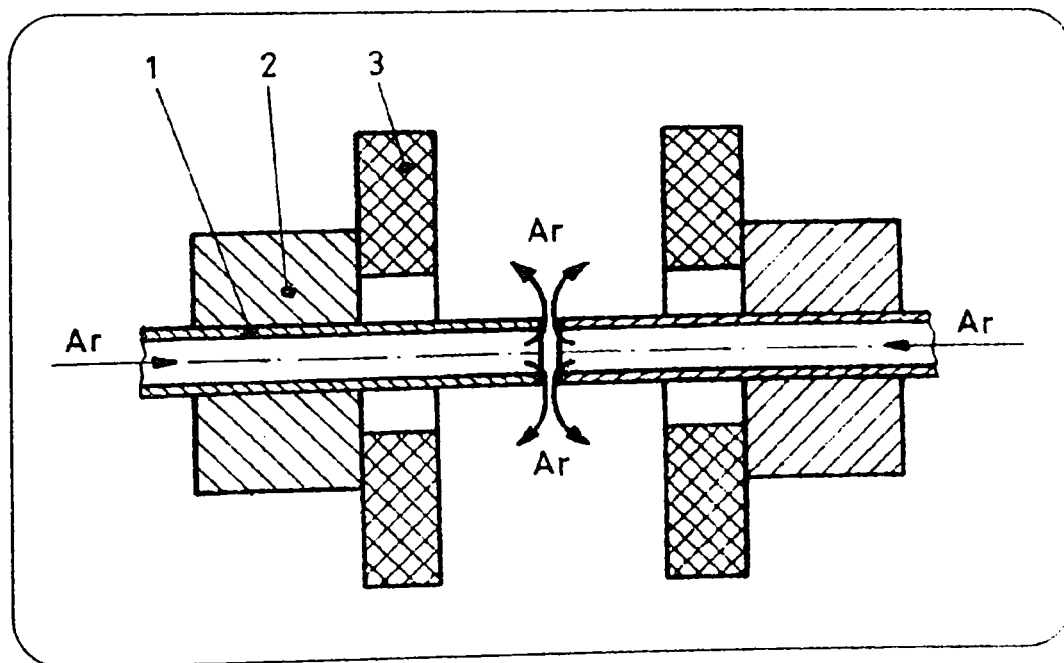


figura 85

unde: 1-piese de sudat;
2-bacurile de fixare;
3-magneți permanenți.

Câmpul magnetic radial necesar rotirii arcului a fost realizat de doi magneți permanenți inelari, așezați în opoziție. Valoarea inducției magnetice radiale în întrefier a fost sub cea recomandată de literatura de specialitate și anume de 0,02T.

Probele din figura 86 au fost realizate cu un regim dur de sudare, $I_s=200$ A, $t_s=0,6$ sec, debitul de argon fiind de 10l/min. Rezultatele analizei microscopice, figura 87, au evidențiat o structură austenitică fină, cu ferită delta în carburi complexe.

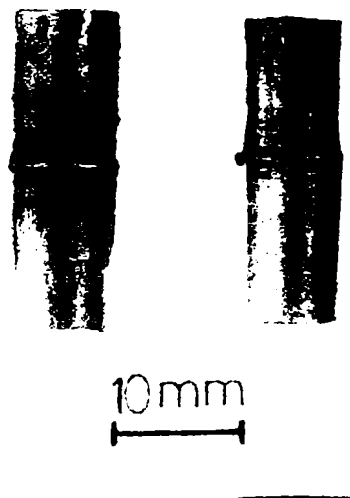


figura 86

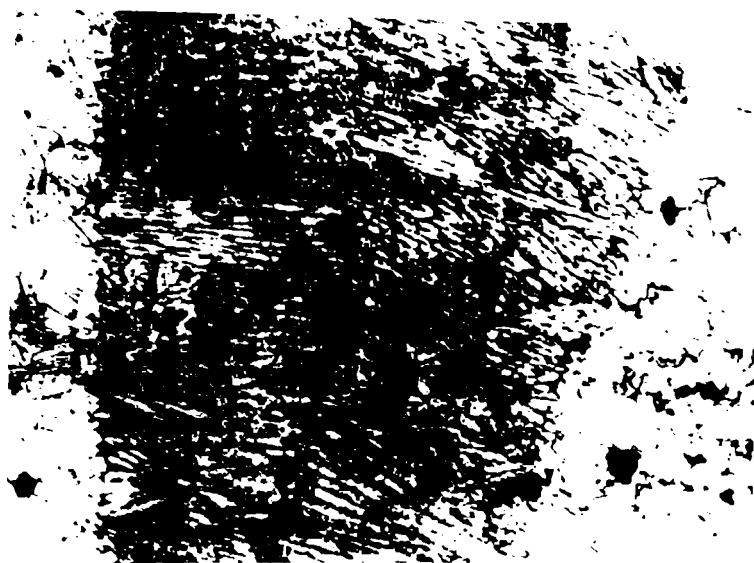


figura 87 (atac nital 2%,100X)

În tabelul 6 se prezintă rezultatele încercării de duritate Vickers HV5.

tabelul 6

Nr.	Zona cercetată	Duritatea HV 5
1	MB1	199
2	SUD	168
3	MB2	199
4	MB1	185
5	SUD	171
6	MB2	183

3.3.3. Concluzii.

--față de cazul sudării țevilor din oțel nealiat și slab aliat, la sudarea oțelurilor austenitice apar două probleme deosebite:

- realizarea protecției gazoase;

- obținerea unei inducții radiale de minim 0,04T.

-o soluție avantajoasă prin simplitate și cost , eficientă prin calitatea protecției , este introducerea gazului prin țevile de sudat.

-pentru obținerea unei inducții de minim 0,04T sunt prezentate mai multe metode .Pentru concentrarea liniilor de câmp se recomandă utilizarea unor miezuri magnetice introduse în țevile de sudat.Aplicarea soluției este limitată de lungimea pieselor de sudat.

-pentru obținerea sudurilor de calitate se recomandă regimuri dure , cu presiuni specifice de refulare de minim 150 N/mm^2 .

3.4.SUDAREA TEVILOR ZINCATE.

Preocupările în domeniul sudării cu arc rotitor s-au limitat până în prezent la sudarea cap la cap a țevelor din oțeluri slab aliate cât și aliate, în domeniul de diametre cuprins între Φ 4-90 mm.

O preocupare recentă o reprezintă sudarea cu arc rotitor a țevelor cu protecție anticorozivă în speță, a țevelor zincate [96,97].

Această preocupare rezidă din necesitatea modernizării operațiilor de sudare cap la cap a țevelor zincate, operații executate în prezent prin sudare oxigaz, sudare cu electrozi înveliți sau prin lipire. Aceste variante prezintă dezavantajul unei manopere ridicate și a unui consum mare de material de adaos (gaz carburant, electrozi, aliaj de lipit etc.). De asemenea apare necesitatea înlocuirii operației de fixare-poziționare în vederea sudării a țevelor, operație ce necesită un consum ridicat de manoperă împreună cu o serie de prelucrări mecanice.

În cadrul programului experimental s-a urmărit sudarea cu arc rotitor a țevelor obișnuite, din oțel zincat pentru instalații, având dimensiunile de Φ 34 x 3 mm. Capetele țevelor au fost prelucrate mecanic prin strunjire abaterea maximă a suprafeței frontale fiind de maximum 0,1 mm.

Sudurile s-au executat pe mașina de sudare cu arc rotitor tip ROTARC 6.

Au fost efectuate măsurători de inducție magnetică cu o sondă Hall utilizând un teslametru de tipul MF 351, având un domeniu de 0 - 2T. Inducția câmpului magnetic radial în zona întrefierului dintre țevi, la folosirea unor magneti permanenți de tipul 134/57/14 a fost de 0,02-0,03 T.

Pentru experimentari s-a utilizat o presiune de refulare identică cu cea folosită la sudarea oțelurilor nealiate și slab aliate, $p_r = 60\text{N/mm}^2$. Sudurile s-au realizat folosind un program de curent compus dintr-un curent de preîncălzire și un curent de sudare.

Aplicarea unui regim de sudare identic cu cel folosit la oțelurile obișnuite, a condus la obținerea unei suduri cu o bavură spongioasă, procesul de sudare fiind însoțit de o degajare puternică de oxid și vapori de zinc.

La stabilirea regimurilor optime s-a avut în vedere corelare cât mai justă a parametrilor astfel încât să se obțină o zonă cât mai restrânsă în care stratul protector de Zn să fie afectat.

În figura 88 se prezintă țevi zincate sudate cu arc rotitor, sesizându-se extinderea câmpului termic prin prezența oxizilor de zinc în zonele învecinate îmbinării sudate. Pentru obținerea lor s-a utilizat regimul A4, tabelul 7.

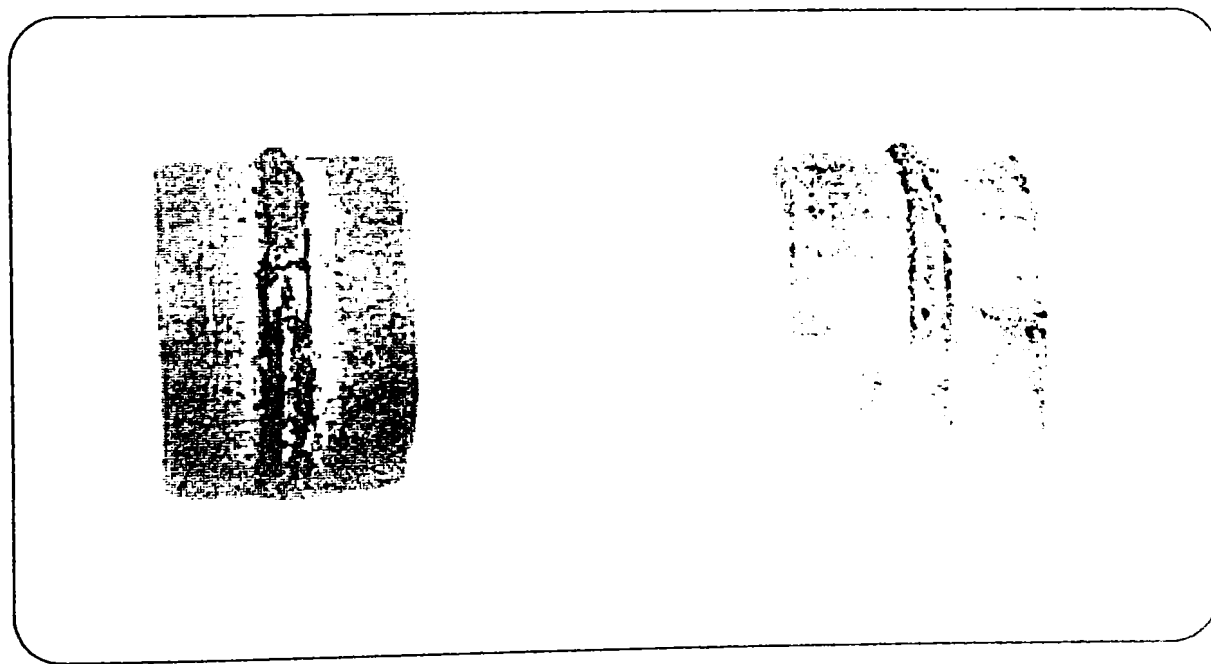


figura 88

Aspectul unei îmbinări realizate cu un regim moale de sudare este prezentat în figura 89 (A2 tabelul 7). Se poate observa că zona în care protecția galvanică a fost afectată, este mai extinsă.

Comparativ cu procedeele uzuale de sudare (sudarea în gaze sau MIG/MAG), extinderea zonei în care protecția anticorozivă este afectată, la sudarea cu arc rotitor este mai redusă.

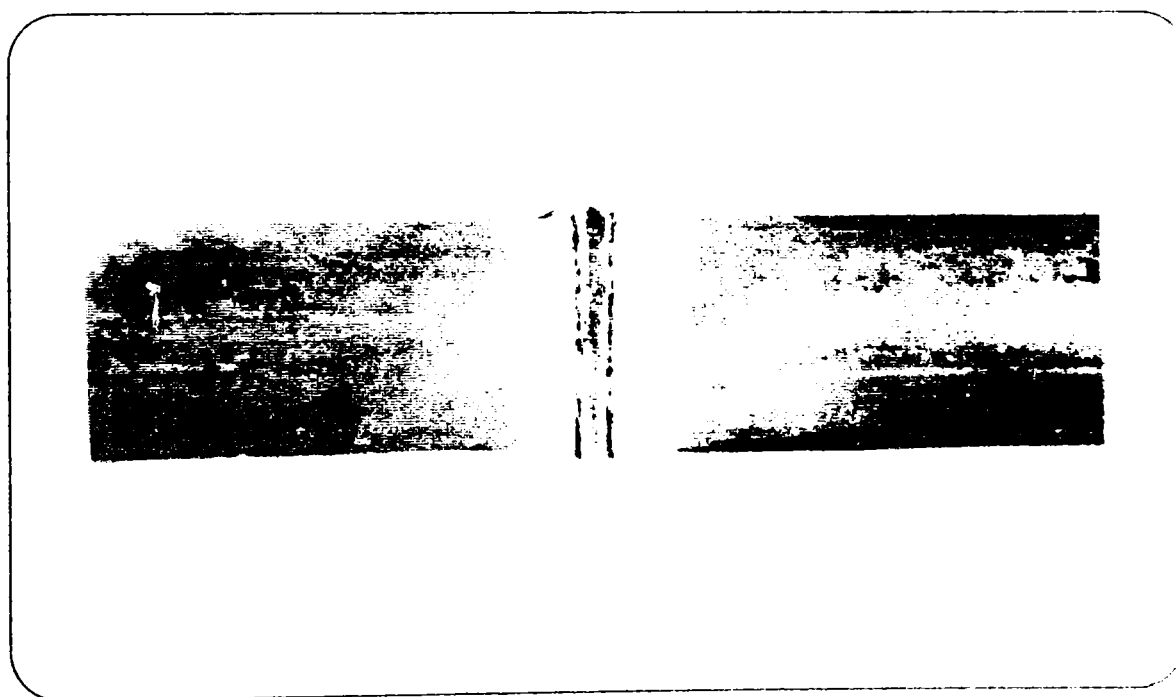


figura 89

În tabelul nr 7 sunt prezentați parametrii de sudare semnificativi pentru probele efectuate. Regimuri de sudare optime sunt cele corespunzătoare probelor A2, A3 și A4.

Aspectul macroscopic al îmbinării realizate cu cele trei regimuri propuse este prezentat în figura 90. Structurile obținute sunt cele normale (tabelul 8), aspectul lor fiind prezentat în figura 91. Dimensiunile ZIT-ului sunt prezentate în tabelul 9

tabelul 7

Proba		A1	A2	A3	A4	A5	A6
Parametri	UM						
Timp incalzire	s	6	7	4	2	4	3,5
Curent incalzire	A	80	100	160	250	100	100
Timp de curent max	s	0,5	1,5	1	1	1	1
Curent max	A	150	180	300	350	200	200

tabelul 8

Nr	Examinari microscopice [100%;500%] STAS 10952/2-78					
	Constituenti (2)	Proportie constituinti	Marime graunte real	Structura Widmannstätten	(1)Zona cercetata	Observatii
0	1	2	3	4	5	6
A2	P+F	~10/90	8-9	-	M.B.-1	Nu se observa defecte de sudare. Bavura curbata
	P+F acic.	~50/50	7-8	~1	Z.I.T.-1	
	P+F acic.	~60/40	6-7	1-2	Z.C	
	P+F acic.	~55/45	7-8	~1	Z.I.T.-2	
	P+F	~10/90	8-9	-	M.B.-2	
A5	P+F	~10/90	8-9	-	M.B.-1	Bavura rasfrinta Retasura centrala
	P+F acic.	~50/50	7-8	~1	Z.I.T.-1	
	P+F acic.	~60/40	6-7	1-2	Z.C	
	P+F acic.	~55/45	7-8	~1	Z.I.T.-2	
	P+F	~10/90	8-9	-	M.B.-2	

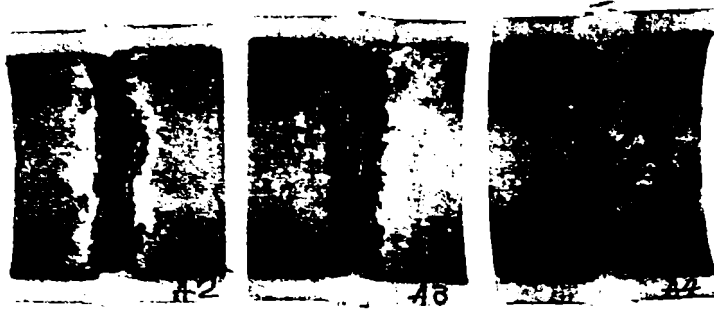


figura 90

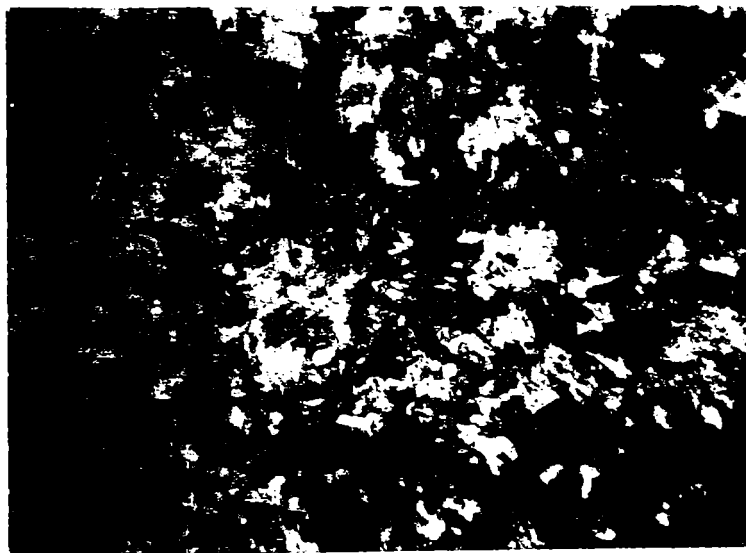


figura 91

tabelul 9

Proba	Latimea ZIT Lzit [mm]
1 (A1)	5,6 - 5,9
2 (A2)	6,4 - 6,8
3 (A3)	7,1 - 7,5
4 (A4)	7,3 - 7,7
5 (A5)	5,6 - 5,7
6 (A6)	5,9 - 6,2

Rezultatele încercărilor de duritate efectuate conform STAS 492/1-85:STAS 5540/5-85 sunt prezentate în tabelul 10.

tabelul 10

Nr	Zona	Duritatea Vickers HV 5					
		Proba 2 (A2)		Proba 3 (A3)		Proba 4 (A4)	
		Efectiv	Media	Efectiv	Media	Efectiv	Media
1	ZC	165	162,3	153	158,3	178	174,6
2		162		162		175	
3		160		160		171	
4	ZIT	136	133,6	132	138	150	145,6
5		133		148		143	
6		132		134		144	
7	MB	116	120	125	124,6	135	134,6
8		123		120		132	
9		121		129		137	

Concluzii.

În urma experimentărilor de sudare și a verificărilor de calitate efectuate s-au stabilit condițiile tehnologice de sudare cu arc rotitor a îmbinărilor de tipul cap la cap a țevelor din oțel obișnuit pentru instalații. La stabilirea programului experimental s-a avut în vedere o corelare cât mai justă a parametrilor principali, în paralel cu asigurarea condițiilor de calitate impuse și obținerea unei zone cât mai restrânse în care stratul protector de zinc să fie afectat .

Prezența porozităților în număr mare poate reduce rezistența îmbinărilor sudate. Se pot lua măsuri tehnologice speciale ca de exemplu curățirea zincului în zona întrefierului prin strunjire. Porozitățile de pe suprafața sudurii pot atrage umiditatea generând procesul de coroziune. Acoperirea cu vopsea este o operație recomandată , cu observația că porii de dimensiuni mici sunt dificili de acoperit. Protecția anticorozivă post sudare se poate realiza și prin acoperirea cu epo-zinc , silicat de zinc , silicat etilic de zinc etc.[94,95].

Fenomenul de fisurare poate apărea în cazul în care participarea zincului în metalul îmbinării este abundentă, generând zone cu densități mari de pori , precum și o pemețrare intergranulară a zincului topit. Pentru prevenirea acestui defect, în cazul sudării cu arc rotitor , se folosește comanda programată a curentului de sudare , cu o etapă finală de curent de vârf [96].

Saltul de curent conduce la creșterea vitezei de rotație a arcului rotitor și deci implicit la expulzarea zincului din zona întrefierului.

Tevile zincate pentru instalații se pot suda bine folosind în general regimurile de sudare aplicate la oțelurile nealiate sau slab aliate (cu precădere regimuri dure), cu obligativitatea aplicării unor măsuri de protecția muncii în ceea ce privește gazele degajate în timpul procesului de sudare.

3.5.REALIZAREA ÎMBINĂRILOR ETEROGENE DE TIPUL OTEL CARBON-OTEL INOXIDABIL.

Din punct de vedere economic apare uneori avantajoasă realizarea unor structuri din materiale diferite ,cu caracteristici diferite:un material de calitate înaltă care să satisfacă cerințele impuse în zona activă a structurii și un material obișnuit,deci mai ieftin .

Dacă în ceea ce privește procedeele de sudare uzuale,cum sunt sudarea prin topire și sudarea prin presiune, se cunosc dificultățile legate de realizarea îmbinărilor eterogene, devine interesant studiul realizării unor astfel de îmbinări folosind procedeul de sudare cu arc rotitor.

Sudarea cu arc rotitor este un procedeu de sudare cu arc electric și presiune, cuprinzând două procese distincte și anume:

- încălzirea cu arcul electric;
- realizarea îmbinării sudate prin refularea pieselor.

În cazul sudării cu arcul electric contactul dintre faze se realizează printr-un proces de topire, respectiv de umectare a materialelor de bază, procesul decurgând foarte rapid, cu o durată foarte mică în comparație cu durata operației de sudare. La sudarea prin presiune contactul dintre faze se obține prin deformare plastică, realizată cu o anumită viteză, viteză dependentă de caracteristicile materialului [98,99].

Energia de activare, necesară interacțiunii chimice dintre faze, poate fi introdusă sub formă de căldură, prin deformare mecanică sau cu fascicule de energie. Sudarea cu arc rotitor utilizează două forme de activare prin încălzire și prin deformare plastică.

3.5.1. Caracteristici fizice ale materialelor de bază.

În cazul unor îmbinări eterogene este de dorit ca materialele de baza să aibă caracteristici fizice cât mai apropiate, cele mai importante fiind temperatura de topire, coeficientul de dilatare termică și conductibilitatea termică. Compoziția chimică a țevilor este indicată în tabelul 11 [100].

tabelul 11

Metalul de bază	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S
10Ti MoNiCr175	0,15	0,24	1,21	17,24	14,27	2,01	0,03	0,035
OL 37	0,09	0,04	0,40	0,03	0,04	0,01	0,01	0,02

Caracteristicile mecanice determinate pe țevi , sunt indicate in tabelul 12
101].

tabelul 12

Metalul de bază	R _m	HV 5	Aplatizare
10TiMoNiCr175	516	148	fără fisur
OL 37	357	129	fără fisur

În tabelul 13 este indicată o comparație între caracteristicile oțelurilor
carbon și inoxidabile austenitice [98] .

tabelul 13

Coefficient	Oțel carbon	Oțel inoxidabil austenitic
α	1	1.4
γ	1	0.7
ϵ	1	1.0
ρ	1	1.0
T_1	1	0.9

3.5.2.Câmpul magnetic.

După cum se știe una din problemele sudării cu arc rotitor a materialelor nemagnetice o reprezintă modificarea configurației câmpului magnetic în întrefierul dintre țevile de sudat. Dacă configurația câmpului magnetic este cunoscută la sudarea cuplurilor de materiale similare, oțel carbon și oțel inoxidabil austenitic, la realizarea îmbinărilor eterogene între acestea, configurația câmpului magnetic este o combinație între cele două cazuri ale îmbinărilor similare, figura 92.

Împărțind diagrama de variație a câmpului magnetic în lungul întrefierului, pentru cazul sudării eterogene de tipul material magnetic-material nemagnetic, într-o parte "magnetică" respectiv una "nemagnetică", se observă următoarele:

- alura curbei pe porțiunea "magnetică" este similară cu cea de la cazul îmbinării similare din oțel carbon;
- pe grosimea întrefierului (≈ 2 mm) variația câmpului radial între țeava magnetică și cea nemagnetică este de până la 0.02 T (oțel carbon-0,045T; oțel inoxidabil austenitic-0,03T);
- alura căzătoare a curbei continuă și pe porțiunea nemagnetică, dar cu valori mai ridicate față de cazul îmbinării similare a oțelului inoxidabil austenitic.

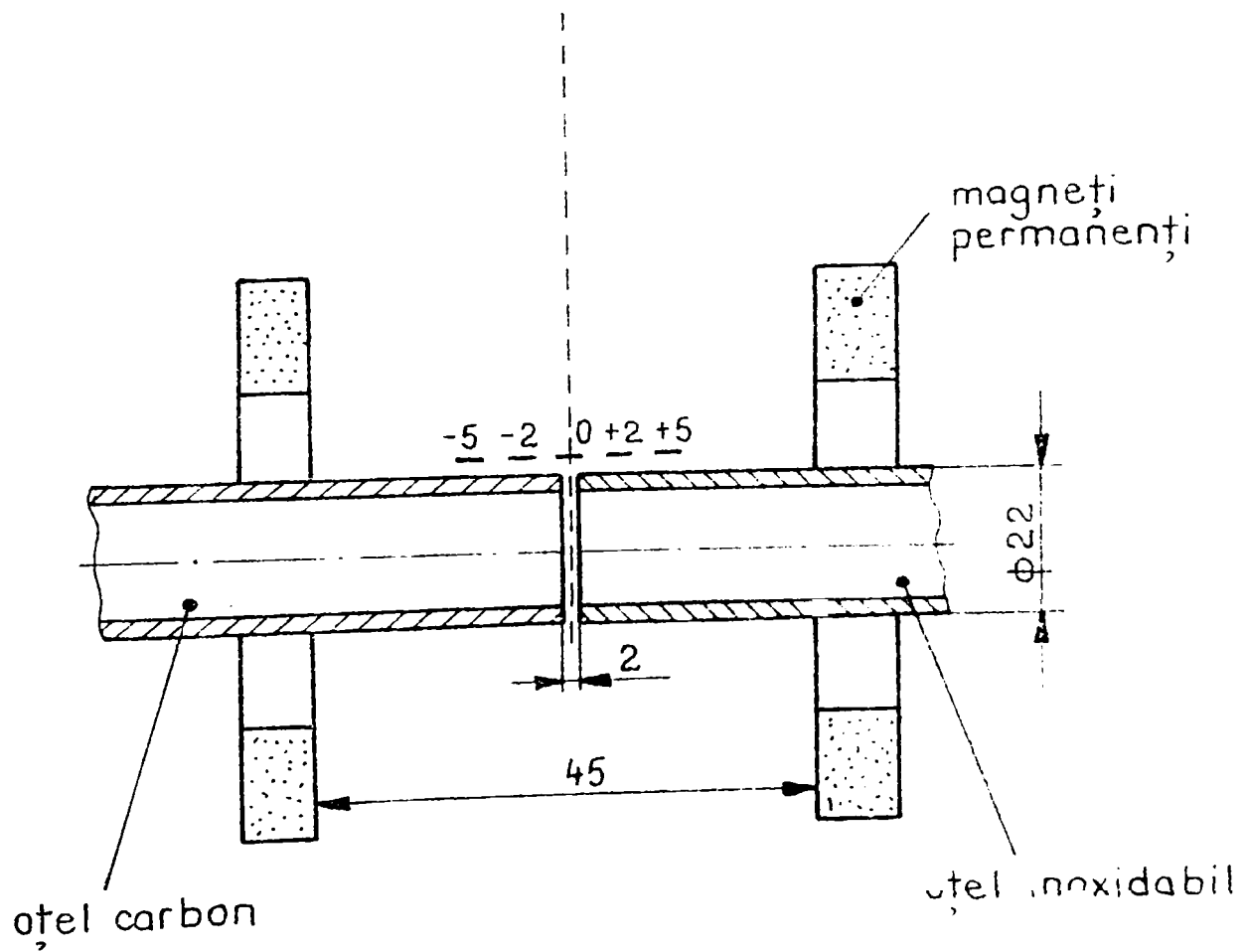
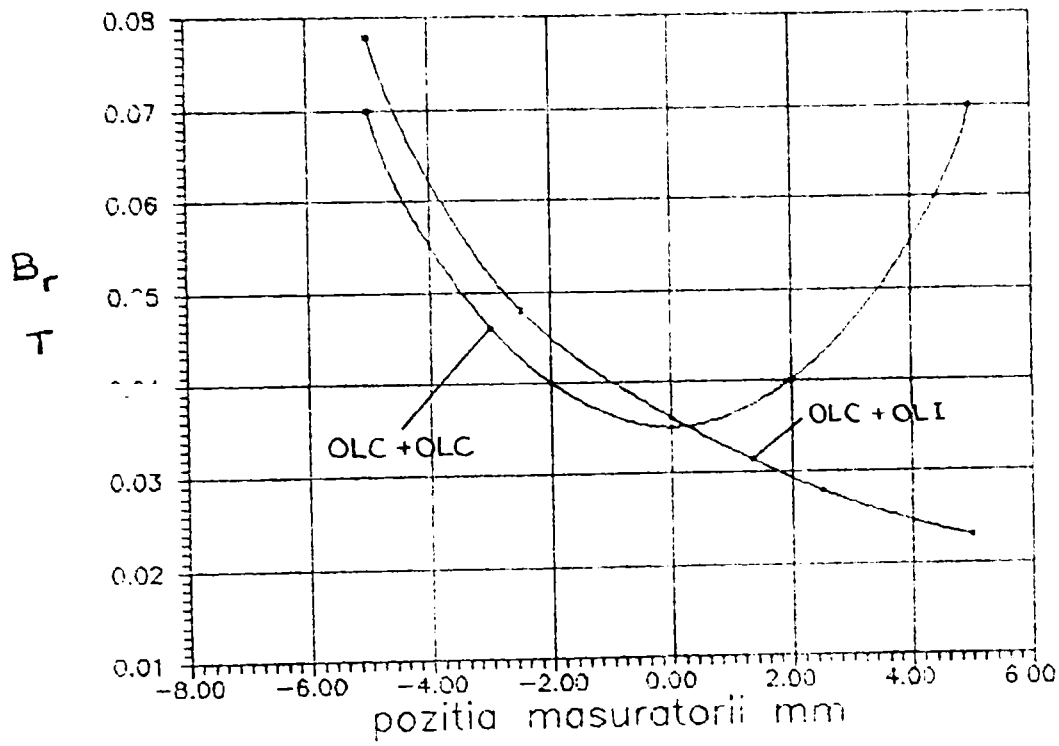


fig 92

Măsurătorile efectuate au fost realizate pe mașina de sudare ROTARC 6, figura 93 , în condițiile unei simetrii a amplasării materialului feromagnetic.

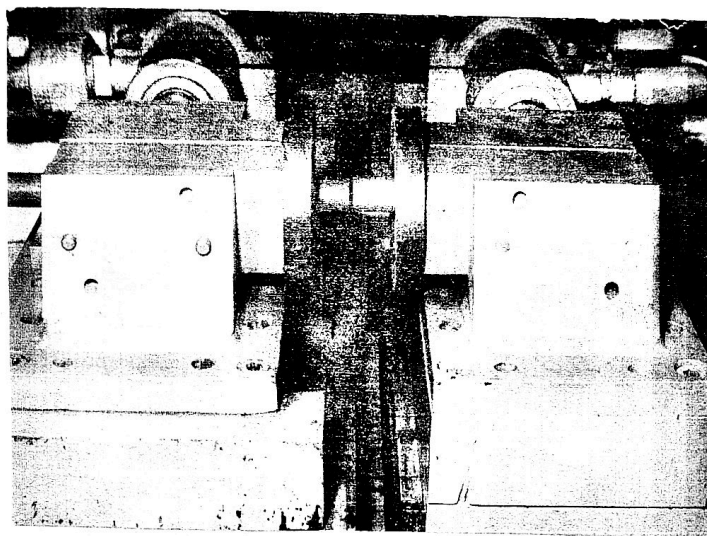


figura 93

Simetria liniilor câmpului magnetic față de planul întrefierului, prezintă o importanță deosebită ,ea fiind influențată de amplasarea diferită a materialului feromagnetic de-o parte și de alta a sistemului de magnetizare (dispozitivul de strângere, sania de refulare, cadrul mașinii). Printr-o proiectare și dispunere judicioasă a acestor părți, se poate obține în planul întrefierului un câmp magnetic radial aproape simetric. O amplasare asimetrică poate conduce ,inclusiv la materiale magnetice, la o neuniformitate a câmpului magnetic în întrefier de până la 0,04 T (diferență măsurată între extremitățile țevilor, ce formează întrefierul).

Pentru a egaliza într-o anumită măsură valorile câmpului radial între cele două componente s-au realizat următoarele experimentări:

a)introducerea unui miez magnetic în țeava din oțel inoxidabil austenitic (figura 94);

b)poziționarea asimetrică a întrefierului dintre țevi ,în sistemul de magnetizare (între magnetii permanenți),cu și fără miez magnetic introdus în țeava din oțel inoxidabil (figura 95);

c)modificarea simetriei liniilor de câmp magnetic față de întrefier,prin montarea a doi magneti permanenți pe partea oțelului carbon,figura 96, respectiv a oțelului inoxidabil,figura 97.

Pentru cazul îmbinărilor similare , variația inducției radiale pe grosimea peretelui, este prezentată în figura 98.Pentru cazul unei îmbinări disimilare,variația inducției radiale pe direcția grosimii peretelui este prezentată în figura 99.Se observă că în cazul folosirii unui miez magnetic în țeava din oțel inoxidabil,diferența dintre cele două valori ale inducției scade de la 15mT la 10mT

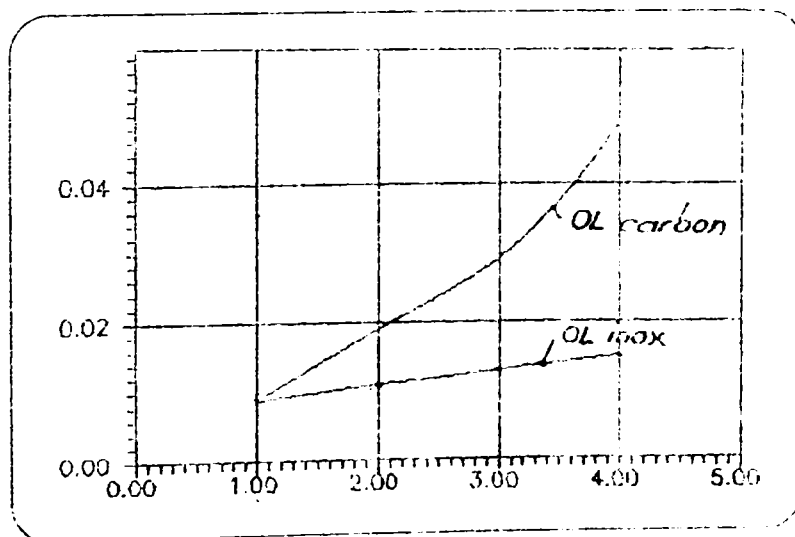


figura 98

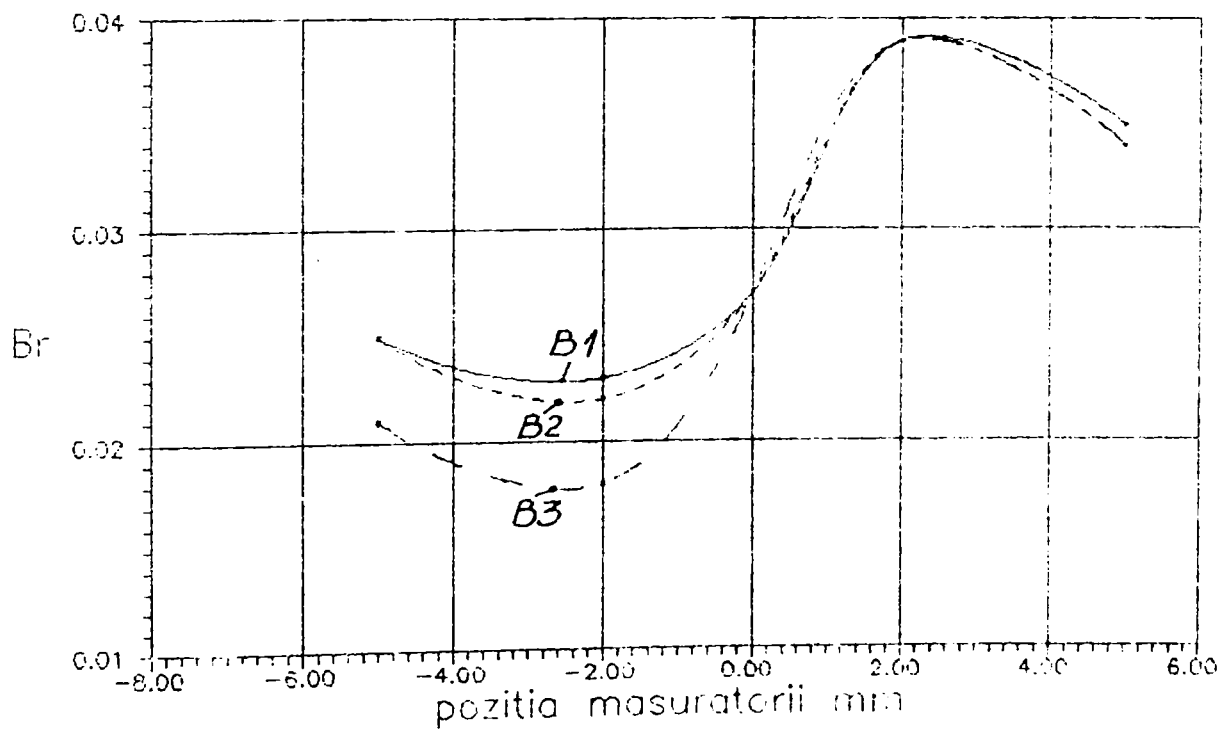
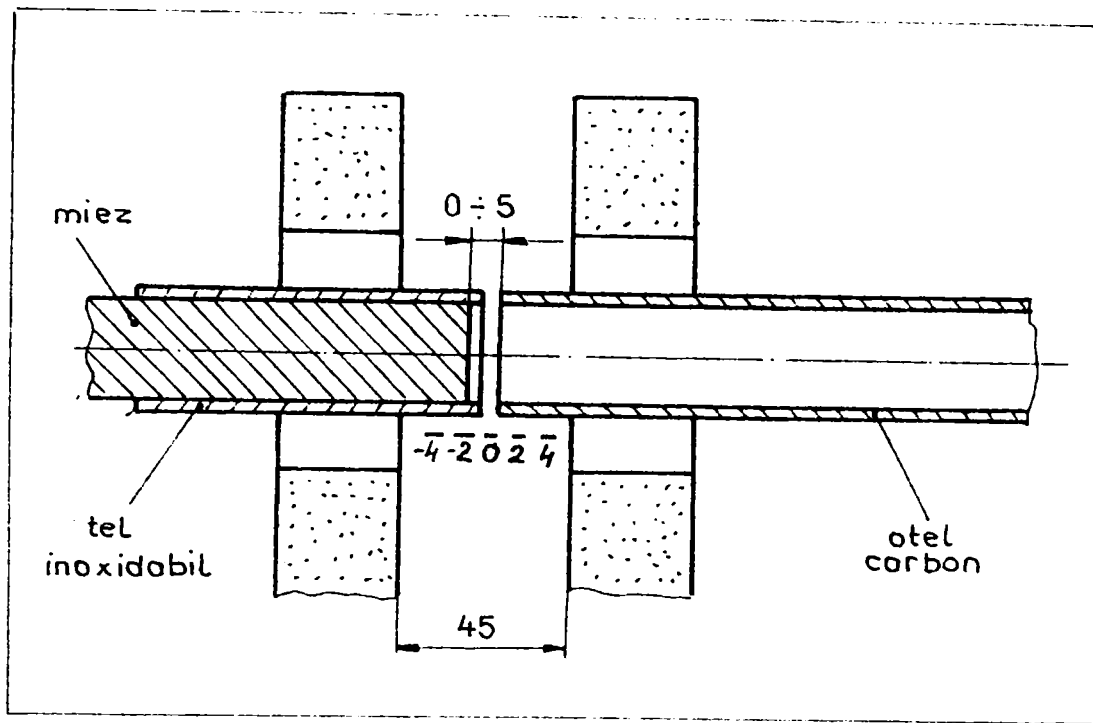


fig. 94

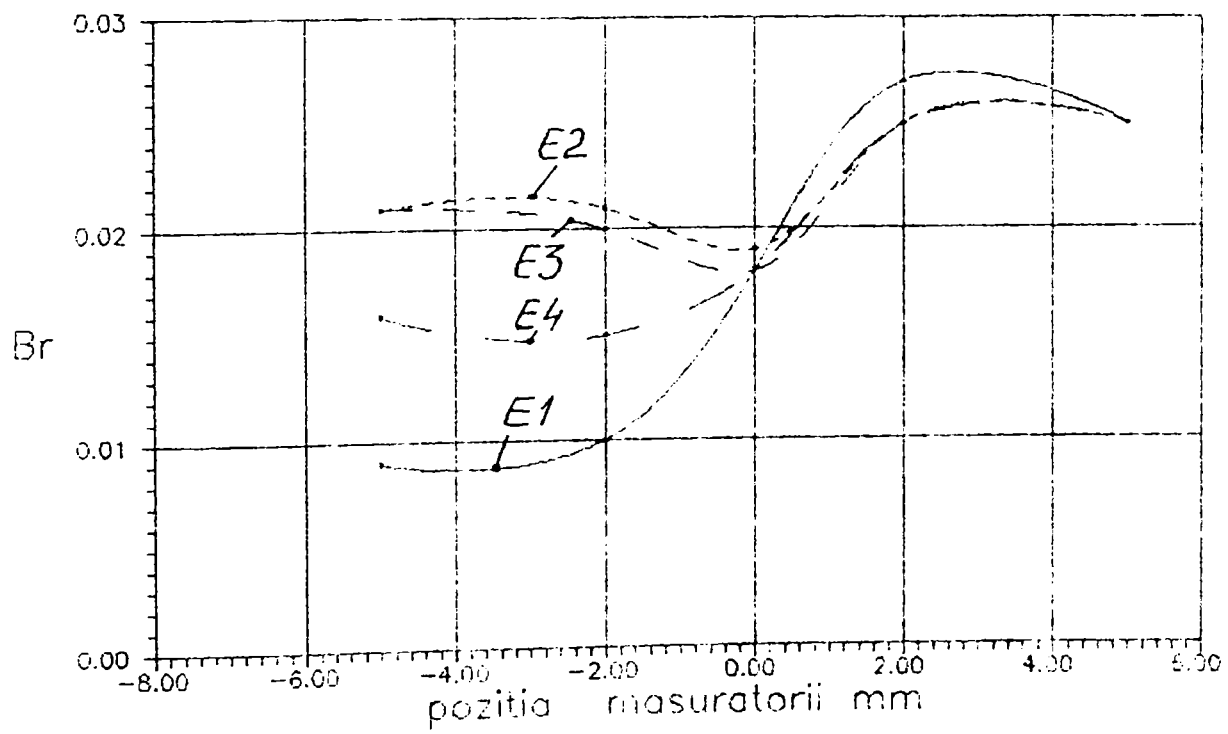
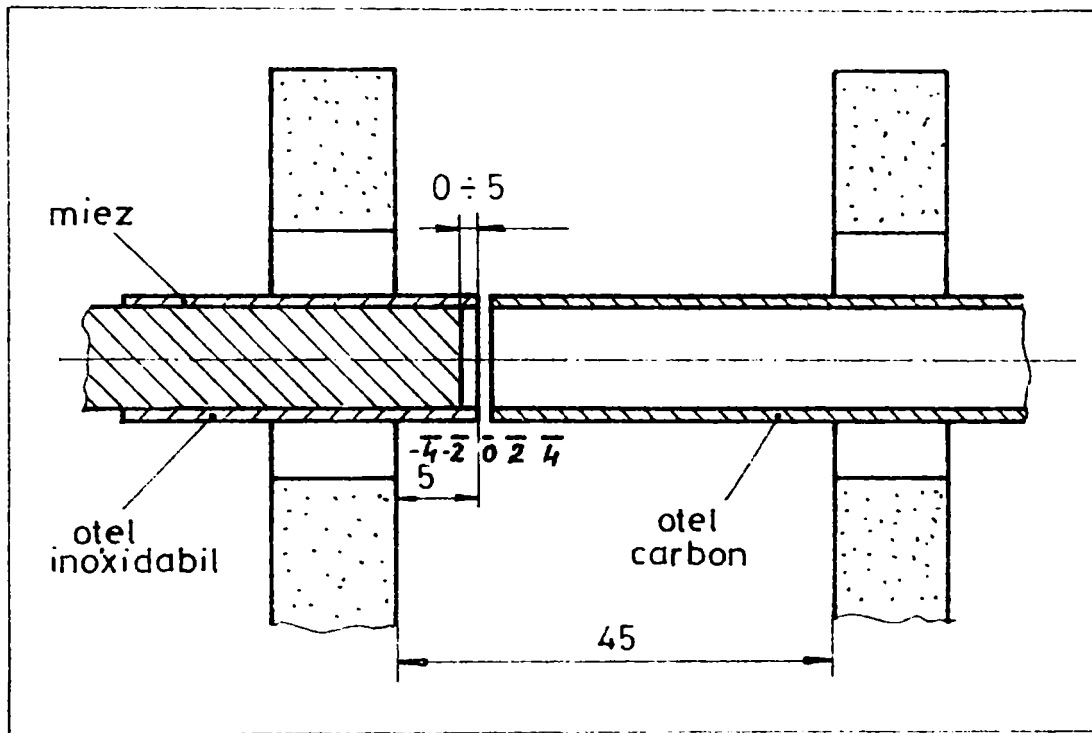


fig. 95

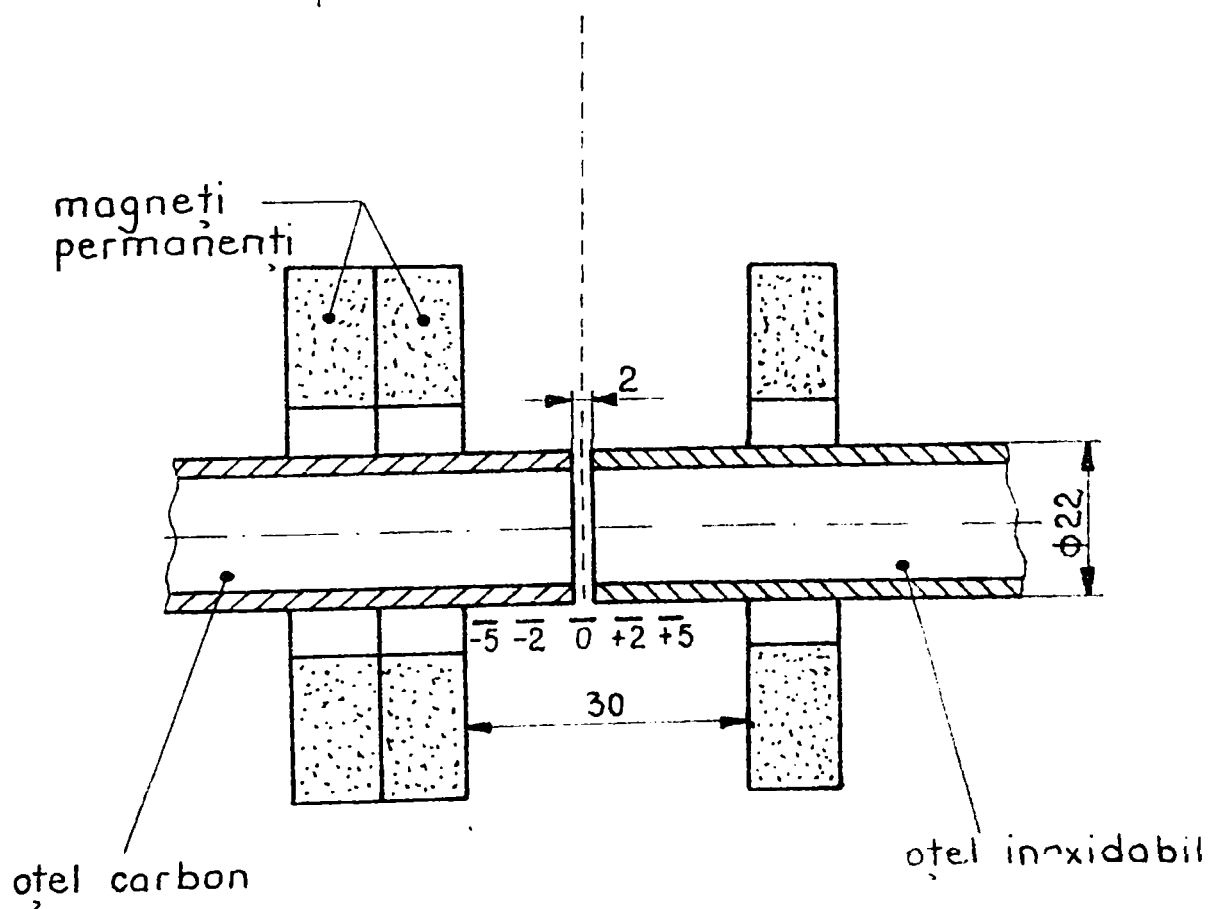
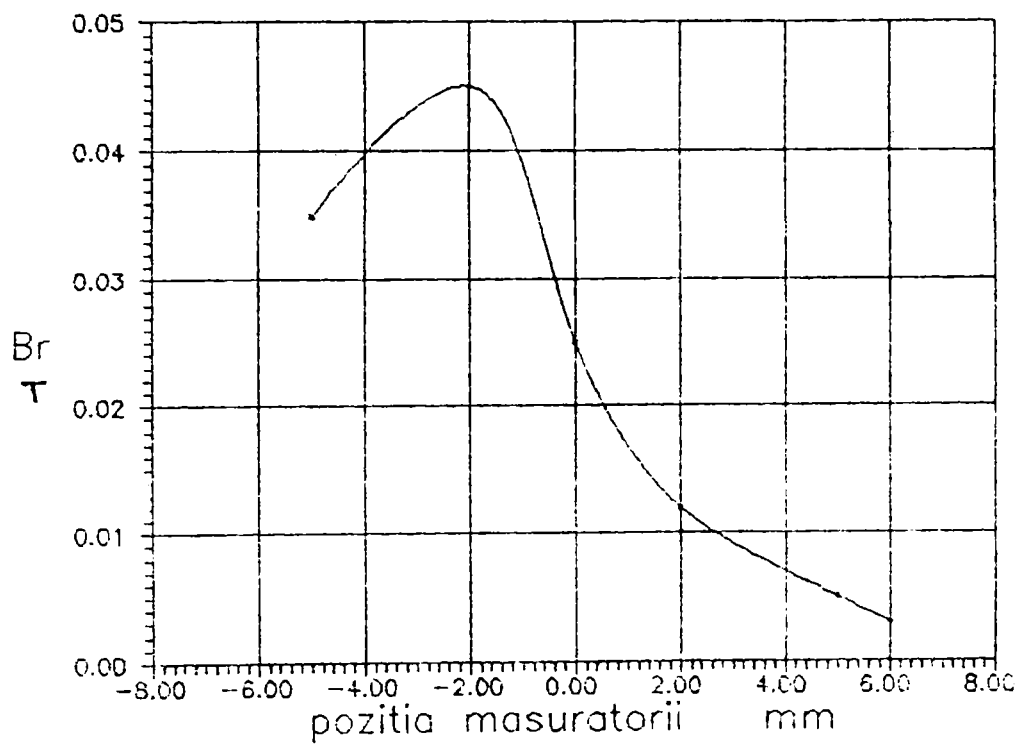


figura 96

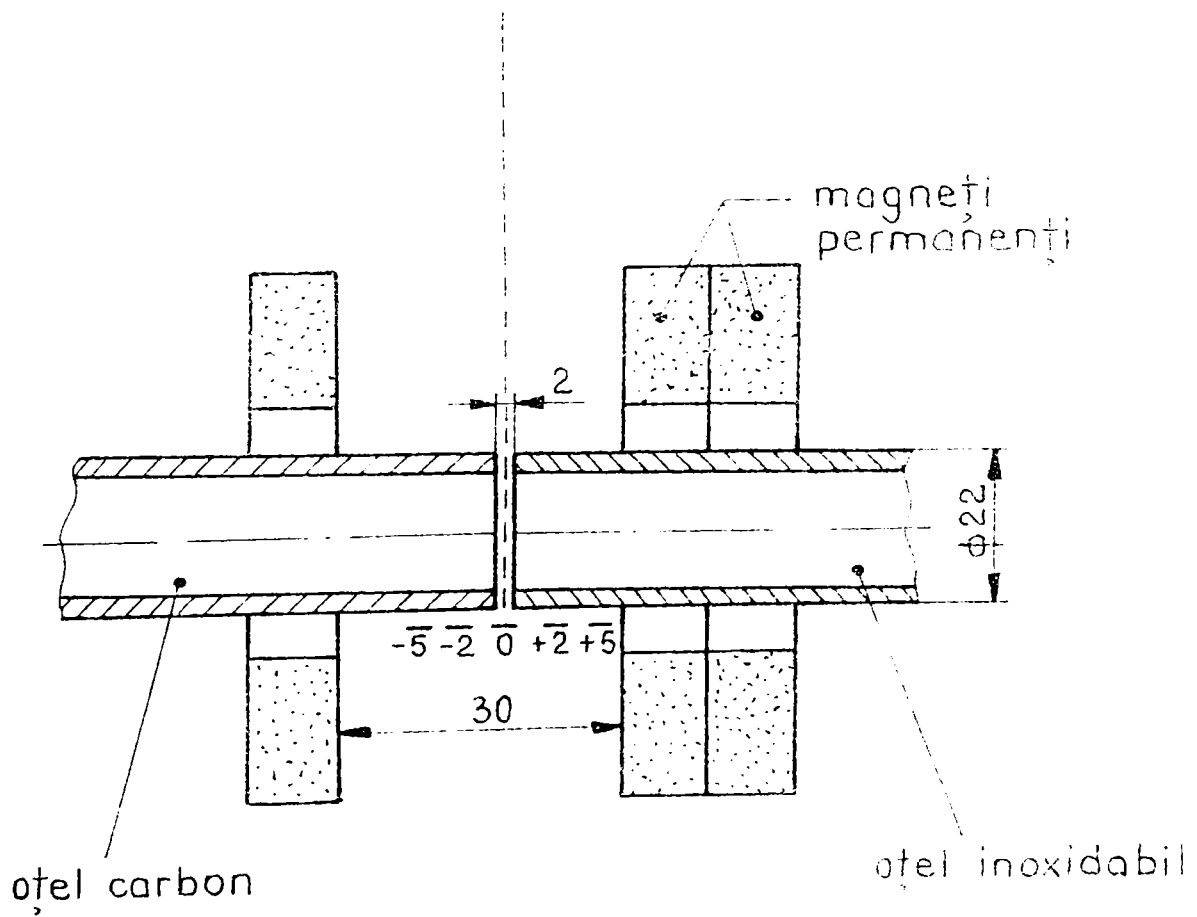
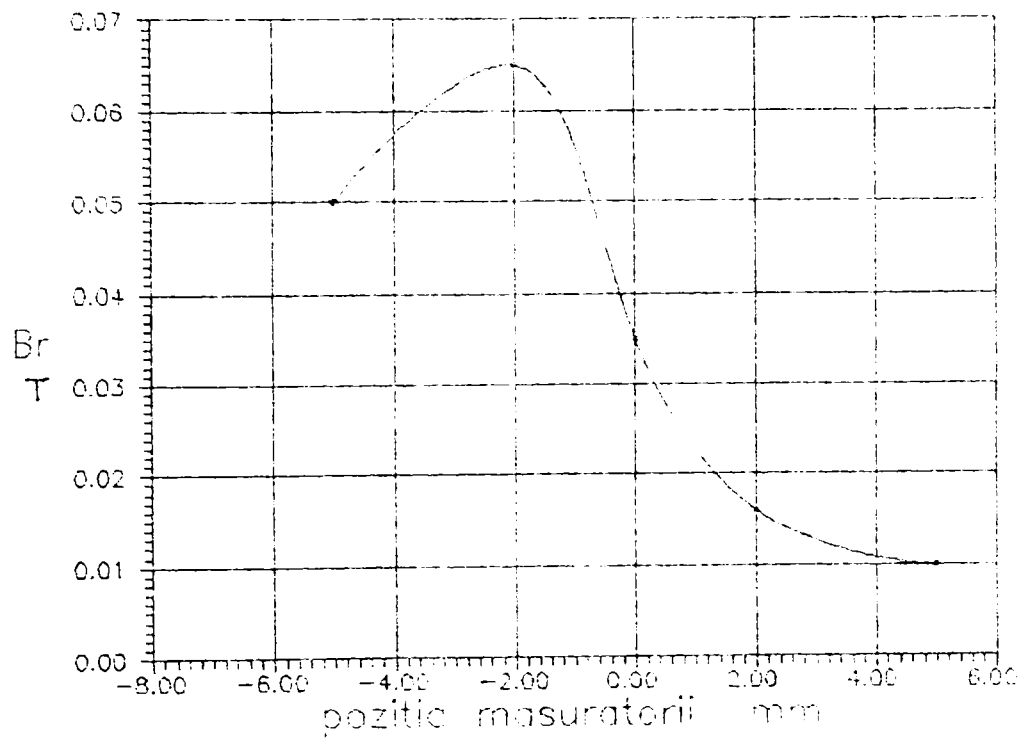


fig. 37

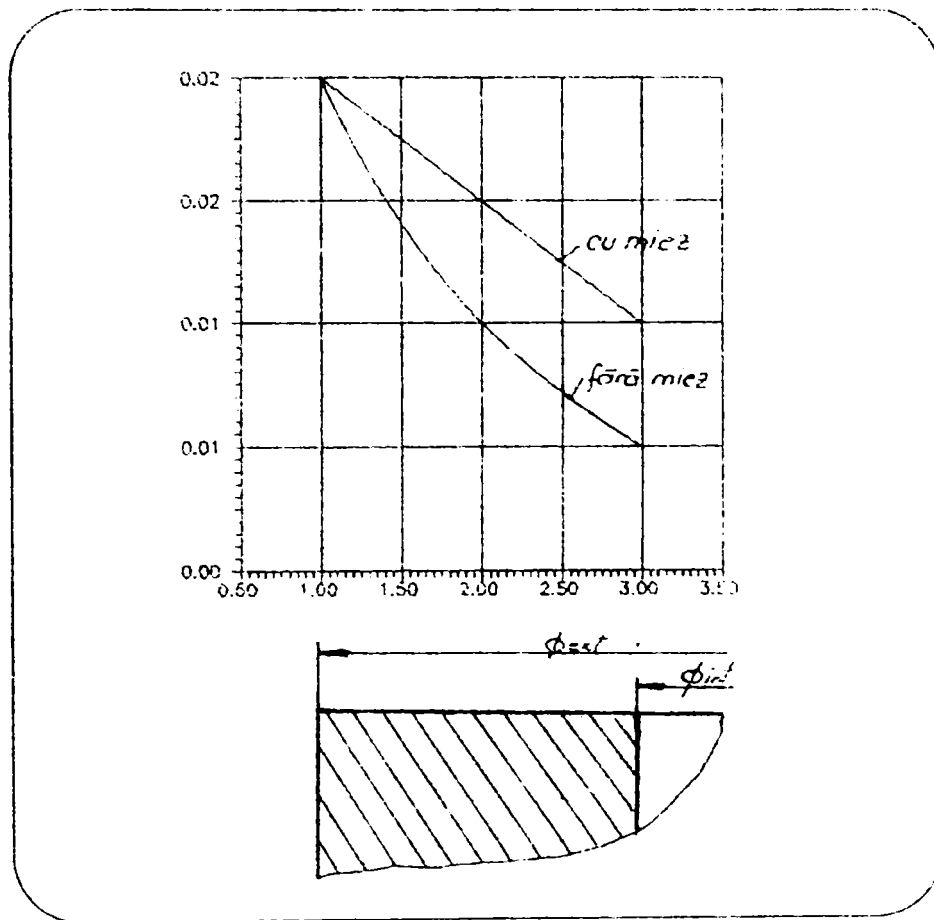


figura 99

Prin introducerea miezului magnetic, s-a constatat de asemenea scăderea valorii inducției axiale, figura 100.

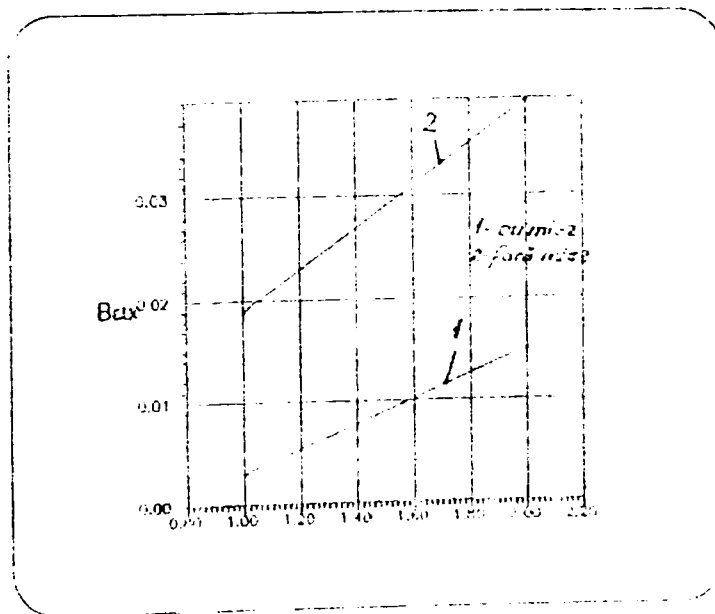


figura 100

3.5.3.Sudarea țevilor $\phi 20 \times 2$ mm.

Experimentările au avut în vedere următoarele aspecte:

- comportarea arcului rotitor la arderea acestuia între două componente cu proprietăți magnetice diferite;
- încălzirea cu arc rotitor a două piese cu caracteristici fizice diferite;
- realizarea îmbinării eterogene între oțelul carbon și oțelul inoxidabil austenitic.

Pentru probe s-au utilizat țevi din oțel OL 37 și oțel inoxidabil austenitic de tipul 10TiNiCr180 (STAS3583-87).

Experimentările au demarat prin folosirea unui regim moale de sudare , corespunzător sudării oțelurilor carbon de aceleași dimensiuni($I_s = 140$ A; $d = 1,5$ mm),diametrul țevilor fiind $\phi 20 \times 2$ mm.

Amorsarea cu electrod de cărbune a decurs greoi, de cele mai multe ori arcul întrerupindu-se după o foarte scurtă ardere.Mărind curentul de sudare ($I_s = 200$ 300 A) s-a ajuns la o ardere bună.Arderea la un curent de sudare mic ($I_s = 150$ A) este instabilă, arcul fiind zgomotos. Zgomotul produs de arc este intens, puternic și cu un ton metalic,arderea fiind însoțită de frecvente "poenituri" și întreruperi.

Instabilitatea arcului în perioada inițială și tranzitorie a arderii sale, se datorează în primul rând deformării coloanei arcului electric datorită neuniformității câmpului magnetic radial în întrefierul dintre țevi. Fenomenul ce conduce de deformare prin alungire a arcului, o poate fi interpretat ca un suflaj magnetic.

O rotație corespunzătoare se obține și în cazul în care, la același curent de sudare (ex. $I_s = 140$ A) se micșorează întrefierul de la 1,5 mm la 1 mm.

Ca urmare s-au utilizat regimuri dure, parametrii de sudare fiind: $I_s = 200-300$ A, $d = 1$ mm; $t_{mc} = 2-3,5$ sec, funcție de diametrele țevelor. S-au sudat două dimensiunile $\Phi 20 \times 2$; $\Phi 25 \times 2$ mm și $\Phi 34 \times 3$ mm. Pentru faza de refulare, presiunea specifică utilizată a fost identică cu cea utilizată la sudarea oțelurilor carbon $P_s = 60$ daN/mm². Nu s-a folosit gaz de protecție.

Îmbinările obținute sunt prezentate în figurile 101, 102. Se observă că bavura este continuă, uniformă, prezentând (similar cu cazul oțelurilor carbon) o scurgere de material. Mărimea acestei scurgeri este dependentă de timpul de încălzire cât și de viteza de refulare.

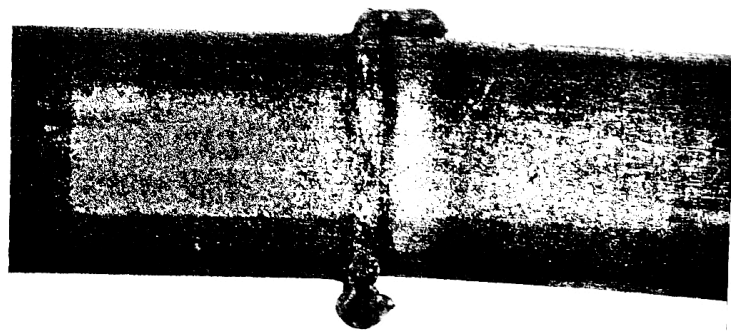
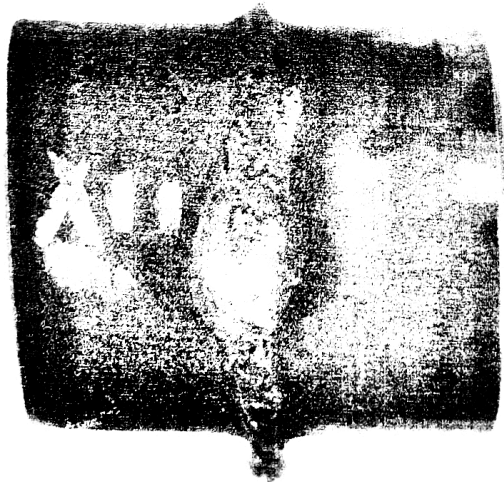


figura 101

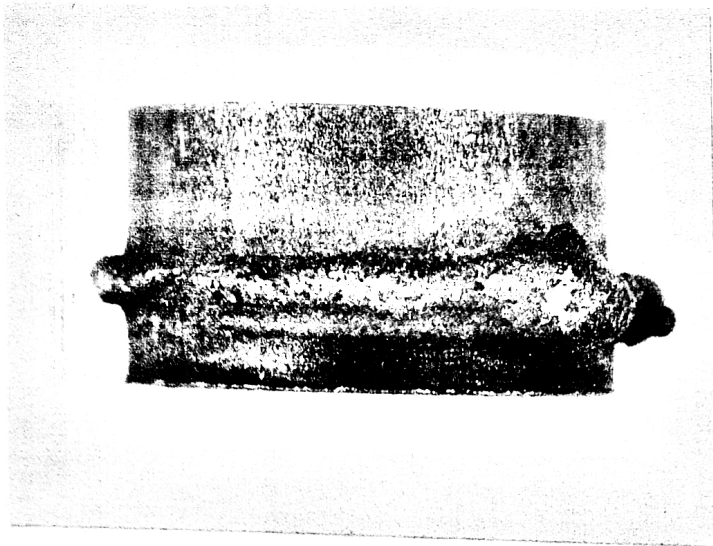


figura 102

Aspectul macroscopic al îmbinărilor este prezentat în figurile 103 și 104.

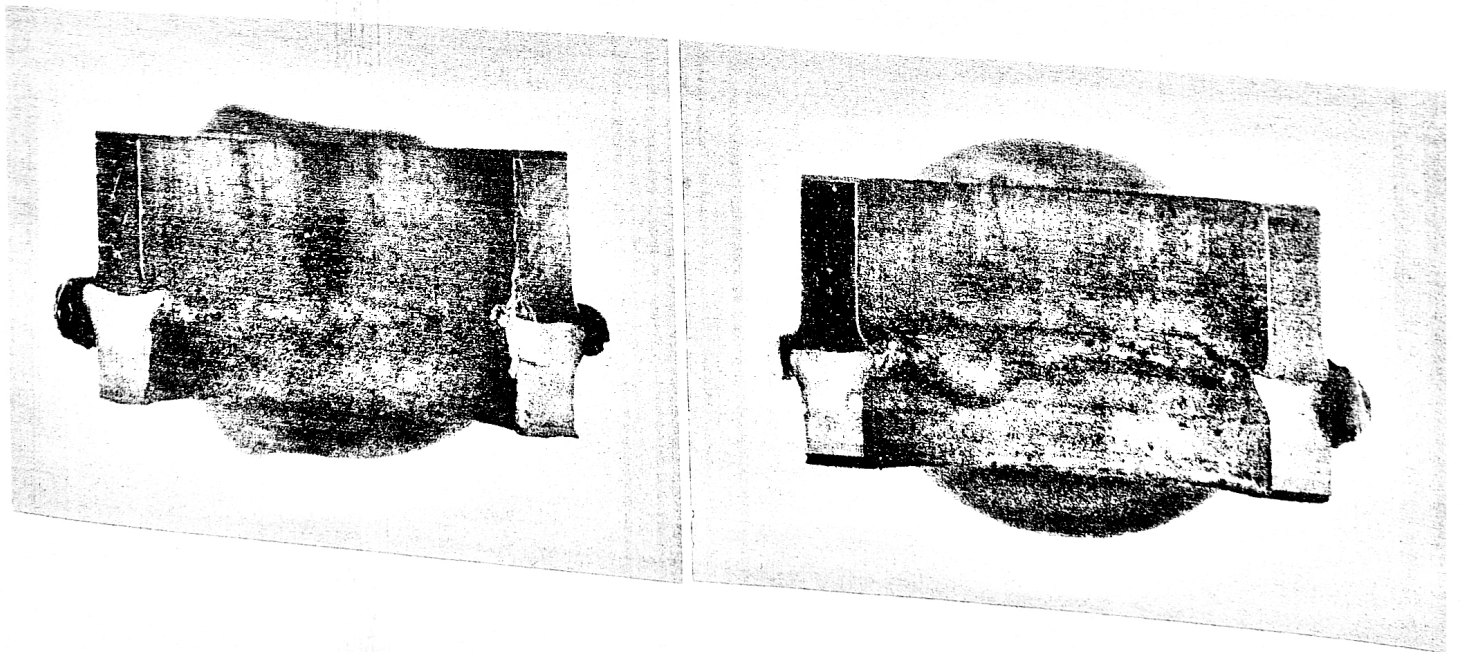


figura 103



figura 104

Analiza microscopică evidențiază structuri ferito-perlitice (pentru partea de oțel carbon) și austenită cu carburi (pentru partea de inox). Nu se observă defecte în ZC. Aspectul microscopic este prezentat în figurile 105 și 106.

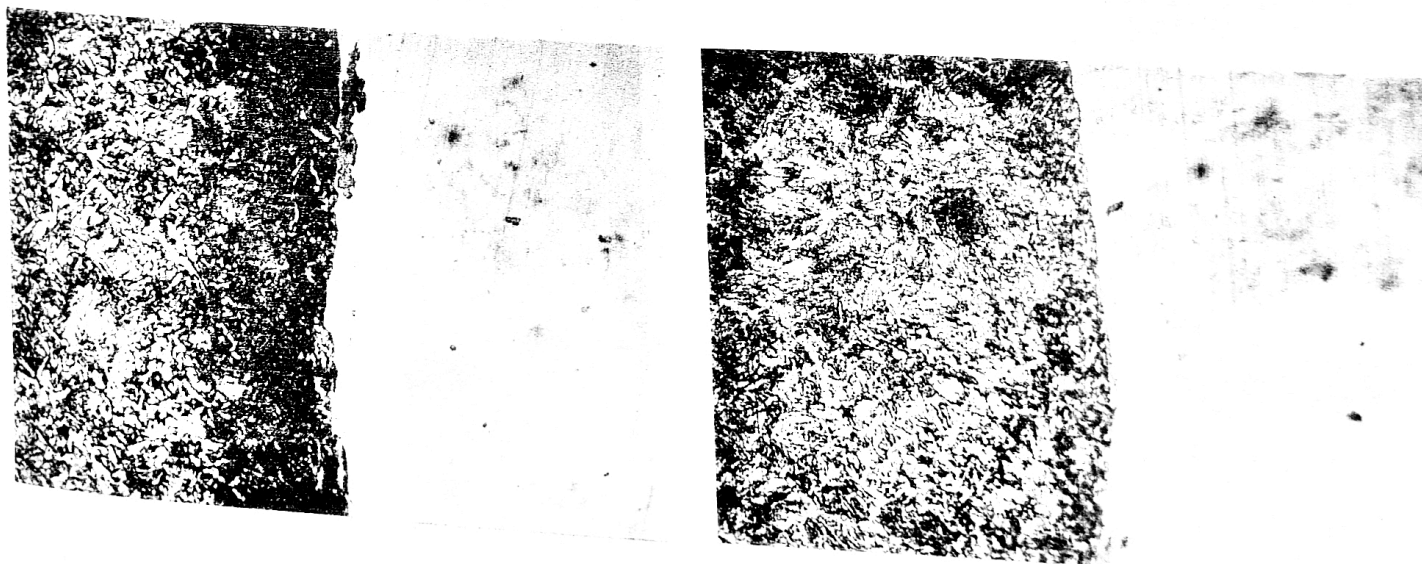


figura 105



figura 106

După cum am mai arătat bavura îmbinărilor obținute este continuă și netedă ,la exterior prezentând un aspect poros (spongios).La operația de debitare s-a sesizat o duritate mare a bavurilor ,care după cum se observă și în figura 107 (aspect micro al bavurii) se datorează carburilor ,prezente în cantități mari.



figura 107

Distribuția și variația concentrației cromului în zona îmbinării, obținută cu ajutorul microsondei electronice, este prezentată în figurile 108 și 109.

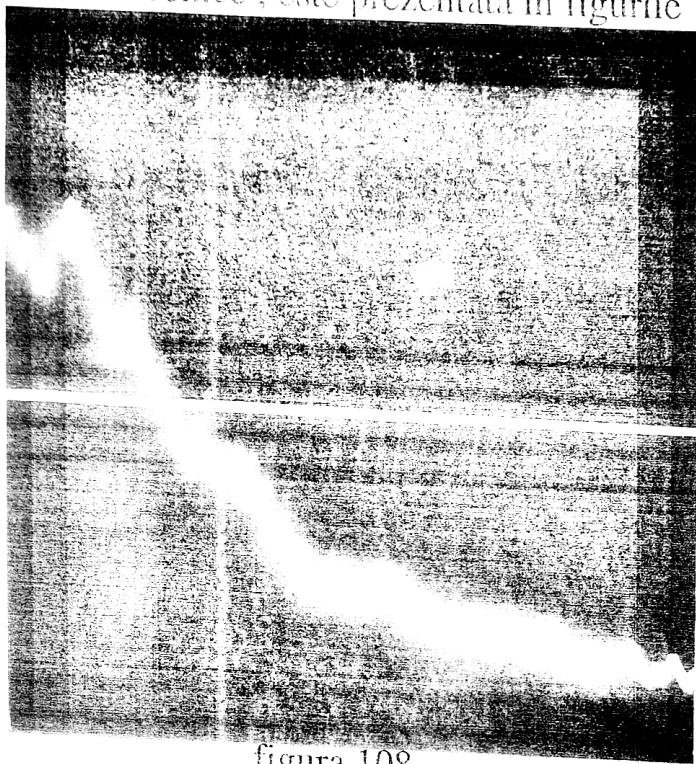


figura 108

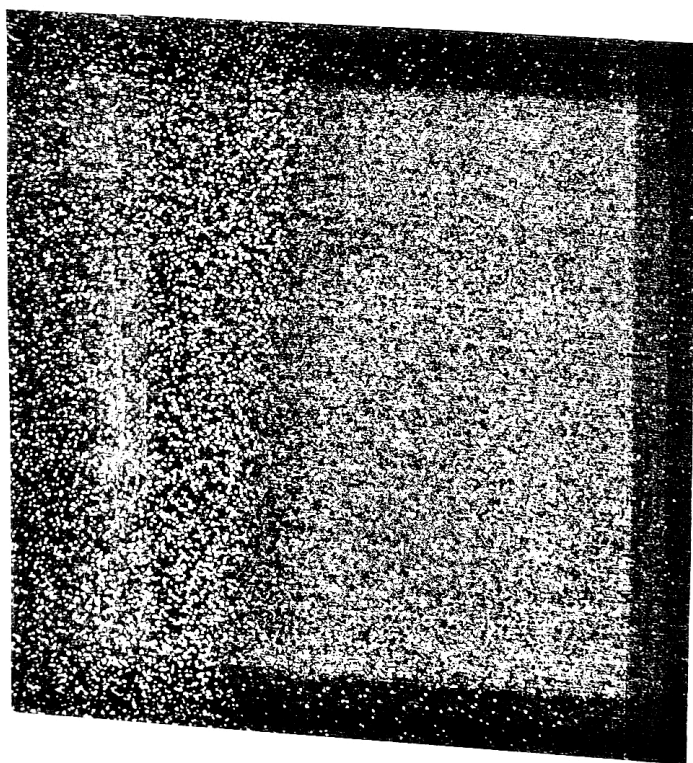


figura 109

Încercarea de duritate Vickers HV5 , s-a efectuat în conformitate cu prevederile STAS 492/1-85 ,STAS 5540/5-85,rezultatele fiind centralizate în tabelul 14.Imprecizia determinărilor este de $\pm 3 \%$.

tabelul 14

	Proba 1	Proba 2	Proba 3
MB-OL	153	151	156
	155	157	156
	156		165
ZIT-OL	164	161	185
	180	177	212
MT	192	187	201
ZIT-Inox	167	174	169
MB-Inox	164	187	174
	168	188	192
	172	192	

3.5.4.Concluzii.

-în întrefierul dintre țevi, între capetele celor două țevi , inducția magnetică radială are o variație de până la 20 mT.Pentru ca deformarea arcului electric să fie minimă este necesar ca această diferență să fie cât mai mică.

-introducerea unui miez magnetic în țeava din oțel inoxidabil conduce la scăderea inducției axiale , cu consecințe la îmbunătățirea stabilității rotației arcului , cât și la micșorarea diferenței inducției radiale.

-comparativ cu procedeele de sudare prin topire sau prin presiune intermediară , la sudarea cu arc rotitor este dificilă o echilibrare a cantității de căldură introdusă în cele două componente de natură diferită;

-se recomandă regimuri dure de sudare ,caracterizate prin curenți de sudare mari, la timpi scurți de încălzire;

-se sudează cu un întrefier mic ,față de cel utilizat la oțelurile carbon;

-analizând fibra deformată în zona îmbinării se poate aprecia că scurtarea la refulare a țevii din oțel carbon este aproape dublă față de cea a țevii din oțel inoxidabil.

CAPITOLUL 4

CONTRIBUTII ORIGINALE ȘI

CONSIDERATII FINALE

4.1.CONTRIBUTII ORIGINALE

În lucrare se prezintă rezultatele cercetărilor proprii efectuate în domeniul creșterii parametrilor calitativi și fiabilității procedului de sudare cu arc rotitor. Contribuțiile originale, teoretice și practice ale autorului pot fi sintetizate în cele ce urmează:

a)-în urma analizei acțiunii parametrilor de sudare ,aceștia se redefinesc în parametrii principali , secundari si globali.Se propune de asemenea o împărțire a parametrilor în parametrii de încălzire și parametrii de presiune.Se prezintă influența și interacțiunea dintre principalii parametrii de sudare.

b)-se concepe un sistem original de amorsare a arcului electric folosind un electrod de cărbune , montat într-un pistol tip SBAE.

c)-în scopul îmbunătățirii amorsării arcului electric se concepe principiul unei mașini de sudare cu două sănii , una de refulare și una de amorsare.

d)-se concepe ștandul de încercări tip SAR realizat în scopul încercării și experimentării sistemelor de magnetizare.Ștandul este foarte util și în cercetările legate de procesul de încălzire, în speță cele legate de deplasarea arcului pe circumferința profilelor poligonale;

e)-sunt concepute și realizate echipamentele de sudare cu arc rotitor folosite în cadrul lucrării de doctorat : ROTARC 4-1,PORTROTARC, ROTARC 6 . Pe lângă avantajele legate de caracteristicile tehnice , utilajele se remarcă printr-o așezare judicioasă a părților metalice de-o parte și de alta a întrefierului dintre țevi și față de sistemul de magnetizare.În acest fel pentru cazul materialelor feromagnetice, inducția magnetică radială în întrefier este practic constantă.

f)-pentru diagnosticarea procesului de sudare se propune metoda prelucrării emisiei sonore a zgomotului arcului.

g)-se concepe principiul unui sistem original de comandă și control al procesului de sudare, ce are ca mărime de intrare viteza de rotație a arcului. În timpul procesului de sudare se controlează permanent viteza de rotație a arcului stabilindu-se nivelul de palier al acestuia. Sistemul comandă trecerea la faza de refulare în momentul sesizării unei scăderi peste un anumit nivel al vitezei, scădere ce corespunde încheierii fazei de ardere stabilă și trecerii în faza următoare de ardere instabilă. Sistemul funcționează practic independent de valorile efective ale parametrilor etapei de încălzire (curent de sudare, tensiunea arcului, inducția magnetică). Se prezintă schema logică de funcționare a programului de achiziție și de comandă a fazei de refulare.

h)-se elaborează tehnologia de sudare cap la cap a profilelor cu secțiune plină, cu aplicabilitate la sudarea barelor Φ 10mm.

i)-se concepe un sistem de magnetizare, derivat dintr-o bobină stea clasică, cu care s-au realizat îmbinări ale următoarelor profile: pătrat, dreptunghiular și eliptic.

j)-stabilirea condițiilor de sudare pentru îmbinarea țevilor din oțel inoxidabil austenitic, iar în caz particular a țevilor Φ 6x1mm pentru schimbătoare de căldură. Pentru realizarea protecției gazoase, gazul a fost introdus prin țevile de sudat.

k)-elaborarea unei tehnologii de sudare a țevilor zincate pentru instalații.

l)-se prezintă rezultatele experimentărilor referitoare la comportarea la sudare cu arc rotitor a oțelurilor austenitice și nealiatelor precum și concluziile referitoare la obținerea îmbinărilor eterogene între acestea.

4.2.CONCLUZII.

Dintre concluziile cele mai importante se rețin următoarele:

-utilitatea departajării parametrilor de sudare în parametrii principali, secundari și globali, cât și utilizarea ca parametru global a vitezei de rotație a arcului electric;

-pentru secțiuni sudabile de până la 100mm^2 se recomandă utilizarea sistemelor pneumatice de acționare .

-acolo unde condițiile tehnologice o permit , se recomandă utilizarea sistemului de magnetizare interior.Printre avantajele acestuia se pot aminti simplitatea constructivă și implicit pretul redus,stabilizarea rapidă a arcului ($t < 100\text{mS}$) la frecvențe de rotire de 300-500 Hz,raport mare dintre valoarea componentei radiale respectiv axiale etc..

-în proiectarea unei mașini de sudare cu arc rotitor prezintă importanță simetria liniilor câmpului magnetic față de întrefier, simetrie ce poate fi influențată de amplasarea diferită a materialului feromagnetic de-o parte și de alta a sistemului de magnetizare.

-viteza de rotație a arcului rotitor reprezintă un parametru complex ce are o evoluție tipică în timp și caracterizează în mod global evoluția fazei de încălzire a materialului la sudare.

-folosind emisia optică și sonoră a arcului rotitor se poate măsura și înregistra evoluția în timp a vitezei de rotație .

-prin comanda fazei de refulare funcție de evoluția vitezei de rotație, timpul de încălzire cu arc rotitor devine un parametru derivat , a cărui valoare este un rezultat al acțiunii celorlalți parametri.

-sudarea cu arc rotitor se poate aplica eficient și la sudarea cap la cap a secțiunilor pline.Folosind regimuri moi,se obțin îmbinări sudate în care modificările structurale din timpul sudării ,în ansamblul lor sunt corespunzătoare, caracteristicile mecanice fiind la nivelul materialului de bază.

-folosind sistemele clasice de magnetizare la sudarea profilelor eliptice și poligonale, câmpul magnetic radial nu este constant pe circumferința țevelor. Aceasta prezintă un maxim în zona colțurilor ,respectiv a razei mici.Valorile diferite ale inducției radiale conduc la viteze diferite de deplasare a arcului rotitor în zona colțurilor, respectiv a laturilor.Astfel se obține o încălzire neuniformă, iar gradul diferit de deformare a celor două zone , conduce la defecte de sudare în zona laturilor.Cu o adaptare minimă, sistemele clasice pot fi utilizate la sudarea profilelor , obținându-se o variație a inducției radiale pe circumferința profilelor de numai 0,01 T.Folosind regimurile aplicate la țevile circulare, corespunzătoare secțiunilor pieselor, se obțin îmbinări sudate de calitate.

-problemele ce apar la sudarea oțelurilor austenitice sunt legate de asigurarea unei bune protecții gazoase și de obținerea unei inducții radiale de minim 0,04T.

-țevile zincate pentru instalații se pot suda bine folosind în general regimurile de sudare aplicate la oțelurile nealiat sau slab aliate (cu precădere regimuri dure), cu obligativitatea aplicării unor măsuri de protecția muncii în ceea ce privește gazele degajate în timpul procesului de sudare.

-în cazul îmbinării eterogene între un oțel carbon și un oțel inoxidabil austenitic , în întrefierul dintre țevi între capetele celor două țevi , inducția magnetică radială are o variație de până la 20 mT.Pentru ca deformarea arcului electric să fie minimă este necesar ca această diferență să fie cât mai mică.Introducerea unui miez magnetic în țeava din oțel inoxidabil conduce la scăderea inducției axiale , cu consecințe la îmbunătățirea stabilității rotației arcului cât și la micșorarea diferenței inducției radiale.În cazul sudării unor componente disimilare,comparativ cu procedeele de sudare prin topire sau prin presiune , este dificilă o echilibrare a cantității de căldură introdusă în cele două componente . Pentru realizarea unor astfel de îmbinări se recomandă regimuri dure de sudare, cu un întrefier mic față de cel utilizat la îmbinarea materialelor similare.Scurtarea la refulare a țevii din oțel carbon se poate aprecia ca fiind aproape dublă față de cea a oțelului inoxidabil.

BIBLIOGRAFIE

1.C.Boarnă ;D.Dehelean;l.Arjoca

Procedee neconventionale de sudare,Editura Facla ,Timișoara , 1980

2.D.Dehelean

Optimizarea tehnologică și energetică la sudarea cu arc rotitor , Teză de doctorat, IPTV Timișoara ,1978.

3.E.Penning

Entwicklung des MBL-Verfahrens in der DDR, ZIS Report,10/1990.

4.E.Schlebeck

MBL-Schweisstechnik der DDR in Zahlen,ZIS-Mitt,10.1981.

5.D.Rhau

MBL-Schweissen-ein erfolgreiches Rationalisierungsmittel zur Intensivierung der Schweisstechnik im Berliner Wohnungsbau,ZIS-Mitt.10/77.

7.M.Paasch

Schweissen von Rohrverschlässen mit dem MFL-P-Verfahren,ZIS-Mitt,10/1977.

8.W.Poetschukat

Lichtbogenlaufverhalten beim MBL-Schweissen von Rohr-Platte-Verbindungen ZIS-Mitteilungen,10/81.

9.H.Krohn

MBL-Pressschweissen von Rohr-Platte-Verbindungen, ZIS-Mitt, 10/1975

10.A.Terno

Sudarea îmbinărilor de tip țevă-placă,Raport de cercetare ISIM
Timișoara. 1987.

11.E.Penning

MBL-Schweissen von Rohr-Flanschverbindungen,ZIS-Mitt 10/1973.

12.E.Schlebeck

Rationalisierungsmöglichkeiten für Rohr-Flanschverbindungen ,
ZIS-Mitt, 10/1975.

13.S.Bauer

MBL-Schweissen von Rechteckprofilen aus Kupfer,ZIS-Mitt 10/1982.

14.S.Bauer

MBL-Schweissen von Kupfer-Rohren,Schweisstechnik 1/1980.

15.M.Paasch

Vorrichtungen zum MBL-Schweissen,ZIS-Mitt,10/1978.

16.M.Paasch

MBL-Schweissen gekürzter Kegelbuschsen,ZIS-Mitt,1984/10.

17.E.Penning

MBL-Schweissen bei der Fertigung von Bohrgestänge, ZIS-Mitt,
10/1981.

18.E.Penning

MBL-Schweissen an abnahmepflichtigen Bauteilen im
Kraftwerksanlagenbau , ZIS-Mitt , 10/1979.

19.J.Burmeister

Schweissnahtvorbereitung für das MBL-Schweissen,ZIS-Mitt,
10/1979

20.V.Schmidt

Magnetarc-Schweissen auch für Druckbehälter, Sonderdruck aus "Industrieanzeiger", 1986 / 68.

21.V.Schmidt

Pressschweissen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen - produktiv und genau , Sonderdruck aus " Werkstatt und Betrieb" 119/1986 ,3.

22.K.Wild

Magnetarc - Schweissen in den Automobilindustrie, Fachinformation von KUKA nr.-19 / 1982.

23.J.P.Delvas

Soudage a l arc tournant:gagnez du temps, "Lusine nouvelle" ,no.27, 1984.

24.H.C.Minhöfer

Schneller, genauer und rationeller ; BMW schweisst Gelenkwellen mit Magnetarc, Sonderdruck aus "Moderne Fertigung" ,10, 1982.

25.W.Welz

Unser Leben mit der Schweissttechnik, SLV München, Mitteilung nr 61/1980.

26. * * *

Magnetarc-Schweissen-das wirtschaftliche Verfahren.Material Informativ KUKA - Augsburg.

27. * * *

PCD-System für Magnetarc Schweissmaschinen, Material informativ, KUKA Augsburg.

28.C.Gombos

Cercetări privind dezvoltarea echipamentelor portabile de sudare cu arc rotitor , Clește de sudare tip Portrotare,Raport cercetare
ISIM,1992

29.S.V.Roșculeț

Proiectarea dispozitivelor,Editura Didactică și Pedagogică, București,
1982.

30.A.Terno

Sudarea echilibrului hidropneumatic Olteit,Raport de cercetare
ISIM,1985.

31.M.Paasch

MBL-Schweisstechnik:Geräte;Vorrichtungen, Anwendungsbeispiele,
ZIS Halle, 1979.

32.K.Tagaki

Aplications du soudage a l'arc tournant pour l'assemblage des
canalisations urbaines de gaz.Soudage et techniques complexes,
nr.7/8-83.

33.***

Magnetarc:Schweissen mit magnetisch bewegtem
Lichtbogen.Fachinformation von KUKA,Augsburg, 11, 1980 nr.36.

34.V.Micloși și colab.

Echipamente pentru sudare.Editura Didactică și Pedagogică
București,1984.

35. W. Welz

Entwicklung und Erprobung von Schweißgeräten für das Schweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen, Mitteilung nr.49/1975 SLV München.

36. W. Grutke

MBL- Werkstattschweißgerät ZIS 786, Schweißtechnik, 27.1977.

37. E. Penning

MBL-Werkstattschweißgerät ZIS 786 mit Doppelkopf, ZIS-Mitt, Halle, 10/1977.

38. M. Paasch

ZIS 11-37 eine neue MBL-Schweißmaschine, ZIS-Mitt 10/1982.

39. C. Gombos

Cercetări privind creșterea eficienței proceselor de sudare prin acțiunea unor câmpuri magnetice, Raport de cercetare ISIM , 1994..

40. D. Dehelean, A. Terno

Sudarea cu arc rotitor a țevilor cu diametre $\phi 4-30\text{mm}$, Raport de cercetare ISIM , 1984.

41. K. Mazac

Spulensysteme für das Schweißen mit MBL, Fachinformation von KUKA nr. 59/ 1984.

42. * * *

Pressschweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen, Merkblatt DVS 2934/ 1987.

43. * * *

Magnetarc: Welding using a magnetically-impelled arc, Technical Data Sheet KUKA, no.3.

44.H.Krohn

Automatisches Kehlnahtschweissen mit dem MBL-Verfahren kein Problem, ZIS - Mitt, 10/1979.

45.H.Krohn

Gibt es Grenzen für das automatische Kehlnahtschweissen, Schweisstechnik, 1/1980.

46.C.Gomboş ,A.Terno.

Maşina de sudare cu arc rotitor tip ROTARC 4-1,Brevet 719/1991

47.C.Gomboş,A.Terno

Proiect de execuţie pentru maşina de sudare cu arc rotitor tip ROTARC 4-1,Raport cercetare ISIM,1989.

48.D.Dehelean,C.Gomboş,A.Terno

Sudarea conductelor de alimentare a motoarelor Diesel,Consfătuire ASR,1991.

49.C.Gomboş ,A.Terno

Tehnologie de sudare a conductelor de alimentare pentru motoare Diesel ,Brevet 721/1991.

50..C.Iftimie,L.Farkaş,C.Gomboş.

Echipament de sudare cu arc rotitor tip Rotarc 6,Raport de cercetare ISIM,1989.

51.L.Farkaş,C.Gombos

Metodologie de elaborare a tehnologiei de sudare a bolţurilor şi cu arc electric rotitor,Raport cercetare ISIM ,1994.

52.D.Radu,St.Negoitescu,Gh.Perta

Tehnologia sudării prin presiune,Îndrumător pentru lucrări de laborator,IPTV Timișoara,1983.

53.R.Iovănaș

Tehnologii de sudare prin presiune,Lito Universitate Brașov,1981.

54.F.Erdmann-Jesnitzer

Akustische Untersuchungen am Schweisslichtbogen,Schweissen und Schneiden,3/1967.

55.Y.Arata

Investigation on welding arc sound.Effect of welding method and welding condition of welding arc sound,Transaction of JWRI, vol 8,no.1 ,1979.

56.Y.Arata

Investigation on welding arc sound.Evaluation by Hearing Acuity and some characteristics of arc sounds,Transaction of JWRI,vol.8 ,no.1 ,1979.

57.Y.Arata

Investigation on welding arc sound.Effects of Current waveforms on TIG welding arc sounds,Transaction of JWRI,vol 9,no.2, 1980.

58.E.Schlebeck

Der schall als Informationsträger für die Schweisstechnik ,
Schweisstechnik,Berlin, 30, 198

59.A.F.Manz

Welding Arc Sounds,Welding Journal, may 1981..

60.E.Schlebeck

Akustische Verfahrensdiagnose an Pressstumpf und Schmelzschweisverfahren, Schweisstechnik, Berlin 33, 1983, p340-343.

61.A.Crostack

Untersuchungen zur Anwendung der Schallemissionsanalyse für die zerstörungsfreie Prüfung von Abbrennstumpf - schweisverbindungen . Schweissen und Schneiden,10,1988.

62.E.Schlebeck

Akustische Diagnostik am MAG-Lichtbogen, Schweisstechnik ,Berlin ,1990/2.

63.E.Schlebeck

Some Investigation of acoustic emission at MIAB welding ,Doc IIW 212 - 551 - 83.

64.E.Schlebeck

Schallmesstechnik,ZIS Mitt, 10/1980.

65.R.Zimmermann

Prozessanalyse des Widerstandsabbrennstumpfschweisens, ZIS -Mitt 10/1983.

66.M.Gafițanu

Diagnosticarea vibroacustică a mașinilor și utilajelor ,Ed.Tehnică ,București ,1989 .

67.F.V.Sears

Fizică,Editura Didactică și Pedagogică,București, 1983.

68.A.Hristev

Mecanică și acustică,Editura Didactica si Pedagogică București,1984.

69.D.Dehelean,C.Gomboș

The Monitoring of the MIAB welding process, Congr. A.W.S.,
Chicago, 1992.

70.D.Dehelean,C.Gomboș

Studiu privind utilizarea emisiei acustice pentru monitorizarea calității
îmbinărilor sudate,Raport de cercetare, ISIM Timișoara 1991.

71.C.Gomboș

Arcul electric-emisia acustică,Referat 1 al stagiului de pregătire a
doctoratului,U.T.Timișoara,1994.

72.C.Gomboș

Sisteme de comandă a proceselor de sudare,Referat 2 al stagiului de
pregătire a doctoratului,U.T.Timișoara,1994.

73.C.Gomboș

Utilizarea calculatorului în sudură ,Referat 3 al stagiului de pregătire a
doctoratului,U.T.Timișoara,1994.

74.D.Dehelean,C.Gomboș

Experimentări privind posibilitatea conducerii prin emisie sonoră a
procesului de sudare cu arc rotitor,Raport de cercetare ISIM
Timișoara, 1991.

75.D.Dehelean,C.Gomboș

Urmărirea calității sudurilor printr-un nou sistem de comandă a
procesului de sudare cu arc rotitor,Consfătuirea Internațională
Productivitate și calitate în sudură și tehnici conexe",Timișoara,1992.

76.C.Gomboş

Diagnosticarea acustică a procesului de sudare cu arc rotitor, BID -
Sudura, nr. 4 ,1994.

77.D.Dehelean,C.Gomboş

Sudarea mecanizată a țevelor de diametre mici ,Revista "Sudura" nr 3
,1994.

78.H.J.Grätz

Erfassung von Parametern beim MBL-Schweissen zur
Gütesicherung, ZIS-Mitt 10/1979.

79.J.Burmeister

Steuerungen für das MBL-Schweissen ,ZIS-Mitt 1984/10.

80.Th.Lopp

Ermittlung der Lichtbogenrotation beim MBL-Schweissen, ZIS-Mitt,
1980/10.

81.J.Burmeister

M¹AB-Welding-state of development in the GDR, DOC III - 63 - 81 .

82.K.Wild

Schweissen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen und seine
industrielle Anwendung, Fachinformation von KUKA ,Augsburg ,10/
1981 .

83.C.Gomboş,L.Farkas

Ştand de măsurare a parametrilor ,Raport de cercetare ISIM
Timișoara,sept.1994.

84.I.G.Gagen

Das MBL-Schweissen von vollen Querschnitten, ZIS-Mitteilungen,
1975, p 478-487.

85.I.G.Gagen

Lichtbogen-Widerstansschweissen von Stäben mit vollem Querschnitt.Sammelwerk Erkundung und Gewinnung nützlicher Fossilien. Verl.Karpaty.

86.C.Gomboş,H,Daşcău,M.Iacob

Sudarea cu arc rotitor a barelor, Congresul ASR oct.1994.

87.A.Nentwig

Magnetfeldverteilung beim MBP-Schweissen an magnetischen und unmagnetischen Bauteilen, SLV München,Mitteilung 80/1986.

88.W.Welz

Versuche zum gezielten Beeinflussen der Lichtbogenbewegung beim Schweissen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen, SLV München Mitteilung no.85 / 1989.

89.W.Welz,A.Nentwig

Pressschweissen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen von nichtmagnetischen Stählen , Schweissen und Schneiden , nr. 42/1992.

90.W.Welz,A.Nentwig

Schutzgaseinfluss ,Erwärmungs - und Stauchvorgang beim Pressschweissen mit Magnetisch bewegtem Lichtbogen ,SLV München ,Mitteilung nr. 78/ 1986.

91.H.Krohn

Schweissen austenitischer Rohre, ZIS Mitt , 10/ 1977.

92.C.Gomboș

Sudarea cu arc rotitor a țevelor din oțel inoxidabil austenitic,
Consfătuirea "Noutăți în domeniul tehnologiilor și utilajelor pentru
prelucrare la cald a metalelor " Universitatea Brașov , aprilie 1993 .

93.C.Gomboș,S.Palici

Sudarea cu arc rotitor a țevelor pentru schimbătoare de căldură
,Brevet nr.725/1991.

94.E.Vărșândan

Studiu privind posibilitățile de sudare cu arcul electric și prin presiune
a butoaielor din tablă zincată de capacitate de 200 litri, Raport de
cercetare ISIM ,1991.

95.I.Rădoi

Introducere în coroziunea și protecția metalelor și aliajelor, Editura
Facla ,Timișoara 1982.

96.C.Gomboș

Cercetări privind sudarea cu arc rotitor a țevelor cu protecție
anticorozivă , Raport de cercetare ISIM Timișoara ,sept.1993.

97.C.Gomboș

Sudarea cu arc rotitor a țevelor zincate,Sesiunea "Realizări Tehnice și
Cultural Științifice pe Meleguri Arădene",Arad 1994.

98.D.Dehelean

Îmbinări sudate eterogene ,SID 106 ,1991.

99.T.Sălăgean

Oțeluri pentru structuri sudate, Editura Facla ,Timișoara 1974.

100.M.Truşculescu,A.Ieremia

Oţeluri inoxidabile și refractare, Editura Facla, Timisoara 1983.

101.V.Micloși

Bazele proceselor de sudare, Editura Didactică și Pedagogică,
București, 1988.