UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIŞOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

NICA" Timisoara
A

Nr. Inv.: **634.642**

Dulap: **369** Lit: **B**

TEZA DE DOCTORAT

Conducător : Prof.dr.ing. VOICU SAFTA m.c. Acad. Şt. Tehnice

Autor : Ing. ŢUNEA DANIEL

BUPT

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" Timişoara
Facultatea de MECANICĂ

Cercetări privind creşterea performanţelor procedeului de sudare WIG prin mecanizare

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICĂ"
TIMIŞOARA

Conducător Ştiinţific :

Prof.dr.ing. VOICU SAFTA m.c. al Academiei de Ştiinţe Tehnice

Autor : Ş.l. ing. ŢUNEA DANIEL

BUPT

Cap. 1 PREZENTARE GENERALĂ A PROCEDEULUI DE SUDARE WIG

1.1 Scurt istoric

Sudarea este legată de evoluția umană de-a lungul timpului. Primele îmbinări sudate aparțin unui anonim care se pierde în negura vremii, undeva acum 5 ... 6 000 de ani. Despre acest necunoscut şi procedeul de îmbinare inventat de el, învățatul venețian Vannoccio Biringuccio a scris în cartea sa Piorotehnica (1540) :

„ Sudarea mi se pare un lucru ingenios, puțin folosit acum, dar de mare interes practic în viitor "

Arcul electric este descoperit în anul 1801 de către Humphrey Davy, apoi în anul 1887 Nicolai Benardos inventează sudarea cu arc electric folosind electrodul de cărbune. În anul 1907 Oscar Kjellberg inventează electrodul învelit, realizând un pas enorm în tehnica sudării. Roberts, în anul 1919 inventează arcul electric protejat de gaze inerte şi de aici încep să se dezvolte procedeele pe care le cunoaştem şi utilizăm şi astăzi.

În România Academicianul Corneliu Micloşi a pus bazele şcolii de sudură.

Procedeele de sudare au apărut ca urmare a necesității de a rezolva probleme tehnice de îmbinare a materialelor noi care au apărut ca urmare a dezvoltării economice şi evoluției umane.

Ca un pasionat de această meserie şi mai ales de „cel mai curat procedeu de sudare" cum îl denumea regretatul Academician Traian Sălăgean, autorul acestei teze de doctorat a abordat o temă legată de creşterea performanțelor acestui procedeu prin mecanizare, cercetare şi testare, prelucrare de date experimentale, elaborarea unor corelații care să redea cât mai fidel fenomenul.

Teza de doctorat a fost elaborată sub îndrumarea directă a Prof. dr. ing. Voicu Safta m.c. al Academiei de Ştiințe Tehnice, coducătorul de doctorat al subsemnatului.

BUPT

Autorul a încercat să rezolve probleme de detaliu ale procedeului precum aspecte referitoare la ascuțirea electrozilor, curgerea gazului de protecție, testarea surselor de sudare.

Rezultatele vă stau la dispoziție şi vă rog să le analizați şi judecați cu înțelegere autorul lor nefiind altceva decât un simplu OM.

1.2 Stadiul actual

Procedeul de sudare WIG are la ora actuală un grad de utilizare relativ scăzut motivația fiind :

- dependența calității de pregătirea şi starea fizică a operatorului sudor
- productivitatea scăzută
- supraîncălzirea componentelor şi ZIT extins

Tehnologiile de sudare sunt uşor abordabile existând suficientă documentație şi normative. Procedura este prevăzută a fi acreditată prin normativele europene care sunt detaliate şi foarte clare.

Echipamentele de sudare care se produc şi se comercializează cuprind o gamă foarte largă fiecare oferind facilități şi performanțe care satisfac exigențele tehnologice aplicative.

Materialele care pot fi sudate cu acest procedeu nu sunt practic limitate, deci putem suda orice material metalic indiferent de reacția acestuia față de arcul electric ținând cont de protecția inertă realizată de gaze.

Avantajele şi dezavantajele acestui procedeu au reprezentat motivația de a porni la drum în tendința de a creşte performanța. Procedeul poate concura astfel cu procedee înrudite dar cu productivitate mult mai mare.

Utilizarea cea mai frecventă a procedeului este în varianta manuală, variantă care nu satisface din punct de vedere calitativ, fiind direct legată de factorul uman prin starea de spirit a acestuia, gradul de oboseală, gradul de pregătire profesională, etc.

Piața de echipamente de sudare oferă la ora actuală surse cu performanțe din ce în ce mai bune, facilități relativ la amorsarea arcului electric , menținerea acestuia, umplerea craterului final. Sursele moderne sunt cu invertoare care au avantajul greutății reduse, a gabaritului mic, a vitezei mari de reacție şi a posibilității de modulare a curentului. Forma pulsurilor de curent la sudarea în curent continuu poate fi modelată astfel încât avantajele să se reflecte asupra tehnologiei de sudare.

Firmele producătoare de structuri sudate sunt preocupate de calitatea produselor realizate, de creşterea productivității pentru încadrarea în normativele Europene care sunt

BUPT

ferme în ceea ce priveşte aplicarea unor reguli clare. Intrarea pe piaţă a firmelor producătoare de structuri sudate din România este posibilă numai prin alinierea la aceste normative. Dotarea cu surse performante, instruirea operatorilor sudori şi certificarea acestora, utilizarea de procedee omologate, respectarea cu strictețe a controlului calității acestor îmbinări, certificarea capacității de realizare a structurilor sudate a societăților comerciale, iată câteva condiții importante care nu pot fi ocolite când dorim să fim parteneri de afaceri cu țările Comunității Europene.

Dată fiind tradiția țării noastre în execuția de structuri sudate solicitările din exterior sunt substanțiale, dar problema este dacă puten face față cerințelor calitative. Investițiile în echipamente, dispozitive, operatori sudori şi operatori control , sunt absolut necesare. Chiar dacă eforturile financiare sunt aparent mari rezultatele nu vor întârzia să apară.

În acest context se încadrează prezenta lucrare care doreşte să ridice un segment mic al producției de structuri sudate pentru care există interes şi pe plan mondial, lucru dovedit de lucrările ştiințifice care au fost publicate de cercetători din Germania şi Franța.

Procedeul WIG este procedeul cu cel mai pur metal depus, gradul de oxidare, respectiv ardere a elementelor de aliere este scăzut, cu capacitatea de a suda metale active şi refractare care au o afinitate deosebită față de gazele din atmosferă. Spre deosebire de celelalte procedee care sunt limitate ca domenii de aplicație la diferite tipuri de materiale, procedeul WIG are gradul de universalitate mare.

1.3 Obiective urmărite în teză

Teza de doctorat elaborată îşi propune să parcurgă următoarele obiective :

- Studiu bibliografic al stadiului actual al dezvoltării procedeului WIG, echipamente, mecanizare, realizări.
- Cercetări privind arcul electric, gazul protector şi performanțete surselor de sudare cu scopul cunoaşterii în detaliu a fenomenelor şi stăpânirii acestora în vederea realizării unui stand de sudare mecanizată WIG
- Elaborare modelului matematic al arcului electric WIG care permite corelarea parametrilor electrici şi modelarea pe cale electronică a formei curentului şi tensiunii arcului electric
- Studiu asupra electrozilor de wolfram cu detalierea influenței modului de ascuțire, asupra concentrării arcului electric şi implicit a densității de energie
- Studiu bibliografic detaliat asupra argonului ca şi gaz protector, comportarea acestuia la temperatura ridicată a arcului electric

BUPT

- Cercetarea conului de argon pur la ieşirea din duza de gaz, corelarea debitului de gaz cu înălțimea conului de argon pur, pentru a asigura protecția maximă a băii de metal topit
- Program de testare a capacității de revenire a curentului şi tensiunii pentru o sursă de sudare în vederea utilizării acesteia la standul mecanizat
- Realizarea unui stand de sudare WIG mecanizat cu material de adaos preîncălzit
- Realizarea dispozitivului de preîncălzire a sârmei şi calculul temperaturii acesteia, funcție de viteza de avans şi curentul de preîncălzire
- Stabilirea corelațiilor care permit calculul ratei depunerii funcție de energia arcului şi temperatura de preîncălzire a sârmei
- Realizarea unui program de cercetare a influenței parametrilor tehnologici şi a temperaturii de preîncălzire a sârmei asupra parametrilor geometrici
- Prezentarea aparaturii şi a dispozitivelor de măsurare şi control utilizate în cadrul experimentelor realizate

1.4 Prezentarea procedeului de sudare WIG (TIG)

Procedeul este definit de numele său şi anume : Wolfram Inert Gaz, adică electrod nefuzibil (mai corect care nu participă la formarea cusăturii) şi protecție cu gaz inert, adică nu permite reacții ale atmosferei cu metalul aflat în stare topită.

Transferul termic la metalul de sudat se face cu un randament de 50 ... 60 %.

Procedeul este manual şi se poate utiliza în varianta cu material de adaos sau fără material de adaos. Este posibilă mecanizarea sau automatizarea acestuia.

Avantajele procedeului sunt :

- grad înalt de universalitate, adică practic pot fi sudate toate materialele metalice
- se poate suda în orice poziție
- calitate excelentă datorită protecției cu gaze inerte
- controlul independent al sursei termice şi a cantității de material de adaos
- control foarte bun al formării rădăcinii

Dezavantaje ale procedeului :

- productivitatea redusă motivată de faptul că procedeul este manual
- calitatea îmbinărilor dependentă de operatorul sudor
- imposibilitatea sudării în spații deschise cu curenți de aer
- rata depunerii este scăzută

BUPT

Performanțele uzuale ale procedeului sunt prezentate în tabelul 1.1

Tabelul 1.1 Performanțele procedeului WIG

Parametrii	Domeniu de valori
Diametrul electrodului de wolfram	0,5 ..... 6,3 mm
Curentul de sudare	10 ..... 500 A
Tensiunea arcului electric	10 ..... 30 V
Debitul de gaz inert	5 ..... 15 l/min
Viteza de sudare	10 ..... 80 cm/min
Diametrul materialului de adaos	0,8 ..... 5 mm

Domeniile de utilizare cele mai frecvente ale procedeului sunt :

sudarea tablelor subțiri

sudarea oțelurilor aliate, a aluminiului, a cuprului şi a metalelor reactive

sudarea rădăcinii

sudarea în condiții severe de calitate

Materialele impilcate în tehnica de sudare WIG sunt :

a) electrodul nefuzibil
b) gazul inert protector
c) vergeaua sau sârma material de adaos

Electrozii nefuzibili sunt confecționați din wolfram sau aliaje ale acestuia cu diferiți oxizi care conduc la creşterea rezistenței la uzură şi a temperaturii de topire. Aceşti oxizi sunt ai thoriului, zirconiului, ceriului sau lantaniului. Alierea conduce şi la îmbunătățirea caracteristicilor de funcționare, iar electrozii astfel obținuți pot fi folosiți la aplicații specifice.

Electrozii sunt realizați din wolfram, un metal cu caracteristici fizice care îl fac utilizabil pentru această aplicație. Simbolul chimic al wolframului este $W\ ^{74}_{183,92}$, temperatura de topire este 3 390 °C temperatura de fierbere, 5 500 °C , densitatea 19 300 kg / m^3. Alierea cu diferiți oxizi conduce la creşterea caracteristicilor necesare pentru a fi utilizat ca electrod nefuzibil după cum urmează :

Electrodul din wolfram pur (>99,5%) se utilizează la sudarea în curent alternativ a aluminiului şi magneziului. Temperatura de topire este de aprox. 3 400 A.

Electrodul din wolfram thoriat conține 0,9 ... 4,2 % ThO_2 , acestă aliere conducând la creşterea caracteristicilor termorezistive, a duratei de viață şi a uşurinței de amorsare. Se

BUPT

utilizează la sudarea în curent continuu. Se menționează caracterul uşor radioactiv al thoriului lucru care face ca în ultima perioadă să fie preferete alte tipuri de elecrtozi. Temperatura de topire este de aprox. 4 000 A.

Electrodul din wolfram ceriat are viteza de vaporizare mai mică decât cel aliat cu thoriu şi nu este radioactiv. Poate fi utilizat la sudarea în curent continuu şi alternativ. Temperatura de topire este de aprox. 4 300 A.

Electrodul din wolfram lantanat conține 0,9 ... 1,2 % LaO_2 , şi are caracteristici asemănătoare cu electrodul ceriat. Caracteristicile termice permit utilizarea la temperaturi peste 4 200 °C , iar rezistența la uzură este cea mai bună.

Electrodul din wolfram zirconiat conține 0,3 ... 0,9 % ZrO_2 şi deşi are caracteristici mai slabe de amorsare impurifică mai puțin baia de metal cu wolfram. Se utilizează la sudarea oțelurilor pentru reactoare nucleare. Temperatura de topire este de 3 800 A.

Alierea wolframului utilizat ca electrod la sudarea WIG are efecte benefice ca de exemplu creşterea temperaturii de topire, creşterea rezistenței la uzură, protejarea impurificării băii, cerşterea termoemisiei, etc.

Starea suprafeței electrozilor este importantă şi anume ea trebuie să fie lucioasă obținută prin atac chimic în băi de săruri sau rugoasă realizată prin polizare cu scule diamantate sau paste abrazive.

Curentul de sudare este dependent de tipul electrodului, diametrul electrodului de wolfram, felul curentului, polaritate, conform tabelului 1.2 [16]

Tabelul 1.2 Curenți de sudare funcție de diametrul electrozilor, natura şi polaritatea acestuia

Diam electrod mm	I_s [A] , c.a. W pur	I_s [A] , c.c. - W_{Th}	I_s [A] , c.c. + W_{Th}	Obs.
1.6	50 ... 100	70 ... 150	10 ... 20	
2.4	100 ... 160	150 ... 250	15 ... 30	
3.2	150 ... 210	250 ... 400	25 ... 40	
4.0	200 ... 275	400 ... 500	40 ... 55	

O problemă foarte importantă este ascuțirea electrozilor de wolfram pentru sudarea WIG, care trebuie să țină seama de natura şi polaritatea curentului de sudare, de tipul de material care se sudează şi evident de latura economică , pentru că prețul acestora este mare şi influențează în ansamblu costul sudării.

Ascuțirea, funcție de natura şi polaritatea curentului de sudare, se face ca în figura 1.1

BUPT

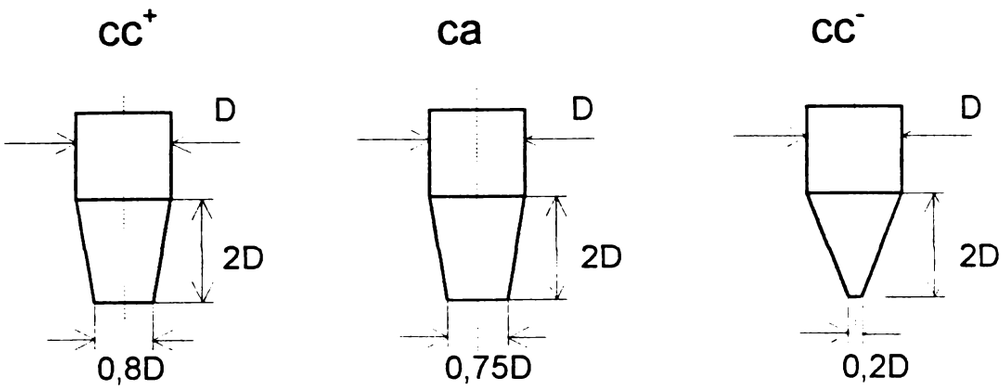


Fig. 1.1 Modul de ascuțire a electrozilor funcție de natura şi polaritatea curentului

Acest mod de ascuțire, ține seama de condițiile de lucru şi temperatura capătului electrodului de wolfram în timpul sudării. Evident că dorința operatorului este ca arcul electric să fie cât mai concentrat şi stabil. Ascuțirea se va face longitudinal, astfel încât striurile produse de polizor să fie pe direcția generatoarei electrodului de wolfram iar rugozitatea să fie cât mai mică, adică să se lustruiască această zonă.

Repartizarea căldurii pe electrod şi piesă este dependentă de natura şi polaritatea curentului de sudare şi se poate estima după cum urmează :

- cc^+ - 2/3 din căldura arcului electric pe electrodul de wolfram şi 1/3 pe piesă
- ca - 1/2 din căldura arcului electric pe electrodul de wolfram şi 1/2 pe piesă
- cc^- - 1/3 din căldura arcului electric pe electrodul de wolfram şi 2/3 pe piesă

Această repartiție este justificată de energia cinetică foarte mare la care ajung electronii liberi accelerați în spațiul arcului. Aceştia deşi au masă mică dobândesc o viteză foarte mare față de ionii „grei" a căror masă este semnificativ mai mare ca a electronilor deci au o inerție mai mare. Polul + va fi mai cald decât polul -, această afirmație fiind dependentă de starea catodului care emite electronii.

Din punct de vedere tehnologic varianta cc^+ care suprasolicită electrodul de wolfram, ducând la o uzură accentuată a acestuia, este nerecomandată. Sudarea ca este recomandată la aluminiu dat fiind fenomenul de microsablare care curăță pelicula de oxid de aluminiu şi permite sudarea comodă a acestuia. Sudarea cc^- este cea mai avantajoasă din punct de vedere al electrodului de wolfram, dată fiind uzura redusă a acestuia şi datorită multitudinii de materiale care pot fi sudate : oțeluri obişnuite şi slab aliate, oțeluri înalt aliate, cupru, nichel, titan, zirconiu, etc.

BUPT

Gazele inerte utilizate sunt argonul şi heliul. Acestea pot fi amestecate în procente mici cu gaze reducătoare ca hidrogenul, sau amestrecate între ele pentru a obține caracteristici ale amestecului dorite.

Caracteristicile fizice şi constantele acestor gaze sunt prezentate în tabelul 1.3 [3]

Tab . 1.3

Caracteristici	Unităţi măsură	Tip de gaz			Obs.
		Argon	Heliu	Hidrogen	
Densitatea la 0 °C şi 760 mm Hg	Kg / m^3	1,784	0,1785	0,0899	
Conductivitatea termică la 4,4 °C	$\frac{cal\ 10^4}{grd.cm.s}$	0,42	3,43	4,174	
Căldura masică	$\frac{kcal}{grd.kg}$	0,1253	1,25 (-180 °C)	3,389	
Exponentul adiabatic γ la 15 °C	-	1,668	1,66 (-180 °C)	1,41	
Presiunea critică	atm	49,6	2,336	13,22	
Temperatura critică	°C	-122,44	-267,95	-239,9	
Punct de topire	°C	-187,9	-272,1	-259,5	
Punct de fierbere	°C	-185,88	-268,94	-252,77	
Densitatea lichidului la punctul de fierbere	g/cm^3	1,404	0,125	0,0708	
Constanta dielectrică relativă la 0 °C şi 760 mm Hg	-	1,00056	1,000074	1,000264	
1 litru de apă dizolvă la 20 °C :	l	0,04	0,0088	0,0181	

În raport cu aerul , referitor la aceste gaze putem afirma următoarele :

- Greutatea specifică a argonului în raport cu aerul este mai mare, iar a heliului este mai mică ceea ce face ca la stabilirea debitului de gaz protector pentru sudarea în divese poziţii să se ţină seama de acest lucru.
- Potenţialul de ionizare al heliului este de 24,5 V , iar al argonului este de 15,7 V, ceea ce face ca arcul electric în argon să fie mai stabil decât în heliu, iar puterea arcului electric în heliu să fie mai mare decât în argon la aceiaşi valoare a curentului de sudare şi aceiaşi lungime a arcului electric.
- Masa mare a ionilor de argon produce microsablarea pe când heliul nu este capabil de aşa ceva.
- Preţul de cost al argonului este mai mic decât al heliului.

BUPT

La sudarea în mediu de argon sau amestecuri cu minimum 25% argon, apar fenomene tipice care sunt favorabile în anumite cazuri şi anume microsablarea şi autoascuţirea.

Microsablarea apare la sudarea CC^+ sau la sudarea în curent alternativ şi constă în bombardarea suprafeţei piesei de sudat, cu ioni grei ai argonului capabili să dizloce pelicule de oxizi greu fuzibili, ca de exemplu ai aluminiului. Fenomenul este favorabil pentru că acest oxid are proprietăţi care ar împiedeca sudarea în condiţii normale. Acest fenomen nu apare la sudarea în mediu de heliu pur pentru că masa atomilor de heliu este mult mai mică decât a atomilor de argon ($He_{4,0026}$; $Ar_{39,948}$) .

Autoascutirea apare la sudarea CC^- şi constă în bombardarea vârfului electrodului de wolfram de către ionii grei ai argonului. Aceştia sunt capabili să rupă microparticule de pe suprafaţa electrodului şi să realizeze aşa numita autoascuţire a acestuia.

Adăugarea de hidrogen în gazul protector determină o creştere a tensiunii arcului electric datorită potenţialului de ionizare mai mare a acestuia decât a argonului şi deci o creştere a energiei şi temperaturii arcului. Acest aspect este favorabil în cazul sudării unor grosimi mari.

Argonul pur se utilizează la sudarea tuturor materialelor metalice, iar la cele cu sensibilitate mare faţă de oxidare se recomandă utilizarea acestuia şi ca protecţie la rădăcină.

Heliul sau amestecuri ale acestuia cu argonul se recomandă la sudarea aluminiului şi cuprului în curent continuu.

Amestecuri ale argonului cu hidrogen sunt utilizate la sudarea oţelurilor înalt aliate Cr – Ni şi la sudarea aliajelor de nichel.

La sudarea metalelor reactive, ca de exemplu titanul, se va asigura protecţia pe ambele părţi ale piesei de sudat până când temperatura acesteia va ajunge sub pragul de sensibilitate faţă de gazele din atmosferă.

Vergelele material de adaos trebuie să aibă compoziţia chimică compatibilă cu a materialului de bază, ţinând cont de faptul că la nivelul arcului electric protejat de argon sau heliu nu se produc reacţii chimice prin care să se piardă cantitativ elemente de aliere.

Modul operator presupune menţinerea pistoletului de sudare în poziţie aproape verticală şi introducerea vergelei în baie la un unghi faţă de orizontală de 4 ...5°. Se menţionează faptul că vergeaua, respectiv capătul acesteia, nu se scoate din perdeaua de gaz protector pentru a evita oxidarea capătului acesteia şi introducerea de oxizi în baia de metal topit. Diametrul vergelei este strict dependent de grosimea materialului de bază, şi trebuie să asigure topirea în picături mici care să se transfere uşor în baie.

BUPT

Parametrii tehnologici de sudare se vor alege funcție de aplicație. Ei depind de tipul materialului de sudat, de grosimea acestuia, poziția în care se sudează.

Se vor alege :

tipul şi diametrul electrodului de wolfram funcție de grosimea piesei de sudat, configurația rostului şi material

curentul de sudare pentru fiecare trecere

tipul de gaz protector şi debitul acestuia

tipul de gaz de formare şi debitul acestuia pentru protejarea rădăcinii

Sursele moderne de sudare permit reglarea unui număr mare de parametrii astfel încât procesul de sudare să poată fi complet controlat. Conform figurii 1.2 aceşti parametrii sunt :

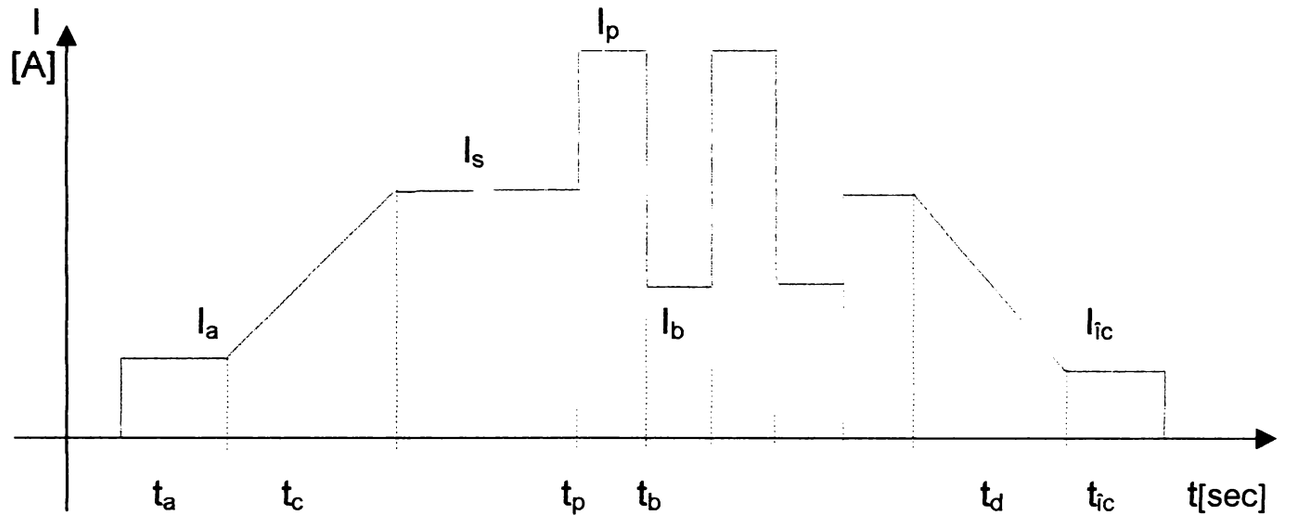


Fig. 1.2 Ciclograma curentului

Curent de amorsare - I_a

Curent de sudare - I_s

Curent de puls - I_p

Curent de bază - I_b

Curent de închidere crater –$I_{îc}$

Timp de amorsare

Timp de creştere a curentului la valoarea de sudare

Timp de puls

Timp de bază

Timp de descreştere pentru închidere crater

Timp de menținere pentru închidere crater

BUPT

Varietatea acestor parametrii şi posibilitatea de reglare şi control a acestora este benefică pentru mecanizarea şi automatizarea proceselor de sudare WIG.

Amorsarea arcului electric se poate realiza cu ajutorul oscilatorului de înaltă frecvenţă sau cu sistemul LIFTARC care la scurtcircuit menţine un curent mic (5 A) care nu poate topi electrodul sau materialul de bază deci nu-l impurifică, iar la desprindere sursa comandă creşterea curentului la valoarea prescrisă determinând amorsarea arcului electric.

Toate facilităţile oferite de sursele moderne au efecte tehnologice deosebite permiţând crearea de tehnologii specifice materialelor pe care le sudăm.

Un lucru esenţial pentru obţinerea calităţii la sudare este poziţionarea pistoletului de sudare şi a vergelei material de adaos, precum şi menţinerea constantă a lungimii arcului electric. În figura 1.3 sunt prezentate poziţiile corecte la sudare în câteva cazuri frecvent întâlnite.

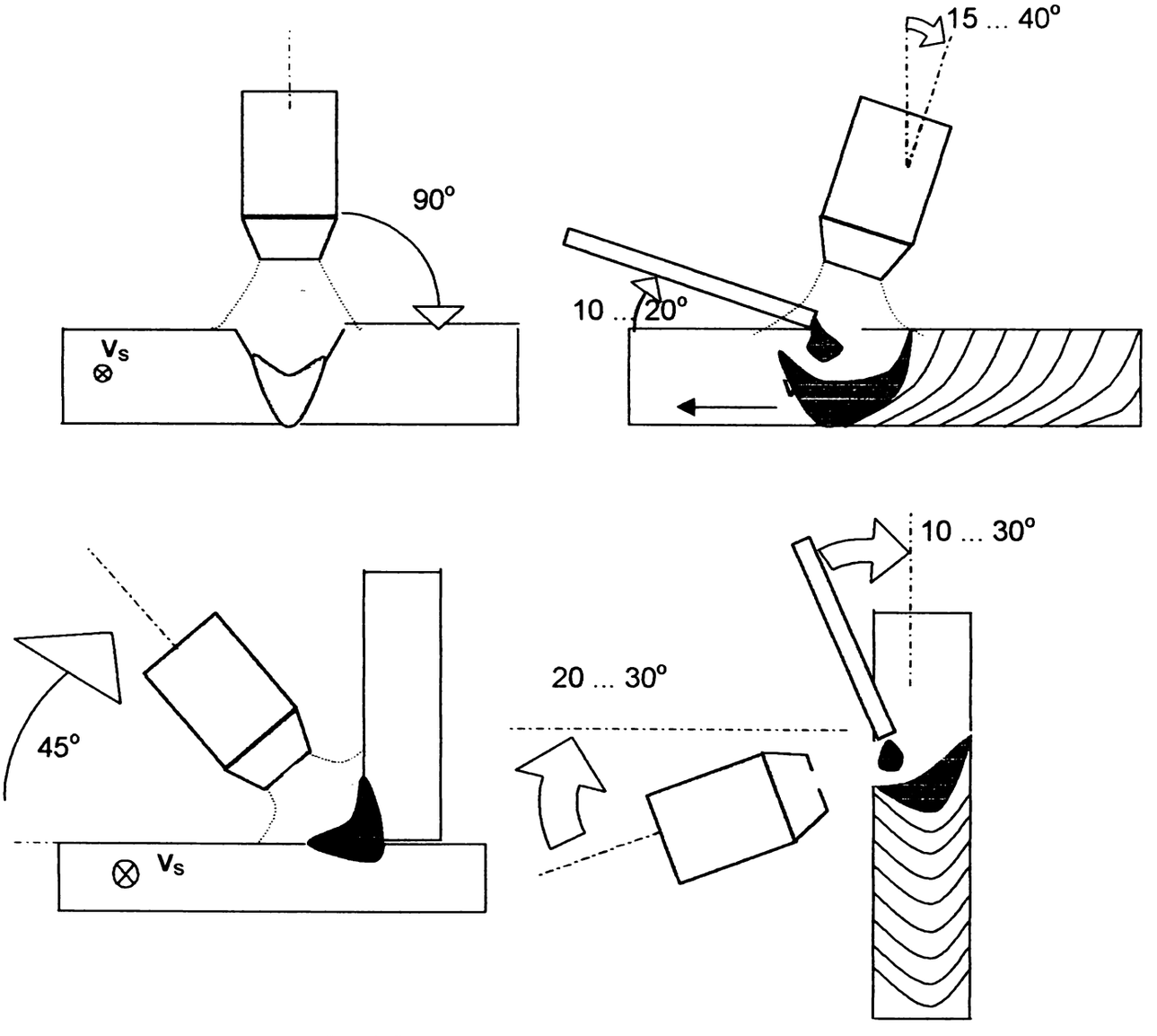


Fig. 1.3 Poziţia pistoletului şi a vergelei la sudarea WIG

BUPT

Practica demonstrează că poziția pistoletului de sudare precum şi a vergelei este astfel aleasă încât topirea componentelor să se facă în condițiile care asigură pătrunderea pe toată grosimea componentelor şi sprijinirea băii metalice topite. Aceste poziții nu satisfac în totalitate toate cazurile de aceea rămâne la latitudinea inginerului şi a tehnologului să rezolve situațiile deosebite.

1.5 WIG mecanizat prezent şi perspective

La ora actuală există firme care au rezolvat sudarea WIG mecanizat a țevilor în poziția cap la cap. Aceste instalații sunt complexe, ele modifică parametrii tehnologici pentru sudarea în minimum patru poziții (sectoare) : orizontal, vertical descendent, peste cap şi vertical ascendent.

Firma POLYSUDE, Messer EWM, Tesch, au realizări în acest sens.

Revenind la performanțele surselor de sudare WIG, am analizat performanțele unora, fabricate de firmele : REHM, FRONIUS, CLOOS, EWM, KEMPPI, ESSAB şi MATSUSHITA – Panasonic.

Sursele pot suda în curent continuu sau continuu şi alternativ, fiind dotate cu unul sau două invertoare. Ciclul prezentat anterior poate fi realizat de toate sursele analizate.

Amorsarea arcului electric se poate face prin trei metode :

- Oscilator de înaltă frecvență, care are dezavantajul pericolului de a străpunge izolația prin vârfurile de tensiune
- Liftarc – scurtcircuit cu menținerea curentului la 5 A şi creşterea curentului la ruperea contactului până la valoarea prescrisă. Amorsarea se face în CC^- la sudarea cu argon şi în CC^+ la sudarea cu amestec argon cu heliu.
- RPI (reversed polarity ignition) – amorsarea se face în CC^+ pe o durată prescrisă nereglabilă, timp care asigură încălzirea vârfului electrodului, după care se comută curentul de sudare CC^- sau CA

Această ultimă variantă este aplicată de firmele FRONIUS şi CLOOS.

Firma EWM practică amorsarea la sudarea în curent alternativ prin pornire pe CC^+ având posibilitatea de a regla un balans de amorsare menținând un timp mai mare pe pulsul pozitiv decât pe cel negativ, realizând astfel preîncălzirea electrodului. Sudarea în curent continuu pol + la electrodul de wolfram, se face numai în cazuri speciale la folii, iar varianta nu este recomandată datorită uzurii exagerate a electrodului. Unele surse din fabricație nu permit comutarea pe această polaritate.

BUPT

Sudarea în curent continuu pol – la electrod este posibilă cu toate sursele de sudare şi se aplică la sudarea oţelurilor, a cuprului, titanului, zirconiului, etc. Aluminiul se poate suda în curent alternativ şi sursele care permit sudarea în curent alternativ au un al doilea invertor, preţul acestora fiind mai mare.

Modularea curentului de sudare pentru diverse aplicaţii este posibilă datorită dezvoltării electronicii de putere, sursele devenind tot mai uşoare şi mai performante.

Sudarea în curent alternativ oferă multiple posibilităţi. Astfel curentul alternativ poate avea forme de undă tringhiulare, rectangulare sau sinusoidale cu trecere rapidă prin zero ca în figura 1.4

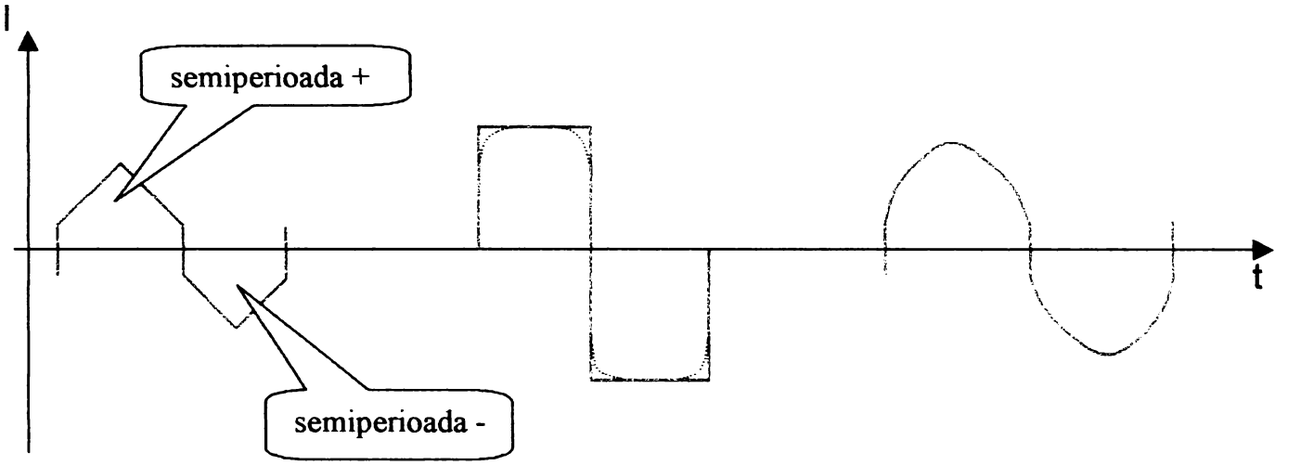


Fig. 1.4 Forme de undă ale curentului alternativ

Aceste forme de undă sunt utilizate la diverse aplicaţii la sudarea aluminiului şi aliajelor acestuia. Schimbarea bruscă a direcţiei curentului provoacă un zgomot, care la frecvenţe joase este deranjant şi poate fi redus prin curbarea traiectoriei şi racordarea acesteia. Firma REHM are un patent în acest sens.

Un caz particular la sudarea aluminiului este MIX TIG, cu sursa YC-300WX3 realizată de firma Matsushita Panasonic, care sudează cu un curent mixat continuu şi alternativ conform figurii 1.5

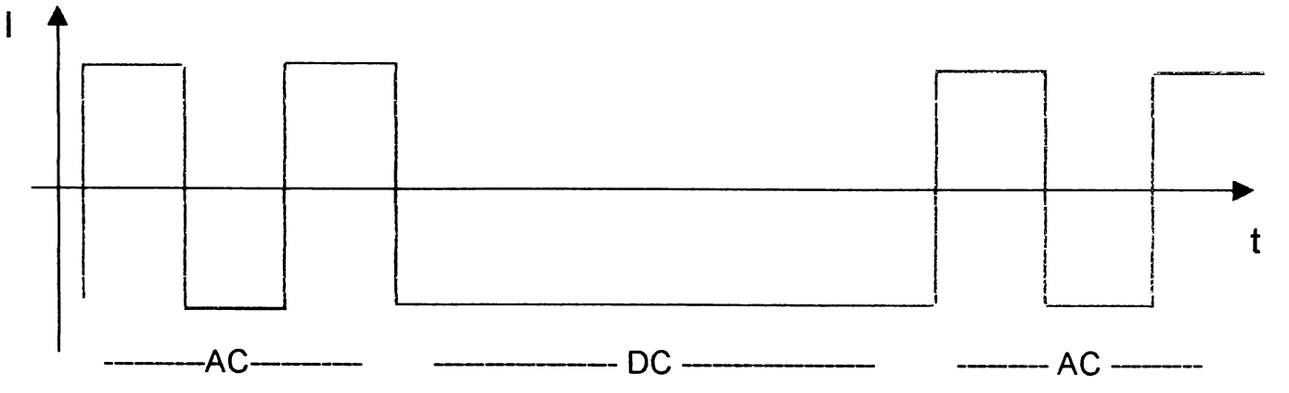


Fig. 1.5 Ciclograma curentului la sudarea aluminiului MIX TIG

BUPT

Avantajele acestui mod de a suda sunt :

- curățarea bună a suprafeței pieselor de aluminiu
- pătrundere mai mare ca la sudarea în curent continuu
- concentrarea arcului electric mai puternică decât la variantele clasice
- consum scăzut al electrodului de wolfram

La sudarea în curent alternativ există posibilitatea de a forma sfera de pe capătul electrodului de wolfram pur, chiar la începerea procesului de sudare. Aplicația este realizată prin amorsarea pe o durată determinată în CC^+ după care se trece în CA. Valoarea curentului şi durata de formare a sferei este prereglată şi specifică electrozilor din wolfram pur, pentru diferite diametre. Firmele Cloos şi Fronius permit această facilitate.

Sudarea WIG pulsat are o sumedenie de avantaje precum :

- creşterea pătrunderii față de curentul continuu echivalent
- reducerea supraîncălzirii şi deci a ZIT ului
- concentrarea arcului elctric, creşterea stabilității acestuia
- posibilitatea de a suda componente subțiri cu viteze mari de sudare
- controlul exact al căldurii introduse în materialul de bază, stăpânirea volumului de topitură

În timpul operației de sudare , sudorul poate să reducă curentul la o valoare prescrisă permițând solidificarea parțială a băii metalice. Acest lucru se face prin acționarea unui microîntrerupător aflat pe pistoletul de sudare, revenirea la curentul inițial făcându-se printr-o nouă acționare a acestui microîntrerupător. Procesul se numeşte pulsare manuală şi este aplicat la sudarea rădăcinii, la rosturi neuniforme, poziții dificile de sudare.

Frecvența pulsurilor este un parametru important, astfel aplicația se împarte în sudare cu frecvență mică, medie şi înaltă.

Sudarea cu frecvență mică (< 7 Hz) se aplică la sudarea rădăcinii şi în poziții dificile. Diferența de temperatură a piesei între curentul de puls şi cel de bază se manifestă doar la frecvențe mici. În figura 1.6 este reprezentată influența frecvenței pulsurilor asupra temperaturilor T_p pe puls şi T_b pe bază [101].

Inerția termică a materialului de sudat este cea care nu permite ca intr-un interval de timp mic ($t_{bază}$) să se producă o răcire substanțială, astfel că, la frecvențe de pulsare peste 6 Hz temperatura nu mai pulsează în ritmul curentului, ci se menține relativ constantă.

BUPT

Sudarea cu frecvențe de la 10 Hz la câteva sute de Hz se numeşte pulsare metalurgică şi efectul de finisare al granulației se resimte la metale ca titan sau zirconiu.

Sudarea cu frecvețe de până la 8 kHz produce o constrângere magnetică a arcului electric, cauzată de forța Lorentz, astfel arcul devine mai rigid şi cu o concentrare mai mare de energie. Rigiditatea arcului este benefică la sudarea cu viteze mari unde apare tendința de suflaj termic. Suflajul termic se manifestă prin devierea arcului electric în sens invers vitezei de sudare, datorată tendinței petei anodice de a rămâne pe material cald. Această tendință poate fi contrată prin creşterea frecvenței pulsurilor sau câmp magnetic.

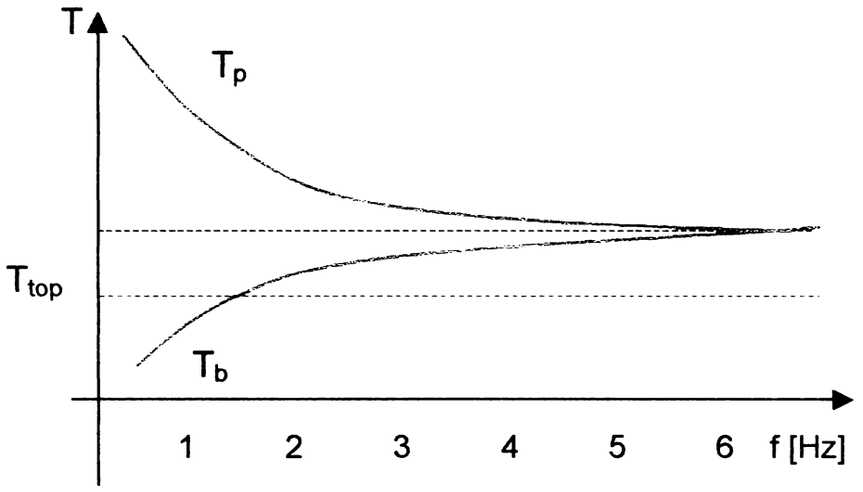


Fig. 1.6 **Influența frecvenței pulsurilor asupra temperaturilor T_p pe puls şi T_b pe bază.**

Sudarea WIG cu impulsuri de înaltă frecvență face legătura dintre sudarea WIG şi sudarea cu plasmă, iar în anumite condiții poate concura cu sudarea cu lasser, având avantajul unei investiții mult mai mici.

Sudarea WIG a tuburilor, cu mare viteză pe maşini specializate este utilizată la „Sanevit" Arad pentru acele de siringă, respectiv de „Zopas Industries" pentru tecile de rezistențe electrice. Sudarea seb face cu frecvență mare de ordinul a 400 ... 500 Hz şi viteze mari de sudare. Datorită vitezelor mari care depăşesc 6 m/min poate apare suflajul termic care este contracarat cu câmp magnetic.

Perspectiva acestui procedeu este dezvoltarea şi perfecționarea lui pentru a putea concura ca productivitate şi performanță calitativă procedeele utilizate la ora actuală. Mecanizarea însoțită de creşterea ratei de depunere vor conduce la obținerea creşterii performanțelor calitative şi apropierea de celelalte procedee cu aplicabilitate largă la ora actuală. Investițiile necesare sunt limitate la strictul necesar pentru ca echilibrul preț / performanță să nu scoată din competiție procedeul aflat în studiu.

BUPT

Din studiul realizat rezultă că performanțele surselor de sudare WIG sunt în continuă creştere şi tendința este de a acoperi cerințele pentru mecanizare legate de stabilitatea arcului electric , amorsarea uşoară fără impurificarea electrodului de wolfram , protejarea operatorului

BUPT

Cap. 2 CERCETĂRI PRIVIND ARCUL ELCTRIC , GAZUL PROTECTOR, PERFORMANȚELE SURSELOR DE SUDARE

2.1 Modelul matematic al arcului electric WIG

Studiul modelului matematic al arcului electric, [15] este necesar în cazul mecanizării sau automatizării procesului de sudare, pentru a cunoaşte şi corela parametrii de care depinde buna funcționare a întregului sistem.

Variația lungimii arcului electric la sudarea WIG este posibilă atât la varianta manuală cât şi la cea mecanizată, cauzele fiind :

- conducerea manuală a procesului
- erori ale sistemului de conducere a pistoletului de sudare
- erori de poziționare a pieselor de sudat, etc.

După cum se observă din fig. 2.1 variația de lungime a arcului electric conduce la variații ale tensiunii arcului şi ale curentului prin arc. Caracteristica sursei $U_S=f(I_S)$ este intersectată de două caracteristici ale arcului electric corespunzătoare lungimilor de arc electric l_{a1} şi l_{a2} între care se considera că au loc variațiile.

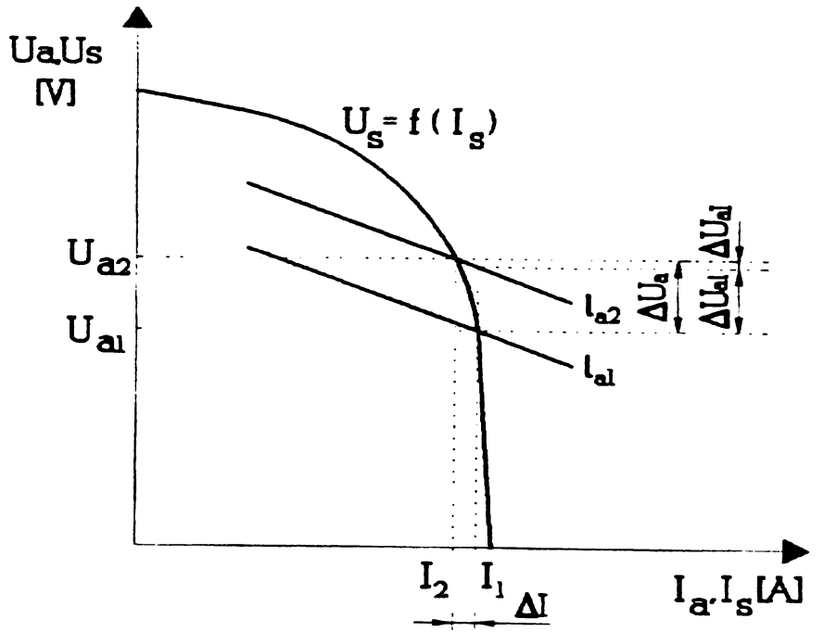


fig. 2.1 Influența variației lungimii arcului electric asupra tensiunii

BUPT

Variația de tensiune ΔU_a are două componente :

- componenta dependentă de lungimea arcului - ΔU_{al}
- componenta dependentă de curentul prin arc - ΔU_{aI}

Componenta ΔU_{al} reprezintă variația tensiunii arcului electric la curent constant şi modificarea lungimii arcului, iar ΔU_{aI} reprezintă variația tensiunii arcului electric la lungimea arcului constantă şi modificarea curentului.

Rezultă :

$$\Delta U_a = \Delta U_{al} + \Delta U_{aI} \tag{2.1}$$

$$\frac{dU_a}{dt} = \frac{dU_{al}}{dt} + \frac{dU_{aI}}{dt} = \frac{\partial U_{al}}{\partial l_a} \cdot \frac{dl_a}{dt} + \frac{\partial U_{aI}}{\partial I_s} \cdot \frac{dI_s}{dt}$$

$$\frac{dU_a}{dt} = E_c \cdot \frac{dl_a}{dt} + tg\alpha_a \frac{dI_s}{dt} \tag{2.2}$$

unde :

E_c = intensitatea câmpului electric în arc

$tg\ \alpha_a$ = rezistența dinamică a arcului electric

Prin integrarea relației (2.2) rezultă :

$$U_a = E_c\, l_a + I_s\, tg\alpha_a + C \tag{2.3}$$

Constanta de integrare C se determină din condițiile limită la scurt circuit, adică $l_a = 0$, $U_a = 0$ şi $I_s = I_{sc}$. Rezultă valoarea lui C :

$$C = - tg\alpha_a\, I_{sc} = \frac{tg\alpha_a}{tg\alpha_s} \cdot U_0$$

După înlocuirea constantei C în relația (2.3) rezultă :

$$U_a = E_c\, l_a + I_s\, tg\alpha_a + \frac{tg\alpha_a}{tg\alpha_s} \cdot U_0 \tag{2.4}$$

Modelul matematic al relației (2.4) este prezentat în figura 2.2 de mai jos :

BUPT

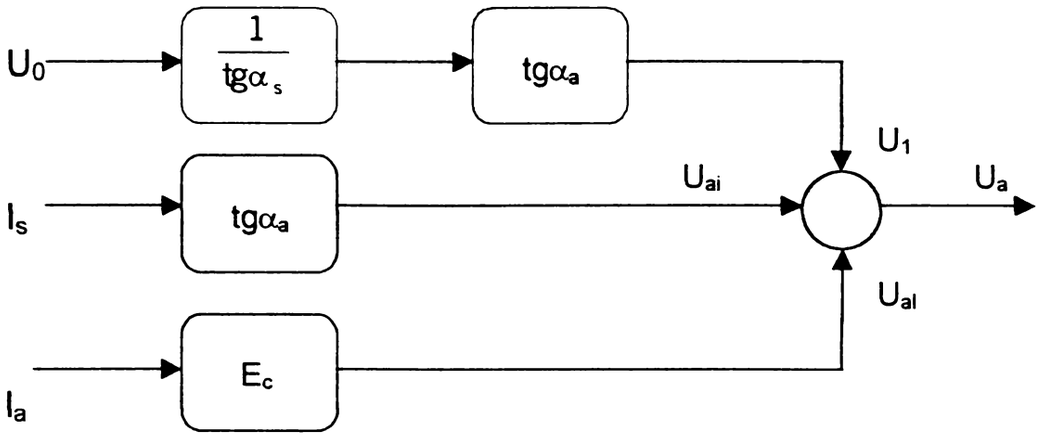


fig. 2.2 Modelul matematic al relației 2.4

Variațiile lungimii arcului electric modifică rezistența acestuia şi implicit curentul de sudare

$$\frac{dI_S}{dt} = -\frac{E_c}{K_S} \cdot \frac{dl_a}{dt} \qquad (2.5)$$

După integrarea relației rezultă :

$$I_S = -\frac{E_C}{K_S} \cdot l_a + C \qquad (2.6)$$

Constanta de integrare C se determină din condițiile limită la scurtcircuit şi anume : $l_a=0$; $I_S = I_{sc}$. Rezultă :

$$C = -\frac{U_0}{tg\alpha_s} \qquad (2.7)$$

Relația care descrie modul de variație a curentului va deveni :

$$I_S = -\frac{E_C}{K_S} \cdot l_a - \frac{U_0}{tg\alpha_s} \qquad (2.8)$$

Modelul matematic al relației (2.8) este prezentat în figura 2.3

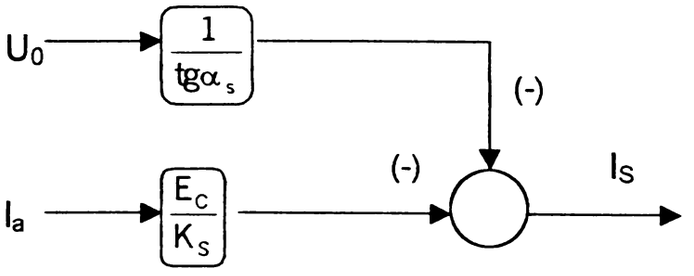


fig.2.3 Modelul matematic al relației 2.8

BUPT

Lungimea reală a arcului electric (l_{ar}) nu este constantă deoarece procesul se desfăşoară manual, iar în cazul în carte este mecanizat pot să apară erori de poziționare a pieselor de sudat sau ale căilor de rulare, care deşi sunt accidentale afectează lungimea arcului (l_a)

$$l_{ar} = l_a \pm \Delta l_a \qquad (2.9)$$

Modelul matematic al relației (2.9) este prezentat în figura 2.4

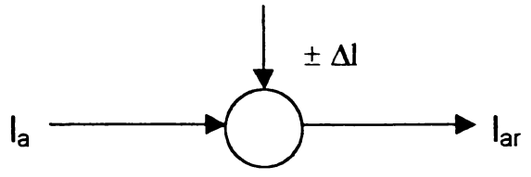


fig. 2.4 Modelul matematic al relației 2.9

Tensiunea reală a arcului electric (U_{ar}) nu este constantă ea fiind afectată de fluctuațiile tensiunii rețelei de alimentare a sursei, (ΔU_r) care sunt inerente. Aceste fluctuații se concretizează prin variații ale tensiunii arcului ΔU_a Variațiile tensiunii arcului sunt proporționale printr-un coeficient cu fluctuațiile rețelei.

$$U_{ar} = U_a \pm \Delta U_a \quad ; \quad \Delta U_a = K_U \cdot \Delta U_r \qquad (2.10)$$

Modelul matematic al relațiilor (2.10) este prezentat în figura 2.5

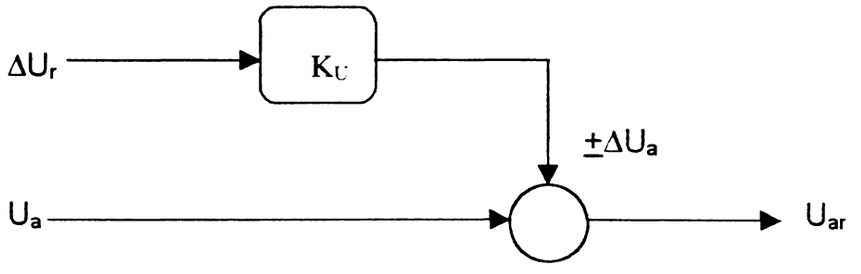


fig. 2.5 Modelul matematic al relației 2.10

Interconectarea relațiilor, respectiv al modelelor matematice prezentate conduc la modelul matematic al arcului electric în cazul sudării cu electrod nefuzibil (WIG) prezentat în fig. 2.6 Cu ajutorul modelului matematic se va determina funcția de transfer a arcului electric.

BUPT

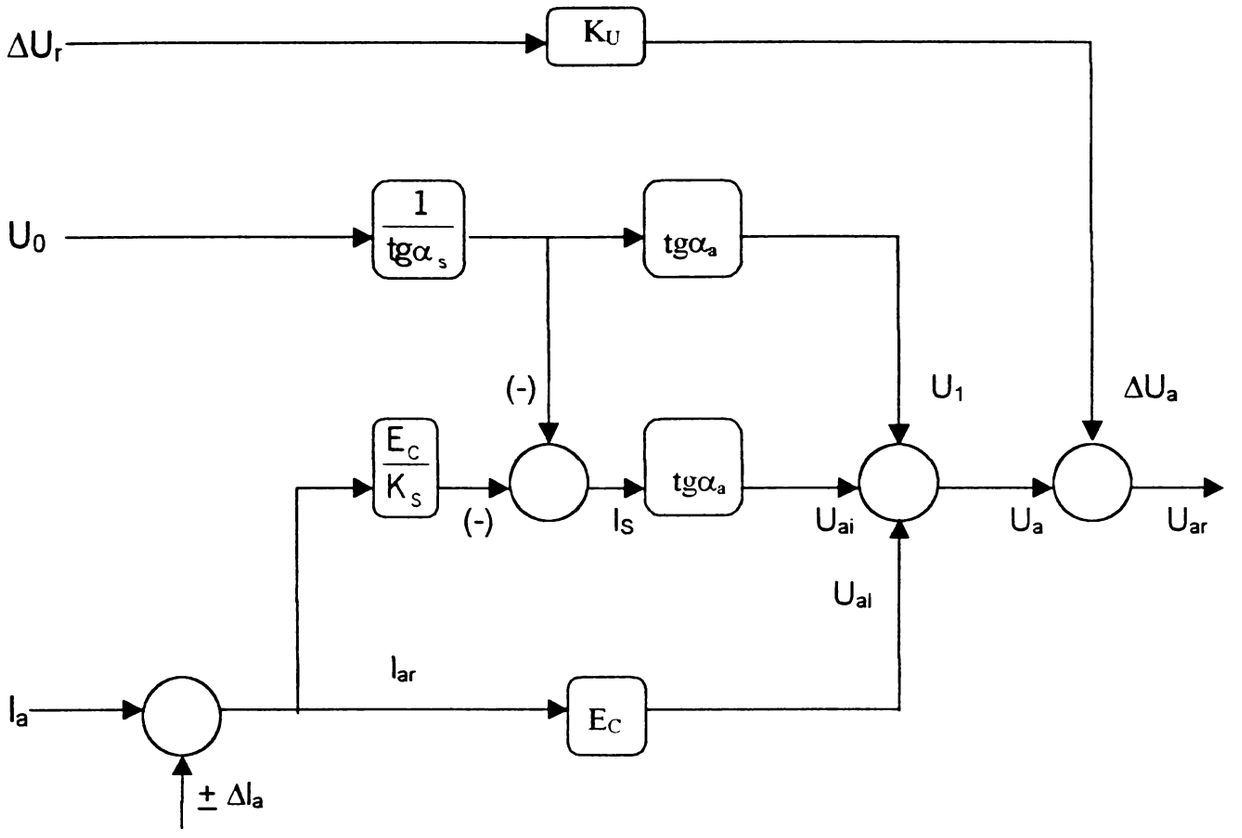


fig. 2.6 Modelul matematic pentru electrod nefuzibil

Pe baza modelului mai sus prezentat şi a relaţiilor anterioare se determină funcţia de transfer a arcului electric pentru electrodul nefuzibil prin interconectarea relaţiilor anterior modelate :

$$U_{ar} = - \, tg\alpha_s \, \frac{E_C}{K_S} \, (I_a \pm \Delta I_a) \pm K_U \, \Delta U_r \qquad (2.11)$$

Funcţia de transfer nu conţine curentul de scurtcircuit I_{sc} , acest curent , conform caracteristicii sursei şi a arcului influenţează curentul de sudare şi tensiunea arcului electric, influenţe care se anulează reciproc. Rezistenţa diferenţială a sursei în punctul de funcţionare, $tg\alpha_S$ este negativă, deci la creşterea lungimii arcului electric se produce o creştere a tensiunii acestuia. Relaţia 2.11 permite elaborarea unui progarm de calculator, care să controleze funcţionarea arcului electric şi corectarea parametrilor care pot perturba arcul, faţă de valori prescise.

Sudarea WIG pulsat

Pulsarea curentului de sudare se obţine prin saltul de pe o caracteristică pe alta de funcţionare a sursei, salturi comandate de procesor sau blocurile electronice, funcţie de tipul sursei. În figura 2.7 sunt prezentate posibilităţile de pulsare între punctele de intersecţie ale caracteristicilor sursei şi caracteristica arcului electric. Cu 1 ... 4 sunt notate pe desen

BUPT

caracteristicile exterioare ale sursei. Caracteristica arcului electric intersectează caracteristicile sursei în punctele de funcționare care proiectate pe axa curentului dau valorile intre care se realizează pulsarea curentului, intervale marcate cu ΔI_1, ΔI_2, ΔI_3. Variația tensiunii ΔU este mică datorită tendinței de liniarizare a caracteristicii arcului în zona recomandată pentru sudare.

După cum se observă din figura 2.7, pentru domeniul de variație ΔI_1 al curentului de sudare, corespunzător valorilor mici ale acestuia, apar variații mici ale tensiunii în sensul scăderii acesteia, cauzate de forma caracteristicii arcului (căzătoare) pe acest domeniu, figura 2.8.

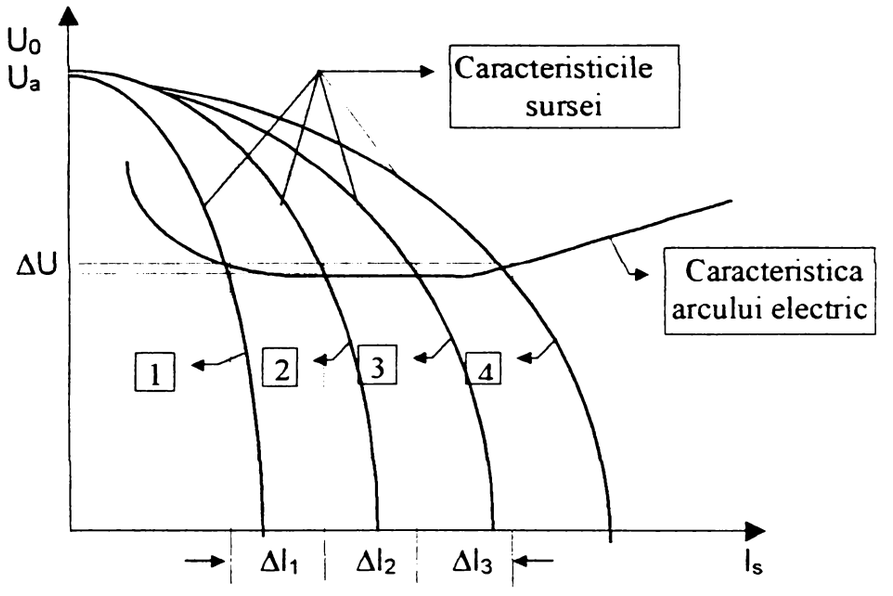


fig. 2.7 Pulsarea curentului prin saltul de pe o caracteristică pe alta a sursei

Pentru domeniul de variație ΔI_2 a curentului de sudare, corespunzător valorilor medii ale acestuia, nu apar variații ale tensiunii, cauza fiind forma caracteristicii arcului (orizontală) pe acest domeniu. Aceste două tipuri de pulsare sunt întâlnite la sudarea WIG.

Pentru domeniul de variație ΔI_3 a curentului de sudare, corespunzător valorilor mari ale acestuia, apar variații mici ale tensiunii în sensul creşterii acesteia, cauzate de forma caracteristicii arcului (urcătoare) pe acest domeniu. La sudarea WIG acest domeniu nu este aplicabil datorită curenților mari care nu sunt uzuali pentru procedeul în discuție.

Ciclogramele corespunzătoare funcționării arcului electric între caracteristicile 1, 2, 3, 4 , precum şi forma geometrică a îmbinărilor sunt prezentate în figura 2.8

În figură, domeniul 1 - 2, sunt prezentate forme care arată că pe curentul de puls pătrunderea este mare şi se produce o uşoară îngustare a cusăturii datorată scăderii tensiunii

BUPT

de la U_1 la U_2, pe curentul de bază $I_1<I_2$ pătrunderea scade iar creşterea de tensiune determină o lățire a cusăturii

În domeniul 2 - 3 tensiunile sunt egale şi lățimile cusăturii pe puls respectiv bază vor fi egale, pătrunederile diferă corespunzător curenților de puls şi bază.

În domeniul 3 - 4 pusarea determină creşterea consecutivă a pătrunderii şi lățimii pe puls şi scăderea lor pe bază.

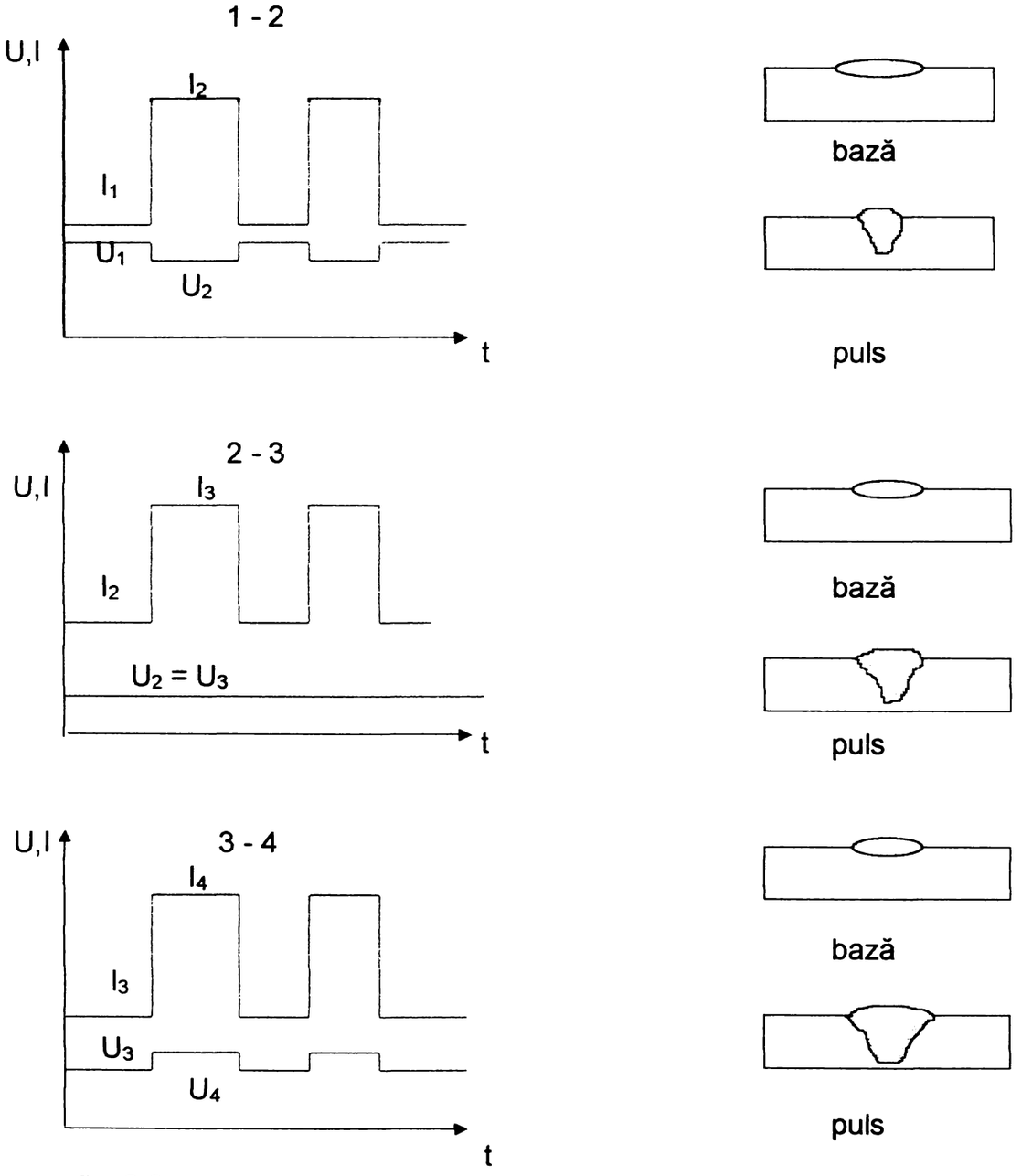


fig. 2.8 Forma curentului şi aspectul cusăturii în secțiune corespunzător pulsului şi bazei

Sudarea WIG cu curent pulsat este recomandată :

- în domeniul sudării tablelor subțiri, domeniul 1 - 2
- la materialele sensibile față de supraîncălzire, domeniul 1 - 3

BUPT

- la materialele cu conductibilitate termică mare, domeniul 3 - 4
- la sudarea cu viteze mari, domeniul 1 - 2
- şi ori de câte ori este nevoie de un control exact asupra energiei introdusă în piesele de sudat, domeniul 1 - 4

Pulsarea se face de către procesorul cu care este dotată sursa, sau poate fi realizată de către operatorul sudor dacă pistoletul de sudare este echipat cu un al doilea microîntrerupător care poate comanda trecerea pe o altă caracteristică prereglată, de funcționare a arcului electric. Această pulsare aşa zis manuală este de un real folos la sudarea metalelor cu conductibilitate termică mare sau a metalelor cu fluiditate mare în stare topită, operatorul sudor poate permite solidificarea parțială sau totală a băii metalice ori de câte ori este nevoie.

Modelarea matematică a procesului de pulsare este prezentată mai jos. În figura 2.9 sunt prezentate caracteristicile externe ale sursei de sudare intersectate de caracteristica arcului în punctele de funcționare A_1 şi A_2 între care se realizează pusarea.

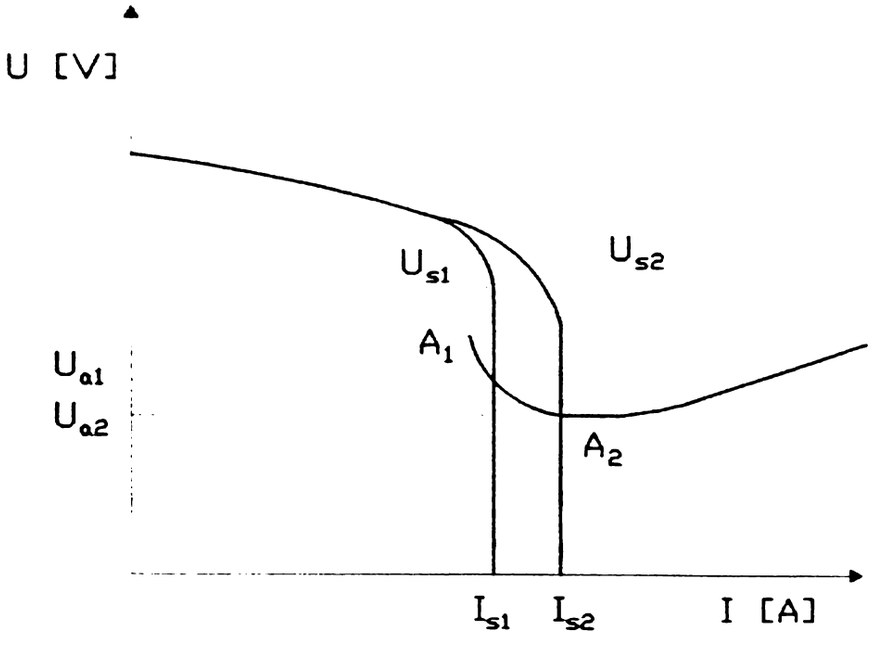


Fig. 2.9 Punctele de funcționare a arcului electric A_1 şi A_2 în regim pulsat

$$U_S = U_a + R_B \cdot I_s$$

În punctul A_1 : $U_{S1} = U_a + R_{B1} \cdot I_{S1}$

$$\frac{dU_{S1}}{dt} = \frac{dU_a}{dt} + \frac{dR_{B1}}{dt} I_{S1} + R_{B1} \frac{dI_{S1}}{dt}$$

În punctul A_2 : $U_{s2} = U_a + R_{B2} \cdot I_{S2}$

BUPT

Dar : $U_{S2} = U_{S1} + \frac{dU_S}{dt}$

$$\frac{dU_{S2}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(U_{S1} + \frac{dU_S}{dt}\right) = \frac{dU_{S1}}{dt} + \frac{d^2U_S}{dt^2} = \frac{d^2U_S}{dt^2}$$

$$\frac{dU_{S2}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(U_a + R_{B2} \cdot I_{S2}\right) = \frac{dU_a}{dt} + \frac{dR_{B2}}{dt} \cdot I_{S2} + R_{B2} \cdot \frac{dI_{S2}}{dt} =$$

$$= I_{S2} \cdot \frac{d}{dt}\left(R_{B1} + A_R\right) + R_{B2} \cdot \frac{d}{dt}\left(I_{S1} + B_I\right) = I_{S2} \cdot \frac{dR_{B1}}{dt} + I_{S2} \cdot \frac{dA_R}{dt} + R_{B2} \cdot \frac{dI_{S1}}{dt} + R_{B2} \cdot \frac{dB_I}{dt} =$$

$$= I_{S1}\frac{dR_{B1}}{dt} + \frac{dI_S}{dt}\frac{dR_{B1}}{dt} + I_{S1}\frac{dA_R}{dt} + \frac{dI_S}{dt}\frac{dA_R}{dt} + R_{B1}\frac{dI_{S1}}{dt} + \frac{dR_B}{dt}\frac{dI_{S1}}{dt} + R_{B1}\frac{dB_I}{dt}\frac{dR_B}{dt}\frac{dB_I}{dt}$$

Înlocuirile efectuate mai sus sunt : $I_{S2} = I_{S1} + \frac{dI_s}{dt}$ şi $R_{B2} = R_{B1} + \frac{dR_B}{dt}$

Se observă că derivatele mărimilor constante se anulează. Caracteristica arcului electric WIG este în esență căzătoare, cu particularizări ale formei acestora în apropierea curentului de scurtcircuit. La un arc electric se poate menține valoarea curentului de sudare şi se poate realiza teoretic, pulsarea tensiunii, prin modificarea lungimii arcului electric, cu ajutorul unui sistem mecanic care să asigure mişcarea oscilatorie cu frecvență şi amplitudine reglabilă, a capului de sudare, în plan vertical.

2.2 Electrozii de wolfram, modul de ascuțire şi influența acestuia asupra arcului electric

Electrozii de wolfram se aleg ținând seama de următoarele :

- curentul de sudare
- natura şi polaritatea curentului cu care se va suda
- materialul care urmează a fi sudat
- viteza de sudare
- diametrul electrodului
- modul de pregătire al vârfului electrodului de wolfram
- compoziția chimică a electrodului de wolfram

Wolframul este un metal cu proprietăți fizico chimice care permit utilizarea lui ca electrod „nefuzibil". Acestea sunt : temperatura de topire 3410°C şi de vaporizare de 5930°C,

BUPT

emisia termoionică substanțială , rezistența la uzură. Creşterea acestor proprietăți se poate realiza prin aliere cu oxizii prezentați în tabelul 2.1

Tabelul 2.1 Oxizi utilizați la alierea electrozilor de wolfram

Material de aliere	t_{top} [°C]	t_{vap} [°C]	obs.
ThO_2 oxid de thoriu	1750	3850	
ZrO_2 oxid de zirconiu	1852	3580	
CeO_2 oxid de ceriu	795	3468	
LaO_2 oxid de lantaniu	787	3470	

Temperaturile de topire respectiv performanțele dobândite prin aliere cu aceşti oxizi sunt detaliate în paragraful 1.4 din capitolul 1, unde sunt prezentați electrozii de wolfram aliați.

Oxizii prezentați în tabelul 2.1 deşi nu au individual temperaturi de topire exageret de mari, însă determină creşterea temperaturii de topire a wolframului prin aliere. Creşte deasemenea şi rezistența la uzură a electrozilor. Temperatura de vaporizare a oxizilor relativ scăzută face ca aceştia să favorizeze stabilitatea arcului, prin prezența vaporilor metalici cu potențial de ionizare mai mic decât al gazelor de protecție.

Alierea cu aceşti oxizi conferă proprietăți superioare şi anume :

- capacitate mărită de emisie termoionică
- amorsare mai uşoară
- stabilitate mai bună a arcului electric
- temperatură de topire superioară
- rezistență mai mare la uzură
- reducerea riscului de contaminare a îmbinării cu fragmente de electrod

În tabelul 2.2 sunt prezentate modul de simbolizare, culoarea de marcaj şi recomandări de utilizare pentru principalii electrozi de wolfram.

Tabelul 2.2 Recomandări pentru utilizarea tipurilor uzuale de electrozi conform EN 26848

Material electrod	Simbol	Conținut de oxid [%]	Culoare marcaj	Recomandări de utilizare
wolfram pur	WP	-	verde	- la sudarea aluminiului în CA
Wolfram cu oxid de thoriu	WT4	0,35 ... 0,55 ThO_2	albastru	- creşterea conținutului de ThO_2 îmbunătățeşte amorsarea, permite creşterea curentului şi reduce uzura - pulberea de ThO_2 este uşor radioactivă
	WT10	0,8 ... 1,2 ThO_2	galben	
	WT20	1,70 ... 2,20 ThO_2	roşu	
	WT30	2,80 ... 3,20 ThO_2	violet	
	WT40	3.80 ... 4.20 ThO_2	portocaliu	
Wolfram cu oxid de zirconiu	WZ3	0.15 ... 0.50 ZrO_2	brun	- se poate suda CA şi impurifică puțin baia de metal la sudare
	WZ8	0.70 ... 0.90 ZrO_2	alb	
Wolfram cu oxid de ceriu	WC20	1.80 ... 2.20 CeO_2	gri	- se sudează Ca, CC arc stabil cu uzură redusă, preț ridicat
Wolfram cu oxid de lantaniu	WL10	0.90 ... 1.20 LaO_2	negru	- asigură durată mai mare de exploatare, se utilizează la plasmă

BUPT

Simbolul, compoziția şi culoarea de marcaj sunt corespunzătoare normei EN 26848. Solicitarea la curent maxim a electrozilor conform aceluiaşi Normativ European este prezentată în tabelul 2.3

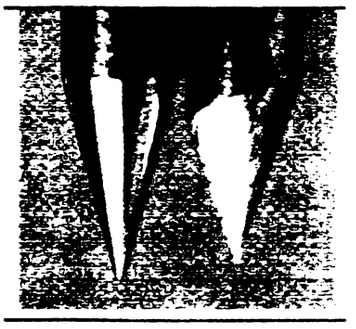
Tabelul 2.3 Curenți maximi admişi conform EN 26848

d_e [mm]	Curent de sudare [A]		
	C A		CC⁻
	W pur	W cu adaus de oxid	W cu adaus de oxid
1.0	15 - 55	15 - 70	10 – 75
1.6	45 - 90	60 - 125	60 – 150
2.4	80 - 140	120 - 210	170 – 250
3.2	150 - 190	150 - 250	225 – 330
4.0	180 - 260	240 - 350	350 – 480
5.0	240 - 350	330 - 460	500 – 675

Depăşirea valorilor prescrise conduce la uzarea exagerată a electrodului şi impurificarea băii metalice cu fragmente de wolfram.

Sudarea cu curent alternativ se referă la valori egale ale pulsului pozitiv şi negativ.

Ascuțirea electrozilor se face prin polizare cu piatră foarte fină, practic o lustruire este ideală. În figura 2.10 se arată că o ascuțire necorespunzătoare poate reduce durata de funcționare cu 60 ... 70 % , conform prospectelor Sfaturi Practice oferite de firma LINDE.



Durata de funcționare a electrodului din stânga este de 17 ore iar a celui din dreapta de 5 ore, în condițiile de sudare cu 150 A pe țeavă.

fig. 2.10 Mod de ascuțire corectă

Pătrunderea şi lățimea îmbinării realizate depinde de unghiul de ascuțire a electrodului care poate fi între 30 ... 60 °

În figura 2.11 este prezentată influența unghiului de ascuțire asupra geometriei îmbinării.

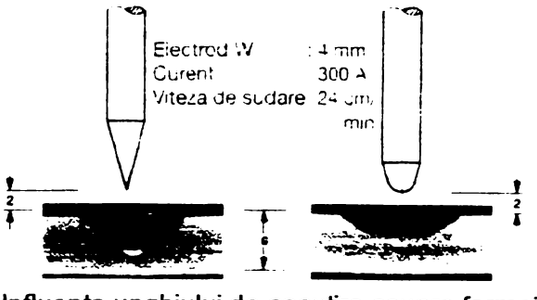
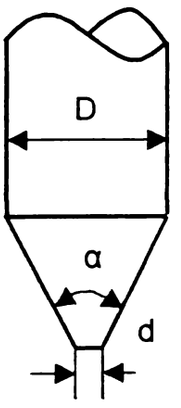


fig. 2.11 Influența unghiului de ascuțire asupra formei îmbinării

BUPT

Această influență este substanțială , de aceea este foarte importantă ascuțirea electrodului de wolfram şi menținerea lui în această stare pe toată durata procesului de sudare. Ascuțirea corectă se face conform dimensiunilor prezentate tabelul 2.4 [16]



Tabelul 2.4 Dimensiuni de ascuțire a electrozilor

D [mm]	d [mm]	α [grade]	I_s [A] cc
1,0	0,12	12	2 – 15
1,0	0,25	20	5 – 30
1,6	0,50	25	8 – 50
1,6	0,75	30	10 - 70
2,4	0,75	35	12 – 90
2,4	1,10	45	15 – 150
3,2	1,10	60	20 – 200
3,2	1,50	90	25 – 250

Poziția corectă a pistoletului şi a vergelei este importantă şi trebuie respectată pentru a evita introducerea aerului în spațiul arcului electric. În figura 2.12 sunt prezentate pozițiile corecte de sudare pentru PA, PB şi PF, conform prospectelor Sfaturi practice oferite de firma LINDE.

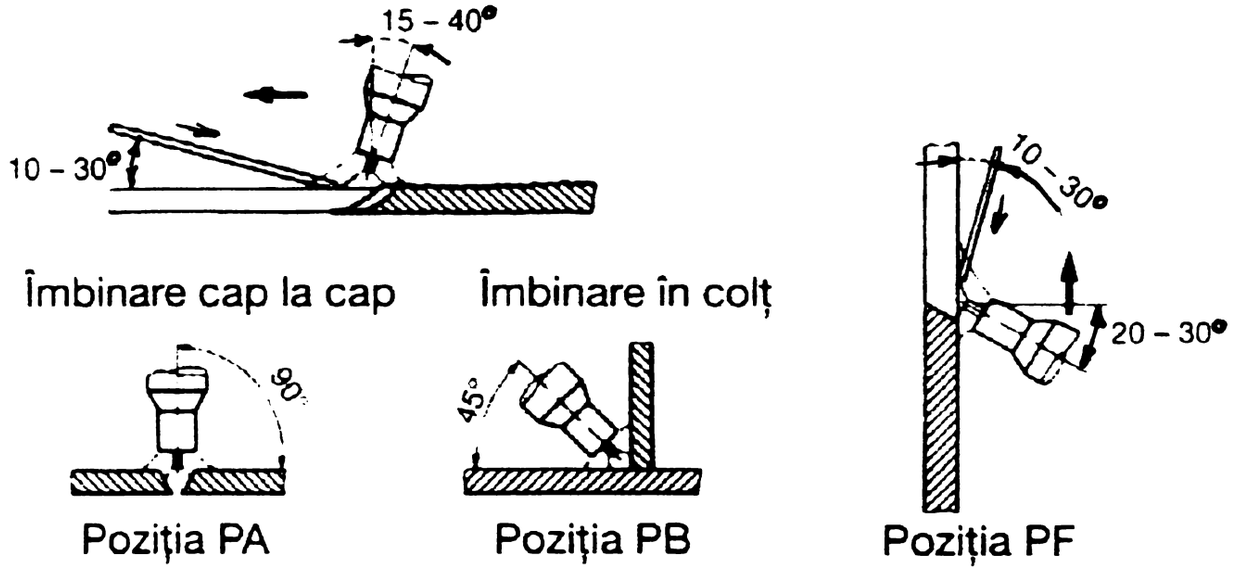


Fig. 2.12 Poziția corectă a pistoletului şi a vergelei la sudare

BUPT

2.2.1 Cercetarea influenței formei de ascuțire a electrodului asupra diametrului petei topite

Pentru studiul propus a se realiza au fost utilizați în programul experimental patru tipuri de electrozi :

- WT 20 aliat cu ThO_2
- WC 20 aliat cu CeO_2
- WZ 8 aliat cu ZrO_2
- WP nealiat

Programul experimental urmăreşte influența modului de ascuțire a electrodului asupra gradului de concentrare a arcului electric.

Pistoletul WIG a fost fixat în dispozitiv astfel ca I_a să fie aceiaşi la toți electrozii utilizați, iar parametrii de sudare au fost menținuți constanți pentru compararea efectelor.

Ascuțirea electrodului se face în două moduri conform figurii 2.13 , pentru a putea face o comparație asupra diametrului petei topite pe piese identice ca formă şi dimensiuni, lucru care indică nivelul de concentrare a arcului electric. Electrozii aleşi au diametrul de 3.2 mm.

Piesele pe care sa făcut amorsarea sunt de formă disc, cu dimensiuni egale, volum egal şi acelaşi material pentru a oferi aceleaşi condiții de topireşi răcire a băii de metal. Durata de ardere a arcului electric a fost egală la fiecare încercare, acest lucru realizându-se prin selectarea regimului de lucru electronituire, care permite reglarea duratei de ardere. Astfel condițiile de amorsare şi ardere au fost egale pentru fiecare electrod studiat putând să comparăm rezultatele, adică diametrul băii metalice topite.

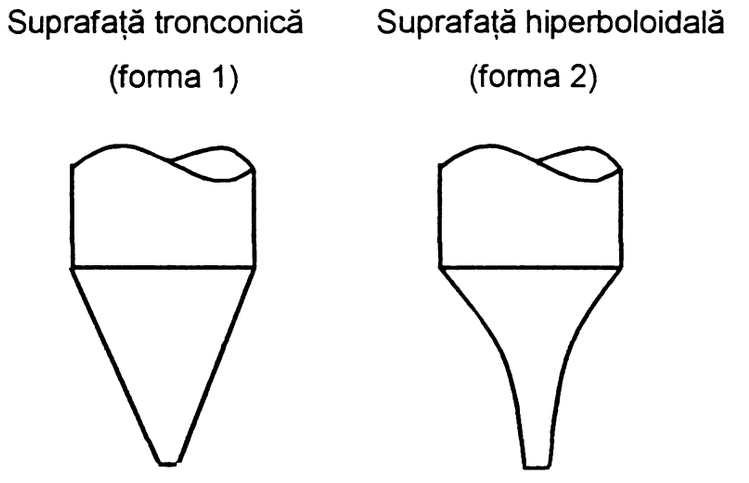


Fig. 2.13 Forme de ascuțire realizate în experiment

BUPT

Pentru fiecare încercare au fost făcute fotografii ale arcului electric prezentate în anexa 1. Din aceste fotografii se poate remarca gradul de solicitare a eletrodului, forma arcului electric şi eventual tendința acestuia de deviere. Se observă că electrodul de wolfram nealiat, la aceiaşi valoare a curentului, este înroşit comparativ cu electrozii aliați cu oxizi care au rezistență mai bună la uzură. Diametrele petelor topite au fost măsurate pe două direcții perpendiculare şi s-a calculat media aritmetică a acestora. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 2.5

Poza 1 electrod WT 20, relevă o formă stabilă a arcului electric, cu zonă secundară a arcului vizibilă în partea stângă. Se remarcă o formă uşor dispersă a arcului la contactul cu piesa. Zona supraîncălzită la vârf are o lungime de 0,6 mm

Poza 2 electrod WC 20, zona secundară a arcului vizibilă pe circumferință de culoare verzuie şi arcul fără tendință de dispersie la contactul cu piesa. Zona supraîncălzită la vârf are o lungime de 0,5 mm.

Poza 3 electrod WZ 8 , arcul are uşoară tendință de dispersie la contactul cu piesa, arcul secundar vizibil în partea stângă şi o emisie de lumină mai puternică (aureola remarcată în poză). Zona supraîncălzită la vârf are o lungime de 0,6 mm

Poza 4 electrod WP , tendință de dispersie la contactul cu piesa şi o supraîncălzire vizibilă prin culoarea roşiatică a întregului electrod, de altfel normală, electrodul fiind nealiat.

Poza 5 electrod WT 20 ascuțit cu forma hiperboloidă prezintă o zonă de supraîncălzire de 0.9 mm şi o tendință de contracție a arcului electric. Dispersia la contactul cu piesa este mai mică.

Poza 6 electrod WC 20 ascuțit hiperboloidal cu arc electric fără dispersie la contactul cu piesa, mai concentrat şi o zonă supraîncălzită pe vârful electrodului de 0,7 mm.

Poza 7 electrod WZ 8 prezintă un arc electric concentrat cu o zonă de supraîncălzire de 0,6 mm.

Poza 8 electrodul WP se supraîncălzeşte puternic prezentînd o zonă de incandescență cu lungimea de 1,6 mm de la vîrful lui. În ansamblu tot electrodul ajunge la culoarea roşie.

Pozele 9 ... 12 au fost făcute pentru a releva efectul unei uzuri puternice la vârf a electrodului. Prin polizare am retezat câte 1 mm din vârful acestuia şi am constatat că tendința de dispersie la contactul cu piesa creşte iar stabilitatea arcului scade acesta devenind eratic în poza 12

BUPT

2.2.2 Rezultate , concluzii

Rezultatele experimentului realizat sunt prezentate sintetic în tabelul 2.5 în care sunt date şi tipul de electrod, modul de ascuțire şi curentul utilizat.

Tabelul 2.5 Rezultate experimentale : diametrul băii topite, suprafața băii

Nr. crt.	Tip electrod	Mod de ascuțire	Diametrul mediu al petei topite mm	Suprafața medie a petei topite mm^2	Obs.
1.	WT 20	con	7,71	46,68	I_s = 100 A
2.	WC 20	con	7,268	41,48	I_s = 100 A
3.	WZ 8	con	7,26	41,39	I_s = 100 A
4.	WT 20	hiperboloid	4,731	17,58	I_s = 70 A
5.	WC 20	hiperboloid	4,566	16,37	I_s = 70 A
6.	WZ 8	hiperboloid	4,387	15,12	I_s = 70 A
7.	WT 20	hiperboloid	6,375	31,91	I_s = 100 A
8.	WC 20	hiperboloid	7,06	39,14	I_s = 100 A
9.	WZ 8	hiperboloid	6,481	32,98	I_s = 100 A

Ascuțirea electrodului de wolfram este importantă la sudarea CC $^-$ astfel încât pata catodică să fie cât mai mică şi emisia de electroni cât mai uşoară. Ascuțirea cu formă de hiperboloid a electrodului conduce la o concentrare a arcului electric şi reducerea suprafeței petei catodice precum şi micşorarea băii metalice topite ca diametru ceea ce însemnă o concentrare a energiei arcului electric.

În tabel se observă că apar reduceri ale suprafeței băii cu 5 ... 30 %,iar la reducerea curentului de sudare de la 100 la 70 A se produce reducerea suprafeței băii la jumătate.

Scăderea suprafeței băii metalice indică o creştere a densității de curent de la 2 A/mm^2 la aproape 3 A/mm^2 .

O dată cu teşirea capătului ascuțit al electrodului, lucru care imită uzura acestuia, arcul electric devine tot mai divergent, până la eratic, aşa cum se vede în fotografiile 9 ...12 din anexa 3. Reducerea curentului de sudare de la 100 la 70 A determină o reducere a diametrului băii metalice topite cu aproape 3 mm.

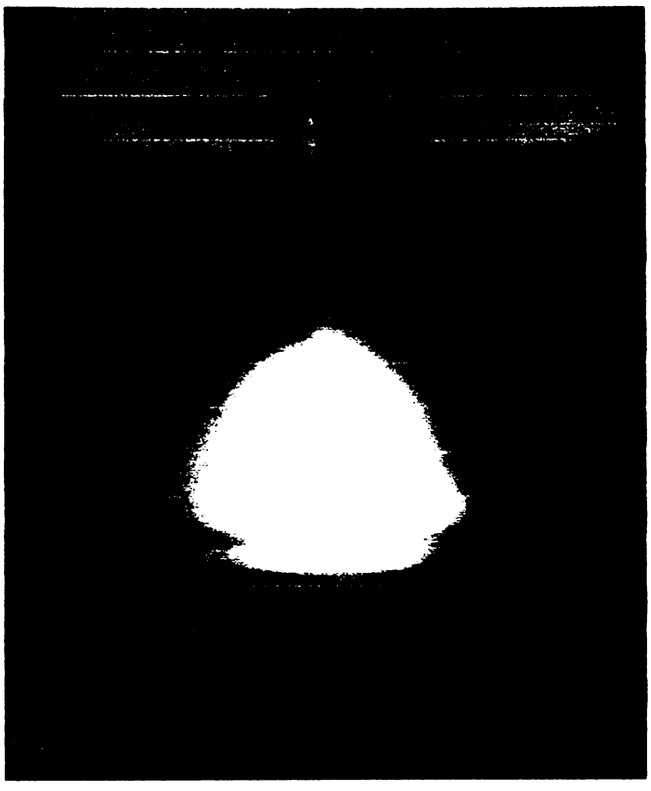
În concluzie modul de ascuțire şi lustruire a electrodului de wolfram influențează atât gradul de concentrare al arcului electric cât şi durata de viață a acestuia.

BUPT

ANEXA 1

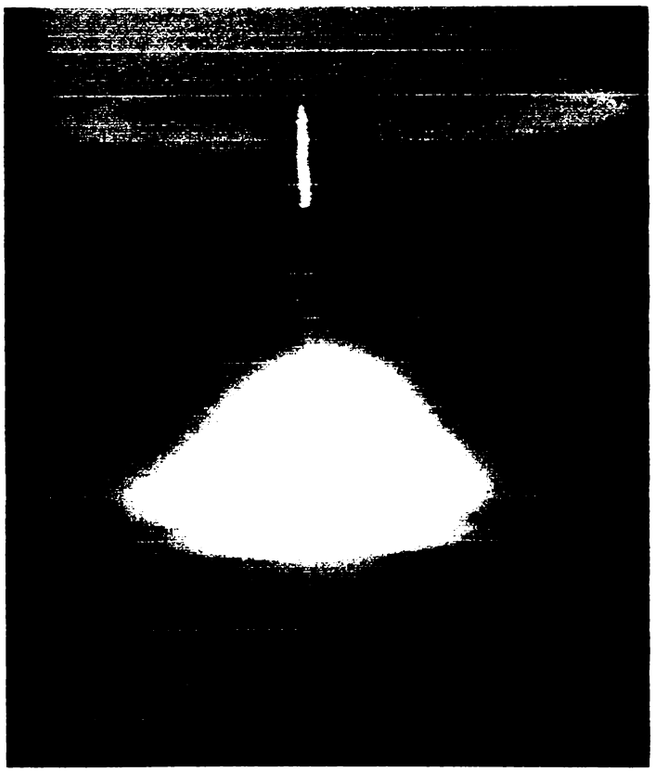
FOTOGRAFII ALE ARCULUI ELECTRIC WIG

BUPT



1

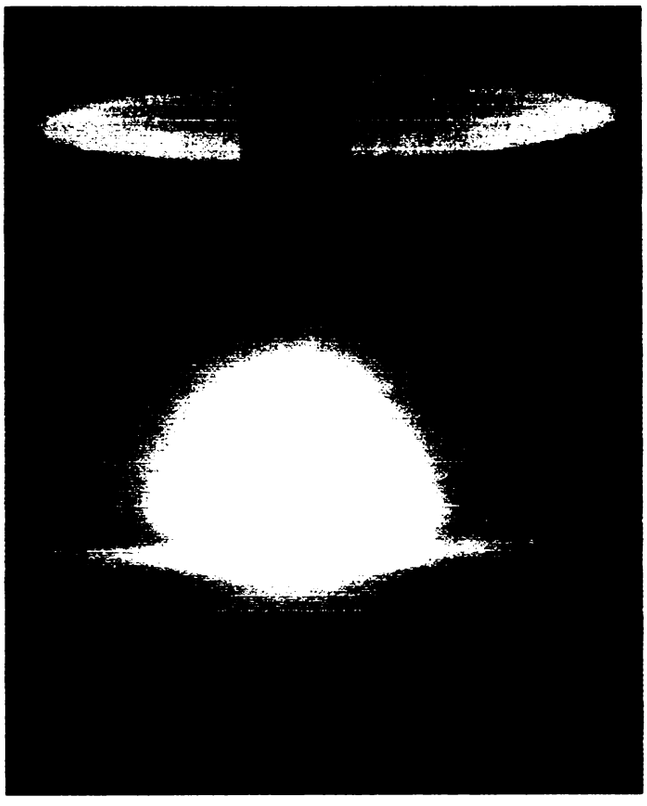
Electrod WT 20, ascuțit forma 1



2

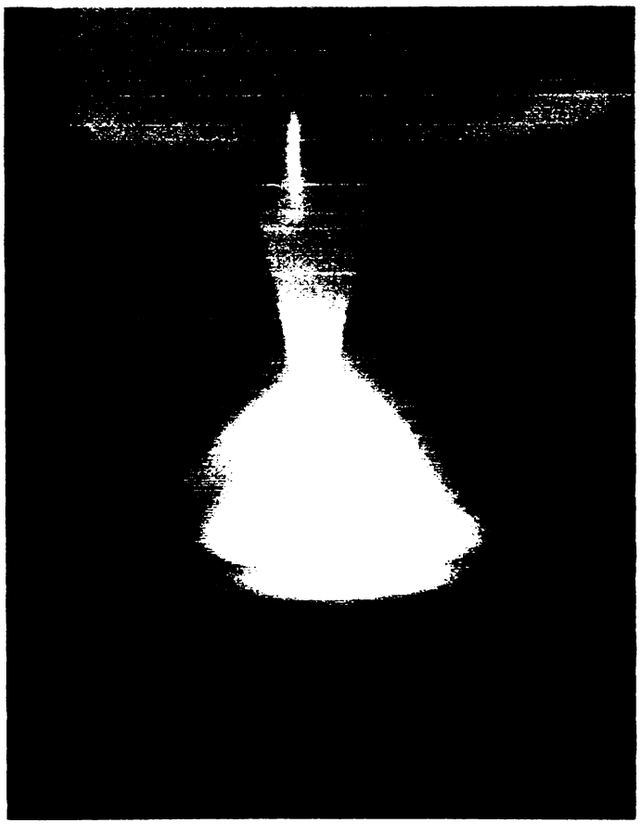
Electrod WC 20, ascuțit forma 1

BUPT



3

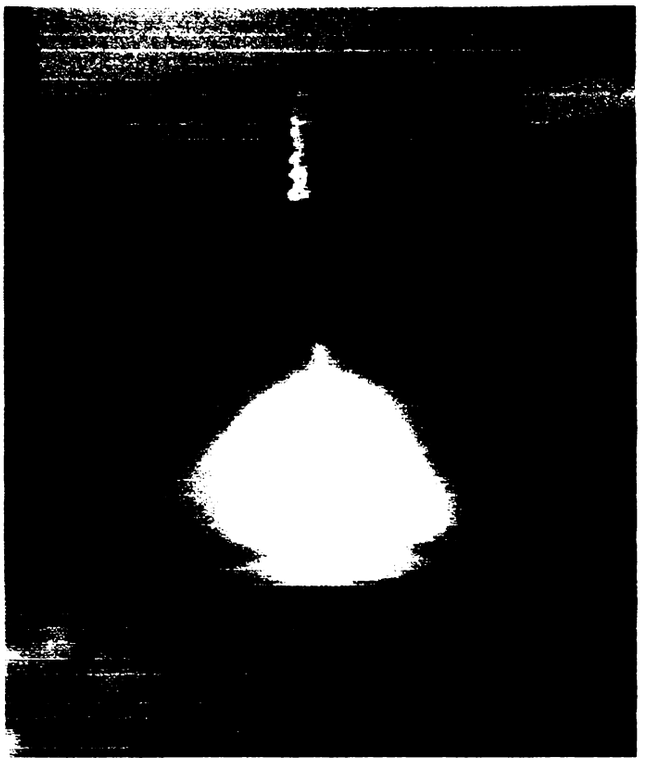
Electrod WZ 8, ascuțit forma 1



4

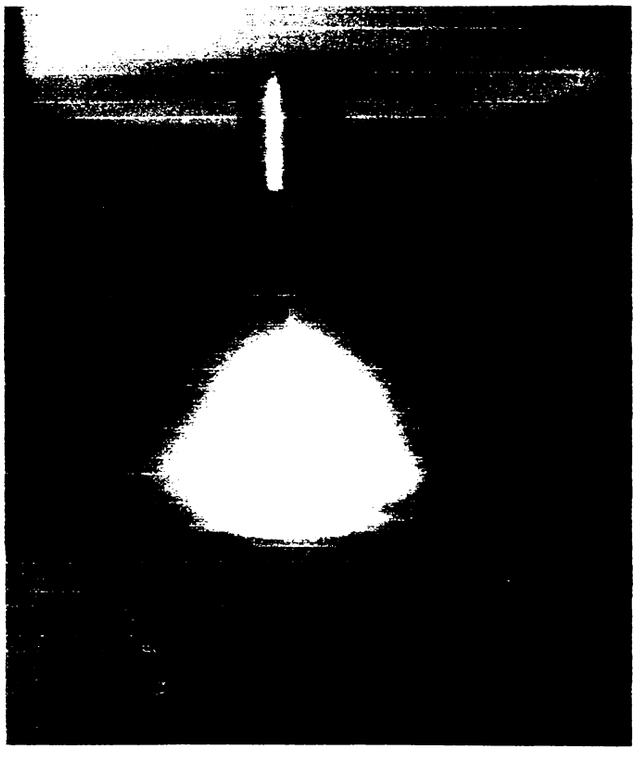
Electrod WP , ascuțit forma 1

BUPT



5

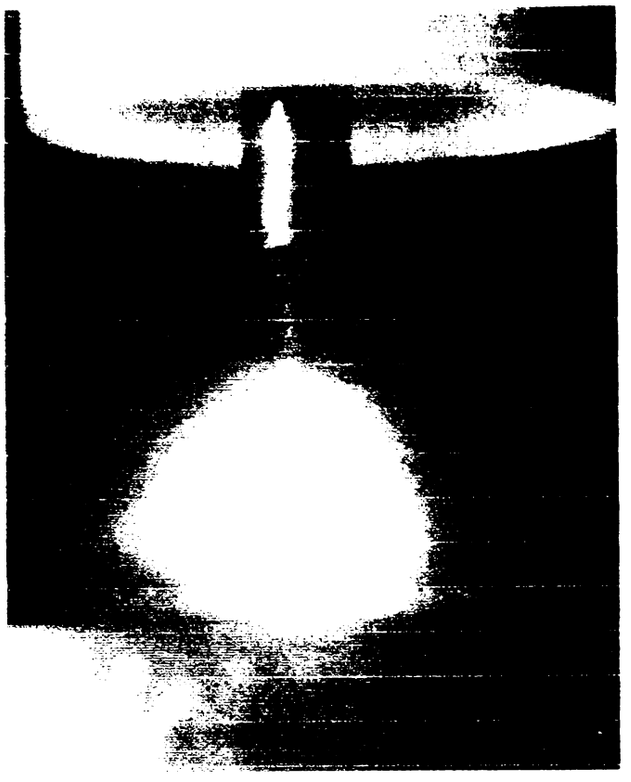
Electrod WT 20 , ascuțit forma 2



6

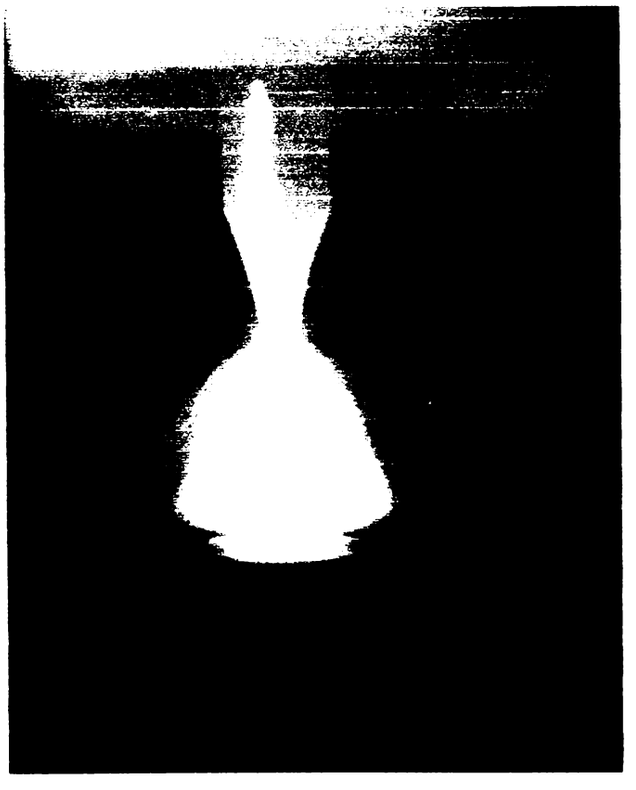
Electrod WC 20 , ascuțit forma 2

BUPT



7

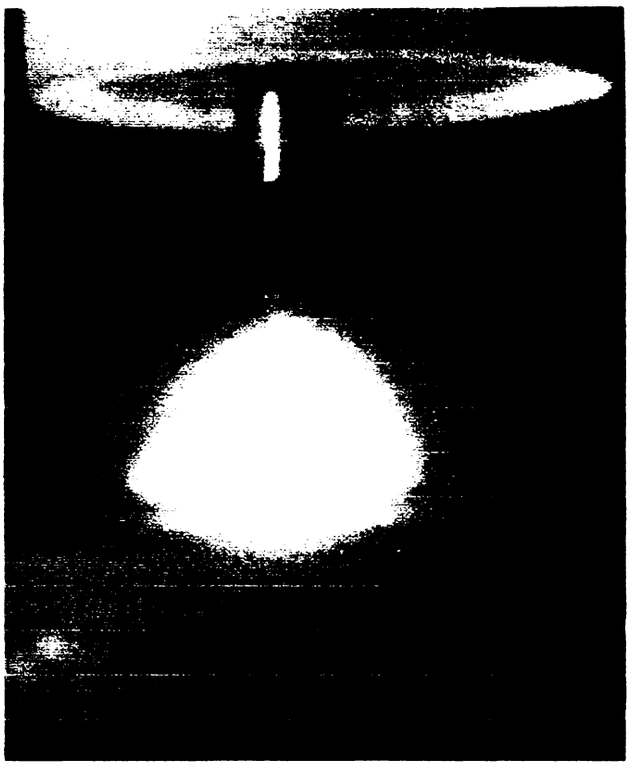
Electrod WZ 8 , ascuțit forma 2



8

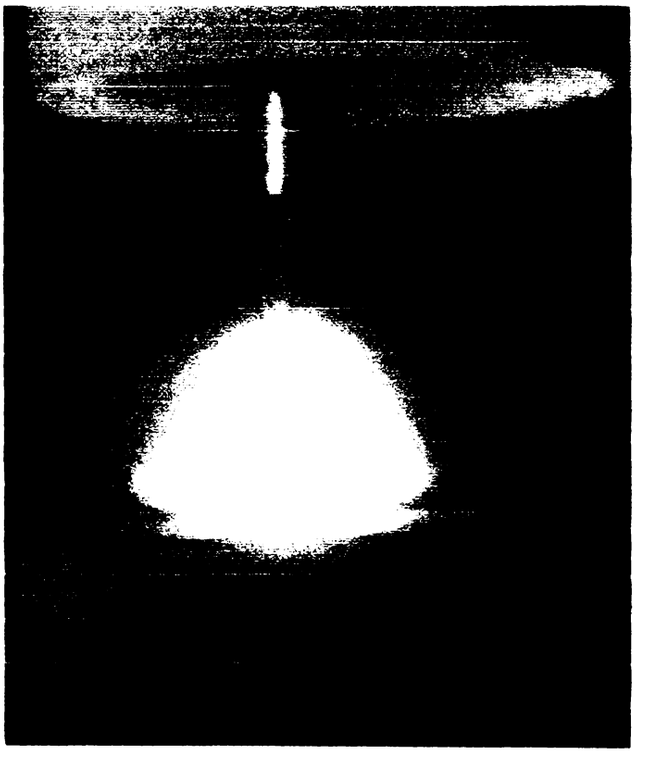
Electrod WP , ascuțit forma 2

BUPT



9

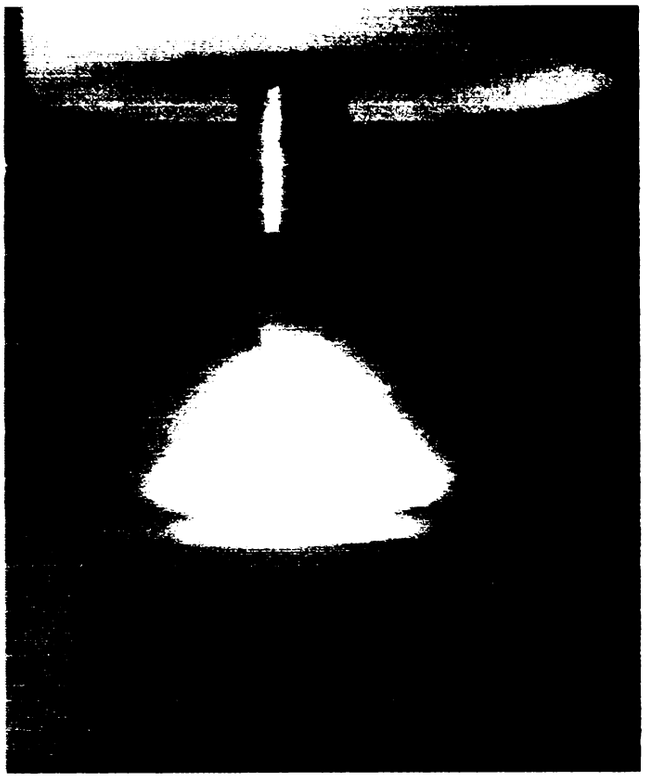
Electrod WT 20 , ascuțit forma 1
d = 0,7 mm



10

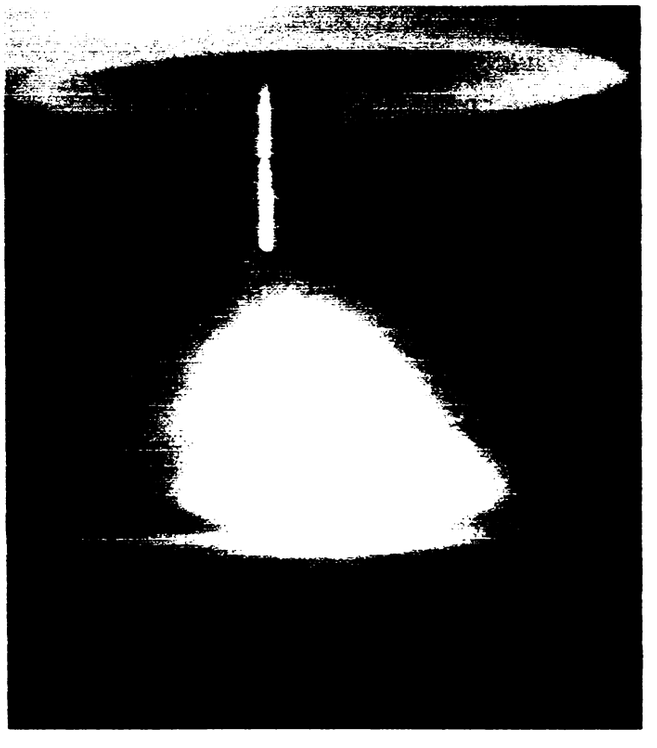
Electrod WT 20 , ascuțit forma 1
scurtat la vârf cu 1 mm

BUPT



11

Electrod WT 20 , ascuțit forma 1
scurtat la vârf cu 2 mm



12

Electrod WT 20 , ascuțit forma 1
scurtat la vârf cu 3 mm

BUPT

2.3 Studiu privind comportarea argonului ca gaz protector

Protecția realizată de gazul inert este esențială pentru buna desfăşurare a procesului de sudare şi calitatea îmbinării realizate.

O cercetare mai amănunțită a aspectelor legate de gazul protector este necesară [11].

Cunoaşterea în detaliu a comportării gazelor protectoare la temperaturi ridicate şi presiuni diferite de cea atmosferică este necesară pentru explicarea fenomenelor care au loc la nivelul arcului electric. Corelarea comportării gazelor cu fenomenele care au loc la nivelul metalelor topite şi încălzite în unele zone, peste punctul de vaporizare poate fi făcută numai prin calcul , măsurători fiind imposibil de realizat. Gazele cu grad de ionizare scăzut au distribuția particulelor normală şi temperatura electronică egală cu cea a gazului atomic neutru. La temperaturi ridicate, natura interacțiunilor se modifică şi proprietățile de transport se modifică substanțial.

2.3.1 Fenomenele de ionizare

Conform [11 , 12] încălzirea gazelor, înseamnă transmitere de energie de rotație şi vibrație atomilor acelui gaz. Dacă se depăşeşte un anumit prag de energie absorbită, caracteristic fiecărui gaz în parte, se produce fenomenul de ionizare, adică, de pe ultimul strat al atomului neutru un electron se detaşează rezultând un ion pozitiv şi un electron.

Concentrațiile sunt egale cu presiunile parțiale ale gazului ionic şi a gazului electronic. Deşi electronii au masa mult mai mică decât a ionilor pozitivi energia lor de translație este egală cu cea a atomilor neutrii, în caz de echilibru. În concluzie presiunea electronilor este proporțională cu concentrația relativă a lor.

Pornind de la ecuația de stare a gazelor perfecte :

$$p\,V = \nu\,R\,T \quad \text{sau} \quad p = n\,k\,T \tag{2.12}$$

unde p = presiune, V = volum, ν = numărul de moli, n = numărul de molecule în unitatea de volum (concentrația), R = constanta universală a gazelor, T = temperatura şi k = constanta lui Bolzman , se poate exprima presiunea parțială (p_i) ca :

$$p_i = \alpha_i\,n\,k\,T \tag{2.13}$$

unde α_i este fracțiunea ionizată din gaz.

Densitatea fracțiunii ionizate se exprimă cu relația :

BUPT

$$\rho_i = m \cdot n = \frac{m \cdot p}{k \cdot T \cdot \alpha_i} \qquad (2.14)$$

Variația densității plasmei de argon cu temperatura [11,12] este prezentată în fig. 2.14

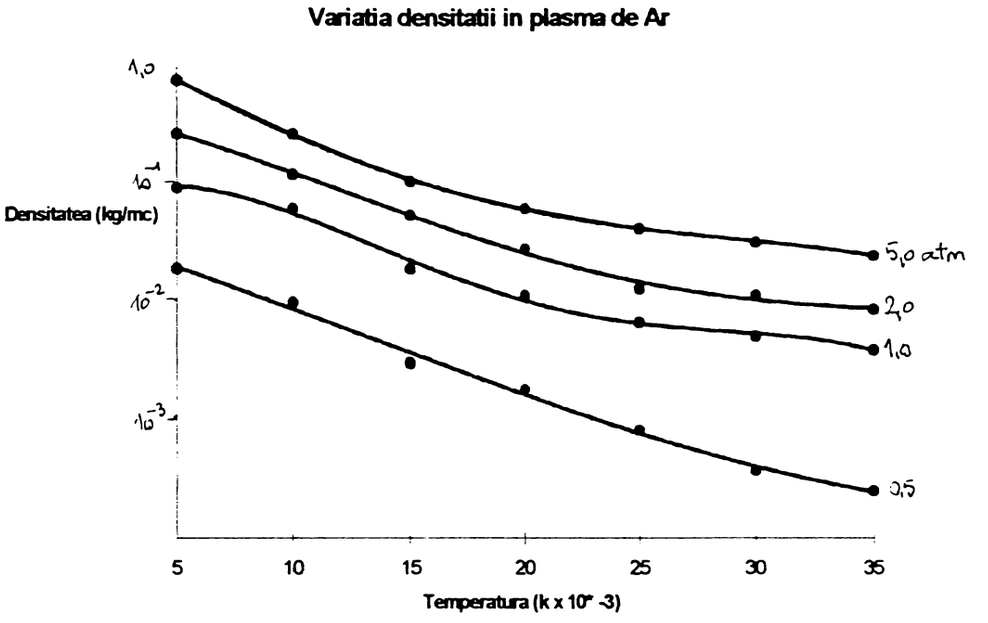


Fig. 2.14 Variația densității plasmei de argon cu temperatura la diferite presiuni

Se observă că densitatea plasmei de argon scade o dată cu creşterea temperaturii şi scăderea presiunii. Conductibilitatea electrică în această situație se îmbunătățeşte rezultând o stabilitate mai bună a arcului electric.

Concentrarea arcului electric nu este similară cu creşterea densității plasmei, ci cu creşterea densității de energie lucru care duce la obținerea unor temperaturi mari deci o creştere a eficienței topirii, compensarea pierderilor de căldură prin conducție şi radiație.

2.3.2 Evaluarea gradului de ionizare

Evaluarea gradului de ionizare este dificil de realizat, ionizarea depinzând de constante de echilibru calculate fie cu termodinamica clasică fie statistic [11].

Utilizând teoriile termodinamicii clasice SAHA a elaborat ecuația următoare :

$$\frac{\alpha^2}{1-\alpha^2} \cdot \frac{p}{p_0} = \frac{(2 \cdot \pi \cdot m_e)^{3/2}}{h^{5/2}} \cdot \frac{(k \cdot T)^{5/2}}{p_0} \cdot \frac{2 \cdot Z_+}{Z} \cdot e^{eV_i / kT} \qquad (2.15)$$

Unde semnificațiile notațiilor sunt :

- m_e masa electronului
- h constanta lui Plank
- Z_+ funcția parțială a ionului pozitiv
- Z funcția parțială a ionului neutru

BUPT

- V_i potențialul de ionizare

Funcția parțială (de diviziune) reprezintă suma energiilor posibile de stare a particulelor. Pentru atomii ionizați Z are expresia :

$$Z = g_0 + g_1 \cdot e^{u_1/kT} + g_2 \cdot e^{u_2/kT} + \ldots\ldots + g_i \cdot e^{u_i/kT} \qquad (2.16)$$

unde : u_i - energii posibile de stare

g_i - greutatea statistică egală cu numărul stărilor cu energii egale

Pentru argon se obține funcția parțială de forma :

$$Z^+_{Ar} = 1 + 60 \cdot e^{-162500/T} \qquad (2.17)$$

Corespunzător temperaturii arcului electric , cu o aproximație bună :

$$Z_{Ar} = g_0 = 1 \qquad (2.18)$$

Rezultă pentru atomii ionizați ai argonului :

$$Z^-_{Ar} = 4 + 2 \cdot e^{-2062/T} + 2 \cdot e^{-156560/T} + \ldots. \qquad (2.19)$$

Relația lui Saha (2.19) pentru ionizarea argonului, va avea următoarea formă :

$$\frac{\alpha^2}{1-\alpha^2} \cdot \frac{p}{p_0} = 1264 \cdot 10^{-6} \cdot T^{5/2} \cdot (2 + e^{-2062/T}) \cdot e^{-183000/T} \qquad (2.20)$$

Gradul de ionizare, la o temperatură şi presiune date, depinde de energia de ionizare $e \cdot V_i$. Din diagrama următoare (fig. 2.15) se observă că potențialele de ionizare, prin pierderea unui electron, ale vaporilor de metal sunt mult mai mici decât ale gazelor la aceiaşi temperatură, deci conducția electrică a arcului este îmbunătățită de prezența vaporilor de metal. Concluzia enunțată mai sus nu este valabilă şi pentru aluminiu care face excepție.

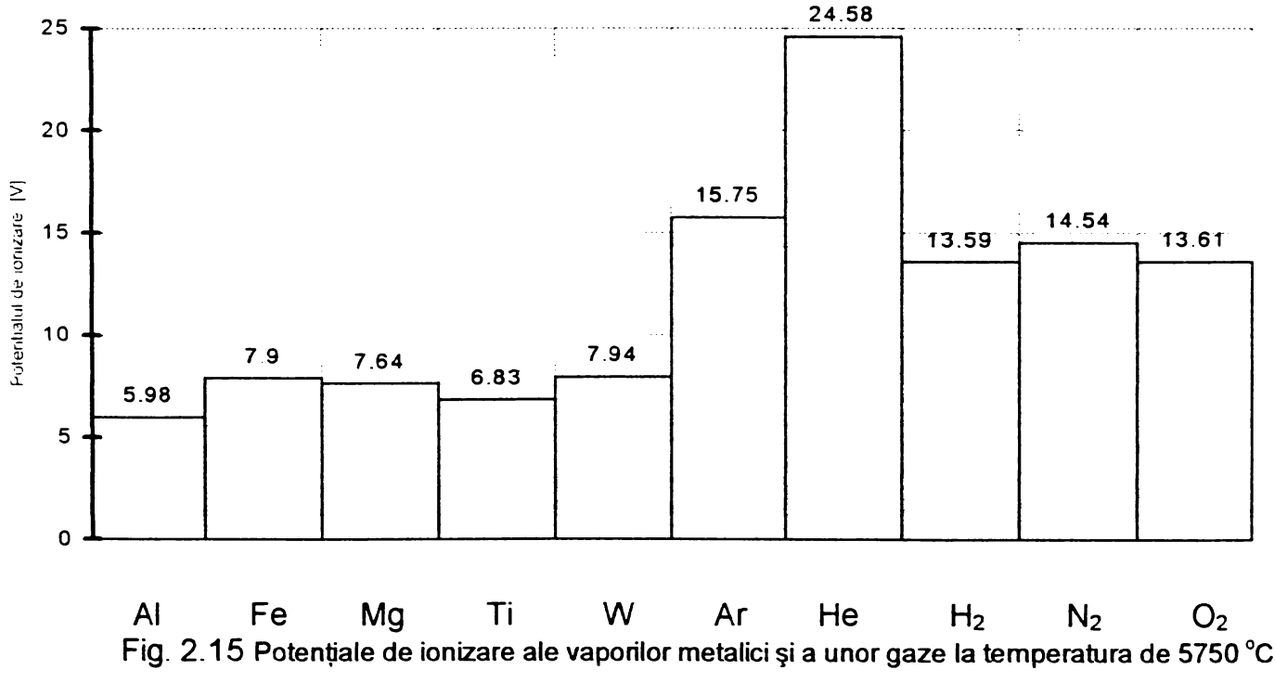


Fig. 2.15 Potențiale de ionizare ale vaporilor metalici şi a unor gaze la temperatura de 5750 °C

Evaluarea ionizării argonului la presiunea atmosferică pentru diferite temperaturi ne oferă informații privitoare la conducția acestuia, respectiv capacitatea lui de a conferi stabilitate arcului electric.

BUPT

Echilibrul plasmei de argon la presiunea atmosferică [12] este prezentat în fig. 2.16

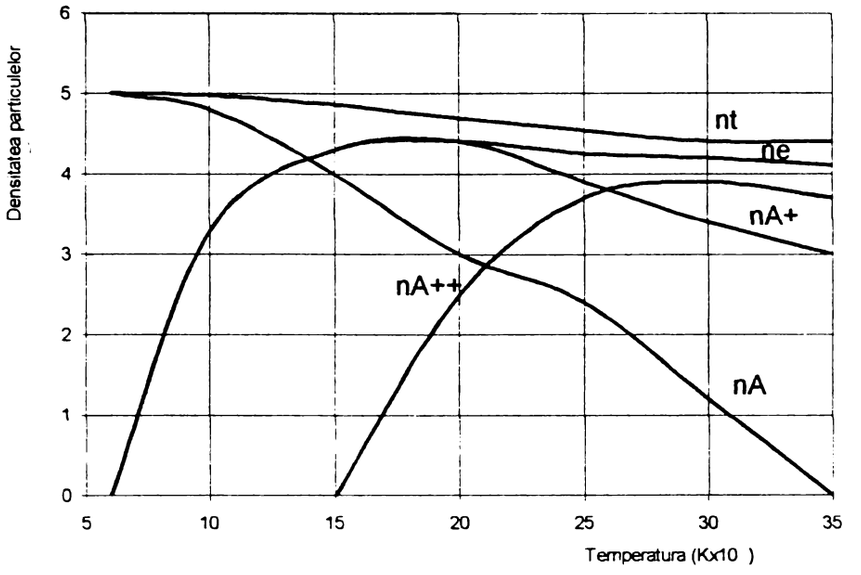


Fig. 2.16 Echilibrul plasmei de argon la presiunea atmosferică

n_t reprezintă numărul total de particule, n_e numărul electronilor liberi, nA^+ numărul ionilor pozitivi rezultați prin pierderea unui electron, nA^{++} numărul ionilor pozitivi rezultați prin pierderea a doi electroni şi nA numărul atomilor neutrii de argon. Diagrama arată că o dată cu creşterea temperaturii numărul atomilor neutrii scade şi creşte numărul electronilor liberi precum şi numărul ionilor pozitivi ai argonului.

Gradul de ionizare α , variază cu temperatura şi presiunea la care se află gazul conform fig. 2.17, [12]

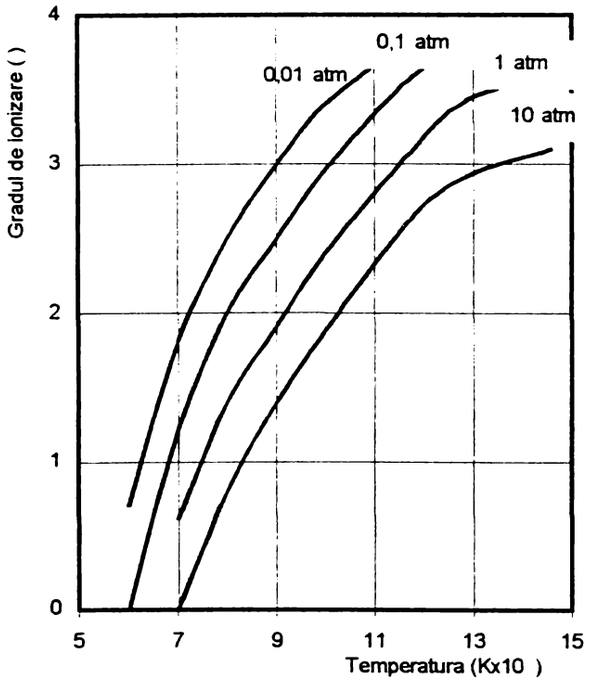


Fig. 2.17 Variația gradului de ionizarea argonului cu temperatura şi presiunea

BUPT

2.3.3 Fenomene de transport

Transferul de energie într-un gaz se realizează prin interacțiunile particulelor sale, aflate în mişcare continuă şi aleatorie, prin ciocniri. Dacă energia cinetică nu se modifică, atunci ciocnirile sunt perfect elastice, iar dacă o parte din energie este absorbită intern (pentru ionizare de exemplu) aceste ciocniri nu mai sunt elastice [11, 12].

Relațiile cantitative, distribuția vitezelor, frecvența ciocnirilor, conductivitatea electrică, etc. pot fi determinate utilizând teoria cinetico moleculară a gazelor, în cazul gazelor slab ionizate. Gazele inerte utilizate la sudarea WIG se încadrează în categoria gazelor înalt ionizate deci este necesară o tratare a lor în afara teoriei cinetice a gazelor cunoscută.

Practic plasma cu grad de ionizare > 1% se consideră înalt ionizată. Plasma cu 1% ionizare a argonului are o temperatură > 10 000 ° K.

2.3.4 Ciocnirile particulelor într-un gaz puternic ionizat - plasmă

Întâlnirea a două particule în caz ideal, determină un sistem caracterizat de următorii parametrii [11 , 12] :

v_r - viteza relativă,

Ψ - deflecția unghiulară,

d - parametrul de impact (distanța minimă de apropiere a particulelor)

Dacă masa unei particule este mult mai mică decât a celeilalte unghiul de impact va avea valoarea : $\Psi = \pi/2$, iar parametrul de impact d se notează cu d_0. Secțiunea de impact va fi : $Q = \pi\, d_0^2/4$. Este posibil să se estimeze rata de împrăştiere a unui gaz asupra unui curent de electroni. Coeficientul de difuzie pentru dispersia vitezelor este proporțional cu $\ln\lambda = \ln h/d_0$, unde h este distanța de protecție [12].

$$\lambda = 125 \cdot 10^7 \cdot \frac{T^{3/2}}{Z \cdot (n_e)^{1/2}} \qquad (2.21)$$

Z este nivelul de ionizare.

2.3.5 Conductivitatea electrică

În cazul ionizărilor înalte conductivitatea electrică se obține conform modelului Lorentz - un model ipotetic - cu relația : [11 , 12]

BUPT

$$\sigma_i = 2.632 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{T^{3/2}}{Z \cdot \ln\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots [1/\Omega m] \qquad (2.22)$$

Dacă ionizarea se realizează prin eliberarea unui singur electron - ionizare singulară - conductivitatea va avea forma :

$$\sigma = 1{,}53 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{T^{3/2}}{\ln\lambda} \qquad (2.23)$$

În cazul ionizărilor slabe gazul se poate considera neutru, caz în care conductivitatea sa va avea următoarea formulă :

$$\sigma = 3.34 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{\alpha}{Q \cdot T^{1/2}} \qquad (2.24)$$

unde α este nivelul ionizării şi Q secţiunea de impact.

Variaţia conductivităţii electrice a argonului în raport cu temperatura la presiunea de 1 atm este prezentată în figura 2.18 [12]

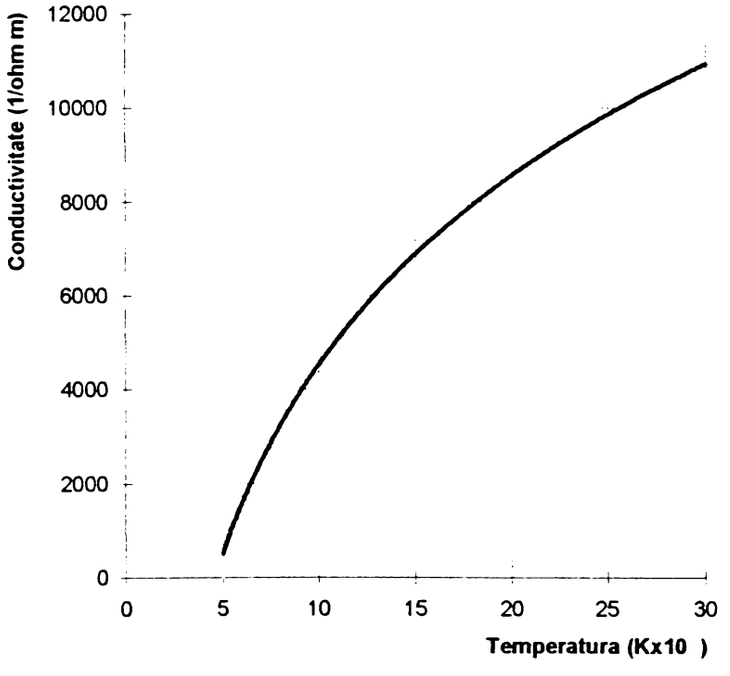


fig. 2.18 Variaţia conductivităţii electrice a argonului cu temperatura la presiunea de 1 atm

Variaţia rezistivităţii electrice a argonului şi a heliului la presiunea de o atmosferă [12] este prezentată în figura 2.19 Creşterea conductivităţii argonului o dată cu temperatura este un efect favorabil care determină creşterea stabilităţii arcului electric.

BUPT

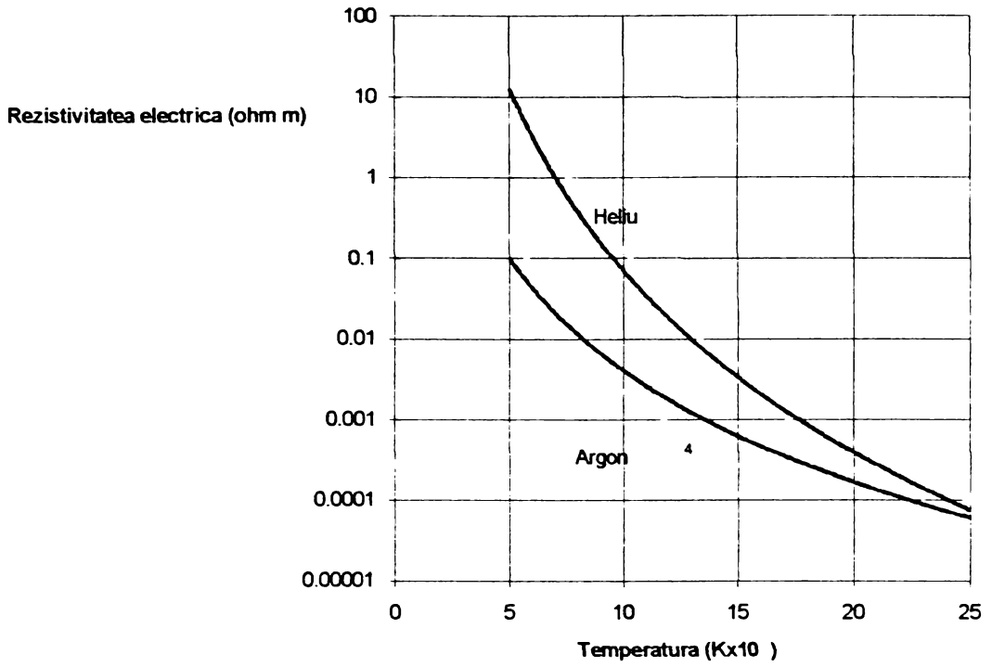


fig. 2.19 Variația rezistivității argonului şi a heliului la presiunea de 1 atm

Scăderea rezistivității argonului o dată cu creşterea temperaturii va determina scăderea rezistenței arcului electric în circuitul de sudare, astfel căderea de tensiune pe arc se reduce la creşterea temperaturii acestuia.

Creşterea temperaturii arcului electric prin diverse mijloace este benefică atât pentru stabilitatea acestuia cât şi pentru eficiența lui în procesul de sudare. La procedeul WIG este recunoscută „ lentoarea" în transmiterea căldurii către piesa de sudat.

2.4 Studiu privind curgerea gazelor

La procedeul de sudare WIG, perdeaua de argon este cea care asigură protecția electrodului nefuzibil şi a băii metalice topite . Calitatea şi compactitatea acestei perdele influențează în mod direct calitatea îmbinării sudate. Caracteristicile fizico-chimice ale argonului, mai ales puritatea, trebuiesc păstrate în zona electrodului de wolfram şi a băii metalice.

La ieşirea din duza de gaz, au loc fenomene de impurificare a argonului cu aerul datorate frecării cu acesta, a turbulențelor, etc., rezultând un amestec care nu poate asigura o protecție corectă.

Cercetările experimentale efectuate permit materializarea vizuală a conului de argon pur care se formează la ieşirea din duza de gaz a pistoletului de sudare.

BUPT

2.4.1 Elemente teoretice privind curgerea gazelor

Jeturile reprezintă un tip de curgere din domeniul turbulenței libere [2 , 7]. Turbulența arată că este vorba de o mişcare medie peste care se suprapune o fluctuație neregulată. Datorită vâscozității şi turbulenței, apare o tendință de egalizare a vitezelor între straturile adiacente, justificată de frecarea acestor straturi.

Din punct de vedere al densității jetului în raport cu densitatea mediului în care se propagă acestea pot fi :

a) înecate

b) neînecate

Jeturile înecate sunt acelea a căror masă specifică este de acelaşi ordin de mărime cu a mediului în care se dezvoltă, iar jeturile neînecate sunt acelea a căror masă specifică este mult mai mare decât cea a mediului în care se dezvoltă.

Pentru determinarea elementelor geometrice care definesc forma jetului, poziția secțiunii de tranziție şi variația vitezei maxime se porneşte de la relația 2.25 , a profilului de viteze a lui A.S. Ghinevsky.

$$\frac{V}{V_{max}} = 1 - 6 \cdot \frac{r}{r_i} + 8\frac{r}{r_i} - 3\frac{r}{r_i} \qquad (2.25)$$

Considerând un tronson din jet, limitat de două secțiuni transversale perpendiculare pe axa jetului şi aplicând teorema I-a impulsului în regim staționar, fluidului cuprins între frontiera jetului şi cele două secțiuni, neglijând forțele masice şi aplicând toate particularizările ce definesc curgerea argonului din duza WIG rezultă :

- debitul Q
- înălțimea conului de gaz pur

$$Q = 1{,}9084 \cdot Q_0 \frac{V_0}{V_{max}} \qquad (2.26)$$

$$h = x_t - x_0 = 0{,}6144\frac{r_0}{a} \qquad (2.27)$$

Înălțimea conului de gaz pur, rezultă din condiția ca abscisa să fie aceea corespunzătoare situației în care, repartiția de viteze din porțiunea de bază a jetului are viteza maximă egală cu viteza inițială.

BUPT

2.4.2 Cercetări experimentale privind corelarea înălțimii conului de argon pur cu debitul de gaz

În acest capitol am conceput şi realizat un stand pentru vizualizarea conului de argon la ieşirea din duza de gaz. Debitul de gaz protector este un parametru care este recomandat de obicei ca un interval de valori, ceea ce nu este corect. Conform studiului teoretic efectuat în cap. 2.4.1 rezultă că înălțimea conului de argon pur este o valoare dependentă de debitul de gaz şi diametrul de ieşire a acestuia din duză.

2.4.2.1 Standul pentru vizualizarea conului de argon

Dispozitivul experimental a fost astfel conceput încât să asigure admisia fumului ,de vizualizare a jetului de argon concentric cu acesta şi la periferia lui. O altă condiție foarte iomportantă este ca viteza fumului să fie cât mai apropiată de a argonului pentru a evita frecări importante intre cele două fluide.

Duza de gaz (1) prezentată în fig. 2.20, este confecționată din polietilenă respectând modelul duzei originale a instalației FRONIUS MAGIG WAVE. Cercetările s-au făcut pe patru tipodimensiuni de duze frecvent utilizate la sudarea WIG , cu diametrele interioare de : 6,5 mm; 8,0 mm; 14,5 mm; 18,5 mm.

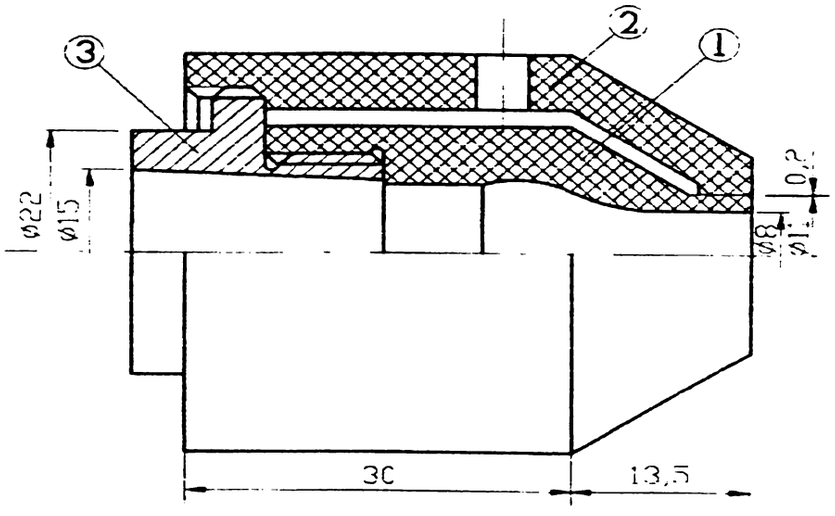


Fig. 2.20 Modelul experimental pentru studiul conului de argon pur

BUPT

Piesa (2) este confecționată din alamă şi se racordează la conul interior al pistoletului de sudare. Pe această piesă există două porțiuni filetate, pe care se fixează duza de gaz şi, piesa de fum (3) ambele din polietilenă.

Conturul interior al piesei de fum urmăreşte conturul exterior al duzei de gaz păstrând un spațiu de cca. 4,5 mm. În zona de ieşire spațiul se micşorează la 0,2 .. 0,5 mm.

Pe piesa de fum se fixează trei ştuțuri de admisie dispuse la 120° unul față de celălalt care se racordează la generatorul de fum. Generatorul de fum este alcătuit dintr-o incintă în care se plasează o rezistență electrică şi cuva de ulei. Rezistența electrică încălzeşte cuva de ulei şi provoacă prin ardere degajare de fum. Incinta are două ştuțuri , unul de admisie aer de la turbosuflantă şi unul pentru evacuare fum. Rezistența este alimentată de la un autotransformator astfel încât să putem regla cantitatea de fum degajată prin arderea uleiului. Turbosuflanta se alimentează de asemenea de la un autotransformator, astfel încât să putem regla debitul de fum şi implicit viteza acestuia la ieşirea din duză, care trebuie să fie egală cu a argonului, imaginea de ansamblu a dispozitivului este prezentată in foto 1.

Fotografiile au fost realizate pe un fond negru care să permită vizualizarea fumului alb antrenat de argonul în curgere laminară.

Claritatea este dependentă în mare masură de fotografiere.

Imaginile relizate au o riglă gradată care permite evaluarea lungimii conului de gaz pur pentru fiecare caz în parte. În partea imediat vecină duzei de gaz se observă curgerea laminară urmată de turbulețe cauzate de antrenarea aerului prin frecările între straturile vecine de argon şi aer.

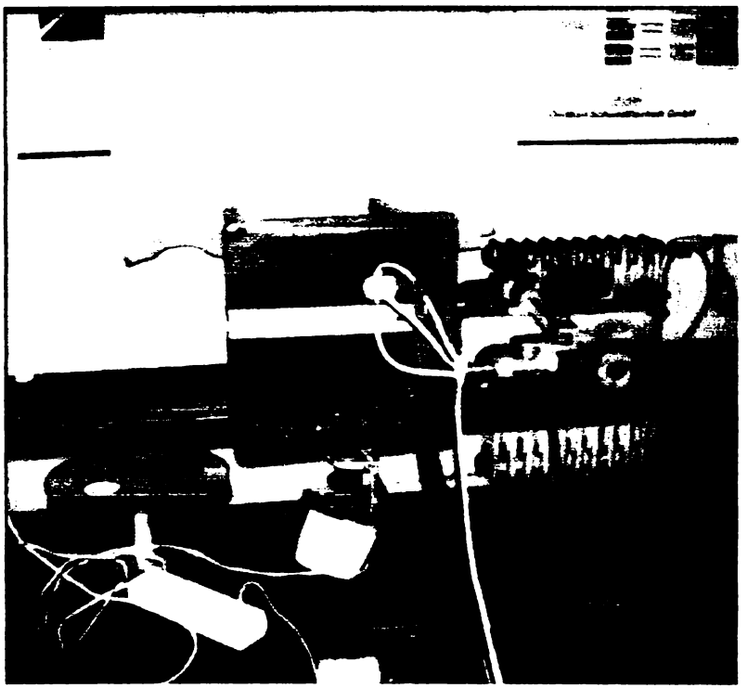


Foto 1.

BUPT

În Anexa 2 sunt prezentate fotografii ale jeturilor de argon, în diverse situații realizate în timpul programului experimental. Pe aceste fotografii a fost măsurată înălțimea conului de argon pur având drept scară rigla prezentă în fiecare fotografie. Conul de argon pur nu este vizibil în totalitate, deoarece după prima treime a parcursului datorită frecărilor cu aerul încep să apară turbulențe. Pe prima treime este clar vizibilă panta de înclinare a generatoarei conului, lucru care a permis măsurarea înălțimii conului.

2.4.2.2 Rezultatele experimentului

Măsurătorile s-au efectuat pe patru dimensiuni de duze, pentru fiecare reglând patru debite de argon. S-au făcut poze având ca bază de măsurare o riglă gradată. Ulterior s-au măsurat înălțimea conului de gaz pur reală, şi s-a estimat distanța ideală duză-piesă.

Astfel pentru duza cu diametrul interior de 6,6 mm se obține (tab.2.6)

Tabelul 2.6 Înălțimea conului funcție de debit pentru duza de 6,6 mm

Nr. foto	Q_{ar}(l/min)	h_{con}(mm)	d(mm)
1	5	23	5
2	6	26	6
3	7	24	5
5	8	20	3

Reprezentarea grafică a debitului de argon funcție de înălțimea conului de gaz pur (fig. 2.21) arată că există o valoare optimă a debitului dependentă de diametrul interior al duzei de gaz.

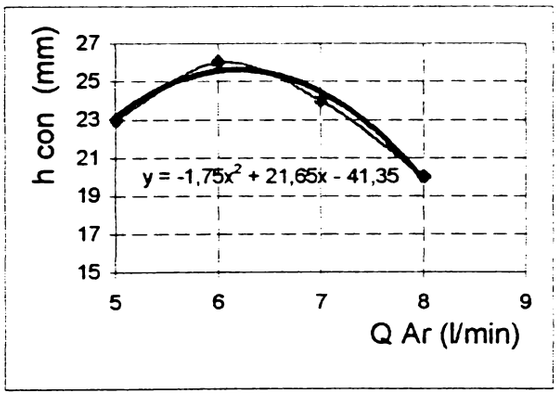


Fig. 2.21 Variația înălțimii conului funcție de debit

Pentru duza cu diametrul interior de 8,0 mm se obțin valorile (tab. 2.7)

Tabelul 2.7 Înălțimea conului funcție de debit pentru duza de 8,0 mm

Nr. foto	Q_{ar}(l/min)	h_{con}(mm)	d(mm)
6	7	25	5
7	8	29	6
9	9	23	4
10	10	18	3

BUPT

Reprezentarea grafică a variației valorilor din tab.2.7 este prezentată in fig. 2.22

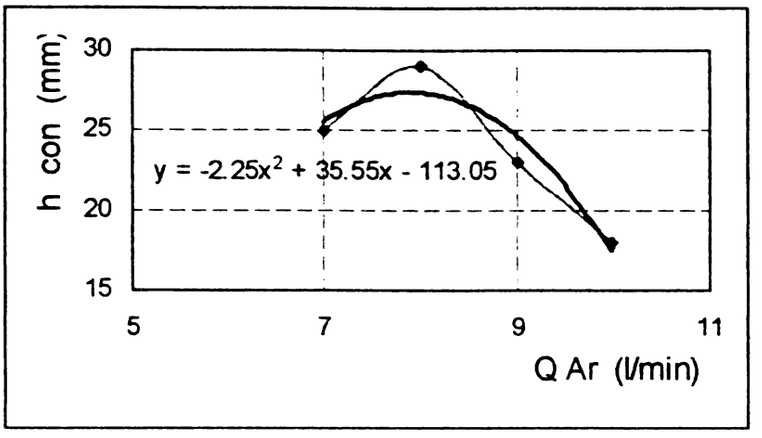


Fig.2.22 Variația înălțimii conului funcție de debit

Pentru duza cu diametrul de 14,5 mm se obțin valorile (tab. 2.8)

Tabelul 2.8 Înălțimea conului funcție de debit pentru duza de 14,5 mm

Nr. foto	Q_{ar} (l/min)	h_{con} (mm)	d (mm)
11	9	37	9
13	10	38	10
14	11	40	11
15	12	28	6

Reprezentarea grafică a variației valorilor din tab. 2.8 este prezentată in fig.2.23

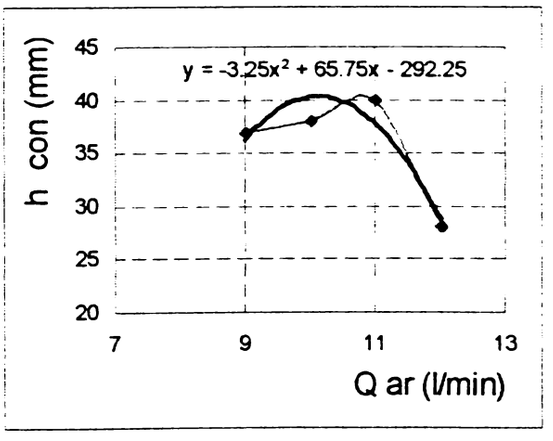


Fig. 2.23 Variația înălțimii conului funcție de debit

Pentru duza cu diametrul de 18,5 mm se obțin valorile (tab. 2.9)

Tabelul 2.9 Înălțimea conului funcție de debit pentru duza de 18,5 mm

Nr. foto	Q (l/min)	h_{con}(mm)	d (mm)
16	11	46	10
18	12	47	12
19	13	49	18
20	14	45	6

BUPT

Reprezentarea grafică a variației valorilor din tab. 2.9 este prezentată in fig. 2.24

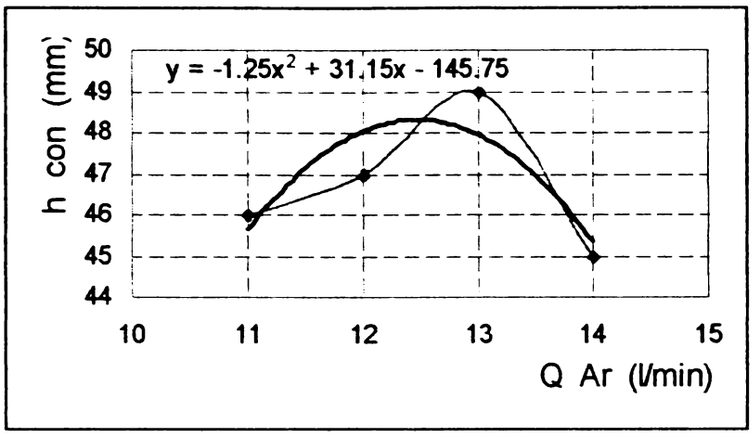


Fig. 2.24 Variația înălțimii conului funcție de debit

2.4.2.3 Concluzii :

- pentru duza de diametru 4,5 mm , debitul de 6 .. 7 l/min asigură protecție maximă ; unghiul de înclinare al frontierei jetului este de 7 .. 8^0 ; înălțimea conului de gaz este de 24 .. 26 mm.
- pentru duza de diametru 8.0 mm , debitul de 7,5 .. 8,5 l/min asigură protecție maximă ; unghiul de înclinare al frontierei jetului este de 8 .. 9^o ; înălțimea conului de gaz este de 25 .. 29 mm.
- pentru duza de diametru 14,5 mm , debitul de 10 .. 11 l/min asigură protecție maximă ; unghiul de înclinare al frontierei jetului este de 10 .. 11^o ; înălțimea conului de gaz este de 38 .. 40 mm.
- pentru duza de diametru 18,5 mm , debitul de 12 .. 13 l/min asigură protecție maximă ; unghiul de înclinare al frontierei jetului este de 11 .. 12^o ; înălțimea conului de gaz este de 47 .. 49 mm.
- distanța ideală intre duza de gaz şi piesă este de 20 .. 25 % din înălțimea conului de gaz pur, la sudarea WIG.
- corelațiile de tip polinomial care definesc înălțimea conului de gaz pur funcție de diametrul duzei de gaz utilizată sunt prezentate în tabelul 2.10

BUPT

ANEXA 2

FOTOGRAFII ALE JETURILOR DE ARGON PENTRU MODELELE REALIZATE

BUPT

Foto 1
Imagine generală a curgerii gazului

Foto 2
Imagine generală a curgerii gazului

BUPT

Foto 3
Aspectul jetului de gaz la întâlnirea cu un obstacol

Foto 4
$Ø_{duză}$ = 6,5 mm ; Q_{Ar} = 5 l/min

BUPT

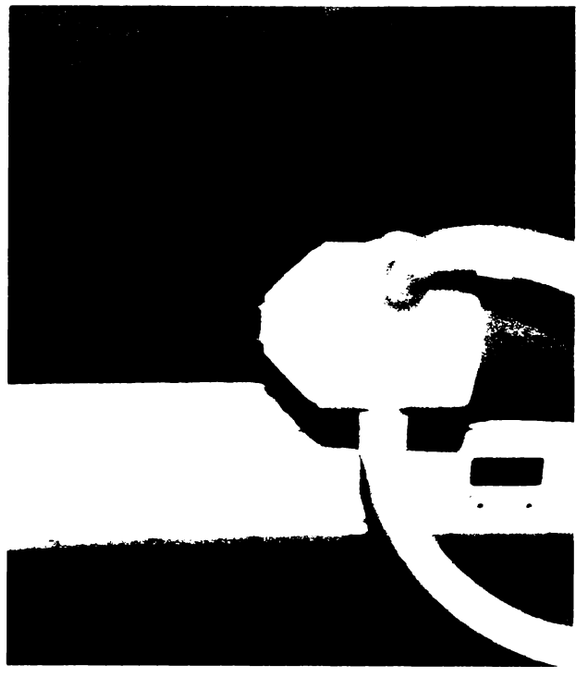


Foto 5
$Ø_{duză}$ = 6,5 mm ; Q_{Ar} = 6 l/min

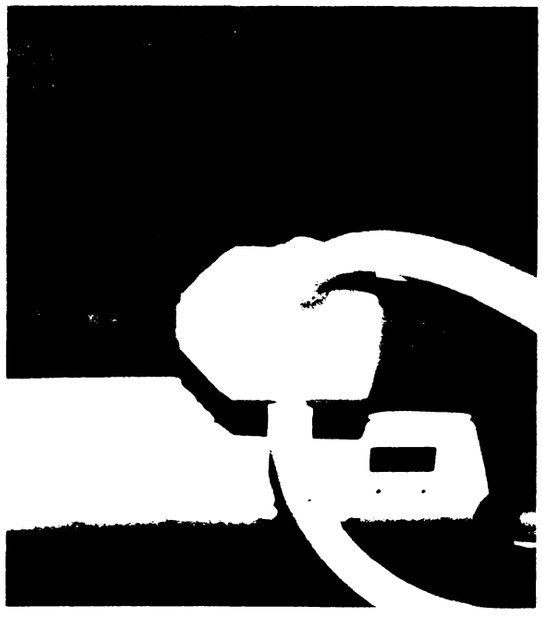


Foto 6
$Ø_{duză}$ = 6,5 mm ; Q_{Ar} = 7 l/min

BUPT

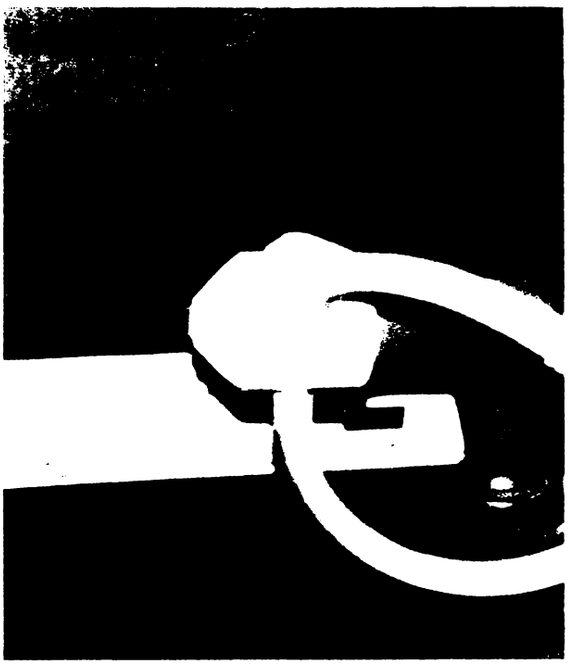


Foto 7
$Ø_{duză}$ = 6,5 mm ; Q_{Ar} = 8 l/min

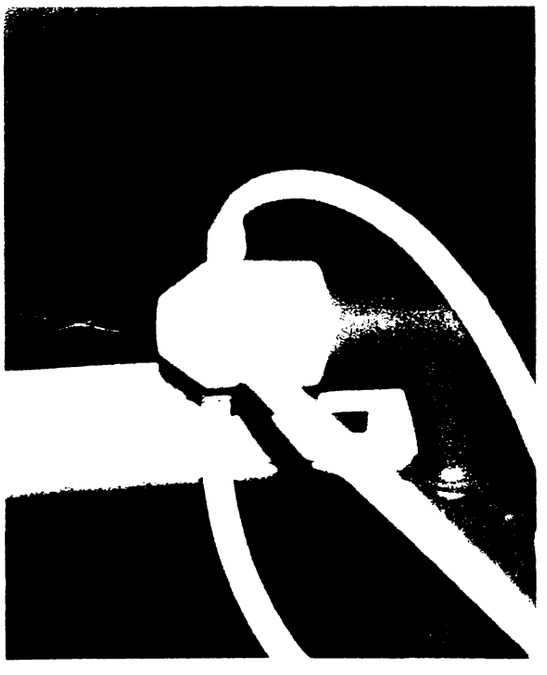


Foto 8
$Ø_{duză}$ = 8,0 mm ; Q_{Ar} = 7 l/min

BUPT

Foto 9
$Ø_{duză}$ = 8,0 mm ; Q_{Ar} = 8 l/min

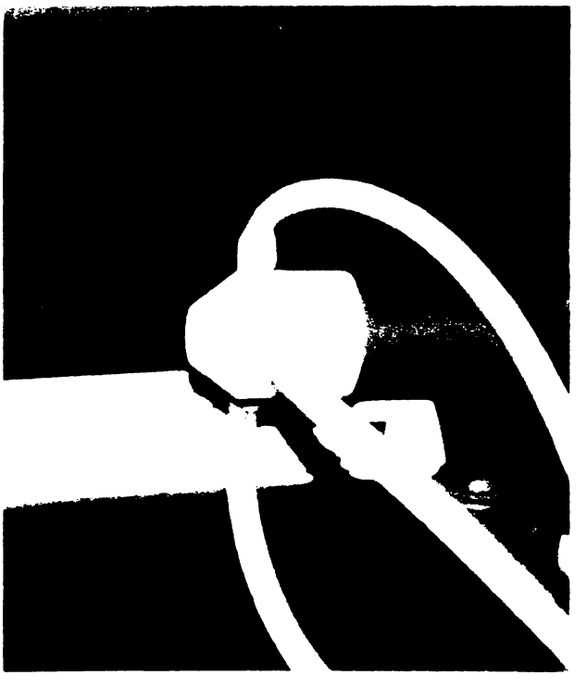


Foto 10
$Ø_{duză}$ = 8,0 mm ; Q_{Ar} = 9,0 l/min

BUPT

Foto 11
$Ø_{duză}$ = 8,0 mm ; Q_{Ar} = 10,0 l/min

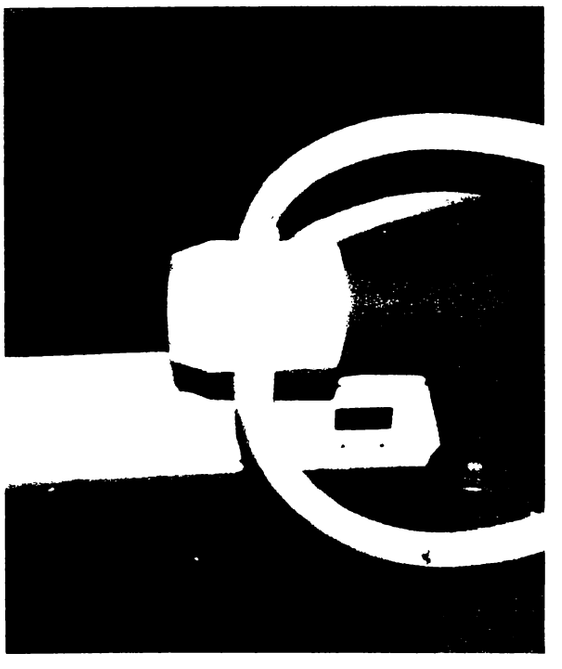


Foto 12
$Ø_{duză}$ = 14,5 mm ; Q_{Ar} = 9,0 l/min

BUPT

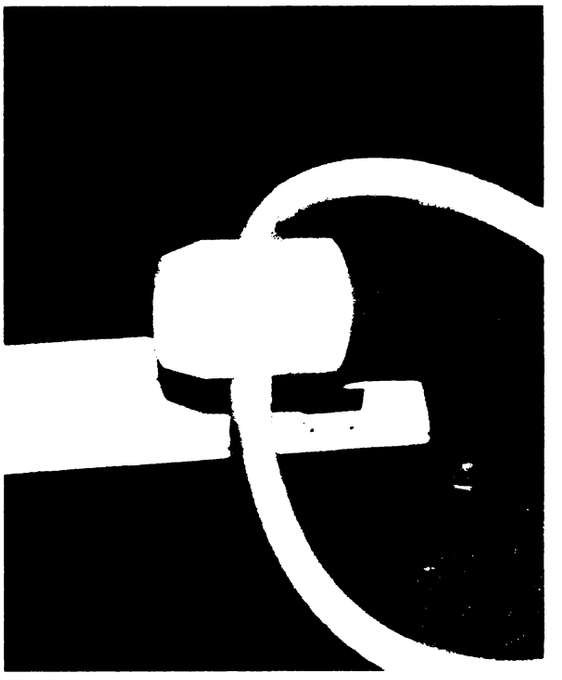


Foto 13
$Ø_{duză}$ = 14,5 mm ; Q_{Ar} = 10,0 l/min

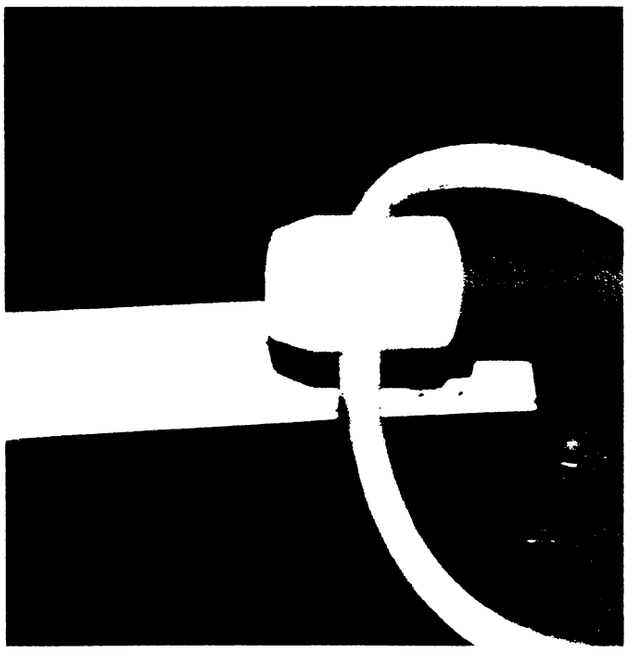


Foto 14
$Ø_{duză}$ = 14,5 mm ; Q_{Ar} = 11,0 l/min

BUPT

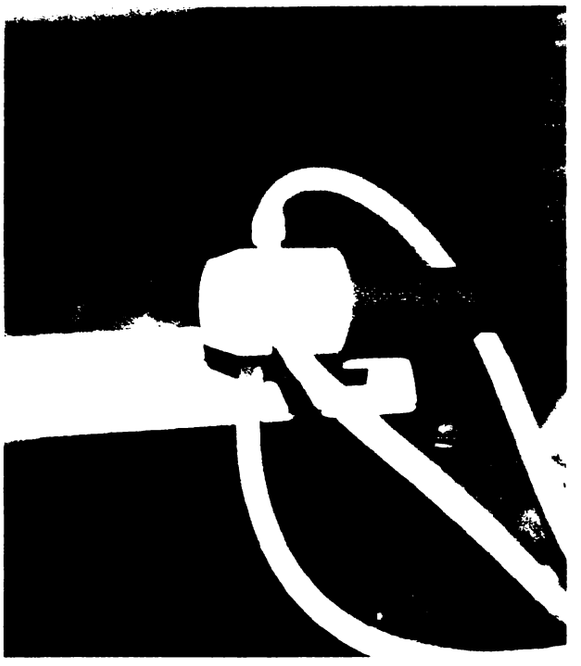


Foto 15
$Ø_{duză}$ = 18,5 mm ; Q_{Ar} = 11,0 l/min

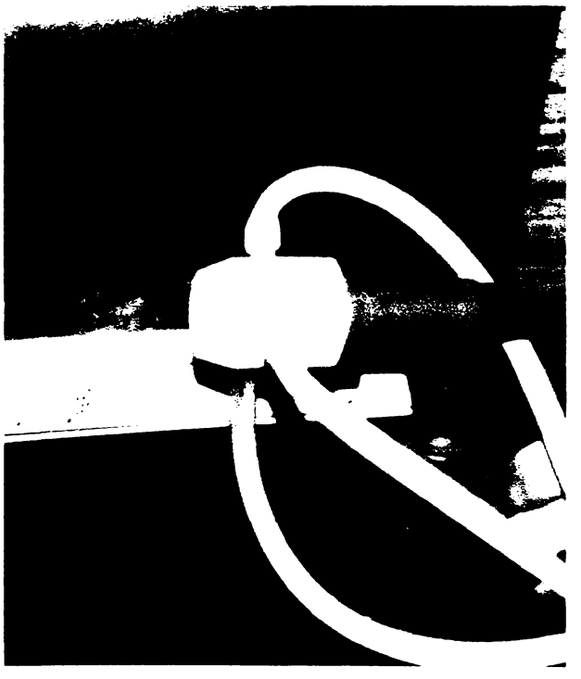


Foto 16
$Ø_{duză}$ = 18,5 mm ; Q_{Ar} = 12,0 l/min

BUPT

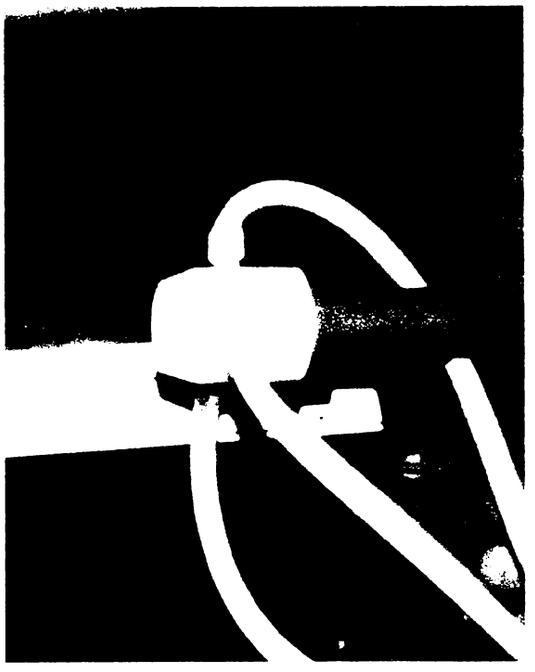


Foto 17
$Ø_{duză}$ = 18,5 mm ; Q_{Ar} = 14,0 l/min

BUPT

Tabelul 2.10 **Corelații polinomiale pentru calculul înălțimii conului de argon pur funcție de debit**

$Ø_{duză}$	Corelația : $h_{con} = f(Q_{Ar})$
6,60	$h_{con} = -1,75 \cdot Q^2 + 21,65 \cdot Q - 41,35$
8,00	$h_{con} = -2,25 \cdot Q^2 + 21,65 \cdot Q - 41,35$
14,50	$h_{con} = -3,25 \cdot Q^2 + 65,75 \cdot Q - 292,25$
18,00	$h_{con} = -1,25 \cdot Q^2 + 31,15 \cdot Q - 145,75$

Corelațiile sunt valabile pentru diametrele de duze din tabelul 2.10 şi nu în afara acestor diametre.

2.5 Cercetări privind viteza de stabilizare a tensiunii şi curentului, timpul de răspuns.

2.5.1 Descrierea instalației FRONIUS MAGIC WAVE 300

Au fost cercetate performanțele sursei de sudare FRONIUS Magic Wave 300, referitoare la viteza de revenire a tensiunii şi curentului la modificări bruşte ale acestora, cu influențe asupra performanțelor tehnologice, au fost înregistrate oscilograme ale curentului şi tensiunii arcului electric în regim de sudare cu curent continuu şi curent alternativ, varianta cu şi fără pulsuri.

Planul de testare a performanțelor sursei cuprinde oscilografieri ale curentului şi tensiunii arcului electric în situația sudării cu curent continuu pulsat şi curent alternativ obişnuit şi pulsat.

BUPT

2.5.2 Caracteristicile tehnice ale sursei :

- tensiunea de alimentare : 3 x 380 (400 ; 415) V ± 10% la f = 50 / 60Hz
- curentul de sudare nominal : 300 A la DA = 60 %
- curentul de sudare : I_s = 3 ... 300 A
- randamentul η = 0,81
- factorul de calitate : cos φ = 0,98 ...0,99
- frecvența invertorului : f_{inv} = 60 kHz
- frecvența curentului alternativ de sudare : f_{CA} = 40 ... 250 Hz

Prin caracteristicile sale, şi posibilitățile de sudare, sursa de sudare este o sursă modernă, dotată cu dublu invertor.

2.5.3 Schema bloc

Schema bloc prezentată în fig. 2.25, este obişnuită, pentru o sursă cu invertor şi anume:

- filtru de rețea
- punte redresoare trifazată PRT
- condensator de netezire C_n
- invertor cu tranzistori I_1
- transformator cu miez de ferită TMF
- punte redresoare monofazată PRM
- buclă de reglare automată care prin traductorul de curent TC, etajul de comparație EC, blocul de valori prescrise BVP, amplificatorul regulator AR şi blocul de comandă pe grilă BCG asigură caracteristica căzătoare necesară sudării WIG.

Sursa este dotată cu un al doilea invertor în circuitul de sudare care are funcții multiple:

- asigurarea unui curent alternativ cu formă de undă rectangulară şi frecvență variabilă
- schimbarea polarității la borne în curent continuu
- balansul, care constă în modificarea reciprocă a duratei alternanței pozitive față de cea negativă şi invers

BUPT

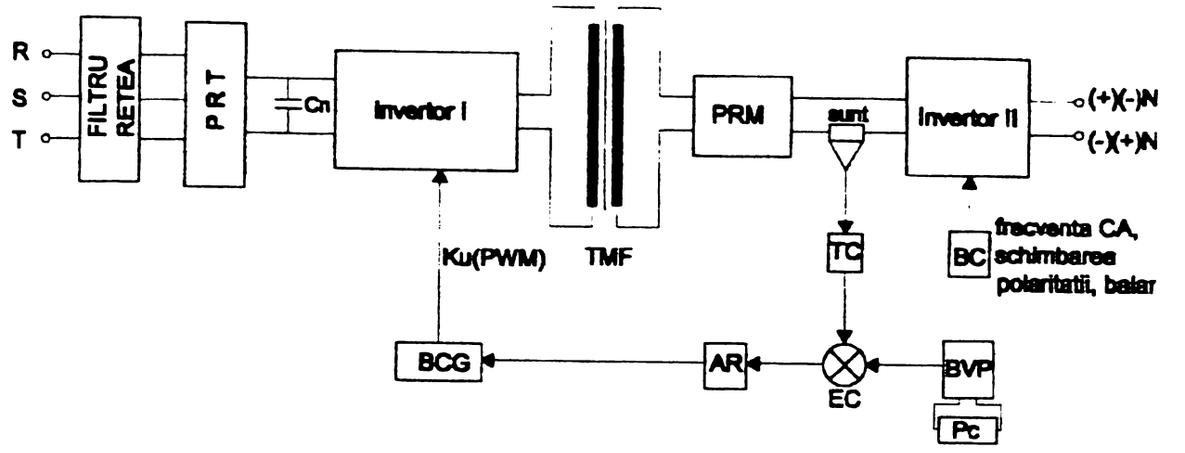


Fig. 2.25

Programul de testare cuprinde înregistrarea curentului şi tensiunii pentru toate regimurile posibile de sudare în curent continuu şi alternativ, inclusiv varianta curent pulsat. S-a urmărit determinarea vitezei de revenire a curentului şi tensiunii (dinamica sursei) în situaţiile în care apar modificări bruşte ale acestor parametrii cauzate fie de trecerea prin zero fie de modificări breuşte ale valorilor acestor parametrii.

Pentru studiul efectuat a fost important ca timpii de revenire determinaţi pe oscilograme să aibă valori sub 10 ms .

2.5.4 Înregistrarea pe osciloscop a pulsurilor, comentarii şi concluzii.

Probele de la 2 la 11 şi 5/1 la 5/5 au fost efectuate în curent continuu pulsat cu varierea parametrilor care pot să dea o imagine a modului de lucru a invertorului, iar probele a1 la a10 în curent alternativ pulsat. Parametrii de sudare precum şi parametrii de înregistrare sunt prezentaţi pentru fiecare oscilogramă realizată în Anexa 3.

Testele efectuate demonstrează o acurateţe deosebită a posibilităţilor de reglaj ale sursei de sudare, viteză de revenire a parametrilor curent şi tensiune medie, la modificări bruşte produse de scurtcircuite sau de pulsarea curentului. Este relevat faptul că la pulsarea cu frecvenţe mari curentul de bază nu mai poate fi atins ca nivel pentru că se intră în comanda de revenire la curentul de puls.

Interpretarea oscilogramelor :

- pe oscilogramele 2 ... 11 se poate determina durata de revenire a tensiunii prin măsurare direct pe oscilogramă ţinând cont de scara oscilogramei. Durata de revenire a tensiunii

BUPT

este de 2 ... 4 ms. Trecerea de la curentul de bază la curentul de puls, găseşte arcul electric "nepregătit", în sensul unei ionizări slabe, conforme curentului mic de bază. Pentru a realiza ionizarea cerută de valoarea curentului de puls sursa debitează un vârf de tensiune, cu cca 4 V mai mult decât este necesar, după care are loc revenirea în 2 ... 4 ms

- pe oscilogramele 5/1...5/5 a fost modificat timpul de puls în raport cu timpul de bază pentru a determina noua durată de revenire a tensiunii. Pentru raportul T_p/T_b = 10% se observă o creştere a U_b cu aprox. 3 V față de raportul T_p/T_b = 50% Durata de revenire a tensiunii U_p este de 2 ms, iar timpul de revenire a tensiunii U_b este de aprox. 8 ms Trecerea de la curentul de puls la curentul de bază, se face pe fondul unui arc electric cu coloana puternic ionizată, deionizarea făcându-se mai rapid decât ionizarea. Concluzia este că viteza de ionizare a arcului electric este mult mai mică decât cea de deionizare (recombinare).
- oscilograma a2 relevă faptul că forma curentului alternativ este rectangulară adică trecerea prin zero a curentului alternativ se face cu viteză foarte mare, ceea ce face ca spațiul arcului electric să nu se deionizeze şi reamorsarea se face fără dificultăți. Parametrii curent şi tensiune revin la valoarea prescrisă de programator după timpi relativ mici de aprox. 1,5 ms. Acest timp este datorat constantei de timp a sistemului de reglare automată al sursei.
- Valoarea tensiunii U_+ este de 20 V față de tensiunea U_- de 8 V. Explicația este dată de teoria arcului electric, şi anume ionizare slabă a coloanei AE atunci când pata catodică se află pe piesă (temperatura este mai mică)
- oscilograma a3 şi a4 relevă faptul că tensiunile U_+ respectiv U_- suferă fluctuații de ordinul a 1 ... 2 V. Balans + 3 conduce la : U+ creşte cu aprox 2V, iar U- scade cu aprox. 1 V. Balans - 3 conduce la : U+ la valoarea echivalentă cu a2, iar U- creşte cu aprox. 2V Justificările sunt legate de condițiile de ionizare – recombinare din spațiul arcului electric.
- de pe oscilograma a5 se remarcă faptul că, comanda de salt de pe I_b pe I_p nu este sincronizată cu curentul alternativ, respectiv indiferent unde se află pe alternanță la primirea comenzii se realizează saltul pentru pulsare.
- oscilograma a6 relevă că scăderea frecvenței de pulsare conduce la apariția mai multor alternanțe de curent alternativ în timpul curentului de puls respectiv de bază

BUPT

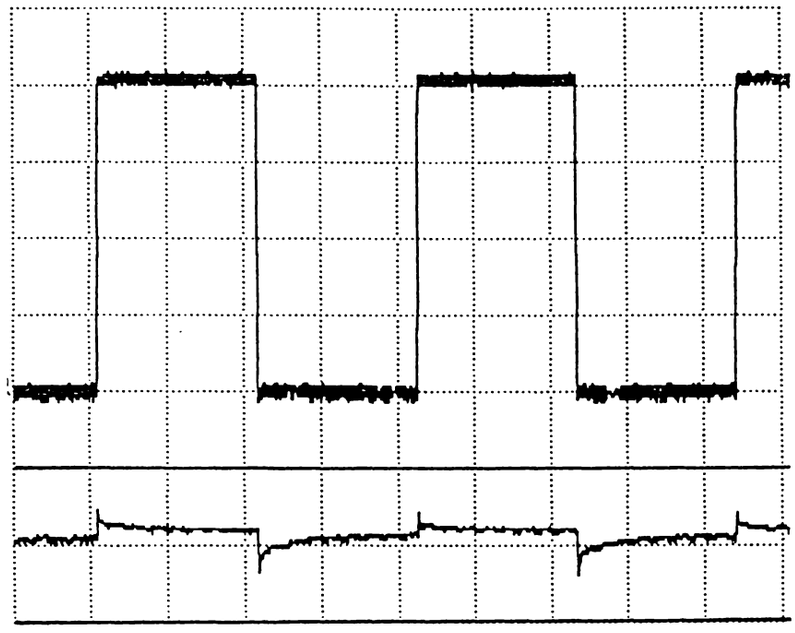
- oscilograma a7 relevă că, creşterea frecvenței de pulsare conduce la apariția mai multor pulsuri în cadrul aceleiaşi alternanțe + sau - . Se poate estima timpul de revenire a curentului, şi concluzia că viteza de reacție a invertorului este limitată.
- oscilograma a8 arată că la frecvențe de pulsare mari datorită inerției sistemului de reglare automată pulsurile nu mai sunt rectangulare (dinți de ferăstrău) , iar valorile prereglate nu se mai pot atinge, şi anume curent de puls prereglat 150 A iar măsurat pe oscilogramă este de 140 A
- a 9 şi 10 stabilitate excelentă a AE. Se poate măsura timpul de reacție (revenire) pe curent şi tensiune care este de 1 ms

BUPT

ANEXA 3

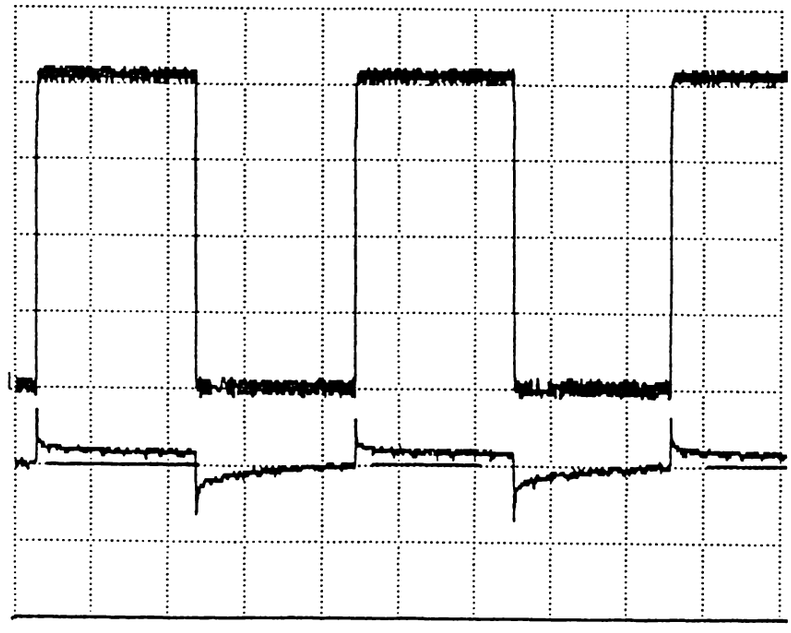
OSCILOGRAME ALE CURENTULUI ŞI TENSIUNII ARCULUI ELECTRIC

BUPT



f_{puls} = 5 Hz
I_p = 100 A
I_b = 20 A
T_p/T_b = 50%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV ; I_p = 100 A ; $U_ş$ = 50 mV M ; C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_I = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 50 ms/div
Linia de referinţă curent : LR_I = 2
Linia de referinţă tensiune : LR_U = 0

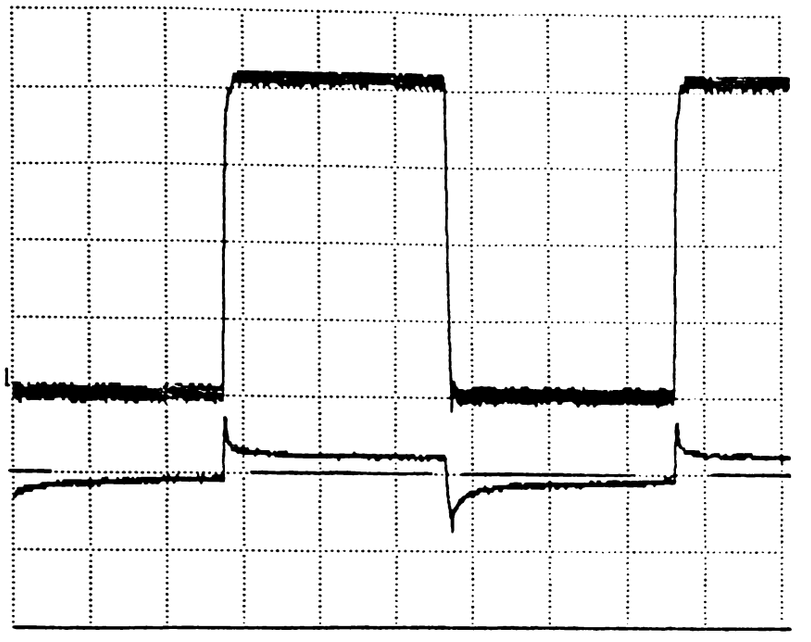
Proba 3



f_{puls} = 5 Hz
I_p = 100 A
I_b = 20 A
T_p/T_b = 50%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV ; I_p = 100 A ; $U_ş$ = 50 mV M ; C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_I = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune . C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 50 ms/div
Linia de referinţă curent : LR_I = 2
Linia de referinţă tensiune : LR_U = 0

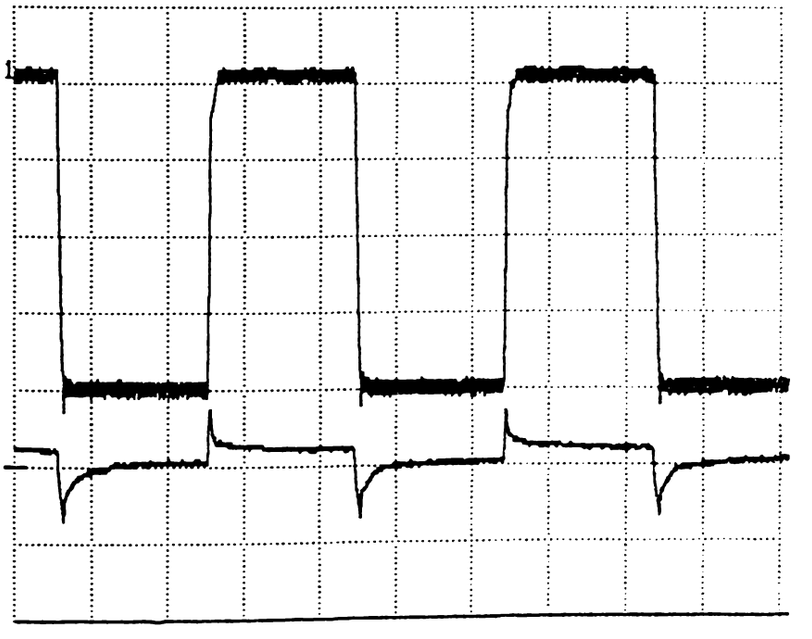
BUPT

Proba 4



f_{puls} = 17 Hz
I_p = 100 A
I_b = 20 A
T_p/T_b = 50%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV ; I_p = 100 A , $U_ş$ = 50 mV M , C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_i = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 10 ms/div
Linia de referinţă curent : LR_I = 2
Linia de referinţă tensiune : LR_U = 0

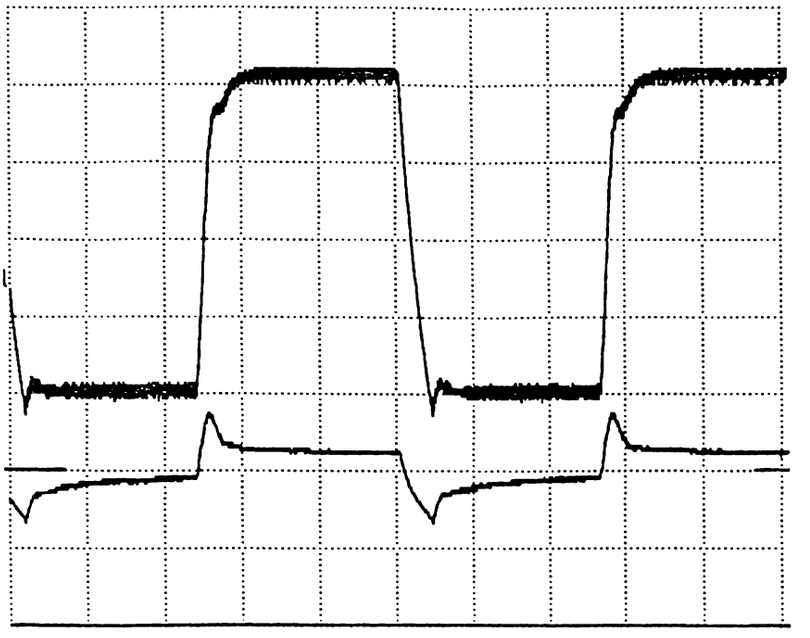
Proba 5



f_{puls} = 20 Hz
I_p = 100 A
I_b = 20 A
T_p/T_b = 50%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV , I_p = 100 A , $U_ş$ = 50 mV M , C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_i = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune . C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 10 ms/div
Linia de referinţă curent . LR_I = 2
Linia de referinţă tensiune : LR_U = 0

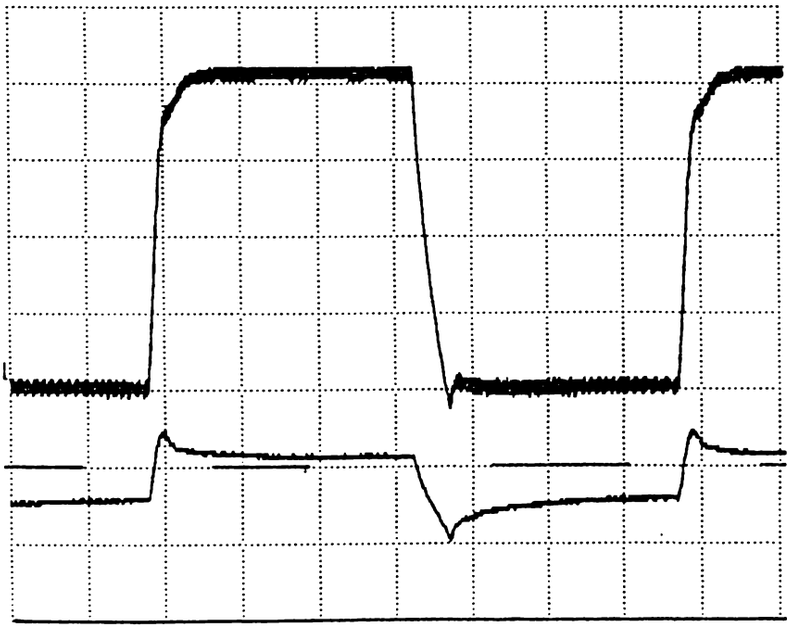
BUPT

Proba 6



f_{puls} = 100 Hz
I_p = 100 A
I_b = 20 A
T_p/T_b = 50%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV ; I_p = 100 A ; $U_ş$ = 50 mV M ; C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_I = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 2 ms/div
Linia de referinţă curent : LR_I = 2
Linia de referinţă tensiune : LR_U = 0

Proba 7

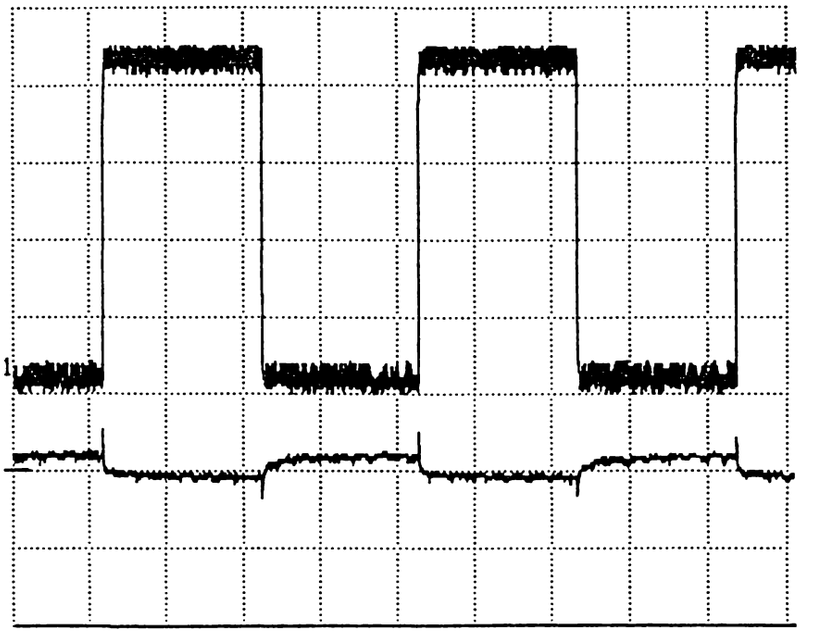


f_{puls} = 60 Hz
I_p = 100 A
I_b = 20 A
T_p/T_b = 50%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV ; I_p = 100 A , $U_ş$ = 50 mV M ; C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_I = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div

Baza de timp : BT = 2 ms/div
Linia de referinţă curent : LR_I = 2
Linia de referinţă tensiune : LR_U = 0

BUPT

Proba 8



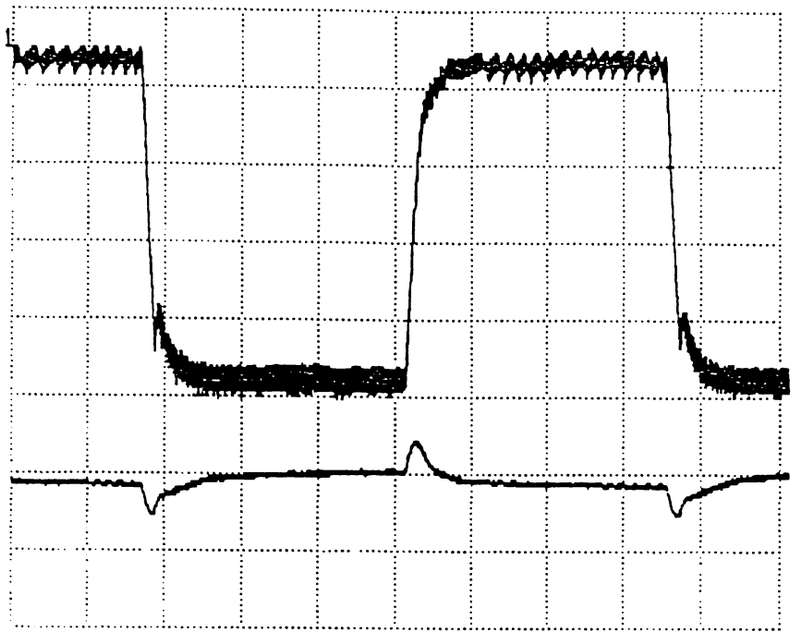
f_{puls} = 5 Hz
I_p = 50 A
I_b = 10 A
T_p/T_b = 50%
Constantă osciloscop : C_{os} = 5 mV/div
Constantă curent : C_I = 10 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 50 ms/div
Linia de referință curent : LR_I = 2
Linia de referință tensiune : LR_U = 0

Proba 9

f_{puls} = 20 Hz
I_p = 50 A
I_b = 10 A
T_p/T_b = 50%
Constantă osciloscop . C_{os} = 5 mV/div
Constantă curent : C_I = 10 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 10 ms/div
Linia de referință curent : LR_I = 2
Linia de referință tensiune : LR_U = 0

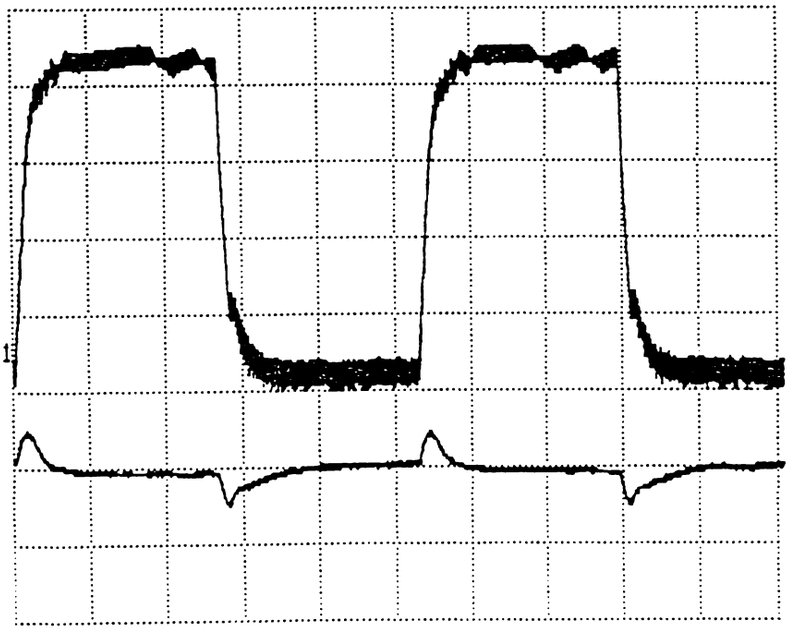
BUPT

Proba 10



f_{puls} = 60 Hz
I_p = 50 A
I_b = 10 A
T_p/T_b = 50%
Constantă osciloscop : C_{os} = 5 mV/div
Constantă curent : C_I = 10 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 2 ms/div
Linia de referință curent : LR_I = 2
Linia de referință tensiune : LR_U = 0

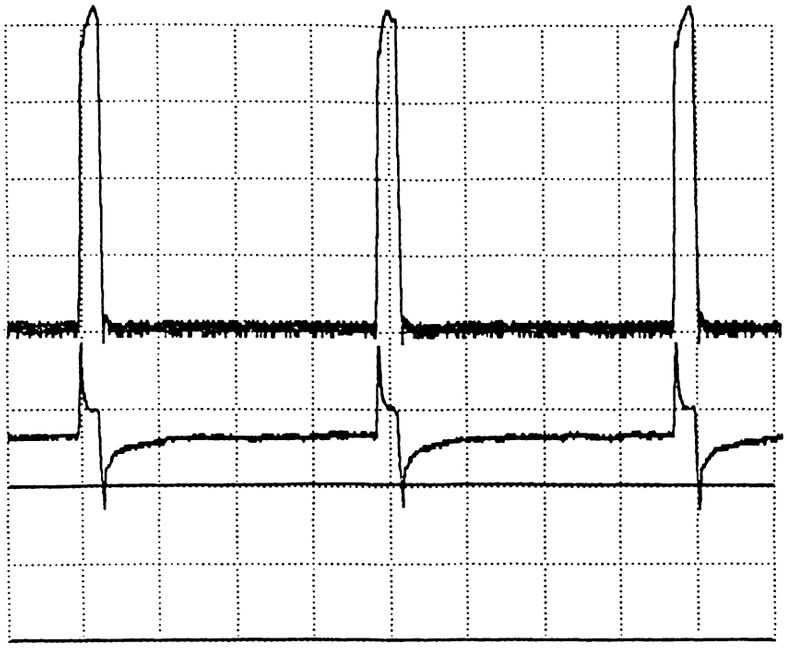
Proba 11



f_{puls} = 100 Hz
I_p = 50 A
I_b = 10 A
T_p/T_b = 50%
Constantă osciloscop : C_{os} = 5 mV/div
Constantă curent : C_I = 10 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 2 ms/div
Linia de referință curent : LR_i = 2
Linia de referință tensiune : LR_U = 0

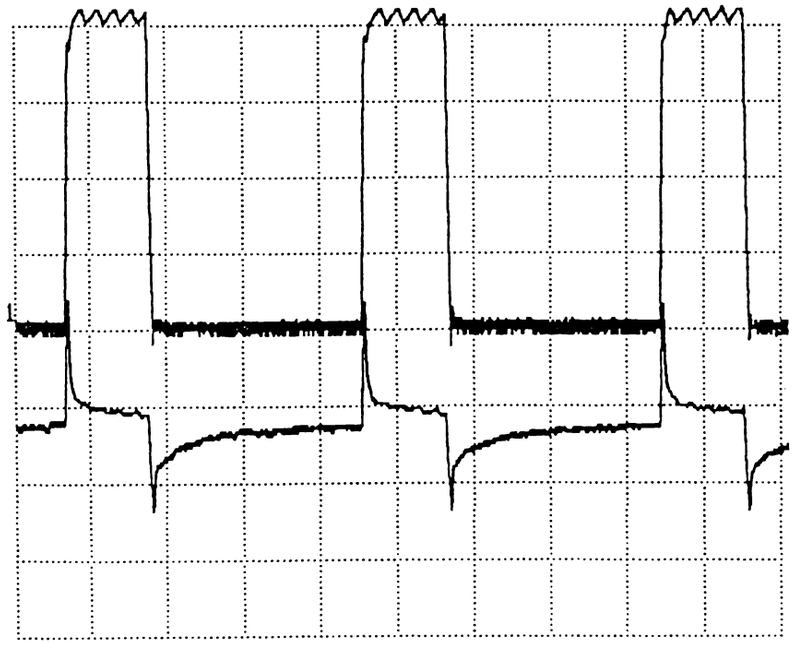
BUPT

Proba 5/1



f_{puls} = 20 Hz
I_o = 100 A
I_b = 20 A
T_p/T_b = 10%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV , I_p = 100 A ; $U_ş$ = 50 mV M ; C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_I = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 10 ms/div
Linia de referinţă curent : LR_I = 3
Linia de referinţă tensiune : LR_U = 0

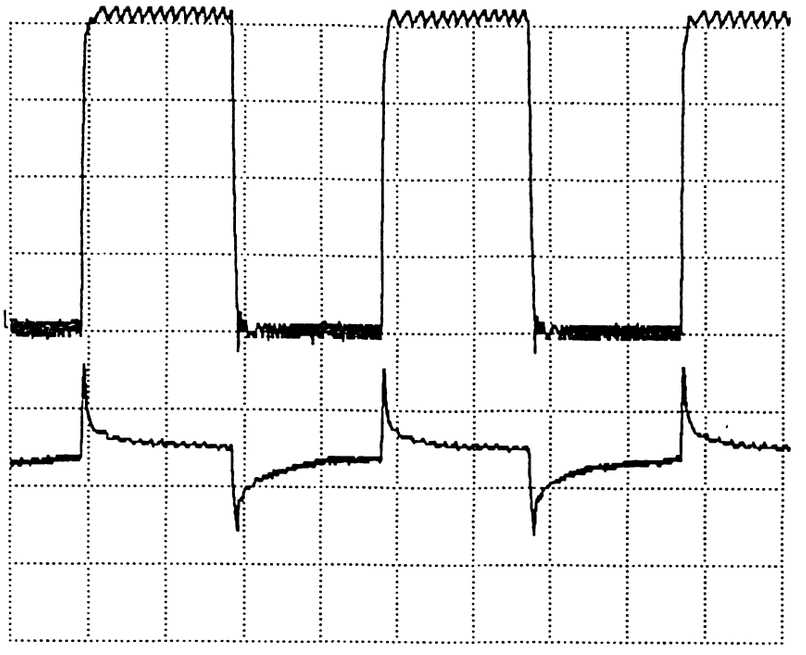
Proba 5/2



f_{puls} = 20 Hz
I_p = 100 A
I_b = 20 A
T_p/T_b = 30%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV ; I_p = 100 A ; $U_ş$ = 50 mV M ; C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_I = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 10 ms/div
Linia de referinţă curent : LR_I = 3
Linia de referinţă tensiune : LR_U = 0

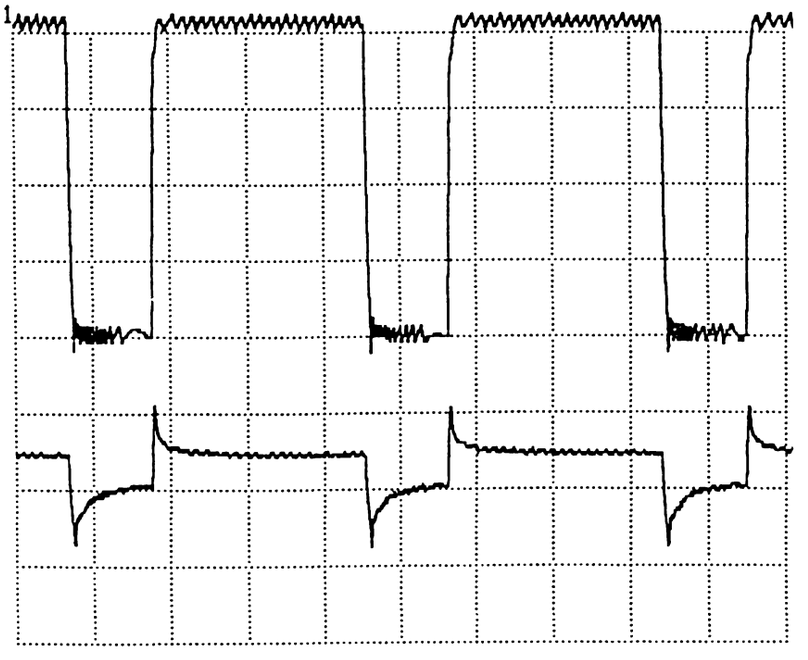
BUPT

Proba 5/3



f_{puls} = 20 Hz
I_o = 100 A
I_b = 20 A
T_o/T_b = 50%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV ; I_p = 100 A ; $U_ş$ = 50 mV M ; C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_I = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 10 ms/div
Linia de referință curent : LR_I = 3
Linia de referință tensiune : LR_U = 0

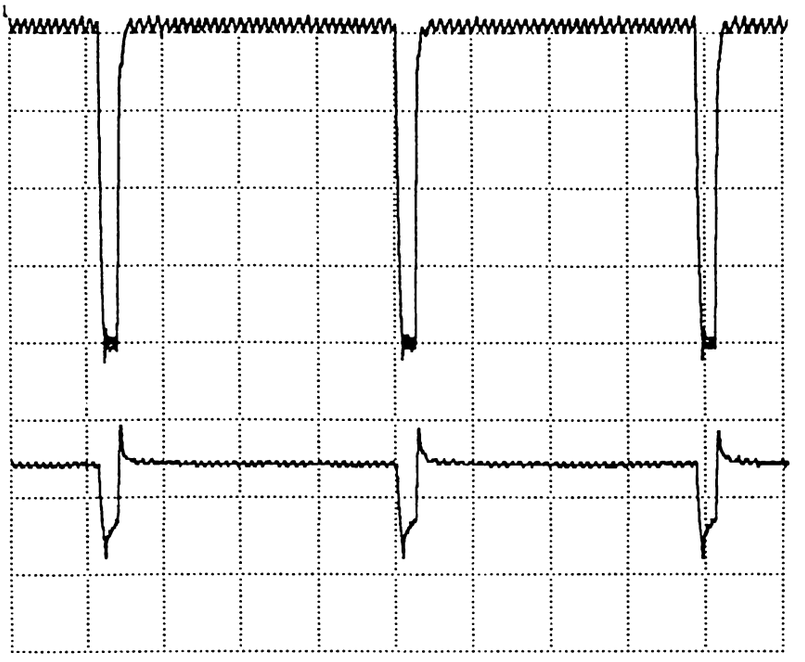
Proba 5/4



f_{puls} = 20 Hz
I_o = 100 A
I_b = 20 A
T_o/T_b = 70%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV ; I_p = 100 A ; $U_ş$ = 50 mV M ; C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_I = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 10 ms/div
Linia de referință curent : LR_I = 3
Linia de referință tensiune : LR_U = 0

BUPT

Proba 5/5

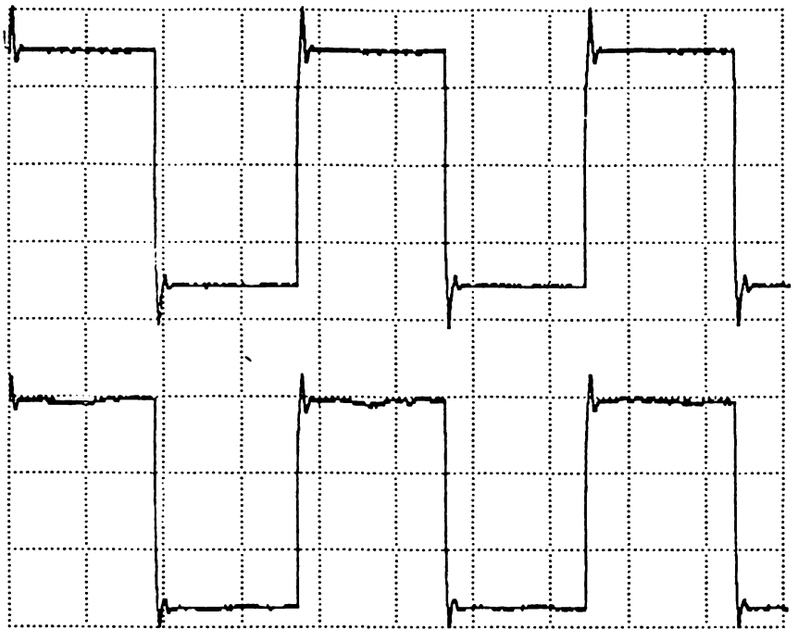


f_{puls} = 20 Hz
I_p = 100 A
I_b = 20 A
T_p/T_b = 90%
Constantă şunt . $C_ş$= 2 A/mV ; I_p = 100 A ; $U_ş$ = 50 mV M ; C_o = 10 mV/div
Constantă curent : C_I = 2 A/mV x 10 mV/div = 20 A/div
Constantă tensiune : C_U = 5 V/div
Baza de timp : BT = 10 ms/div
Linia de referinţă curent : LR_I = 3
Linia de referinţă tensiune : LR_U = 0

BUPT

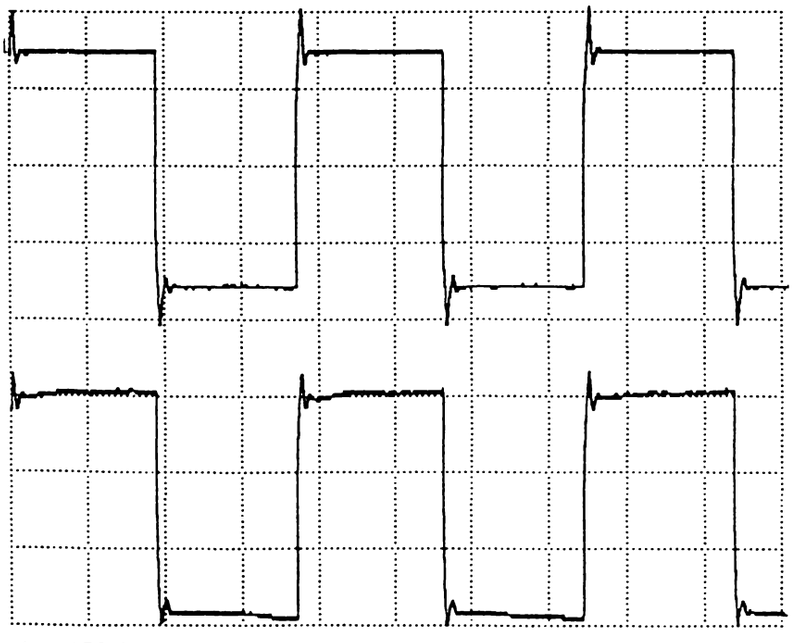
Proba a1

Proba este destinată reglării osciloscopului, amorsarea arcului electric făcându-se pe o probă de oțel. Parametrii utilizați sunt :



I_s = 150 A
Constantă curent : C_I = 100 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 5 ms/div
Balans = 0
Linia de referință curent : LR_I = 6
Linia de referință tensiune : LR_U = 1

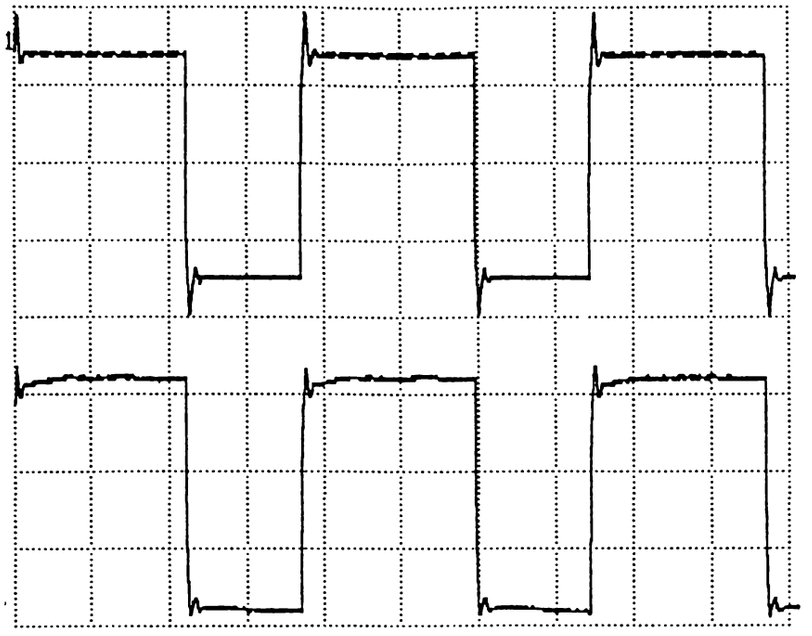
Proba a2 (pe Aluminiu)



I_s = 150 A
Constantă curent : C_I = 100 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 5 ms/div
Balans = 0
Linia de referință curent : LR_I = 6
Linia de referință tensiune : LR_U = 1
Frecventa curentului alternativ = 55 Hz

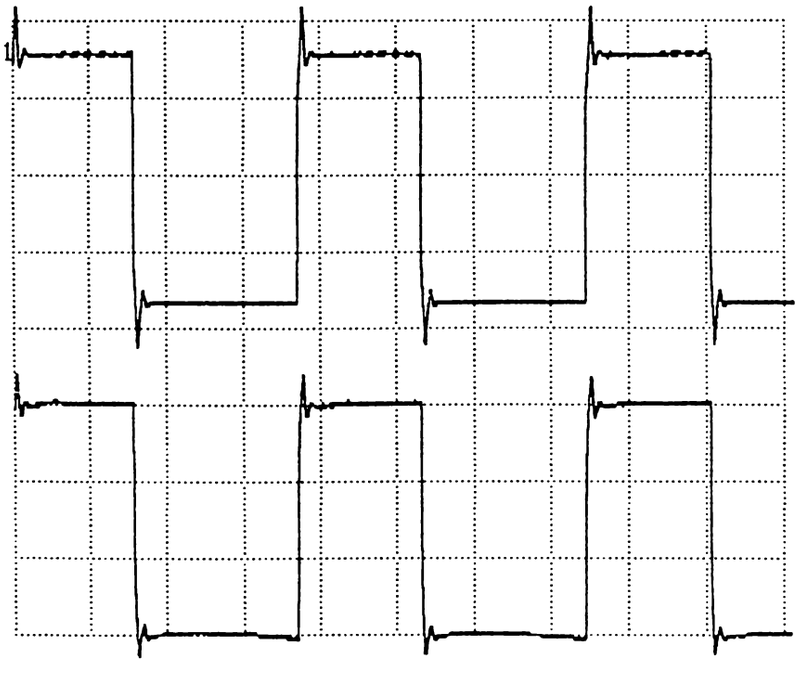
BUPT

Proba a3 (pe Aluminiu)



I_s = 150 A
Constantă curent : C_I = 100 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 5 ms/div
Balans = +3
Linia de referință curent : LR_I = 6
Linia de referință tensiune : LR_U = 1
Frecvența curentului alternativ = 55 Hz

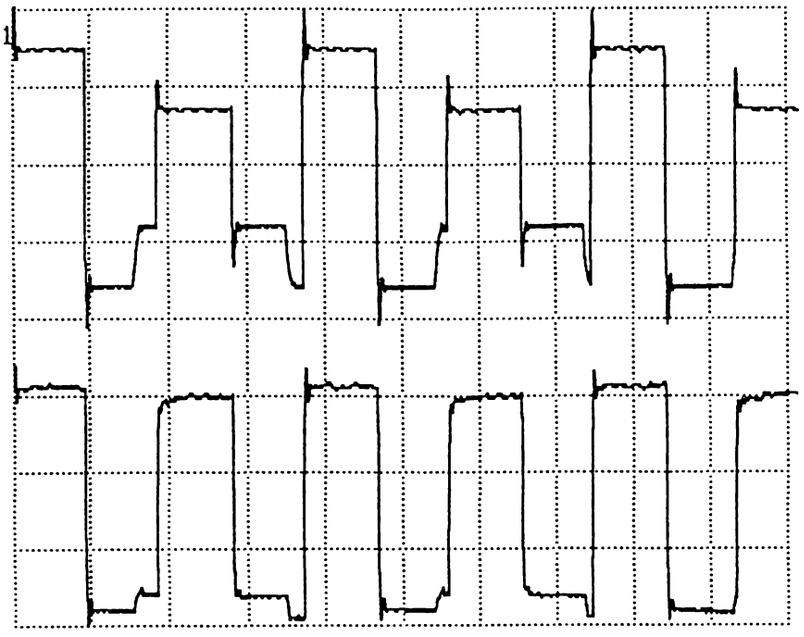
Proba a4 (pe Aluminiu)



I_s = 150 A
Constantă curent : C_I = 100 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 5 ms/div
Balans = -3
Linia de referință curent : LR_I = 6
Linia de referință tensiune : LR_U = 1
Frecvența curentului alternativ = 55 Hz

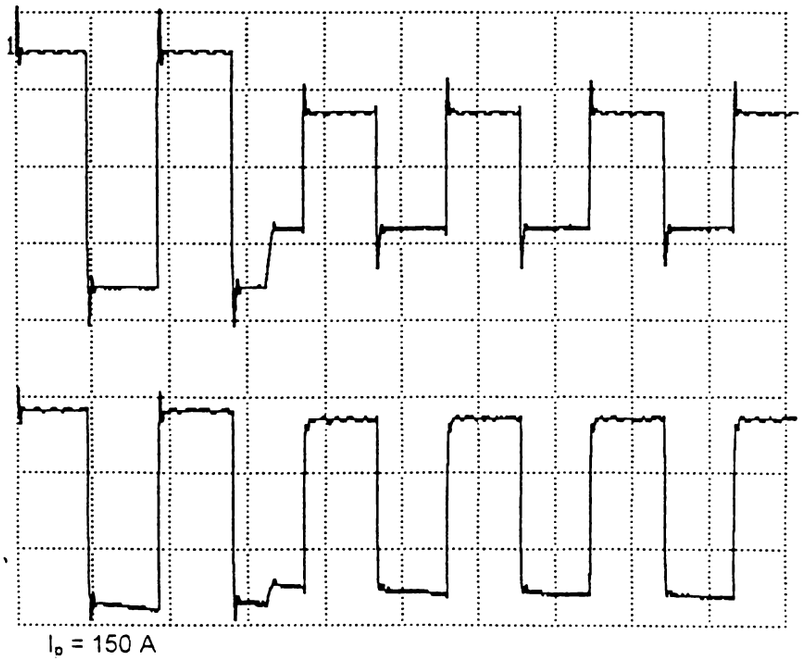
BUPT

Proba a5 (pe Aluminiu)



Încercările continuă cu pulsarea curentului
I_p = 150 A
I_b = 75 A
T_p/T_b = 50%
f_{puls} = 20 Hz
Constantă curent : C_I = 100 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 10 ms/div
Balans = 0
Linia de referință curent : LR_I = 6
Linia de referință tensiune : LR_U = 1
Frecvența curentului alternativ = 55 Hz

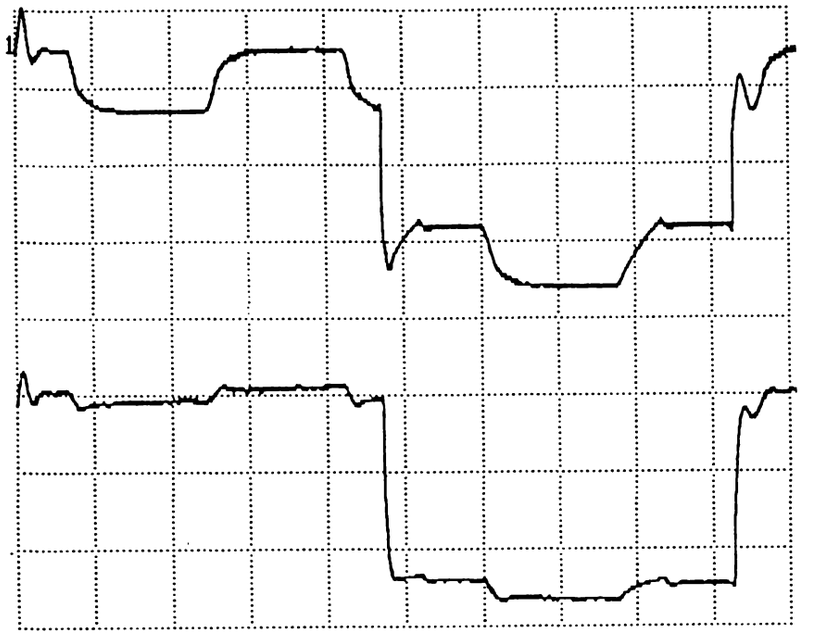
Proba a6 (pe Aluminiu)



I_p = 150 A
I_b = 75 A
T_p/T_b = 50%
f_{puls} = 10 Hz
Constantă curent : C_I = 100 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 10 ms/div
Balans = 0
Linia de referință curent : LR_I = 6
Linia de referință tensiune : LR_U = 1
Frecvența curentului alternativ = 55 Hz

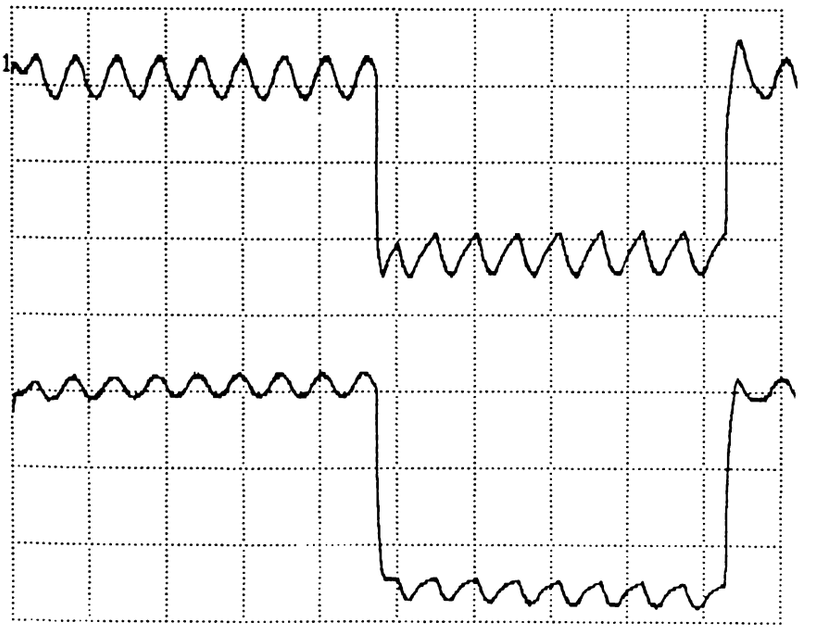
BUPT

Proba a7 (pe Aluminiu)



I_p = 150 A
I_b = 75 A
T_p/T_b = 50%
f_{puls} = 200 Hz
Constantă curent : C_I = 100 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 2 ms/div
Balans = 0
Linia de referință curent : LR_I = 6
Linia de referință tensiune : LR_U = 1
Frecvența curentului alternativ = 55 Hz

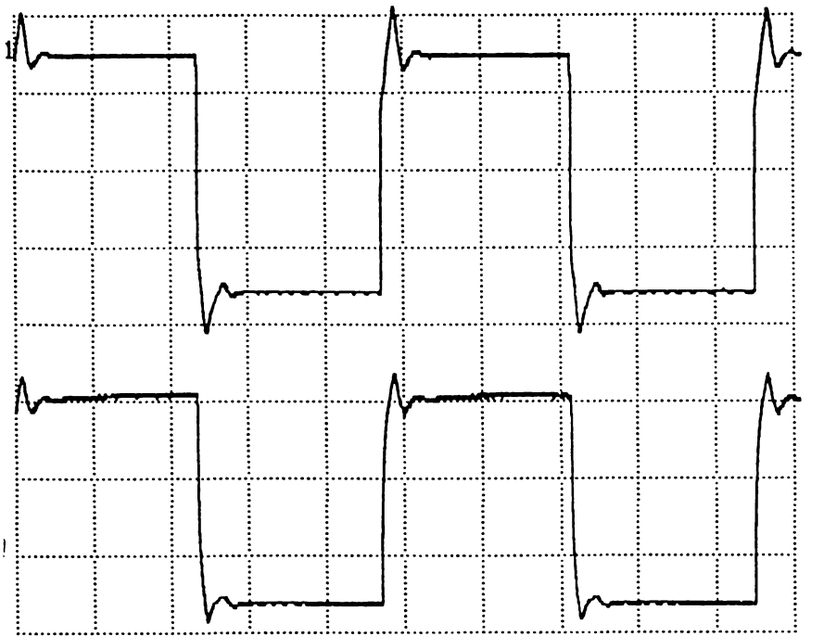
Proba a8 (pe Aluminiu)



I_p = 150 A
I_b = 75 A
T_p/T_b = 50%
f_{puls} = 1 000 Hz
Constantă curent : C_I = 100 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 2 ms/div
Balans = 0
Linia de referință curent : LR_I = 6
Linia de referință tensiune : LR_U = 1
Frecvența curentului alternativ = 55 Hz

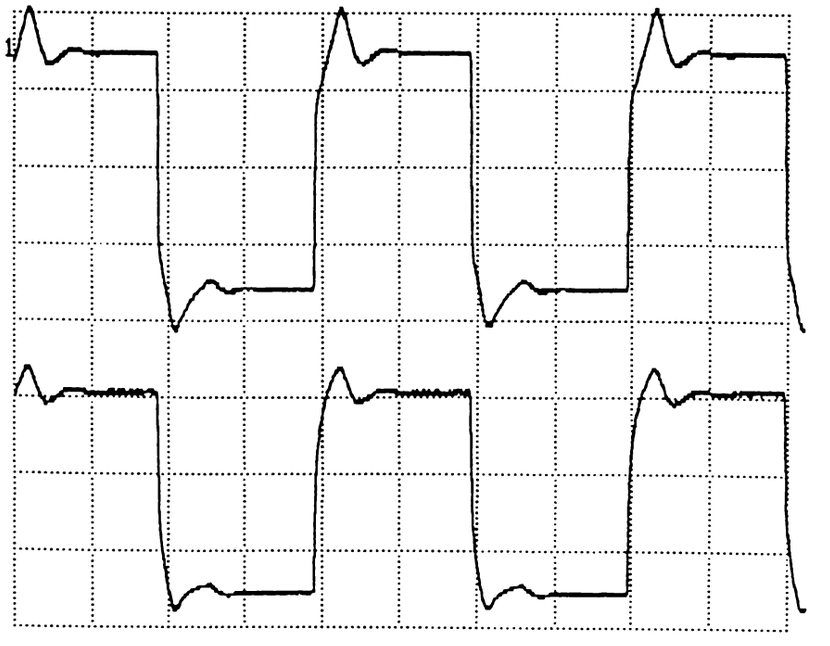
BUPT

Proba a9 (pe Aluminiu)



Față de proba a2 s-a modificat frecvența curentului alternativ
I_s = 150 A
Constantă curent : C_I = 100 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 2 ms/div
Balans = 0
Linia de referință curent : LR_I = 6
Linia de referință tensiune : LR_U = 1
Frecvența curentului alternativ = 100 Hz

Proba a10 (pe Aluminiu)



I_s = 150 A
Constantă curent : C_I = 100 A/div
Constantă tensiune : C_U = 10 V/div
Baza de timp : BT = 1 ms/div
Balans = 0
Linia de referință curent : LR_I = 6
Linia de referință tensiune : LR_U = 1
Frecvența curentului alternativ = 250 Hz

BUPT

Cap. 3 STANDUL DE SUDARE WIG MECANIZAT, REALIZAT

3.1 Prezentare generală

Mecanizarea procedeului de sudare WIG conduce la obținerea unor rezultate spectaculoase în ceea ce priveşte calitatea şi productivitatea acestui procedeu.

Dat fiind faptul că la ora actuală mecanizarea s-a făcut doar pe aplicații fără domeniu larg de utilizare, sudarea țevilor de exemplu, standul realizat încearcă să rezolve mecanizarea pentru îmbinări liniare cap la cap şi colț.

Concepția standului de sudare mecanizată WIG are la bază ideea de a realiza mecanizat următoarele mişcări :

- Deplasarea de-a lungul cusăturii (realizarea v_s)
- Menținerea constantă a lungimii arcului electric
- Realizarea avansului sârmei material de adaos (v_{ae})
- Preîncălzirea sârmei material de adaos

Parametrii dependenți de mişcările mai sus menționate trebuie să fie continuu reglabili şi standul realizat permite aceste reglaje.

Viteza de sudare este realizată de tractorul purtător acționat de un motor de curent continuu cu turație reglabilă printr-un potențiometru.

Menținerea constantă a lungimii arcului electric se realizează cu ajutorul căii de rulare şi a dispozitivelor de fixare şi reglare a poziției pistoletului de sudare.

Avansul sârmei material de adaos este asigurat de un motor de curent continuu cu turație reglabilă continuu tip MRF.

Preîncălzirea sârmei se realizează electric prin efect Joule Lenz cu ajutorul unui transformator alimentat printr-un circuit de reglare, cu triac, în primar care permite modificarea curentului din secundar care preîncălzeşte sârma. Sârma trece prin două contacte alunecătoare dispuse la distanță constantă notată mai departe cu l. Temperatura de preîncălzire va fi dependentă şi de viteza de deplasare a sârmei.

Dispozitivul realizat este prezentat schematic în figura 3.1

BUPT

Tractorul purtător este aşezat pe două profile care asigură aderența necesară unui avans constant şi menținerea unei deplasări rectilinii.

Tractorul este dotat cu inversor de sens de rotație a roților motoare pentru a asigura deplasarea în ambele sensuri ale direcției rectilinii. Deplasarea poate fi oprită cu ajutorul unui cuplaj cu frecare de tip ambreiaj cu ajutorul căruia se poate asigura şi deplasarea liberă a acestuia pentru poziționarea capului de sudare la începutul cusăturii ce urmează a fi realizată. Viteza se reglează continuu cu potențiometrul de pe tractor sau prin comandă de al distanță.

Pistoletul de sudare este fixat de tractor cu un sistem care permite poziționarea lui pentru diverse cusături şi anume cap la cap, colț, înclinat față de verticală înaintea sau înapoia sensului de sudare. Microîntrerupătorul care comandă pornirea procesului de sudare, de pe pistolet, poate fi transferat pe un panou de comandă de pe care să se facă toate reglajele şi comenzile.

Preîncălzirea se realizează electric cu ajutorul a două contacte alunecătoare alimentate de la secundarul unui trafo comandat în primar de un bloc cu triac. Blocul BCT realizează reglarea curentului de preîncălzire continuu ceea ce permite reglarea temperaturii de preîncălzire la valoarea dorită. După cum se observă din calculul efectuat această temperatură depinde de temperatura mediului ambiant, randamentul de transmitere la materialul de adaos, rezistivitatea acestuia, distanța dintre contactele alunecătoare, viteza de avans a materialului de adaos şi timpul cât durează avansul sârmei. Transformatorul utilizat are în secundar 12 spire de cupru cu secțiunea de 1 x 8 mm^2 bobinare pe un miez de fier cu secțiuna de 40 x 65 mm^2. Tensiunea de mers în gol a acestuia este reglabilă între 0,5 şi 6,5 V.

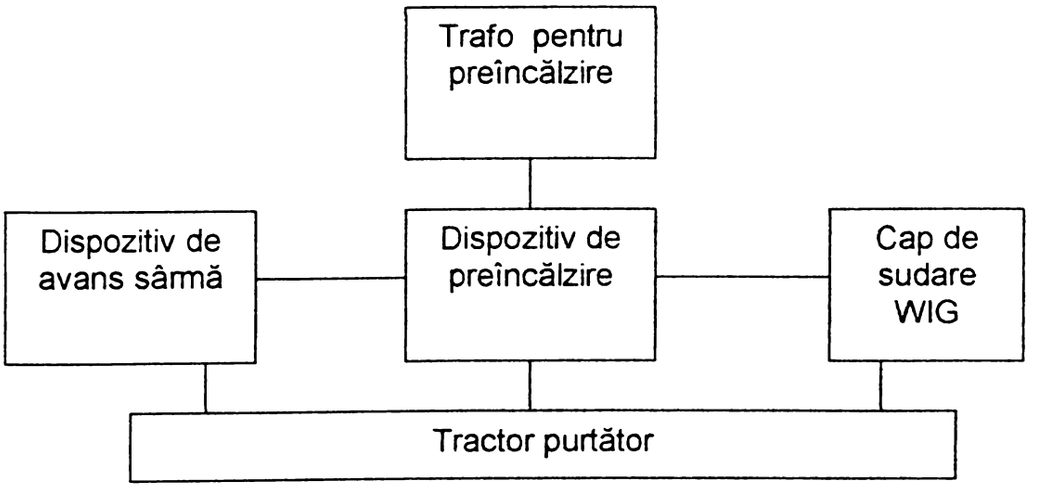


Fig. 3.1 Schema bloc a dispozitivului de sudare

BUPT

- Tractorul purtător trebuie să aibe viteză de deplasare reglabilă continuu pentru a putea permite stabilirea cu exactitate a parametrilor tehnologici.
- Dispozitivul de avans sârmă permite reglarea continuă a vitezei de avans. În cazul de față este cu două role satelit, sistem care se pretează la împingerea sârmei pe distanțe scurte.
- Dispozitivul de preîncălzire este de tip rezistiv cu două contacte elctrice alunecătoare montate la distanță şi alimentat de la trafo de preîncălzire.
- Capul de sudare WIG este fixat pe tractorul purtător printr-un sistem care permite poziționarea acestuia după două direcții.
- Transformatorul de preîncălzire este alimentat printr-un circuit cu triac în primar care permite reglarea curentului de preîncălzire a sârmei material de adaos.

Pornirea procesului de sudare se poate face numai respectând ordinea indicată de ciclogramă şi anume :

- Gazul de protecție (argonul sau amestecuri cu H_2 sau He) asigură amorsarea arcului electric în atmosferă protectoare
- Oscilatorul de înaltă frecvență ionizează spațiul dintre electrodul de wolfram şi piesă şi permite amorsarea arcului electric fără contact între acestea, evitându-se impurificarea electrodului
- După un timp necesar formării băii metalice topite porneşte sârma material de adaos preîncălzită şi tractorul purtător care realizează viteza de sudare, procesul de sudare fiind astfel inițiat

Oprirea procesului de sudare se face respectânnd următoarea ordine :

- Se opreşte avansul sârmei şi tractorul purtător
- După un timp scurt, necesar pentru a evita înghețarea sârmei în baie, prin topirea capătului acesteia, se decuplează sursa de sudare şi se stinge arcul electric
- Gazul protector trebuie să mai curgă peste capătul îmbinării realizate timp de 8 ... 14 secunde pentru a asigura răcirea acestuia în atmosferă protectoare şi a evita oxidarea metalului incandescent din craterul final.

Pe tractorul de sudare este montat întregul ansamblu şi anume cap de sudare, sistem de avans cu tambur de sârmă, sistemul de preîncălzire conform figurii 3.2

Elemetele astfel amplasate dau compactitate întregului sistem şi posibilitatea de supraveghere uşoară a funcționării sistemului.

BUPT

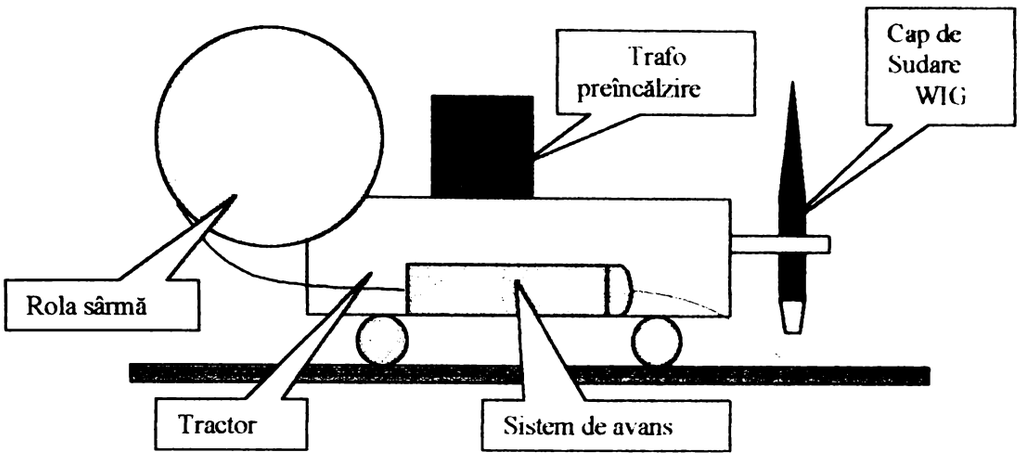


Fig. 3.2 Componența tractorului de sudare realizat

Dispozitivul de avans al sârmei este simplu cu două role planetare care prin rotire dau componentă axială de mişcare. Sistemul este avantajos la împingerea pe distanțe scurte. Motorul de antrenare, de curent continuu, este tip MRF, cu axul tubular prin care trece sârma material de adaos. Reglarea turației motorului se face cu ajutorul unui bloc electronic tip VTM (variator de turație motor).

Pentru reglarea cât mai exactă, am ridicat curba viteză de avans a sârmei electrod funcție de diviziunile potențiometrului de reglare. Curba este prezentată în figura 3.3

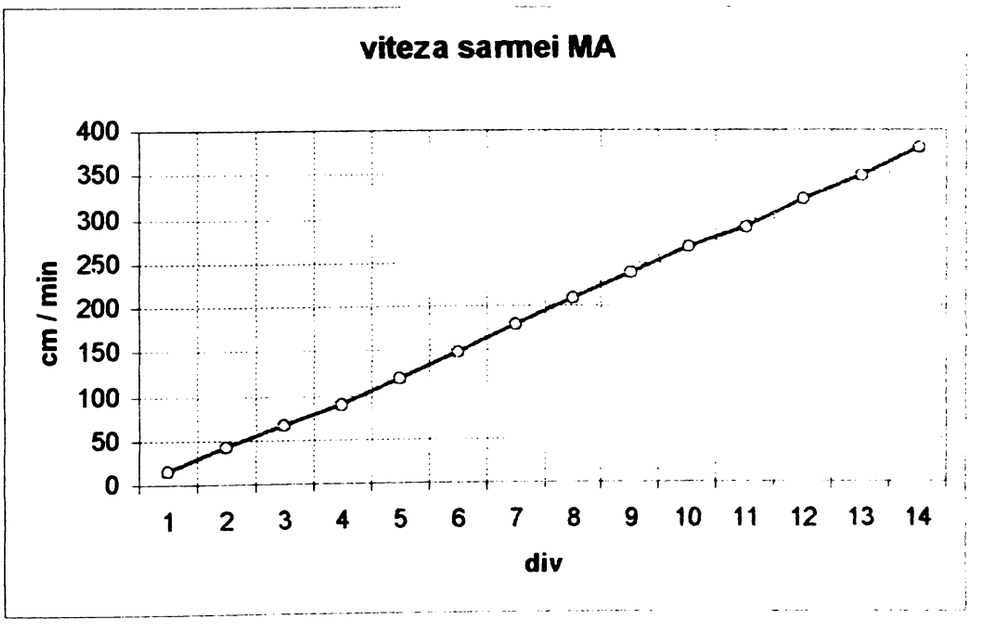


Fig. 3.3 Curba de etalonare a potențiometrului de reglare a vitezei sârmei

BUPT

Tempertura de preîncălzire a sârmei material de adaus reprezintă un parametru important, cantitatea de căldură transmisă băii metalice este importantă la sudarea grosimilor mici şi influenţează consistent viteza de topire a sârmei.

Valoarea temperaturii de preîncălzire a sârmei se determină cu ajutorul calculului prezentat mai jos.

Sursa de sudare utilizată este FRONIUS Magic Vawe de 300 A, o sursă performantă generaţie 1990, cu posibilitate de sudare CC şi CA atât în curent obişnuit cât şi pulsat. Performanţele sursei au fost studiate la capitolul 2 paragraful 2.3

3.2 Calculul temperaturii de preincălzire a sârmei la ieşirea din dispozitivul de preîncălzire

Temperatura de preîncălzire a sârmei este un parametru important al procesului de sudare. Dat fiind faptul că în literatura de specialitate nu am găsit informaţii privitoare la determinarea temperaturii de preîncălzire rezistivă pentru material aflat în mişcare continuă prin contactele electrice am efectuat acest calcul pornind de la algoritmii cunoscuţi de calcul şi am elaborat formula de calcul precum şi o nomogramă pentru dterminarea mai rapidă a temperaturii funcţie de viteza de avans şi curentul de preîncălzire .

Căldura degajată care ia naştere prin efect Joule Lenz, la trecerea curentului dat de transformatorul auxiliar între contactele alunecătoare se repartizează pe lungimea de sârmă care trece şi anume $l + v_e t$ unde :

l = lungimea între contactele alunecătoare

v_e = viteza de avans a sârmei

t = timpul

Căldura degajată se poate calcula cu relaţia :

$$Q_{deg\,ajat} = \eta \cdot I^2 \cdot R \cdot t$$

Căldura preluată de sârmă va avea ca efect creşterea temperaturii acesteia conform relaţiei :

$$Q_{preluat} = m \cdot c \cdot \Delta T = (l + v_e \cdot t) \cdot S_e \cdot \rho_{OL} \cdot c_{OL} \cdot (T_f - T_{ma})$$

Egalarea celor două relaţii permite calculul temperaturii finale a sârmei :

BUPT

$$T_f = T_{ma} + \frac{\eta \cdot I^2 \cdot R \cdot t}{(l + v_e \cdot t) \cdot S_e \cdot \rho_{OL} \cdot c_{OL}}$$

Se observă că în formula obținută există o serie de constante care pot fi separate rezultând :

$$T_{final} = T_{ma} + \eta \cdot k \cdot \frac{I^2 \cdot \rho \cdot l \cdot t}{l + v_e \cdot t} \qquad \text{unde constanta K este : } k = \frac{l}{S_e^2 \cdot \rho_{OL} \cdot c_{OL}}$$

Calculul anterior prezentat este valabil, dacă curentul de preîncălzire trece doar pe durata avansului sârmei material de adaos.

Notațiile utilizate sunt :

T_{final} - temperatura finală a sârmei

T_{ma} - temperatura mediului ambiant, temperatură la care se află şi sârma

η - randamentul de transformare a energiei electrice în energie termică

S_e - secțiunea sârmei material de adaos

ρ_{OL} - densitatea oțelului

c_{OL} - căldura specifică a oțelului

I - curentul de preîncălzire a sârmei

ρ - rezistivitatea materialului de adaos

l - distanța între contactele alunecătoare ale sistemului de preîncălzire

v_e - viteza de avans a sârmei material de adaos

t - timpul în care se realizează avansul sârmei

În realitate putem considera că lungimea pe care se repartizează căldura este :

$$l + v_e \cdot t \approx v_e \cdot t$$

asta deoarece în momentul cuplării curentului de preîncălzire începe deplasarea sârmei material de adaos.

Formula de calcul a temperaturii de preîncălzire va fi :

BUPT

$$T_{final} = T_{ma} + \eta \cdot k \cdot \frac{I^2 \cdot \rho \cdot l}{v_e} \qquad (3.1)$$

unde constanta K este : $k = \frac{1}{S_e^2 \cdot \rho_{OL} \cdot c_{OL}}$

Se observă că temperatura finală nu depinde de durata avansului sârmei.

Încercările şi măsurătorile relizate pe stand au confirmat calculele erorile față de temperatura calculată fiind nesemnificative

Valorile curentului de preîncălzire necesar pentru a obține variații ale temperaturii ΔT pentru viteze de avans ale sârmei cuprinse între : 1,00 ..... 2,00 m/min sunt prezentate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1 Valorile curentului de preâncălzire necesar funcție de viteza de avans şi temperatura

ΔT	V_{ae} [m/min]				
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
	I_{pr} [A]				
100	8.77	9.80	10.74	11.60	12.40
200	12.40	13.86	15.19	16.40	17.54
300	15.19	16.98	18.60	20.09	21.48
400	17.54	19.61	21.48	23.20	24.80
500	19.61	21.90	24.01	25.94	27.73
600	21.48	24.01	26.31	28.41	30.38

Reprezentarea grafică a valorilor de mai sus, ne conduce la obținerea unei nomograme pentru estimarea temperaturii sârmei material de adaos. Nomograma poate fi utilizată pentru determinări aproximative, temperatura de preîncălzire exactă fiind dificil de determinat prin calcule, ea depinzând de condițiile concrete de utilizare a dispozitivului de preîncălzire.

Aportul energetic adus de căldura înmagazinată în sârma material de adaos influențează puțin baia metalică topită de arcul electric pe componentele de sudat, influența fiind consistentă asupra vitezei de topire a sârmei şi implicit asupra ratei depunerii.

La încărcare unde parametrii tehnologici de sudare tind către valori mici ale curentului pentru a evita o pătrundere şi o diluție cu metalul de bază mari, temperatura de preîncălzire a sârmei are un efect considerabil în bilanțul termic resimțindu-se asupra pătrunderii prin forma prezentată în fotografia 4.9 Aspectul pătruns al flancurilor rândului depus este benefic pentru placare asigurând o aderență foarte bună a stratului placat la materialul de bază.

BUPT

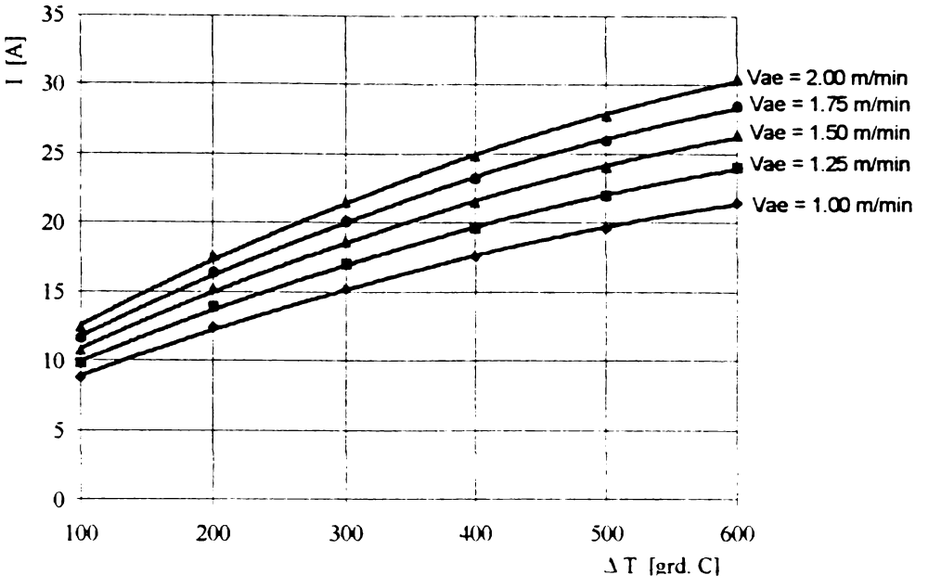


Fig. 3.4 Nomogramă pentru stabilirea temperaturii funcție de viteza de avans şi curentul de preîncălzire

Nomograma este construită pentru viteze de avans situate în gama obişnuită la sudarea WIG între 1 şi 2 m / min. Se remarcă faptul că pentru o creştere a curentului de preîncălzire de la 10 la 30 A, se obțin creşteri ale temperaturii de la 100 la 600 °C

3.3 Determinarea ratei depunerii funcție de temperatura de preîncălzire a sârmei material de adaus

Influența temperaturii de preîncălzire a sârmei asupra vitezei de topire a acesteia poate fi evaluată prin calcul. Am elaborat algoritmul de calcul pentru a determina la final corelații de stabilire a ratei depunerii, dependente de temperatura sârmei material de adaus.

Notăm cu Q_{MA} căldura efectivă preluată de la arcul electric de către sârmă. Această căldură va determina creşterea temperaturii până la temperatura de topire şi apoi topirea materialului de adaus. Bilanțul termic ne conduce la relația :

$$Q_{MA} = m \cdot c_{OL} \cdot (T_{top} - T_{initial}) + m \cdot \lambda_{topire}$$

unde :

m - masa de metal topit

c_{OL} - căldura specifică a oțelului

T_{top} - temperatura de topire

$T_{initial}$ - temperatura inițială a sârmei

λ_{topire} - căldura latentă de topire a sârmei

BUPT

masa de sârmă topită o vom exprima conform relației :

$$m = l_s \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_{OL}$$

relația bilanțului termic devine :

$$Q_{MA} = l_s \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_{OL} \cdot c_{OL} \cdot (T_{top} - T_{initial}) + l_s \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_{OL} \cdot \lambda_{topire}$$

Rezultă lungimea de sârmă posibil de topit :

$$l_s = \frac{Q_{MA}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_{OL} \cdot \left[c_{OL} \cdot (T_{top} - T_{initial}) + \lambda_{topire}\right]} \qquad (3.2)$$

Luând în considerare valori medii ale constantelor, pentru oțel pot fi efectuate calcule care să ne dea o imagine asupra lungimilor de sârmă ce pot fi topite într-o secundă. Valorile medii ale constantelor utilizate în calcule sunt :

d = 2 mm
ρ_{OL} = 7 850 kg/m^3
c_{OL} = 460 J/kg°C
λ_{OL} = 340 000 J/kg

Valorile energiei termice preluate de sârmă de la arcul elctric pentru care au fost efectuate calculele sunt :

Q_{MA} = 500J, 1000J, 1500J, 2000J, 2500J, 3000J

aceste valori fiind acoperitoare pentru domeniile cu largă utilizare în tehnica sudării şi încărcării suprafețelor metalice prin sudare.
Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul 3. Am efectuat aceste calcule pentru a stabili o corelare între lungimea de sârmă care se topeşte deci implicit rata depunerii , energia arcului şi temperatura de preîncălzire a sârmei. Această corelație este extrem de utilă pentru că permite calcularea parametrilor în corelare cu viteza de avans şi temperatura sârmei.

BUPT

Tab. 3.2 Valori calculate ale lungimii de sârmă care se topeşte pentru temperaturi uzuale de preîncălzire

	l_s [mm]	$T_{initiala}$ [°C]
Q_{MA} = 500 J	0.02080	20
	0.02161	100
	0.02273	200
	0.02396	300
	0.02534	400
	0.02689	500
	0.02864	600
	0.03063	700
Q_{MA} = 1000 J	0.04160	20
	0.04323	100
	0.04546	200
	0.04793	300
	0.05069	400
	0.05378	500
	0.05727	600
	0.06125	700
Q_{MA} = 1500 J	0.06240	20
	0.06485	100
	0.06819	200
	0.07190	300
	0.07603	400
	0.08067	500
	0.08591	600
	0.09188	700
Q_{MA} = 2000 J	0.08320	20
	0.08646	100
	0.09092	200
	0.09586	300
	0.10137	400
	0.10756	500
	0.11455	600
	0.12251	700
Q_{MA} = 2500 J	0.10400	20
	0.10808	100
	0.11365	200
	0.11983	300
	0.12672	400
	0.13445	500
	0.14319	600
	0.15314	700
Q_{MA} = 3000 J	0.12478	20
	0.12970	100
	0.13638	200
	0.14380	300
	0.15206	400
	0.16134	500
	0.17182	600
	0.18376	700

BUPT

Valorile calculate sunt reprezentate grafic în figura 3.5

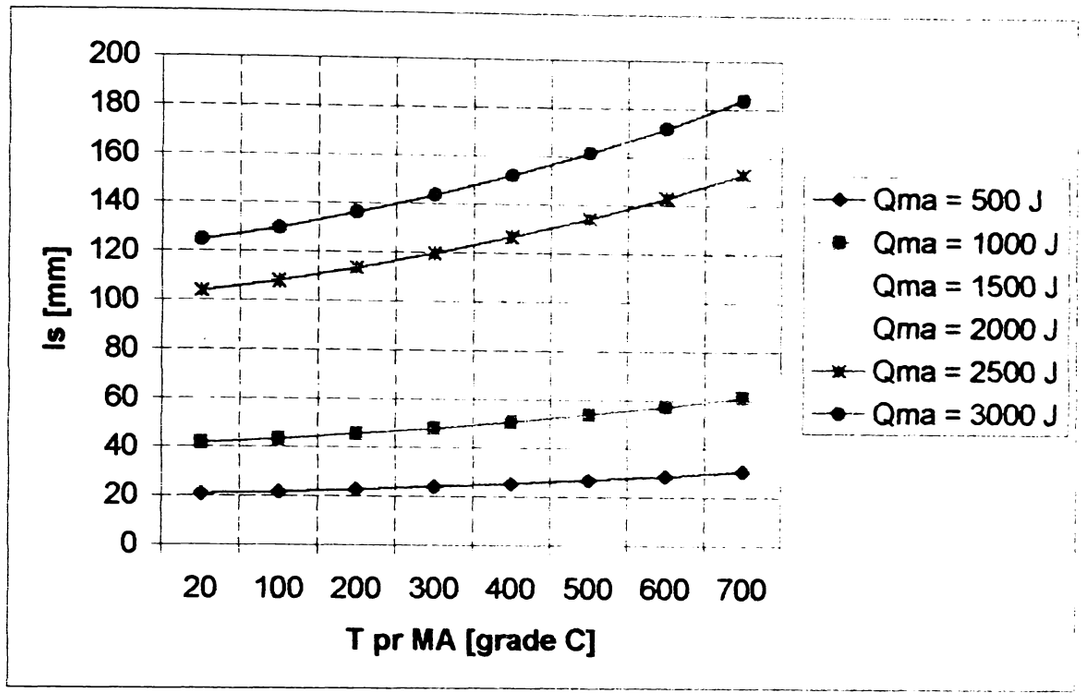


Fig. 3.5 Variația lungimii de sârmă care se topeşte la diferite temperaturi de preîncălzire

Corelațiile care definesc modul de variație a lungimii de sârmă (l_s), material de adaus topit, pentru diverse temperaturi de preîncălzire (T_{pr}) şi la călduri preluate de la arcul electric (Qma) estimate sunt prezentate în tabelul 3.3

Tabelul 3.3 Corelații polinomiale de calcul a lungimii de sârmă topită funcție de T_{pr}

Q_{ma} [J]	Corelația $l_s = f(T_{pr})$
500	$l_s = 0{,}0884\ T_{pr}^2 + 0{,}6064\ T_{pr} + 20{,}093$
1000	$l_s = 0{,}1764\ T_{pr}^2 + 1{,}2159\ T_{pr} + 40{,}182$
1500	$l_s = 0{,}2648\ T_{pr}^2 + 1{,}8217\ T_{pr} + 60{,}278$
2000	$l_s = 0{,}3531\ T_{pr}^2 + 2{,}4299\ T_{pr} + 80{,}367$
2500	$l_s = 0{,}4417\ T_{pr}^2 + 3{,}0348\ T_{pr} + 100{,}46$
3000	$l_s = 0{,}5289\ T_{pr}^2 + 3{,}6536\ T_{pr} + 120{,}53$

Transformarea lungimii de sârmă topită în rata depunerii se face astfel :

$$A_D = l_s \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_{OL} = l_s \cdot 3{,}14 \cdot 7850 = 24649 \cdot l_s$$

Calculul este valabil pentru sârmă MA cu diametrul de 2 mm din oțel.

BUPT

Reprezentarea grafică a valorilor din tabel inversând parametrii este perezentată în figura 3.6

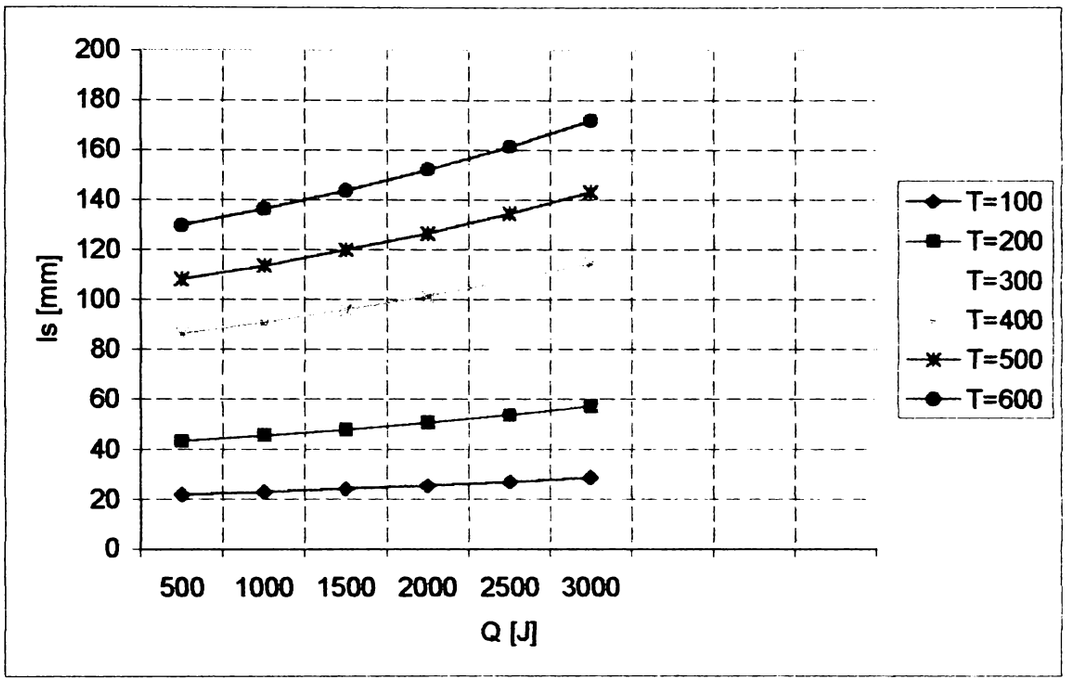
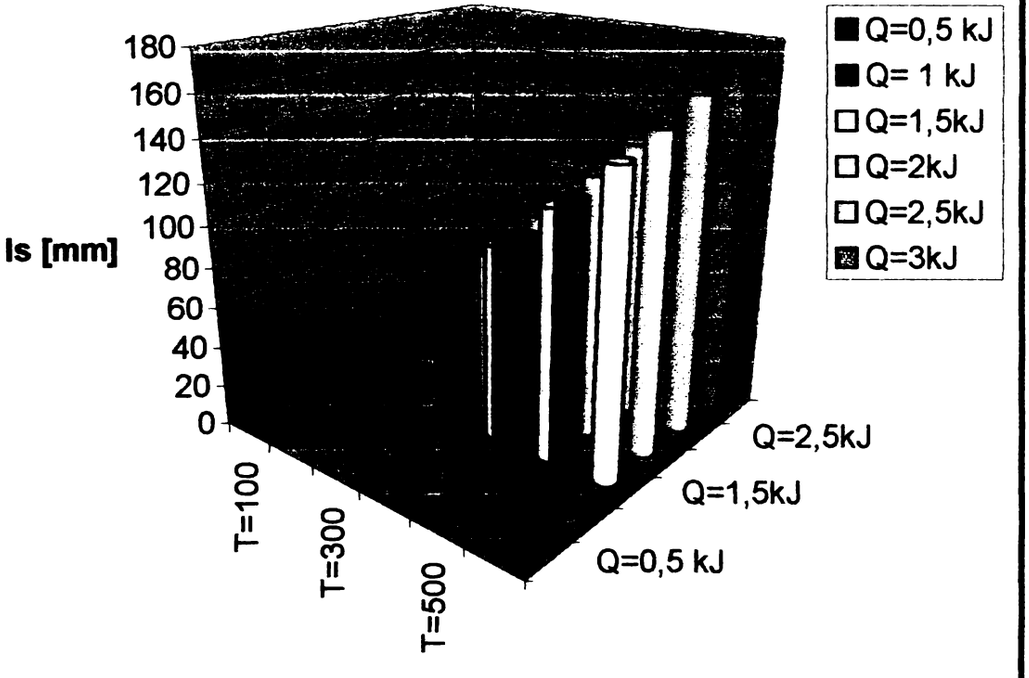


Fig. 3.6 Variația lungimii de sârmă care se topeşte funcție de energia arcului

Fig. 3.7



BUPT

Conform figurii 3.7 în care este reprezentată dependența celor trei parametrii : lungime de sârmă, temperatură de preîncălzire şi energia arcului, viteza de topire a sârmei este influențată mai pregnant de temperatura de preîncălzire decât de energia arcului electric.

Rezultă că preîncălzirea sârmei conduce la creştere semnificativă a vitezei de topire şi implicit a ratei de depunere conform corelațiilor din tabelul 3.3

Rata depunerii poate creşte de până la 6 ori, ținând seama de limitarea temperaturii de preîncălzire la 600 - 700°C temperatură la care ne apropiem de plastifiere şi sârma nu mai poate fi împinsă în condiții bune prin duzele de contact.

3.4 Concluzii :

- Preîncălzirea sârmei conduce la o creştere substanțială a vitezei de topire a acesteia şi deci la creşterea A_D (a ratei de depunere)
- Utilizarea unui curent mic de sudare în cuplu cu o temperatură mare de preîncălzire a sârmei ne va conduce la un regim de încărcare datorită pătrunderii mici şi a ratei mare de depunere
- Utilizarea unui curent mare de sudare în cuplu cu o temperatură mare de preîncălzire a sârmei ne va conduce la un regim de sudare cu randament mare de depunere, datorat pătrunderii mari realizate de curentul mare al arcului electric şi a ratei mare de depunere

Procedeul de sudare WIG cu sârmă preîncălzită poate fi utilizat atât la încărcarea suprafețelor cât şi la sudarea cu randament mare de depunere, la umplerea rosturilor, prin simpla modificare a parametrilor. Energia arcului electric va acționa asupra pătrunderii, iar temperatura de preîncălzire a sârmei asupra ratei de depunere.

BUPT

Cap. 4 Cercetări privind creşterea performanţelor procedeului WIG prin mecanizare.

4.1 Programul experimental

Mi-am propus să realizez un program experimental care să releve influenţa regimurilor de sudare mecanizată WIG cu curent pulsat, asupra parametrilor dimensionali ai cusăturilor în corelare cu temperatura de preîncălzire a sârmei material de adaus.

Parametrul frecvenţă a pulsurilor a fost fluctuat între 0,25 şi 5 Hz, dat fiind faptul că la frecvenţe peste 6 Hz inerţia termică nu mai permite solidificarea băii, iar sudarea se desfăşoară ca şi în curent continuu, temperaturile pe curentul de puls şi pe curentul de bază tind să se egalizeze (figura 1.6).

Parametrii viteză de sudare, v_s şi viteza de avans a sârmei. v_{ae} au fost menţinuţi constanţi.

Schema programului experimental este prezentată în figura 4.1

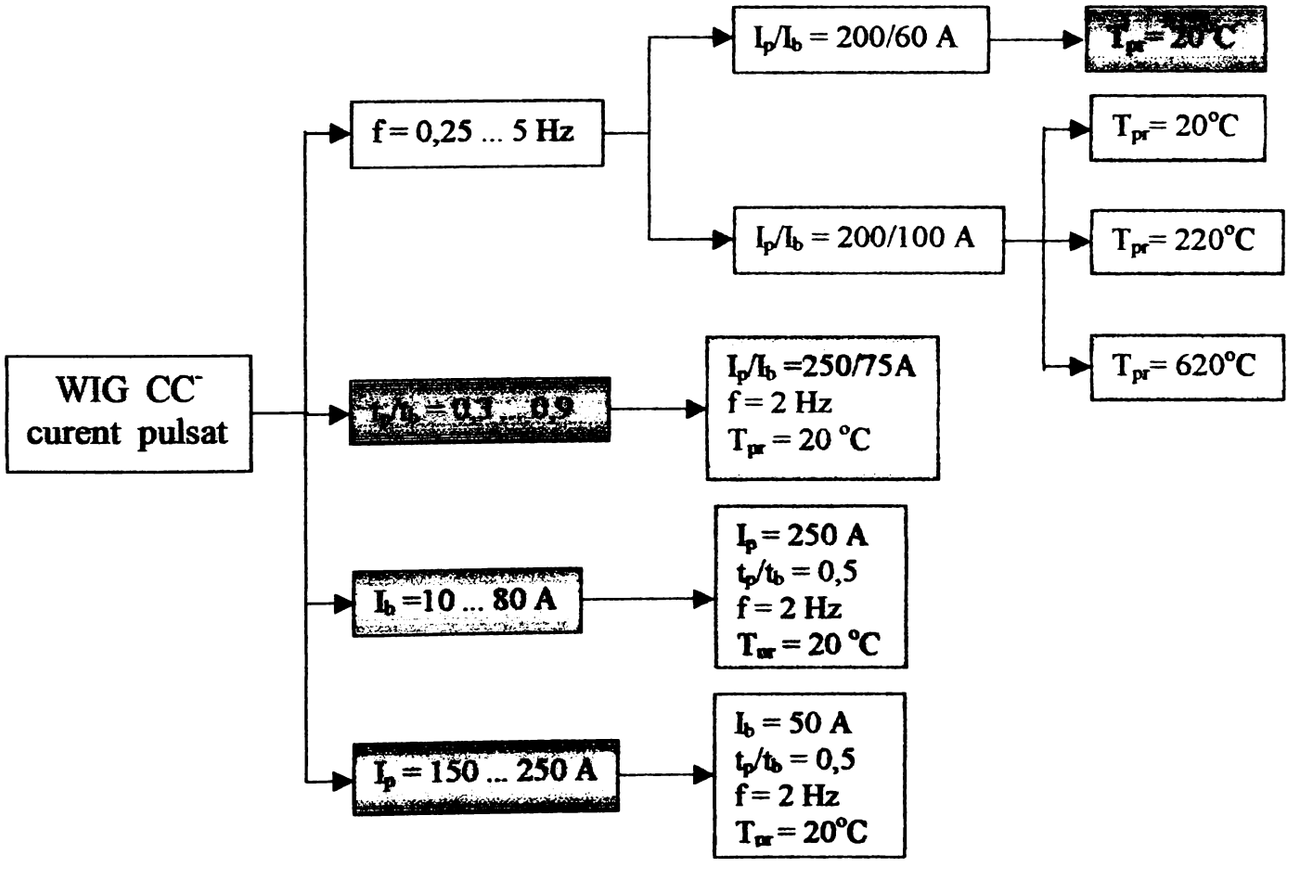


Fig. 4.1 Schema programului experimental

BUPT

Schema de lucru a permis parcurgerea unor tehnologii uzuale în varianta mecanizată pentru a avea o bază de comparație în raport cu tehnologiile deja cunoscute.

Am testat influența preîncălzirii sârmei asupra regimului pulsat corelat cu frecvența pulsurilor în domeniul 0,25 ... 5 Hz, în care temperatura pe puls şi bază diferă. Temperaturile de preîncălzire sunt : 20, 220, 620 °C

Următoarea etapă prevede influența raportului t_p/t_b variat între 0.3 ... 0.9, în condițiile menținerii celorlalți parametrii constanți.

Am studiat influența creşterii curentului de bază între 10 ... 80 A pentru un curent de puls constant I_p = 250 A

Am studiat influența creşterii curentului de puls între 150 ... 250 A pentru un curent de bază I_b = 50 A.

Instalația de sudare a permis relizarea unui program experimental care a demonstrat capacitatea procedeului WIG mecanizat de a obține cusături de calitate şi capacitatea de fluctuare a parametrilor tehnologici pentru a obține performanțe superioare ale acestui procedeu față de varianta clasică.

Testarea a început cu un program de depuneri pe probe utilizând curent continuu şi curent pulsat. Instalația s-a dovedit fiabilă cu excepția duzei de contact pentru preîncălzirea sârmei aflată în vecinătatea arcului electric. Aceasta se supraîncălzeşte şi se uzează rapid. Trebuie schimbată după 5 ...6 ore de lucru. Supraîncălzirea provine de la căldura arcului electric şi căldura sârmei material de adaos. Timpul de lucru se reduce la 2 ... 3 ore atunci când sârma este preîncălzită la temperaturi mai mari de 500 °C

Testele de sudare propriu zisă, realizate au avut ca scop determinarea influenței parametrilor tehnologici de sudare asupra geometriei cusăturilor. Încercările au fost efectuate pe table de oțel, prin depunere.

Într-o primă etapă a fost urmărită corelarea vitezei de avans a sârmei MA şi temperatura acesteia cu energia liniară a arcului electric. Necorelarea acestei viteze cu energia arcului poate conduce la :

- depunere neuniformă de-a lungul cusăturii , datorată vitezei de avans prea mică a sârmei MA
- depăşirea capacității de topire a arcului electric, datorată vitezei de avans prea mari rezultând zone ale cusăturii cu implanturi de MA netopit (capete de sârmă)

Astfel se pot face recomandări asupra limitelor de reglare a turației motorului din sistemul de avans sârmă pentru a nu se ajunge în situațiile menționate mai sus.

BUPT

Sudarea WIG mecanizat cu curent continuu demonstrează că viteza de avans a sârmei material de adaos este limitată de capacitatea de topire a arcului electric. Deasemenea temperatura la care este preîncălzită această sârmă influențează viteza de avans maximă, astfel încât în ansamblu rata depunerii depinde de energia arcului electric şi temperatura de preîncălzire a sârmei. Calculele sunt prezentate în capitolul 3.

Utilizarea curentului pulsat la sudarea WIG mecanizată este benefică pentru că :

- stabilitatea procesului este mai bună
- topirea MA se face în picături uniforme depuse ritmic corespunzător fiecărui puls de curent
- modificarea parametrilor de pulsare conduce la modificarea aspectului şi parametrilor geometrici ai cusăturii
- controlul asupra căldurii care afectează piesa de sudat este foarte exact
- controlul asupra geometriei cusăturii poate fi realizat prin modificarea parametrilor de pulsare

În concluzie partea experimentală s-a desfăşurat în varianta curent pulsat urmărind influența parametrilor tehnologici şi a temperaturii de preîncălzire a sârmei asupra parametrilor dimensionali ai sudurilor efectuate.

4.2 Studiul influenței parametrilor tehnologici asupra parametrilor geometrici

Determinările efectuate urmează planul propus de cercetare a influenței parametrilor tehnologici de sudare asupra parametrilor geometrici ai cusăturilor realizate. Măsurătorile şi determinările au fost sintetizate în tabele şi prelucrate statistic rezultând corelații statistice care descriu modul de variație a parametrilor geometrici.

4.2.1 Influența frecvenței pulsurilor de curent asupra lățimii cusăturii, supraînălțării şi respectiv asupra distanței între solzii proeminenți de pe cusătură în funcție de parametrii tehnologici de sudare este prezentată în tabelul 4.1 , în condițiile sudării fără preîncălzire. Valorile obținute sunt reprezentate în graficele din anexa 4 şi anume : fig. 4.1, 4.2, 4.3 şi 4.4

BUPT

Tabelul 4.1 Parametrii tehnologici şi geometrici

Nr. crt.	I_p [A]	I_b [A]	v_s [m/min]	v_{ae} [mm/sec]	f [Hz]	b [mm]	a [mm]	d_{solz} [mm]
1	200	60	0.15	1.20	0.25	8	1,4	11
2					1.00	7	1	4
3					2.00	6,7	0,8	2
4					3.00	6,4	1	1
5					4.00	6,8	1	0,5
6					5.00	7	1	0,25

Se observă că :

- lățimea sudurii are o tendință de scădere şi apoi revine
- supraînălțarea se menține constantă
- distanța între solzi scade

4.2.2 Influența frecvenței pulsurilor de curent asupra lățimii cusăturii, supraînălțării şi respectiv asupra distanței între solzii proeminenți de pe cusătură în funcție de parametrii tehnologici de sudare este prezentată în tabelul 6, în condițiile sudării fără preîncălzire şi majorării curentului de bază la valoarea de 100 A. Valorile obținute sunt reprezentate în graficele din anexa 4 şi anume : fig. 4.5, 4.6, 4.7 şi 4.8

Tabelul 4.2 Parametrii tehnologici şi geometrici

Nr. crt.	I_p [A]	I_b [A]	v_s [m/min]	v_{ae} [mm/sec]	f [Hz]	b [mm]	a [mm]	d_{solz} [mm]
1	200	100	0.15	1.20	0.25	8	1,7	11
2					1.00	7	1	8
3					2.00	6,7	1	3
4					3.00	6,3	1	1
5					4.00	6,2	1	0,5
6					5.00	6,2	1	0,25

BUPT

Se observă că :

- lățimea sudurii tinde să scadă
- supraînălțarea se menține constantă
- frecvența picăturilor creşte, aspectul îmbinării find foarte frumos

4.2.3 Influența frecvenței pulsurilor de curent asupra parametrilor geometrici şi respectiv asupra distanței între solzii proeminenți de pe cusătură în funcție de parametrii tehnologici de sudare este prezentată în tabelul 4.3 , în condițiile sudării cu preîncălzire la 220 – 250 °C. Valorile obținute sunt reprezentate în graficele din anexa 4 şi anume : fig. 4.9, 4.10, 4.11 şi 4.12

Se observă o dată cu creşterea frecvenței pulsurilor de curent de la o,25 Hz la 5 Hz că are loc o scădere a lățimii cusăturii realizate de la 10,0 mm la 6,8 mm. Supraînălțarea scade de la 1,6 mm la 0,7 mm. Distanța între solzii proeminenți ai cusăturii scade rapid de la 8 mm la 0,2 mm. Fenomenul este explicat prin creşterea energiei introdusă în piesă raportată la parametrii de sudare. Astfel lungimea sudată este de 15 cm în fiecare minut. Pe această distanță, ținând cont că t_{puls} / $t_{bază}$ = 1, adică timpul de puls este egal cu timpul de bază sudarea se face cu pulsuri de curent care durează 2 secunde, şi apoi 2 secunde curent de bază. Perioada este de 4 secunde, deci într-un minut vom avea 60 : 4 = 15 pulsuri şi 15 baze.

La frecvența de 5 Hz acelaşi calcul ne conduce la concluzia că pe 15 cm de sudură realizată într-un minut, avem 60 : 0,2 = 300 perioade , adică 300 de pulsuri şi 300 de baze. Durata pulsurilor şi a bazelor este de 0,1 sec.

Frecvența mare a pulsurilor nu permite materialului supus sudării să se răcească la fel ca la frecvențe mici , inerția termică a materialului fiind hotărâtoare.

Tabelul 4.3 Parametrii tehnologici şi geometrici

Nr. crt.	I_p [A]	I_b [A]	v_s [m/min]	v_{ae} [mm/sec]	f [Hz]	T_{pr} [°C]	b [mm]	a [mm]	d_{solz} [mm]
1	200	100	0.15	1.20	0.25	220	10.0	1.6	8.0
2					1.00		7.0	1.0	4.0
3					2.00		7.3	0.8	1.0
4					3.00		7.6	0.6	0.8
5					4.00		6.8	0.8	0.4
6					5.00		6.8	0.7	0.2

BUPT

Se observă că prin creşterea frecvenței pusurilor :

- lățimea sudurii tinde să scadă
- supraînălțarea scade
- frecvența picăturilor creşte, aspectul îmbinării find foarte frumos

4.2.4 Influența frecventei pulsurilor de curent asupra parametrilor geometrici şi respectiv asupra distanței între solzii proeminenți de pe cusătură în funcție de parametrii tehnologici de sudare este prezentată în tabelul 4.4, în condițiile sudării cu preîncălzire la 620 °C. Valorile obținute sunt reprezentate în graficele din anexa 4 şi anume : fig. 4.13, 4.14, 4.15 şi 4.16

Tabelul 4.4 Parametrii tehnologici şi geometrici

Nr. crt.	I_p [A]	I_b [A]	v_s [m/min]	v_{ae} [mm/sec]	f [Hz]	T_{pr} [°C]	b [mm]	a [mm]	d_{solz} [mm]
1	200	100	0.15	1.20	0.25	620	9	1,2	11
2					1.00		8	0,8	3,5
3					2.00		7,5	0,7	2
4					3.00		6,5	1	1,5
5					4.00		6	1	0,5

Se observă că prin creşterea frecvenței pusurilor la o temperatură de preîncălzire mare a sârmei :

- lățimea sudurii tinde să scadă dar mai lent decât în cazurile anterioare
- supraînălțarea scade şi apoi se stabilizează
- frecvența picăturilor creşte

4.2.5 Influența balansului pulsurilor de curent $t_{puls}/t_{bază}$, asupra parametrilor geometrici şi respectiv asupra distanței între solzii proeminenți de pe cusătură în funcție de parametrii tehnologici de sudare este prezentată în tabelul 4.5 , în condițiile sudării cu preîncălzire la 200 °C. Valorile obținute sunt reprezentate în graficele din anexa 4 şi anume : fig. 4.17, 4.18, 4.19 şi 4.20

BUPT

Tabelul 4.5 Parametrii tehnologici şi geometrici

Nr. crt.	I_p [A]	I_b [A]	v_s [m/min]	v_{ae} [mm/sec]	t_p/t_b	f [Hz]	b [mm]	a [mm]	d_{solz} [mm]
1					0,3		5	0,4	3
2					0,4		6,1	0,5	2,8
3					0,5		7,2	0,6	2,5
4	250	75	0.15	1.20	0,6	2	8,2	0,75	2
5					0,7		9,5	0,9	1,6
6					0,8		10,1	1	1,4
7					0,9		11,2	1,2	1

Se observă că prin creşterea ponderii pulsului în detrimentul bazei curentului, la o temperatură de preîncălzire a sârmei de 200 °C :

- lățimea sudurii creşte
- supraînălțarea creşte
- frecvența picăturilor creşte

4.2.6 Influența curentului de bază , asupra parametrilor geometrici şi respectiv asupra distanței între solzii proeminenți de pe cusătură în funcție de parametrii tehnologici de sudare este prezentată în tabelul 4.6 , în condițiile sudării cu preîncălzire la 200 °C. Valorile obținute sunt reprezentate în graficele din anexa 4 şi anume : fig. 4.21, 4.22, 4.23 şi 4.24

Tabelul 4.6 Parametrii tehnologici şi geometrici

Nr. crt.	I_p [A]	I_b [A]	v_s [m/min]	v_{ae} [mm/sec]	t_p/t_b	f [Hz]	b [mm]	a [mm]	d_{solz} [mm]
1		10					7,0	0,30	2
2		20					7,2	0,40	1,8
3		30					7,5	0,55	1,9
4	250	40	0.15	1.20	0,5	2	7,8	0,65	1,8
5		50					8,2	0,80	1,7
6		60					9,5	0,95	1,6
7		70					10,0	1,10	1,6
8		80					10,5	1,30	1,5

BUPT

Se observă că prin creşterea curentului de bază a pulsurilor, la o temperatură de preîncălzire a sârmei de 200 °C :

- lățimea sudurii creşte
- supraînălțarea creşte
- frecvența picăturilor creşte foarte puțin

4.2.7 Influența curentului de puls , asupra parametrilor geometrici şi respectiv asupra distanței între solzii proeminenți de pe cusătură în funcție de parametrii tehnologici de sudare este prezentată în tabelul 4.7 , în condițiile sudării cu preîncălzire la 200 °C. Valorile obținute sunt reprezentate în graficele din anexa 4 şi anume : fig. 4.25, 4.26, 4.27 şi 4.28

Tabelul 4.7 Parametrii tehnologici şi geometrici

Nr. crt.	I_p [A]	I_b [%]	v_s [m/min]	v_{ae} [mm/sec]	t_p/t_b	f [Hz]	b [mm]	a [mm]	d_{solz} [mm]
1	150	50	0.15	1.20	0,5	2	4	1	1,5
2	170						4,7	1	1,5
3	190						5,2	0,8	1,3
4	210						6,5	0,6	1,2
5	230						8,1	0,55	1,1
6	250						9,5	0,5	1

Se observă că prin creşterea curentului de bază a pulsurilor, la o temperatură de preîncălzire a sârmei de 200 °C :

- lățimea sudurii creşte
- supraînălțarea scade
- frecvența picăturilor creşte foarte puțin

BUPT

4.3 CONCLUZII :

Creşterea frecvenței pulsurilor de curent determină o scădere cu tendință de revenire a lățimii cusăturii, uşoare fluctuații ale supraînălțării şi creşterea densității picăturilor de material de adaos. Aceste variații sunt prezentate în tab. 4.1 şi figurile 4.1, 4.2, 4.3 din anexa 4

Corelațiile matematice care definesc aceste fenomene sunt :

$b = 0,1571\ f^2 - 1,2686\ f + 9,04$ polinomial

$a = 0,05\ f^2 - 0,4014\ f + 1,68$ polinomial

$d = 19,784\ e^{-0,7386\ f}$ exponențial

Creşterea curentului de bază a pulsurilor conduce la acelaşi mod de variație cu excepția tendinței de stabilizare a lățimii cusăturii. Rezultatele sunt prezentate în tab. 4.2 şi respectiv figurile 4.5, 4.6, 4.7

Corelațiile matematice care definesc rezultatele obținute sunt :

$b = 0.1036\ f^2 - 1,0621\ f + 8.88$ polinomial

$a = 0,0625\ f^2 - 0,5375\ f + 2.05$ polinomial

$d = 30.462\ e^{-0,8096\ f}$ exponențial

Preincălzirea materialului de adaos la o temperatură de 220 – 250 °C determină modificarea parametrilor dimensionali şi a modului lor de variație cu frecvența pulsurilor. Rezultatele sunt prezentate în tab. 4.3 şi figurile 4.9, 4.10, 4.11 din aneaxa 4

Corelațiile matematice rezultate din calcule sunt :

$b = 0,1893\ f^2 - 1,7907\ f + 10,98$ polinomial

$a = 0,0732\ f^2 - 0,6639\ f + 2.13$ polinomial

$d = 14,542\ e^{-0,7307\ f}$ exponențial

BUPT

Preîncălzirea la temperatura de 620 °C a sârmei material de adaos conduce la modificarea parametrilor dimensionali, rezultatele fiind prezentate în tab. 4.4 şi figurile 4.13, 4.14, 4.15.

Corelaţiile matematice care descriu fenomenul studiat sunt :

$b = 0.0357\ f^2 - 0{,}9643\ f + 9{,}9$ polinomial

$a = 0{,}0857\ f^2 - 0{,}5343\ f + 1{,}6$ polinomial

$d = 18{,}542\ e^{-0{,}7029\ f}$ exponenţial

Modificarea raportului t_p/t_b prin creşterea acestuia de la 0,3 la 0,9 conduce la majorarea curentului echivalent de sudare şi la topirea şi transferul mai ritmic a picăturilor de material de adaos. Rezultatele obţinute sunt prezentate în tab. 4.5 şi figurile 4.17, 4.18 şi 4.19

Corelaţiile care descriu modul de variaţie sunt :

$b = 4{,}6583\ e^{0{,}1323\ tp/tb}$ exponenţial

$a = 0{,}3465\ e^{0{,}1817\ tp/tb}$ exponenţial

$d = -0{,}0036\ (tp/tb)^2 - 0{,}3179\ (tp/tb) + 3{,}3857$ polinomial

Variaţia curentului de bază influenţează parametrii dimensionali ai cusăturii realizate conform datelor din tabelul 4.6 şi figurile 4.21, 4.22 şi 4.23 din anexa 4.

Corelaţiile matematice care descriu modul de variaţie a parametrilor studiaţi sunt :

$b = 0{,}0679\ Ib^2 - 0{,}1083\ Ib + 7{,}1071$ polinomial

$a = 0{,}2717\ e^{0{,}2044\ Ib}$ exponenţial

$d = -0{,}0655\ Ib + 2{,}0321$ liniar

BUPT

Variația curentului de puls influențează parametrii dimensionali ai cusăturii realizate conform datelor din tabelul 4.7 şi figurile 4.25, 4.26 şi 4.27 din anexa 4.

Corelațiile matematice care descriu modul de variație a parametrilor studiați sunt :

$b = 3{,}2592\ e^{0{,}1766\ Ip}$ exponențial

$a = 1{,}2426\ e^{-0{,}1585\ Ip}$ exponențial

$d = -0{,}1086\ Ip + 1{,}6467$ liniar

Creşterea temperaturii de preîncălzire a sârmei material de adaos în condițiile menținerii parametrilor tehnologici de sudare, evaluată prin parametrii dimensionali ai îmbinării realizate ne pot da o imagine asupra efectului creşterii temperaturii băii de metal topit. Aparent aportul termic al sârmei material de adaos este neesențial față de cel al arcului electric, însă viteza de absorbție a căldurii de către sârma preîncălzită creşte conducând la topirea rapidă a acesteia în detrimentul materialului de bază.

Controlul exact asupra parametrilor dimensionali ai îmbinărilor se poate face utilizând corelațiile matematice elaborate în prezentul referat.

Domeniile de reglaj sunt limitate de condițiile obținerii unor cusături compacte cu dimensiuni controlabile.

4.4 Aspecte ale probelor realizate

În cadrul programului de încercări am căutat să delimitez domeniile de reglaje posibile, astfel după cum se vede în fotografia 4.1 pe domeniul A datorită unei viteze de sudare mari şi a unei frecvențe de pulsare mici se depun picături izolate. Pe tronsonul B picăturile depuse se suprapun minim necesar iar zona C caracterizată de frecvență mare a pulsurilor de curent este corectă. Se observă o reducere a lățimii cusăturii realizate

BUPT

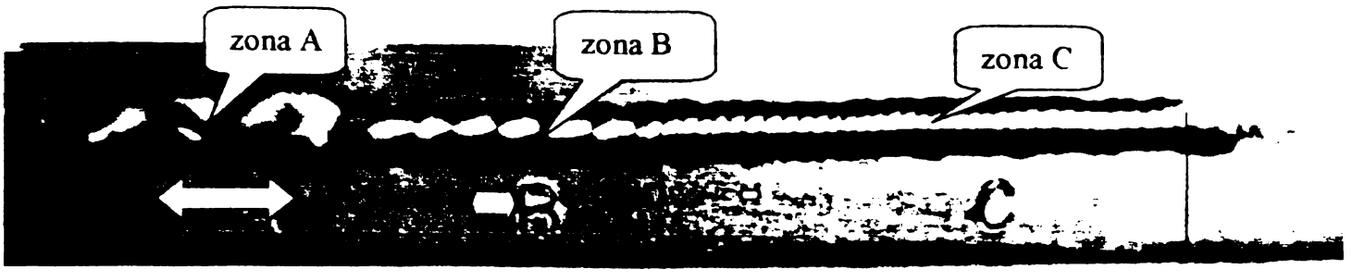


Foto 4.1

Fotografia 4.2 relevă o tehnologie caracterizată de o stabilitate foarte bună a arcului electric, o depunere uniformă cu solzi regulați a căror densitate creşte de la stânga la dreapta datorită creşterii frecvenței de pulsare a curentului de la E către G. În zona G practic solzii dispar suprafața îmbinării fiind lisă.

Lățimea îmbinării prezintă neregularități cauzate de imperfecțiunile căii de rulare care transmit vibrații ale pistoletului cu amplitudini de 1 - 2 mm la virful electrodului de wolfram

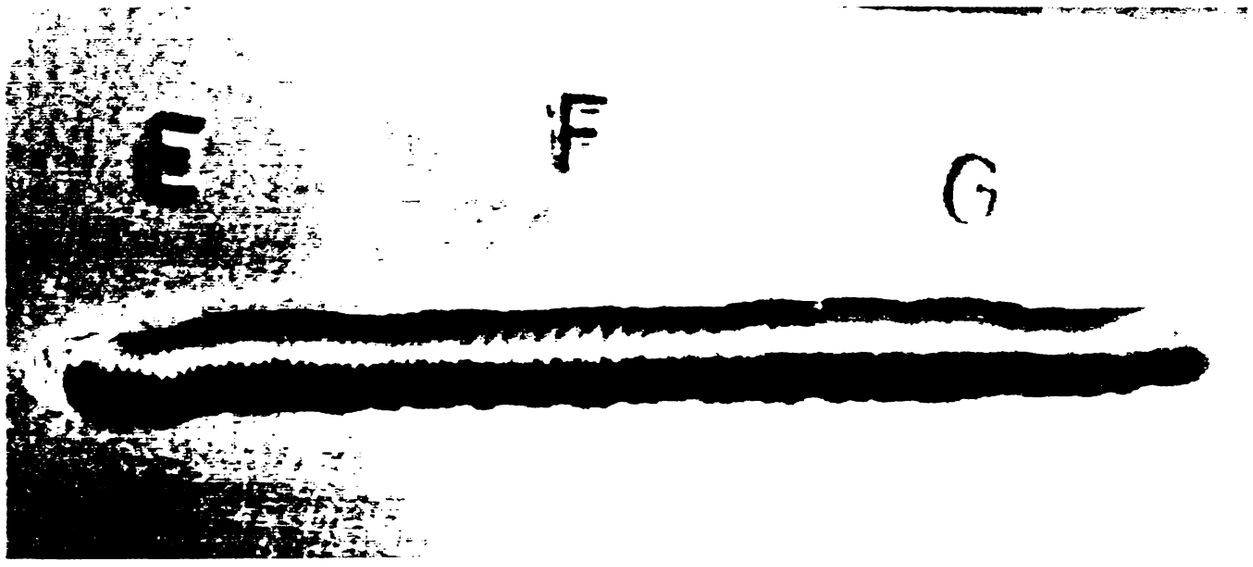


Foto 4.2

Fotografia 4.3 a fost realizată pentru o îmbinare realizată cu sârmă material de adaus preîncălzită. Zona C corespunde frecvenței curentului cu care a fost realizată zona B din fotografia 4.1 Rezultă că utilizarea preîncălzirii sârmei influențează şi modul de transfer,

BUPT

respectiv picăturile sunt mai mici în volum şi se transferă în baie mai uşor însoţite de un zgomot uşor şi ritmic. La fel şi aici se remarcă o uşoară reducere a lăţimii cusăturii o dată cu creşterea frecvenţei curentului pulsat.

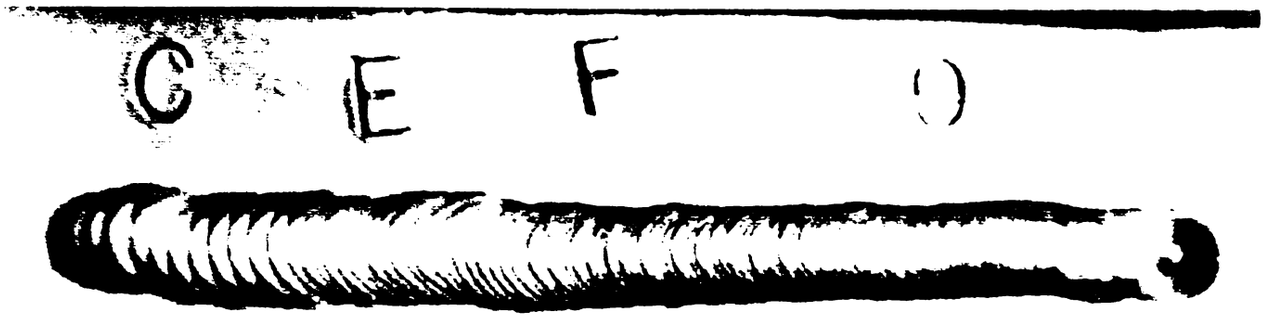


Foto 4.3

În fotografia 4.4 sunt prezentate trei zone corespunzătoare la trei regimuri diferite. Zona F-G cu aspect corect corespunde tehnologiei din zona G foto 4.3

Zona A este realizată cu frecvenţă foarte mică a pulsurilor de curent şi se observă că în fiecare zonă topită au fost depuse mai multe picături. Zona B arată că transferul la preîncălzirea sârmei se face cu picături fine, mici în volum, pe durata pulsului de curent şi picături cu volum mărit pe durata curentului de bază, ceea ce dă un aspect neregulat

Foto 4.4

În fotografia 4.5 aspectele cauzate de creşterea consecutivă a frecvenţei pulsurilor de curent şi a temperaturii de preîncălzire a sârmei material de adaus sunt mai clare, respectiv compactitatea cusăturii apare deja din zona B. Cresterea frecvenţei pulsurilor şi a temperaturii de preîncălzire se face în sensul săgeţii. Devierea de la rectilinitate este motivată de calea de rulare imperfectă.

BUPT

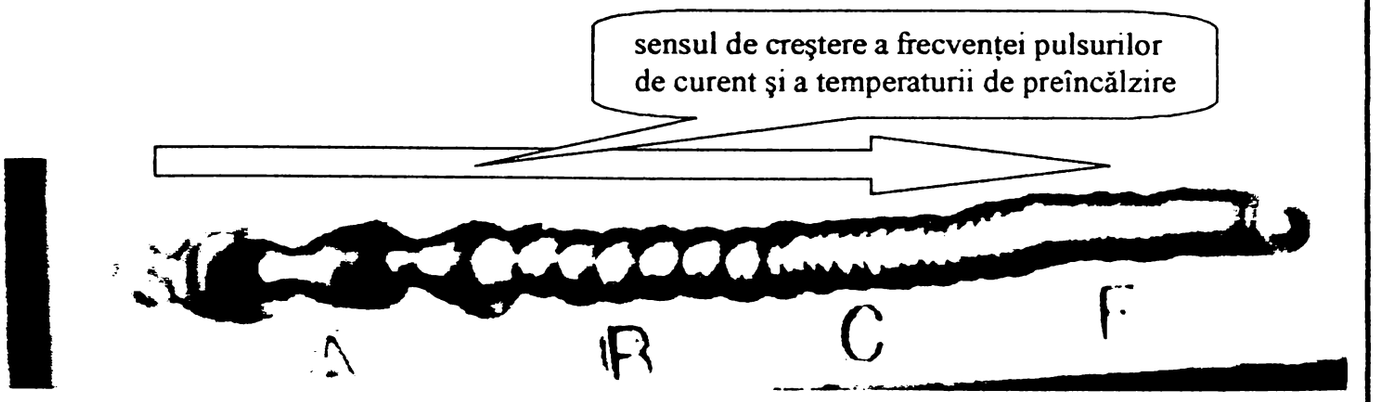


Foto 4.5

Testul de sudare următor din foto 4.6, relevă influenţa modificării continue a parametrilor : curent de puls şi temperatură de preîncălzire a sârmei. Prima depunere realizată a fost obţinută prin creşterea curentului de puls în sensul săgeţii, rezultând o creştere a energiei liniare cauzată de creşterea automată a tensiunii concretiztă prin mărirea băii topite

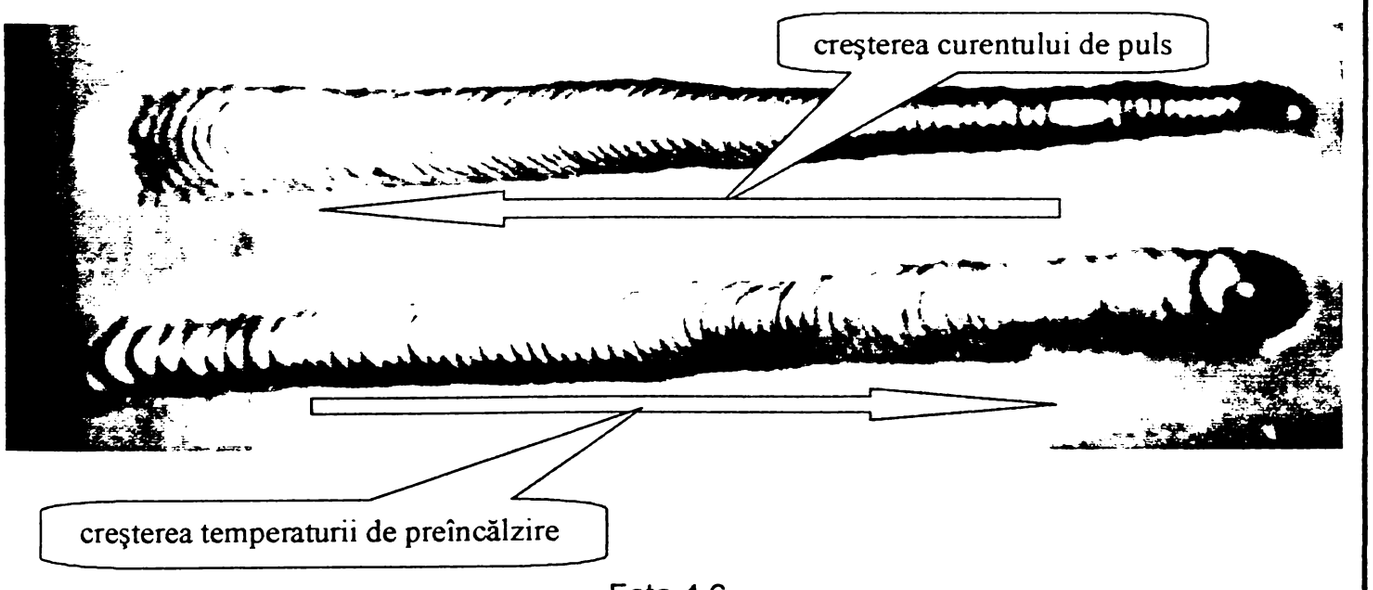


Foto 4.6

BUPT

Proba macro prezentată în figura 4.7, arată influența temperaturii de preîncălzire a sărmei material de adaos, asupra parametrilor geometrici ai cusăturilor realizate pe table subțiri (s = 3 mm) în condițiile menținerii parametrilor tehnologici de sudare constanți.

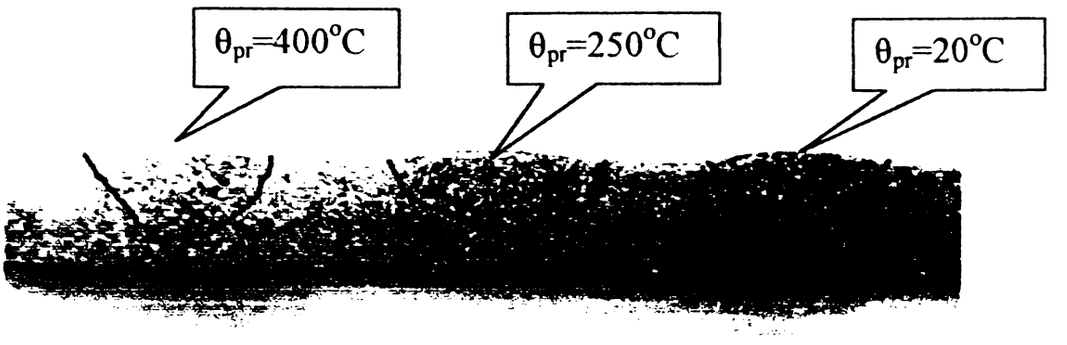


Foto 4.7

Creşterea temperaturii de preîncălzire determină o scădere a supraînălțării şi o creştere a pătrunderii datorată creşterii temperaturii băii metalice care va avea un volum mărit.

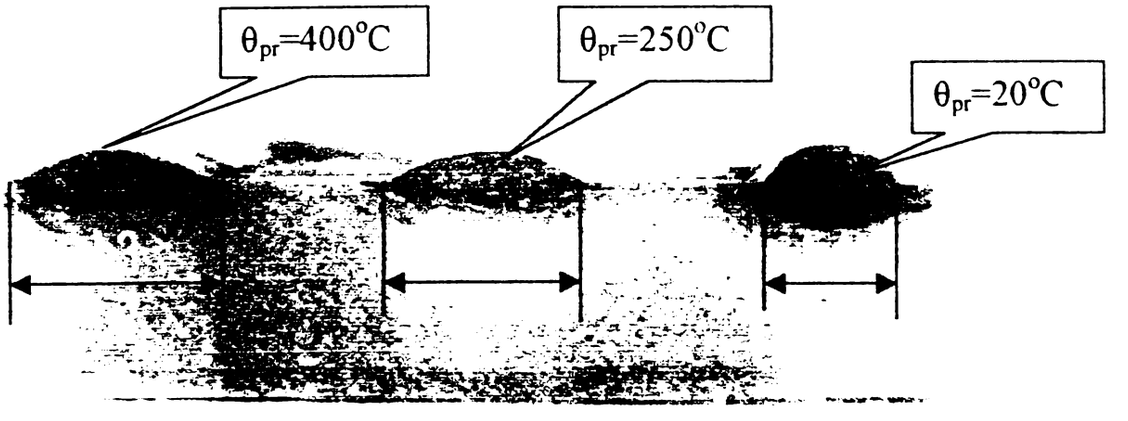


Foto 4.8

BUPT

Fotografia 4.8 relevă influența temperaturii de preîncălzire a sârmei material de adaus asupra parametrilor geometrici la sudarea grosimilor mari. După cum se observă pătrunderea nu mai este afectată, reducându-se supraînălțarea şi crescând lățimea sudurilor de la b1 la b3.

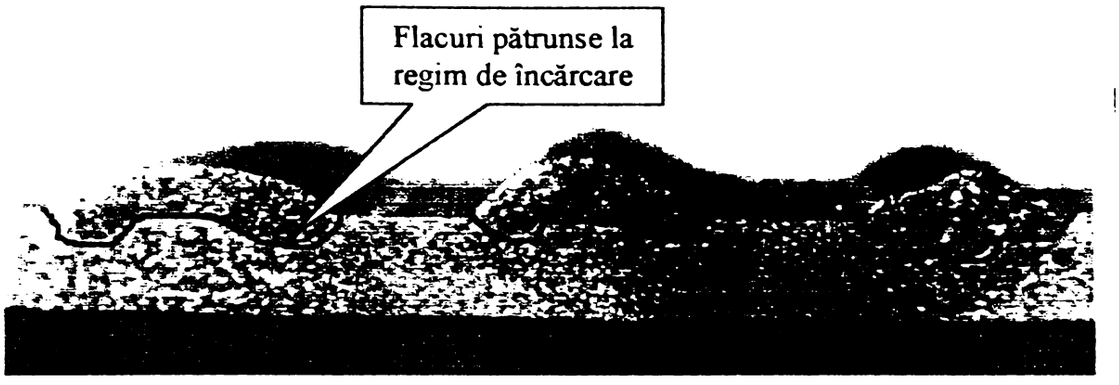


Foto 4.9

Fotografia 4.9 arată forma stratului depus cu scopul placării, atunci când parametrii tehnologici de sudare nu permit o diluție mare dar materialul preîncălzit determină o încastrare a flancurilor trecerii în materialul de bază dependentă de temperatura de preîncălzire. Lățimea mare poate fi accentuată prin teşirea vârfului electrodului de wolfram, care va determina o formă dispersă a arcului electric

BUPT

ANEXA 4

MODUL DE VARIAȚIE A PARAMETRILOR GEOMETRICI FUNCȚIE DE PARAMETRII TEHNOLOGICI

BUPT

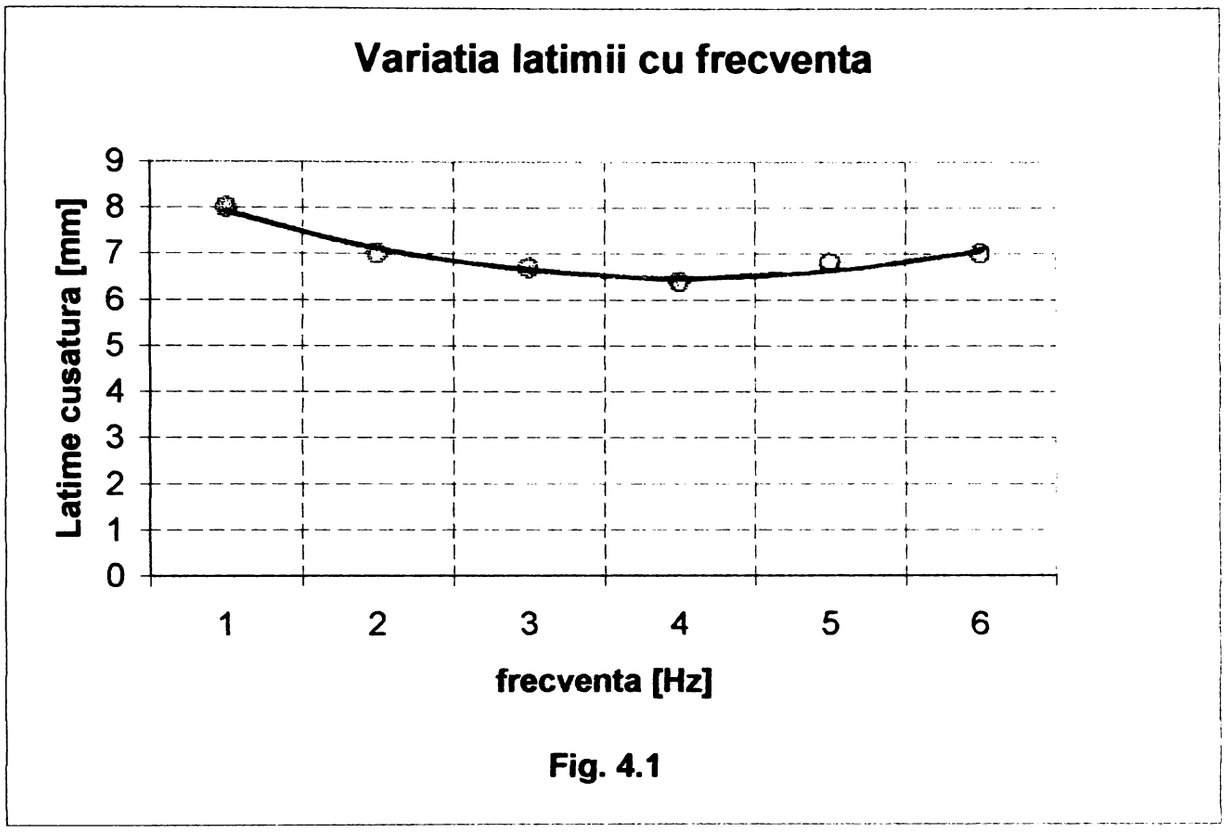


Fig. 4.1

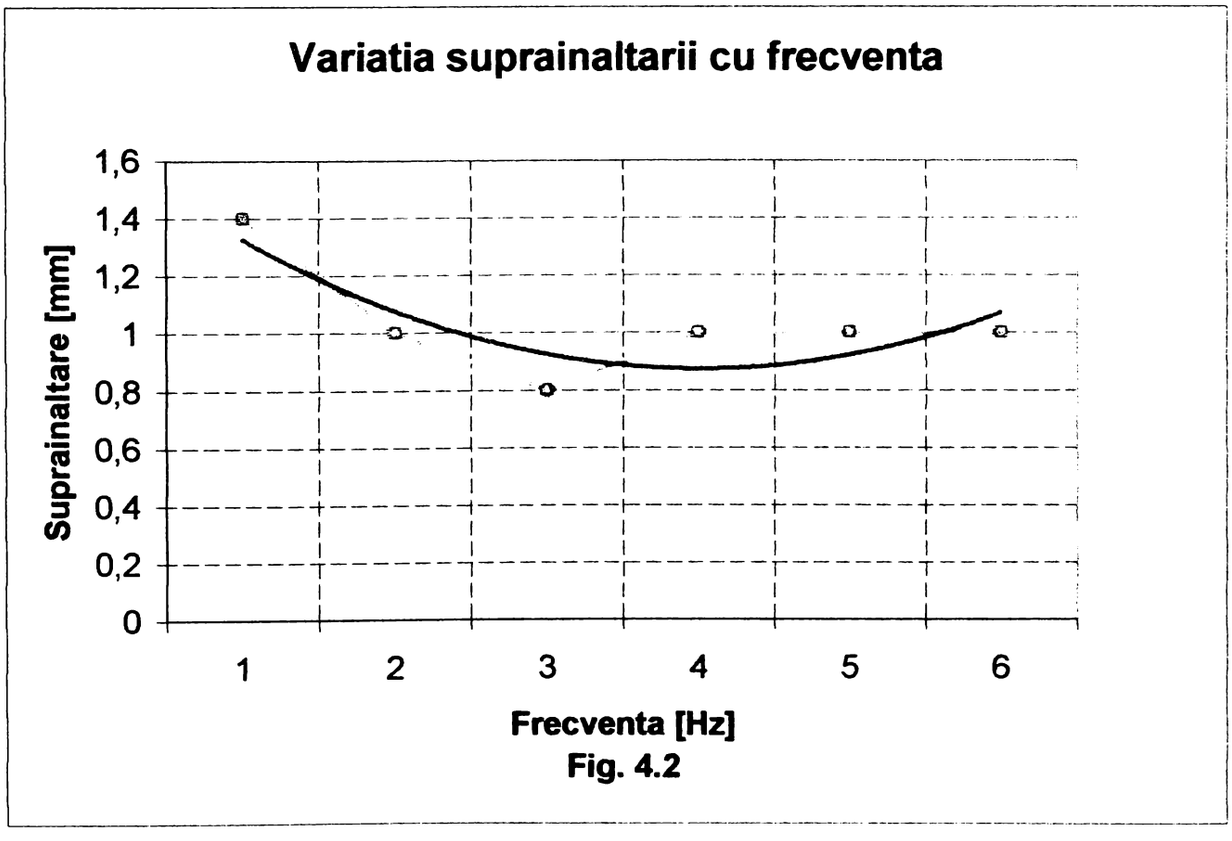


Fig. 4.2

BUPT

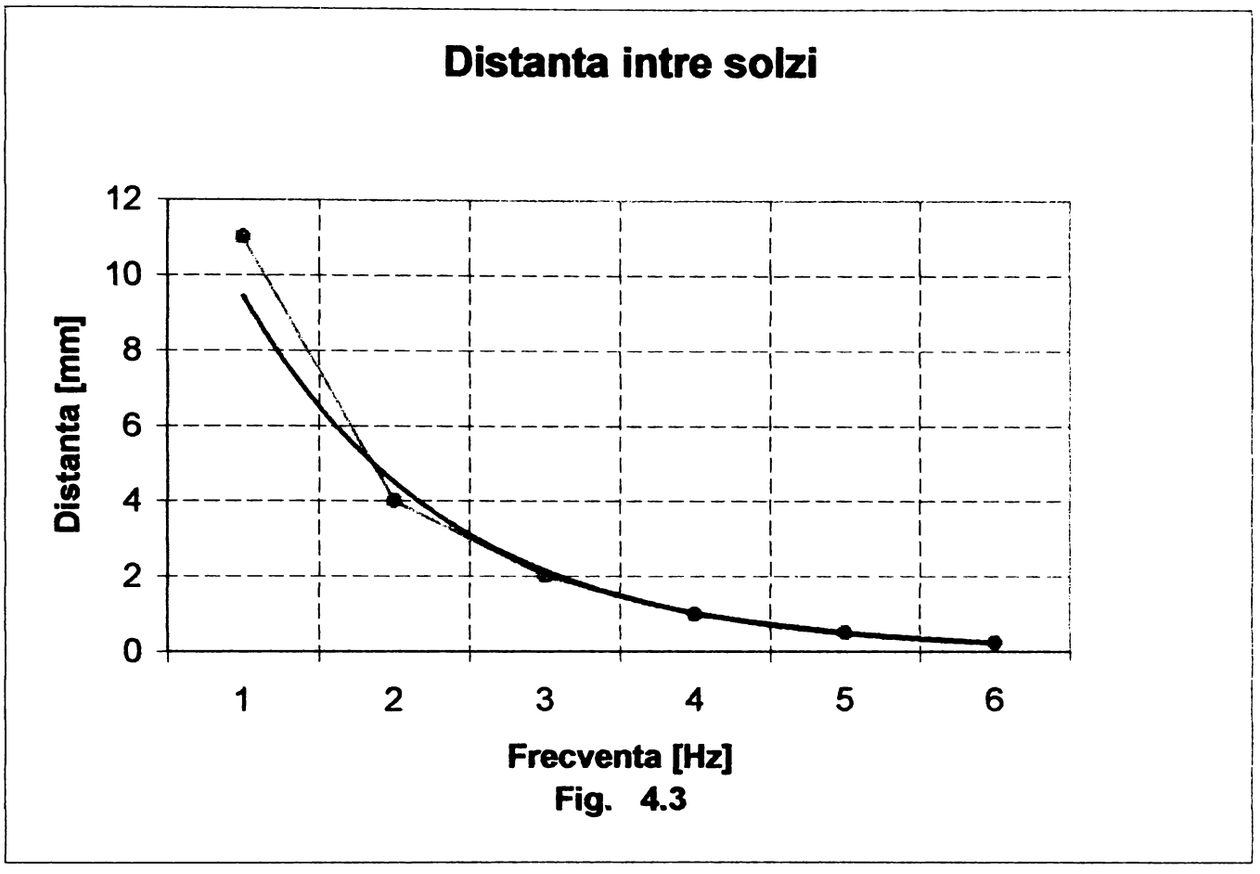

Distanta intre solzi
12
10
8
6
4
2
0
Distanta [mm]
1
2
3
4
5
6
Frecventa [Hz]

Fig. 4.3

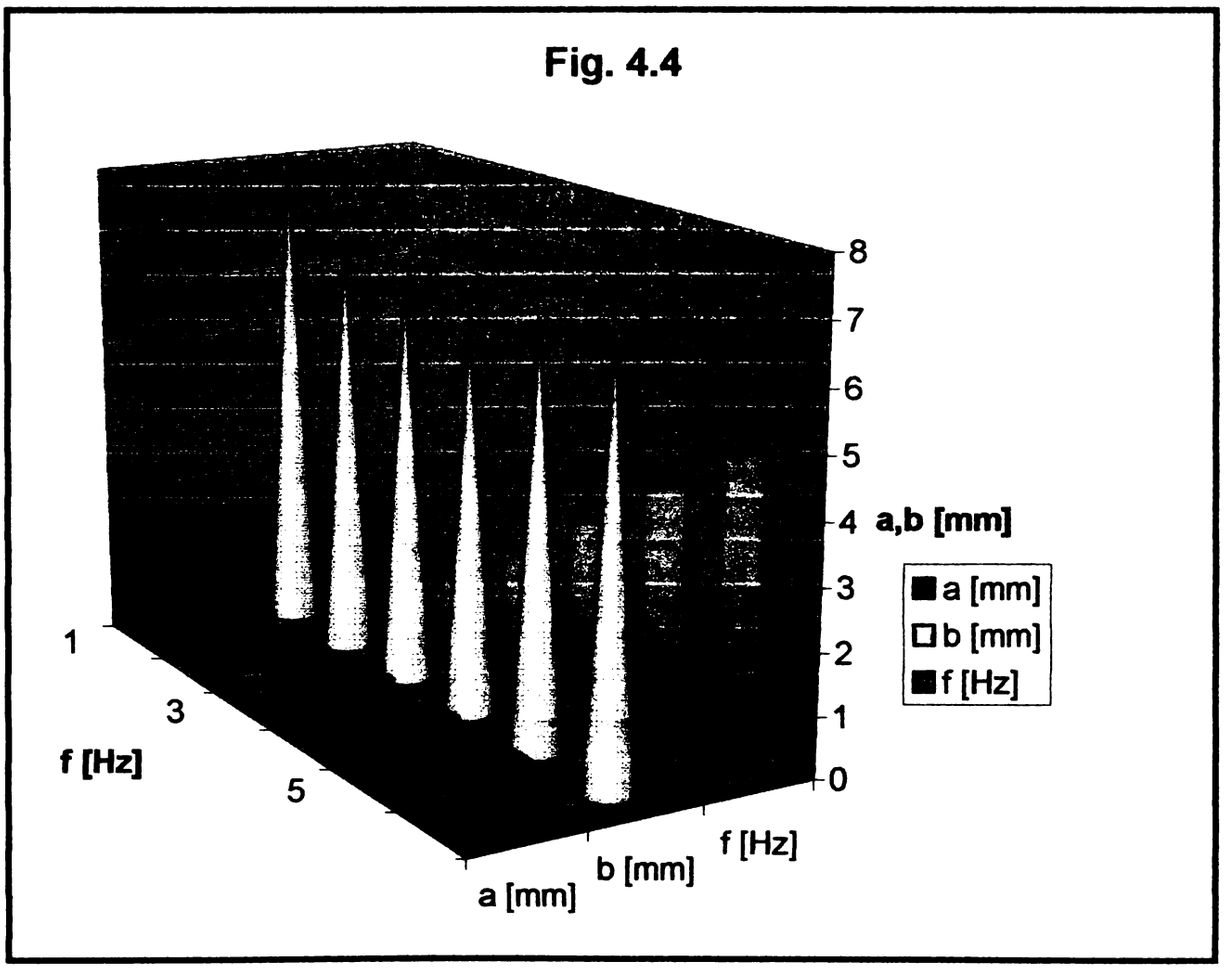


Fig. 4.4
8
7
6
5
4
3
2
1
0
a,b [mm]
a [mm]
b [mm]
f [Hz]
1
3
5
f [Hz]
a [mm]
b [mm]
f [Hz]

BUPT

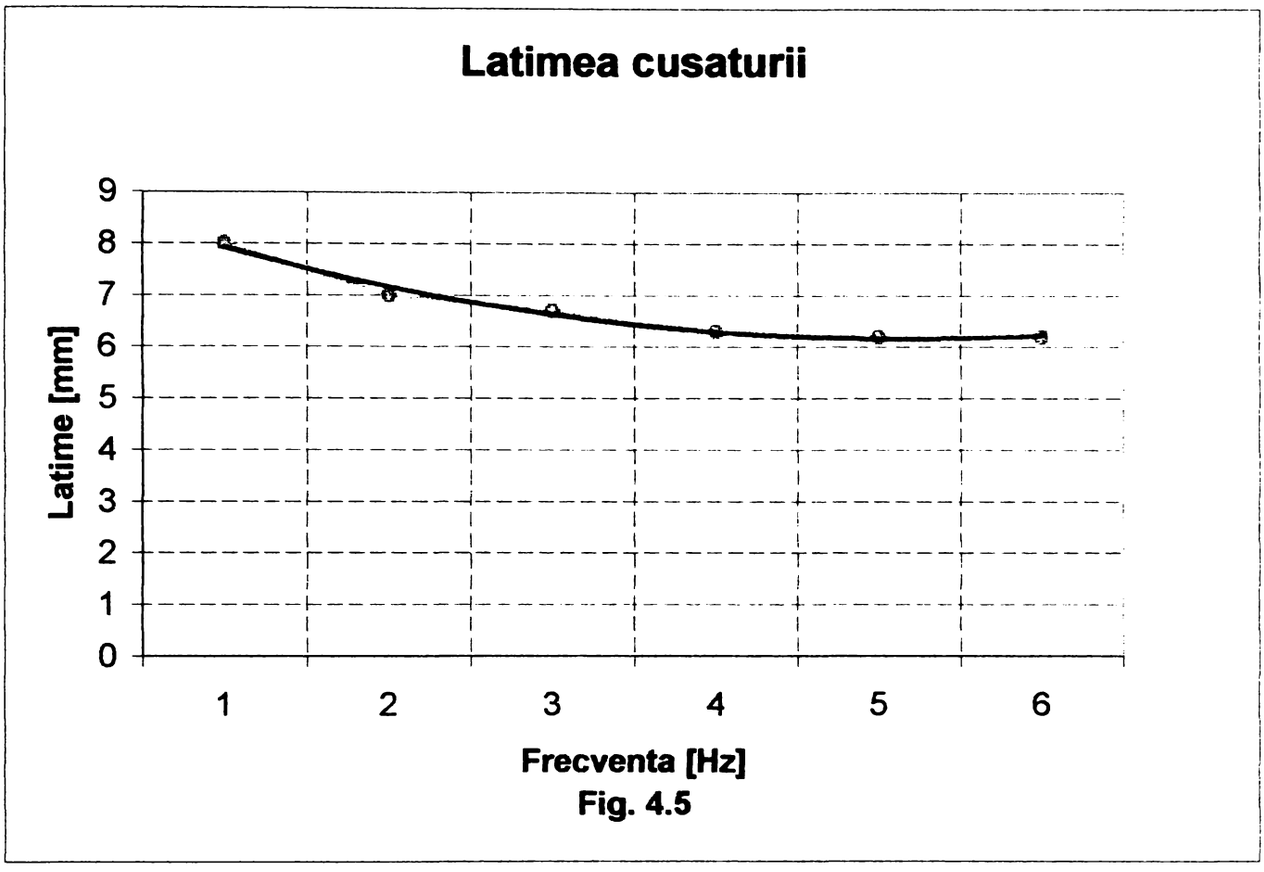


Fig. 4.5

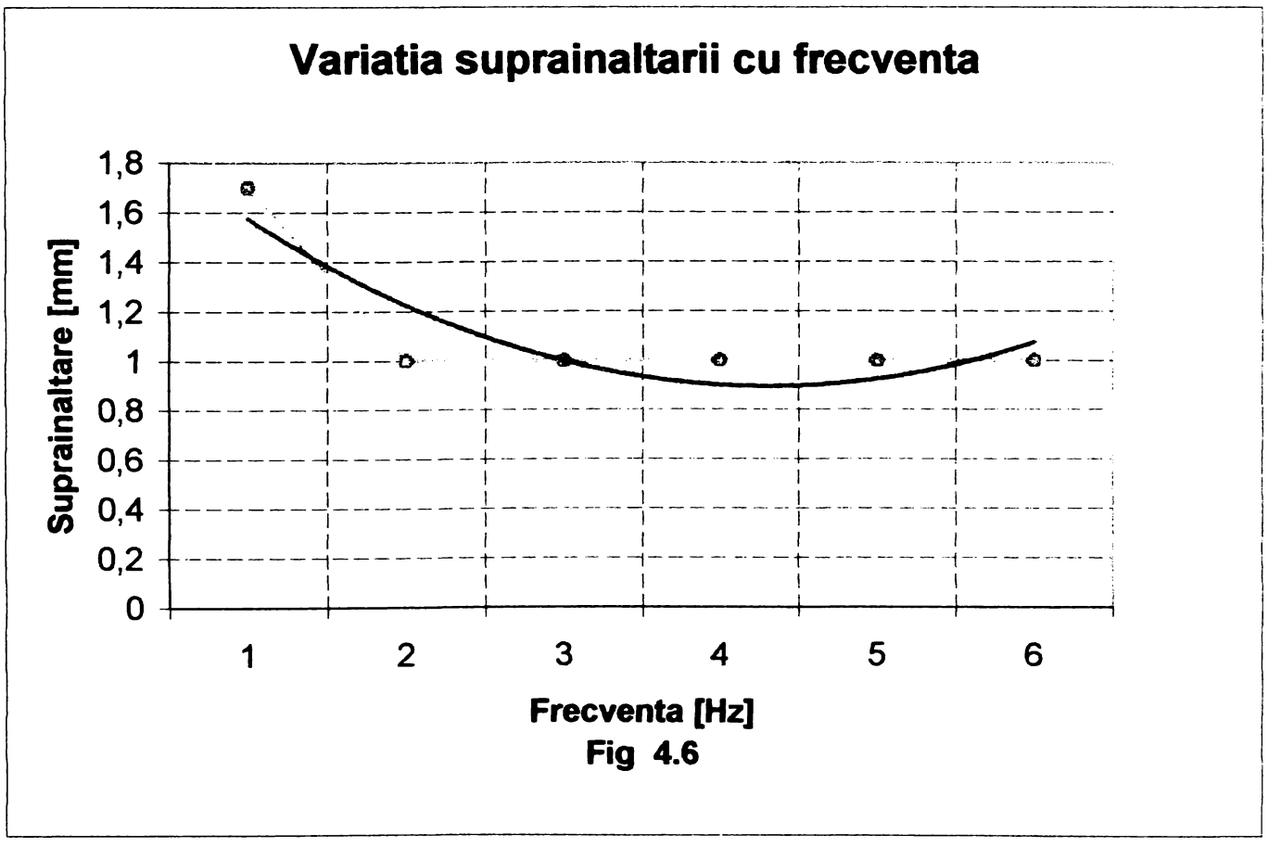
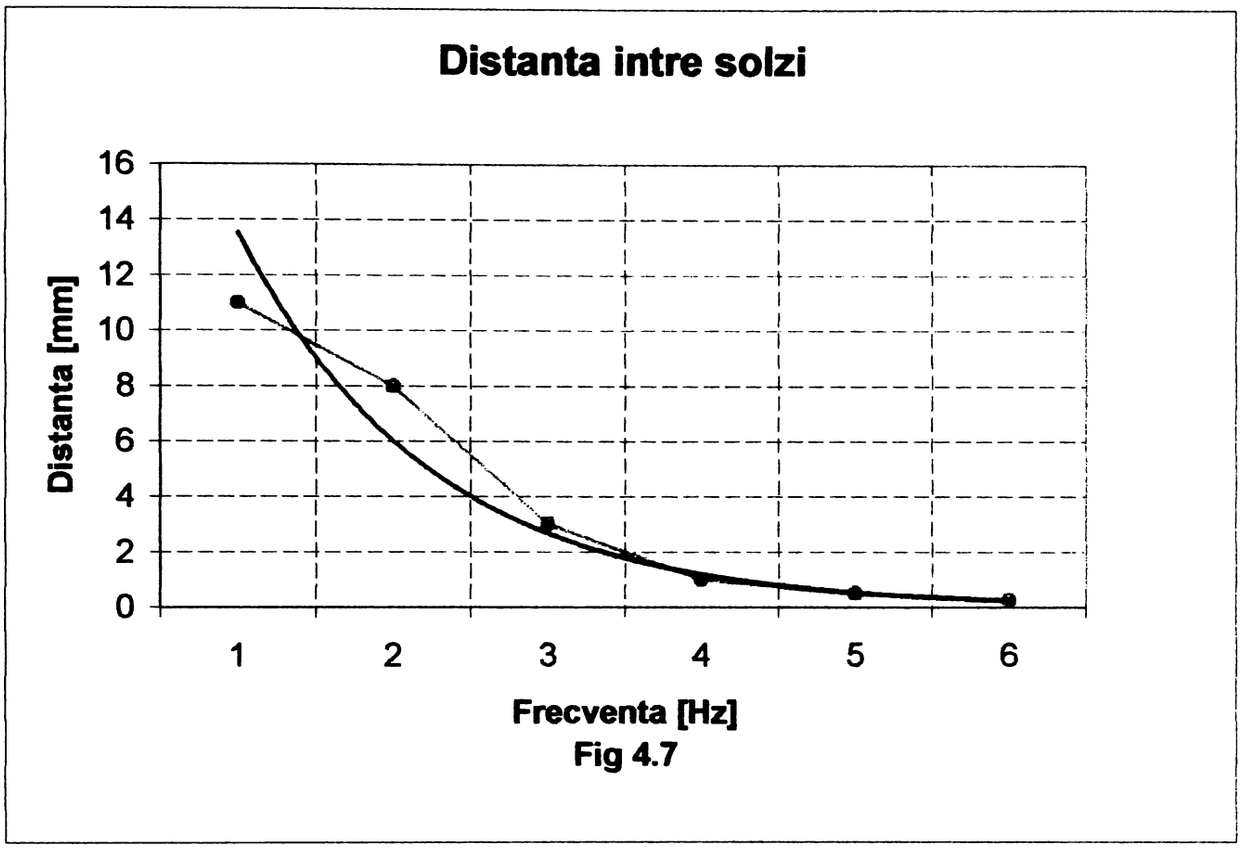


Fig 4.6

BUPT


Distanta intre solzi
Distanta [mm]
16
14
12
10
8
6
4
2
0
1
2
3
4
5
6
Frecventa [Hz]
Fig 4.7

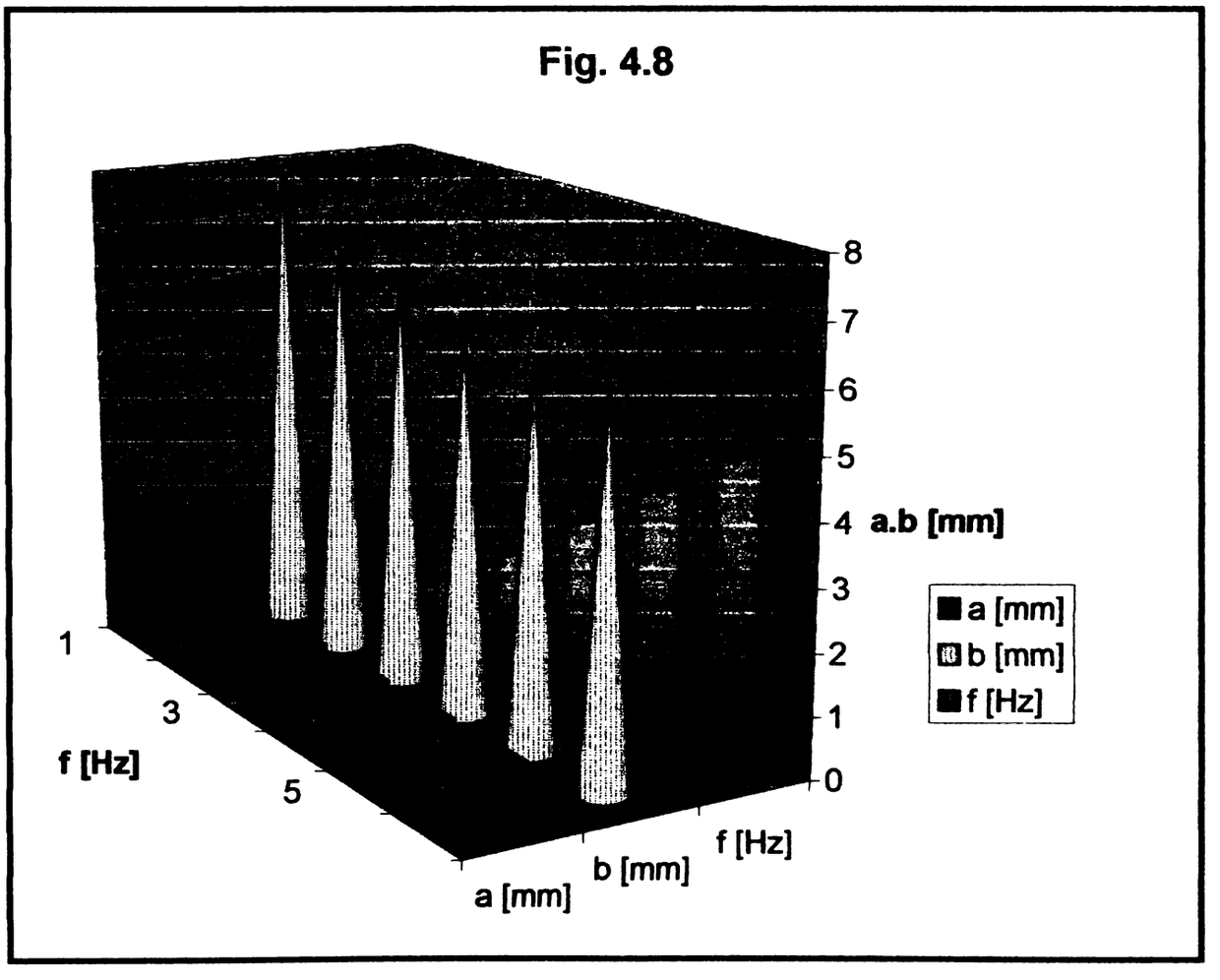


Fig. 4.8
8
7
6
5
4
3
2
1
0
a.b [mm]
a [mm]
b [mm]
f [Hz]
1
3
5
f [Hz]
a [mm]
b [mm]
f [Hz]

BUPT

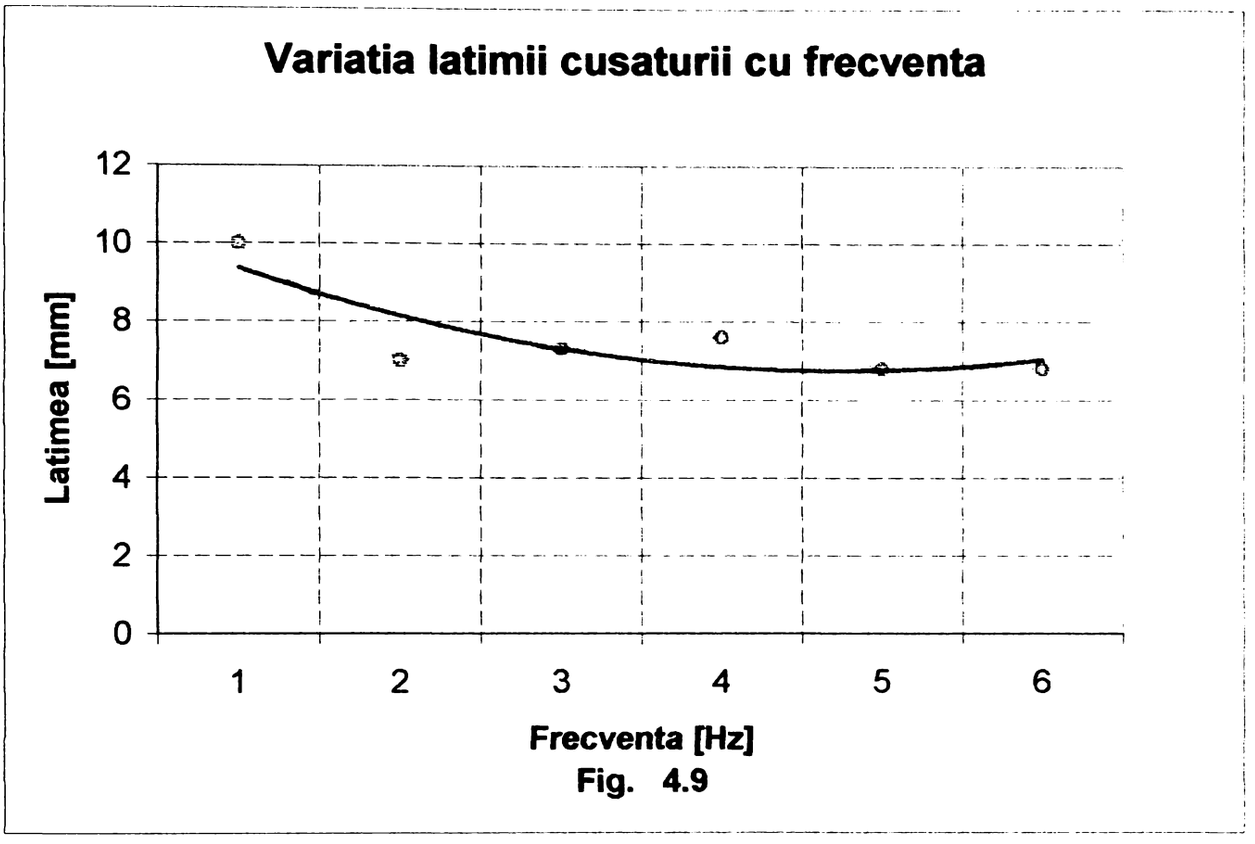


Fig. 4.9

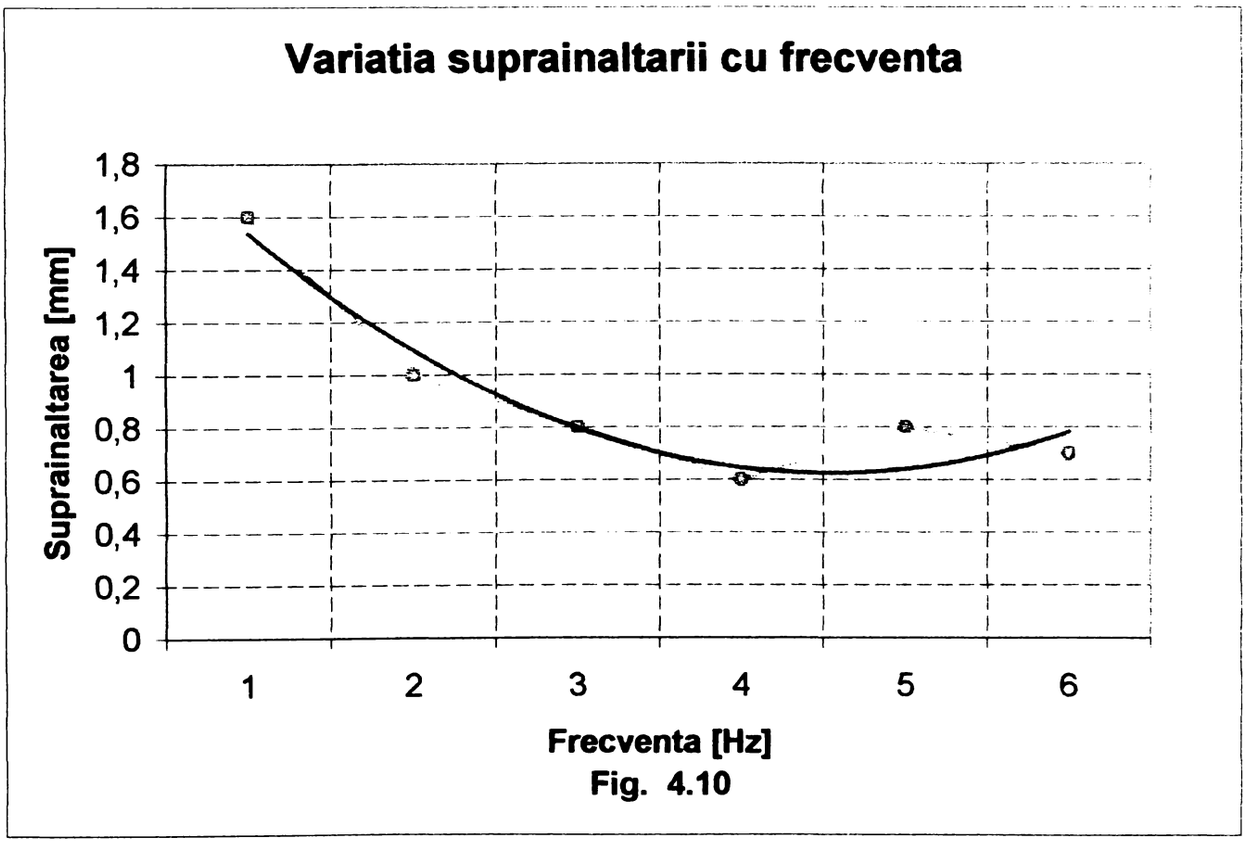


Fig. 4.10

BUPT

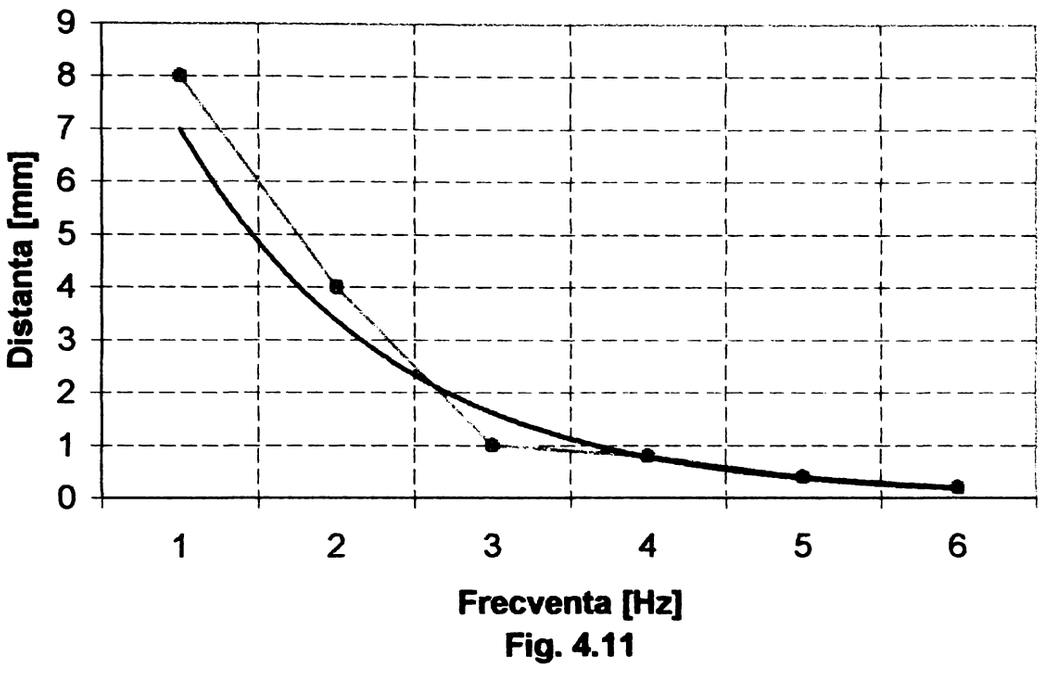
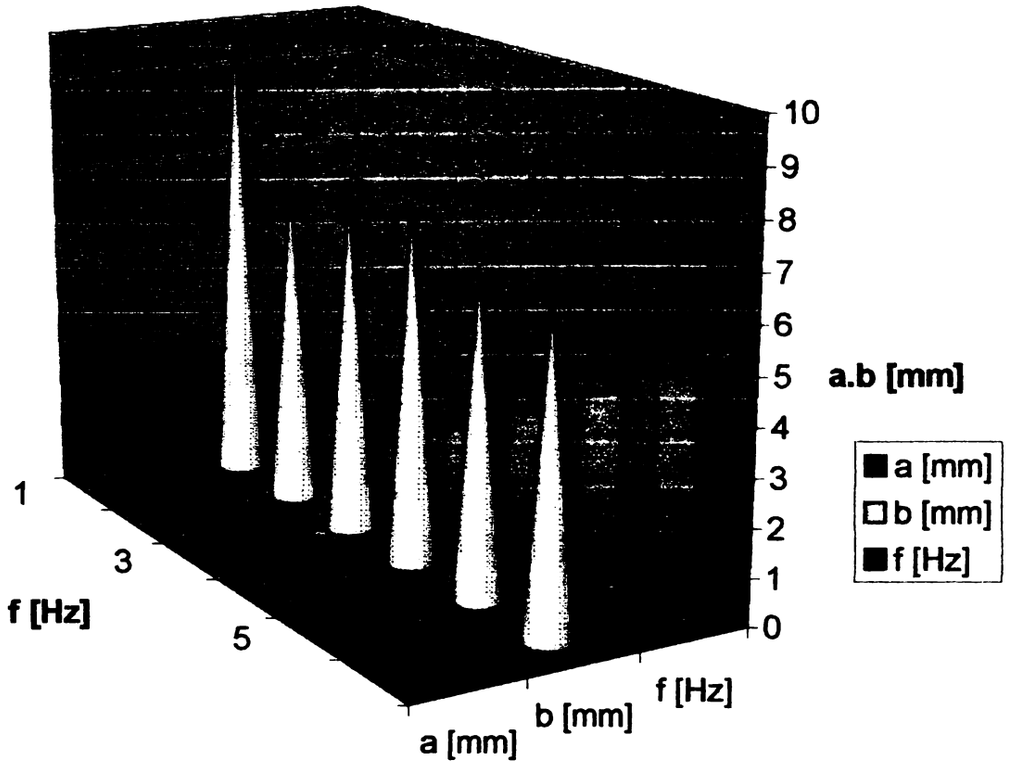


Fig. 4.11

Fig. 4.12



BUPT

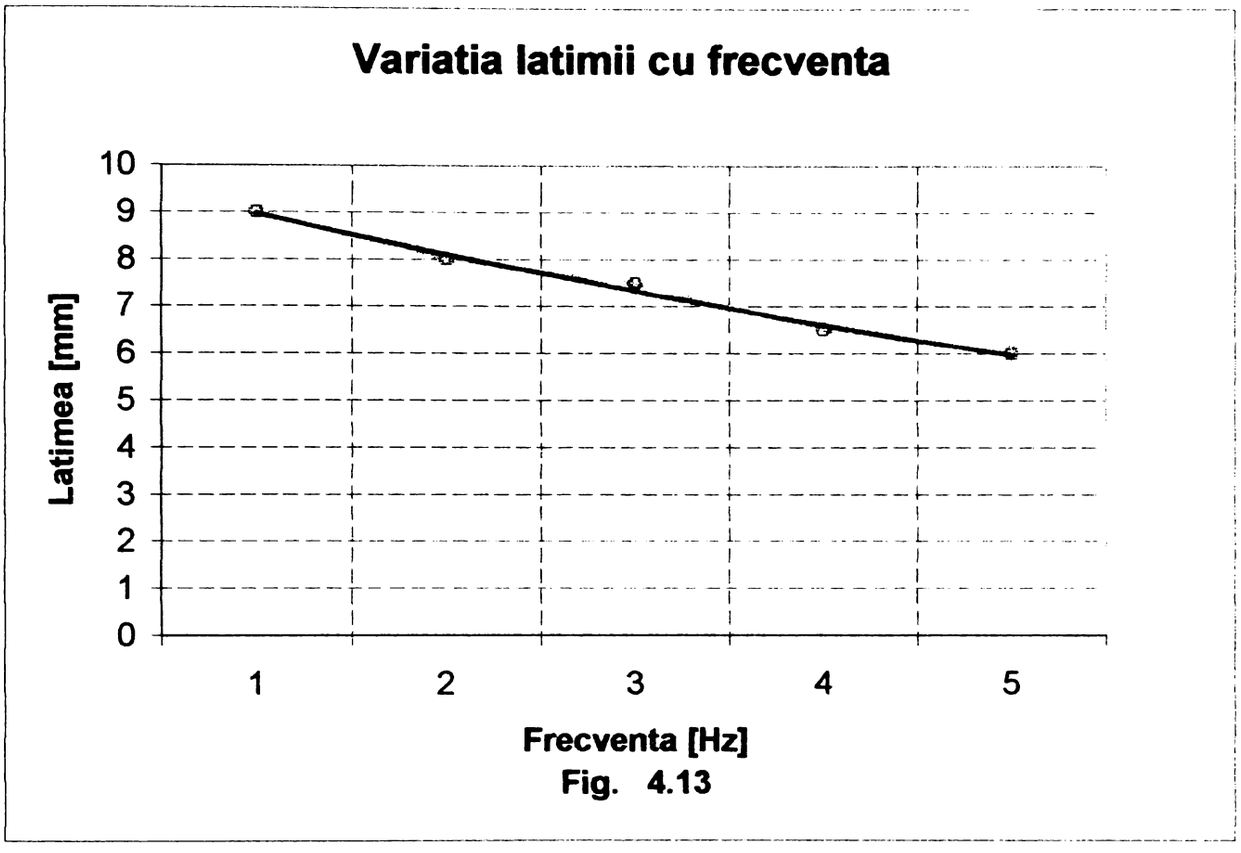


Fig. 4.13

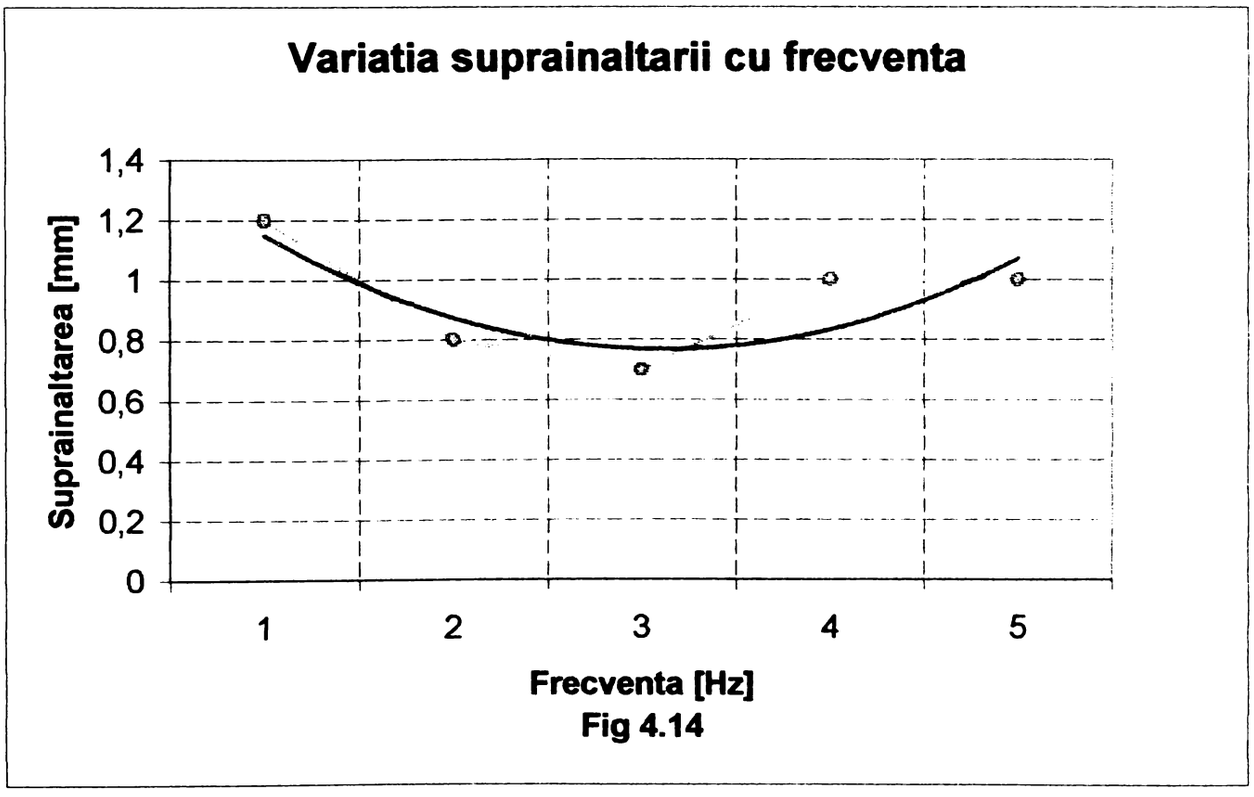


Fig 4.14

BUPT

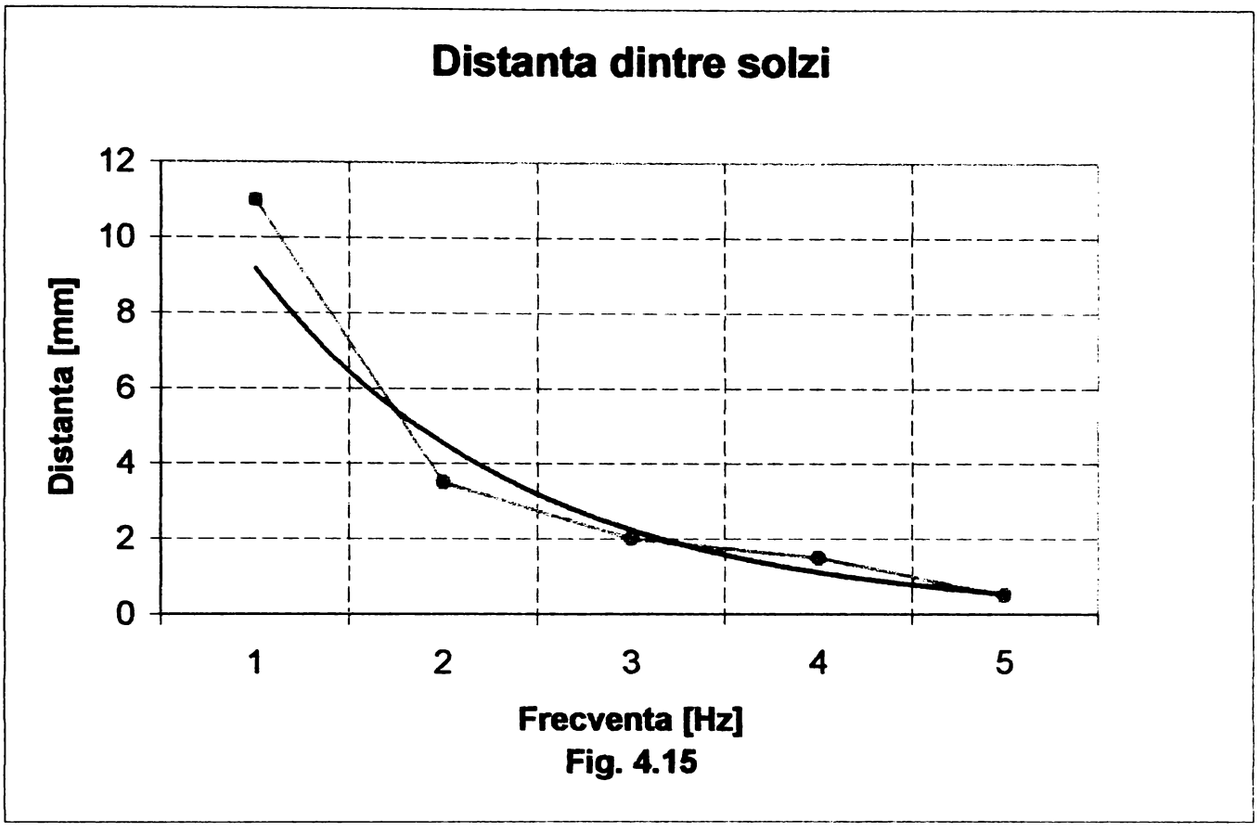

Distanta dintre solzi
Distanta [mm]
12
10
8
6
4
2
0
1
2
3
4
5
Frecventa [Hz]

Fig. 4.15

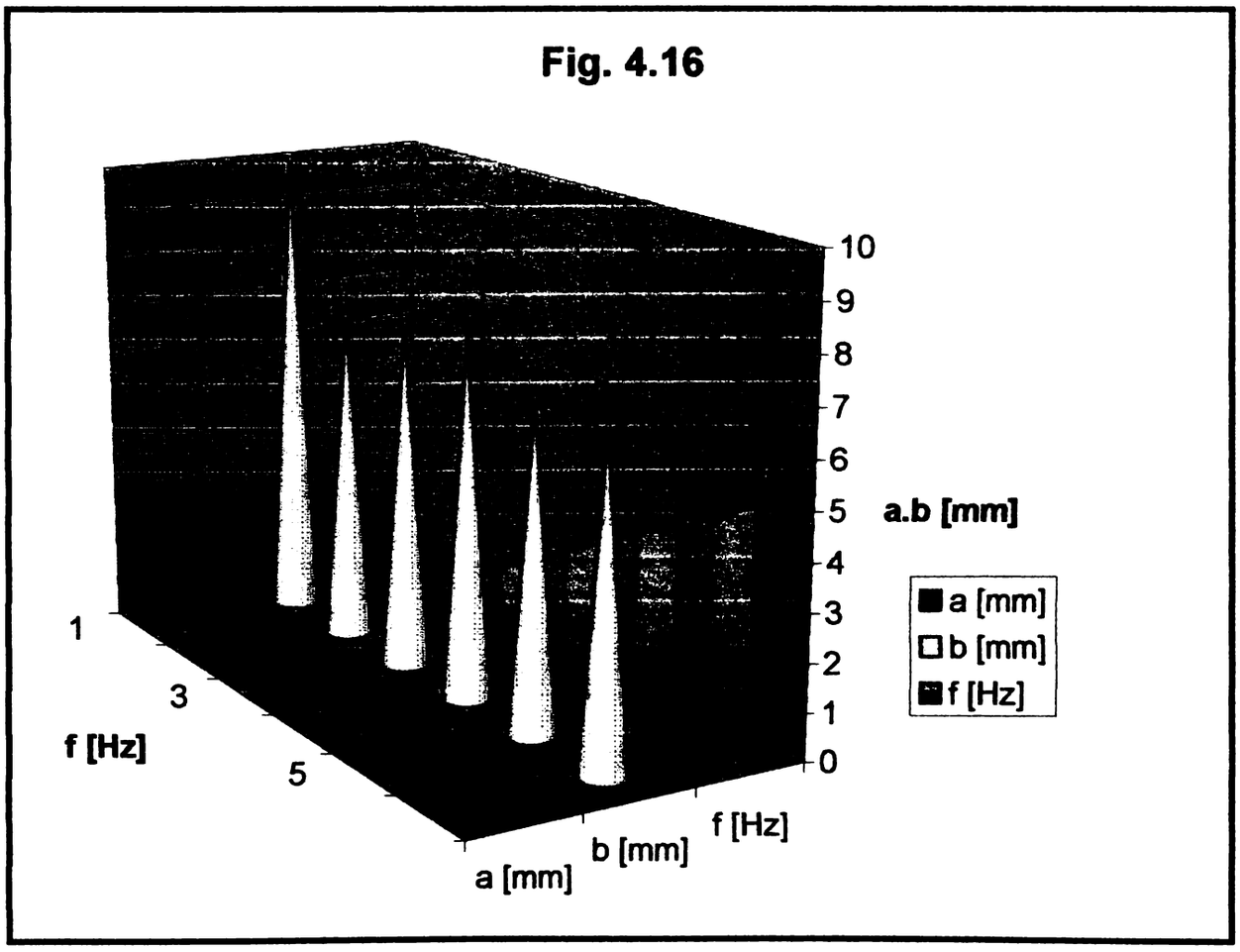


Fig. 4.16
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
a.b [mm]
a [mm]
b [mm]
f [Hz]
1
3
5
f [Hz]
a [mm]
b [mm]
f [Hz]

BUPT

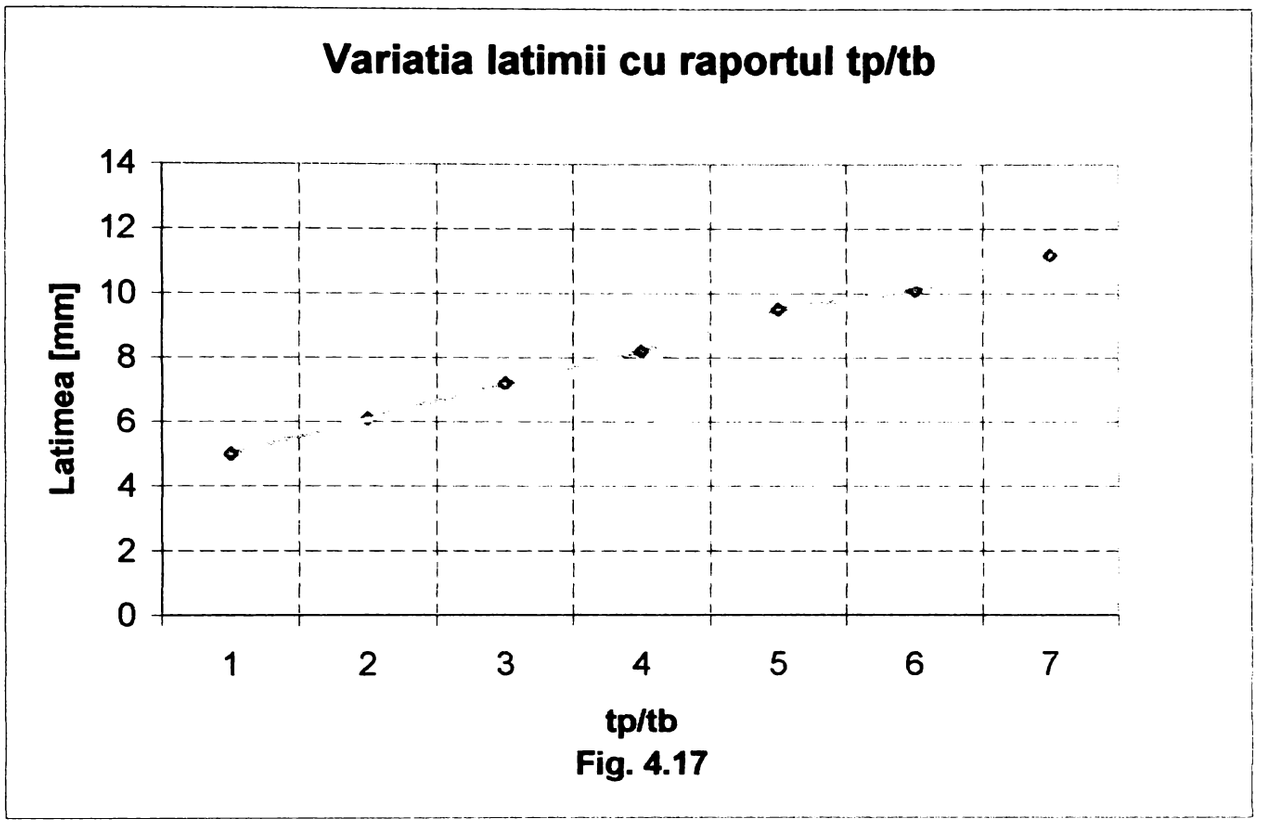


Fig. 4.17

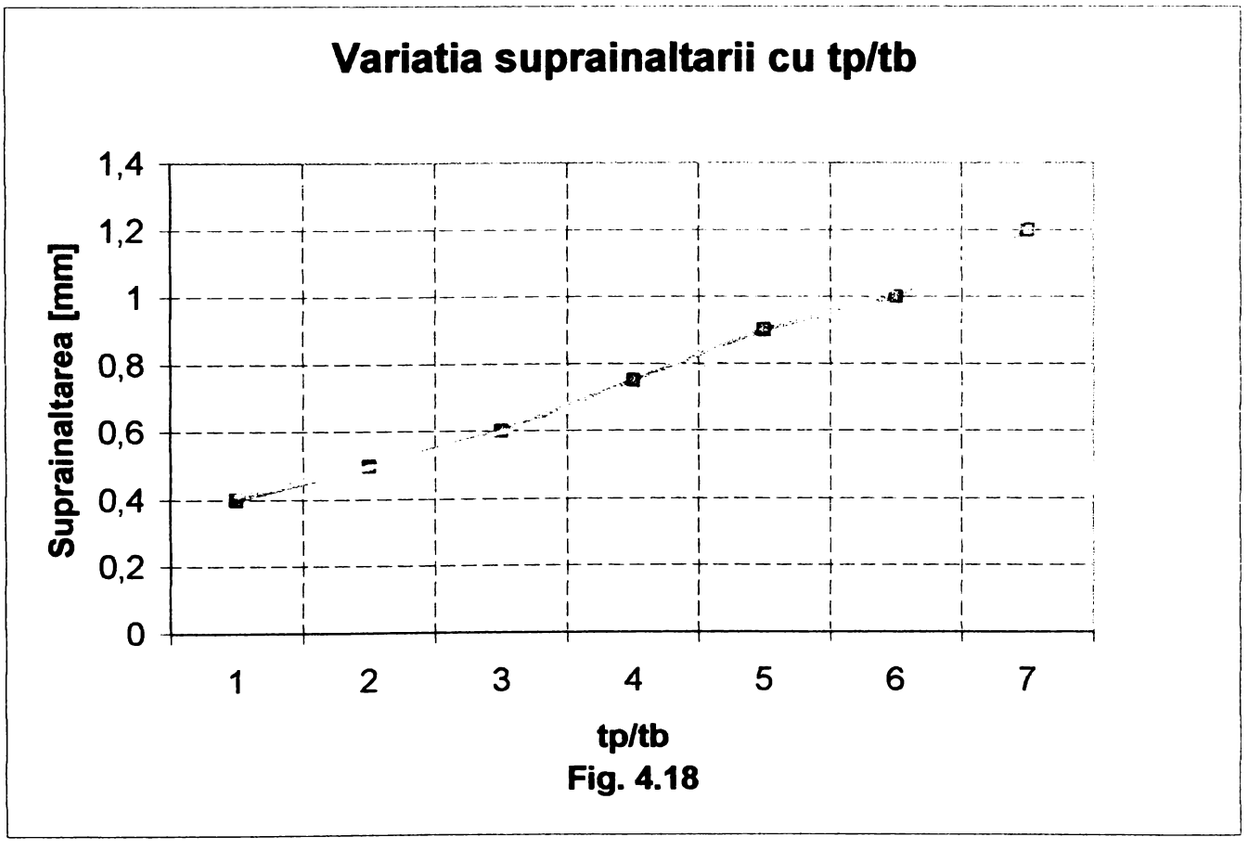


Fig. 4.18

BUPT

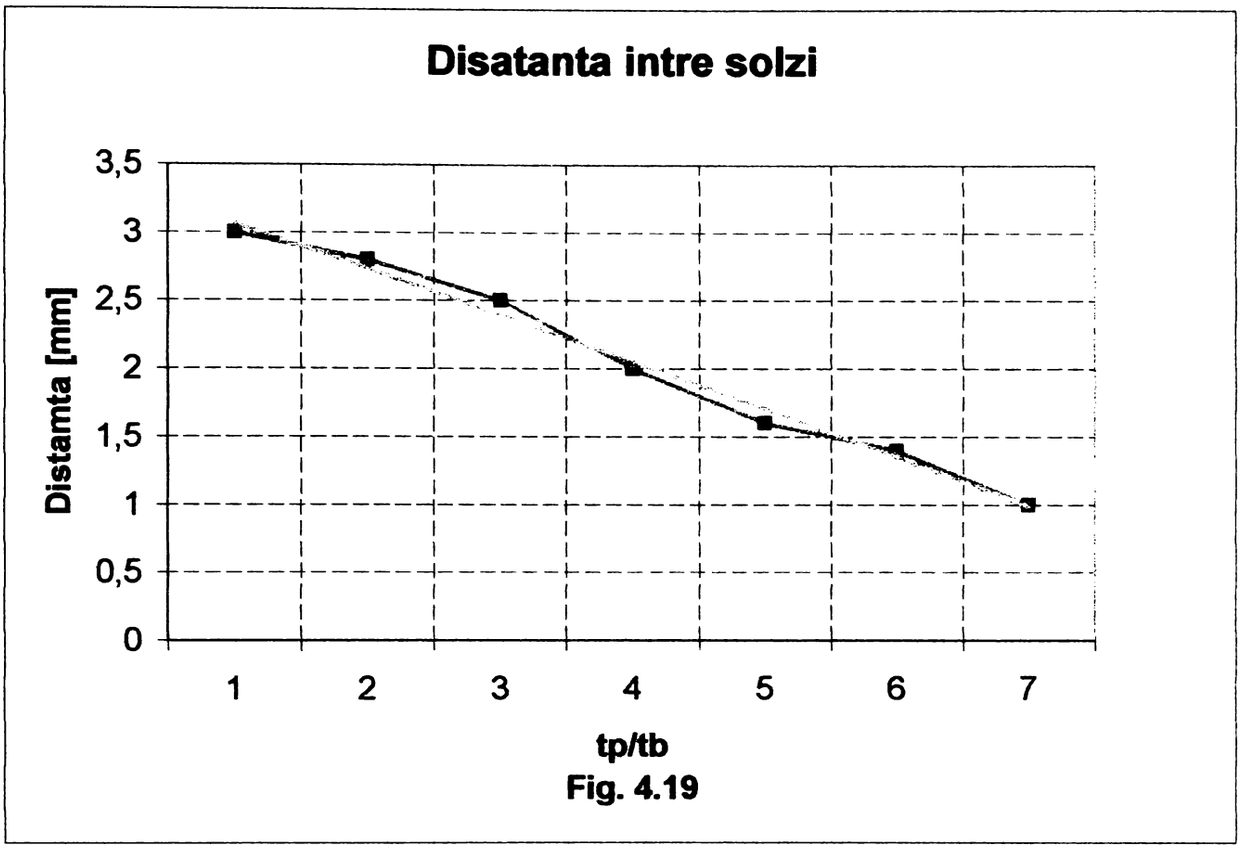


Fig. 4.19

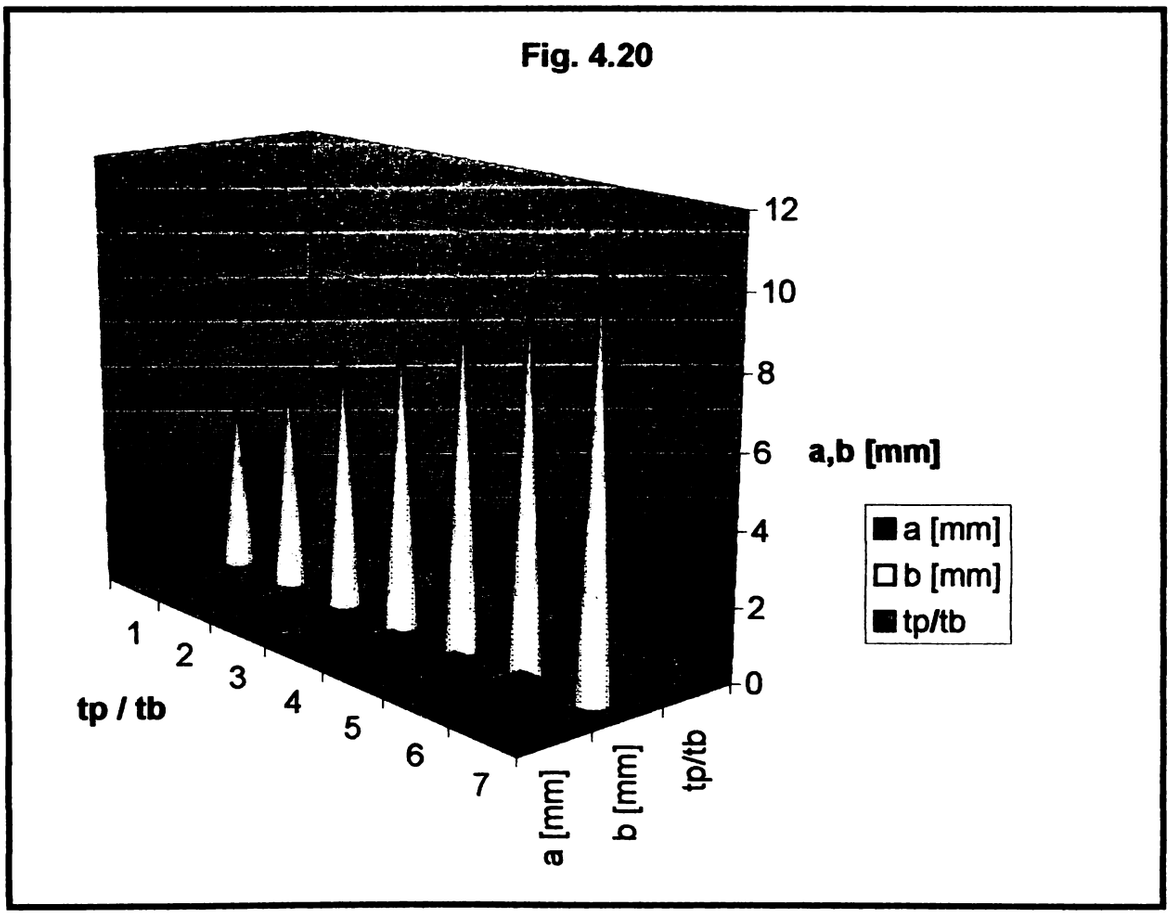


Fig. 4.20

BUPT

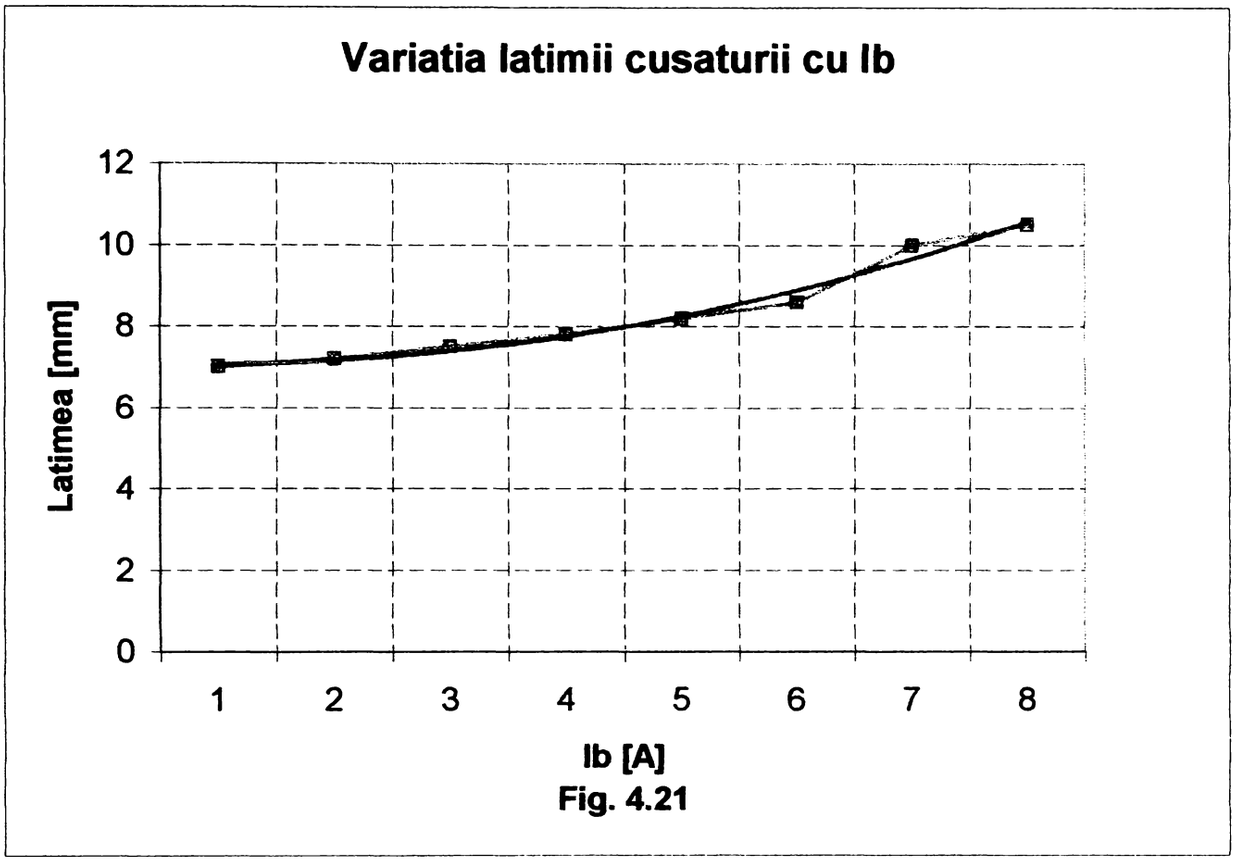


Fig. 4.21

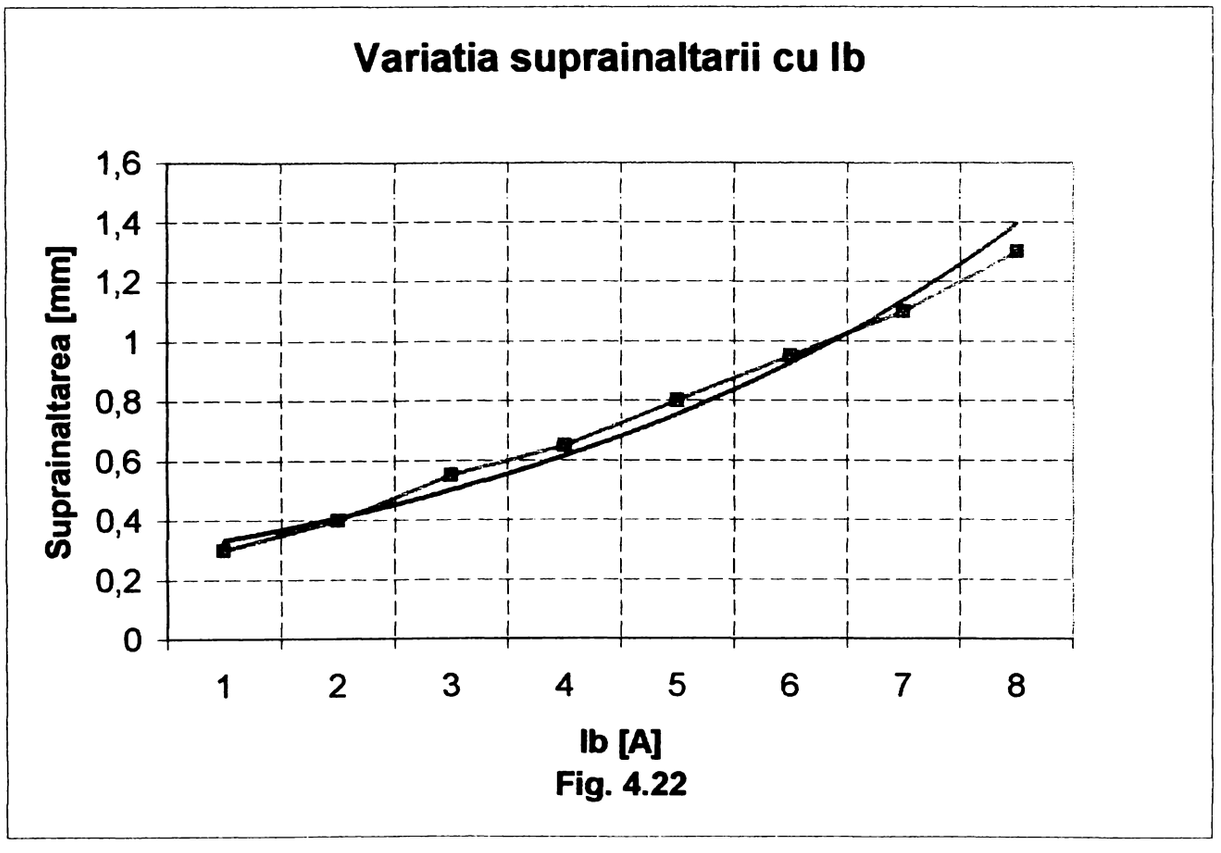


Fig. 4.22

BUPT

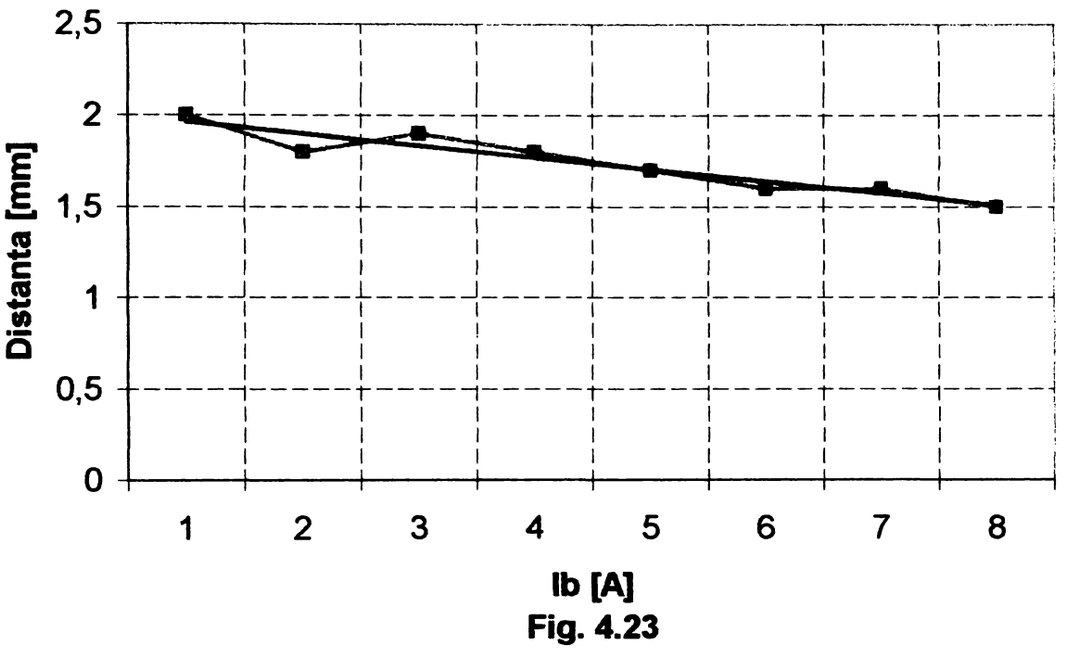
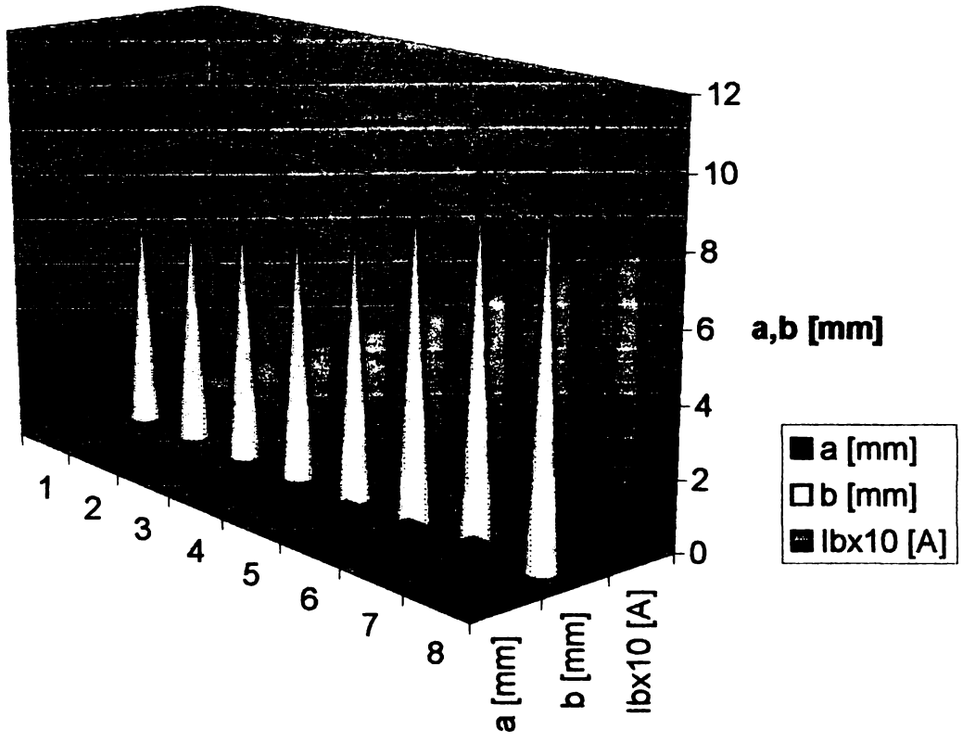


Fig. 4.23

Fig. 4.24



BUPT

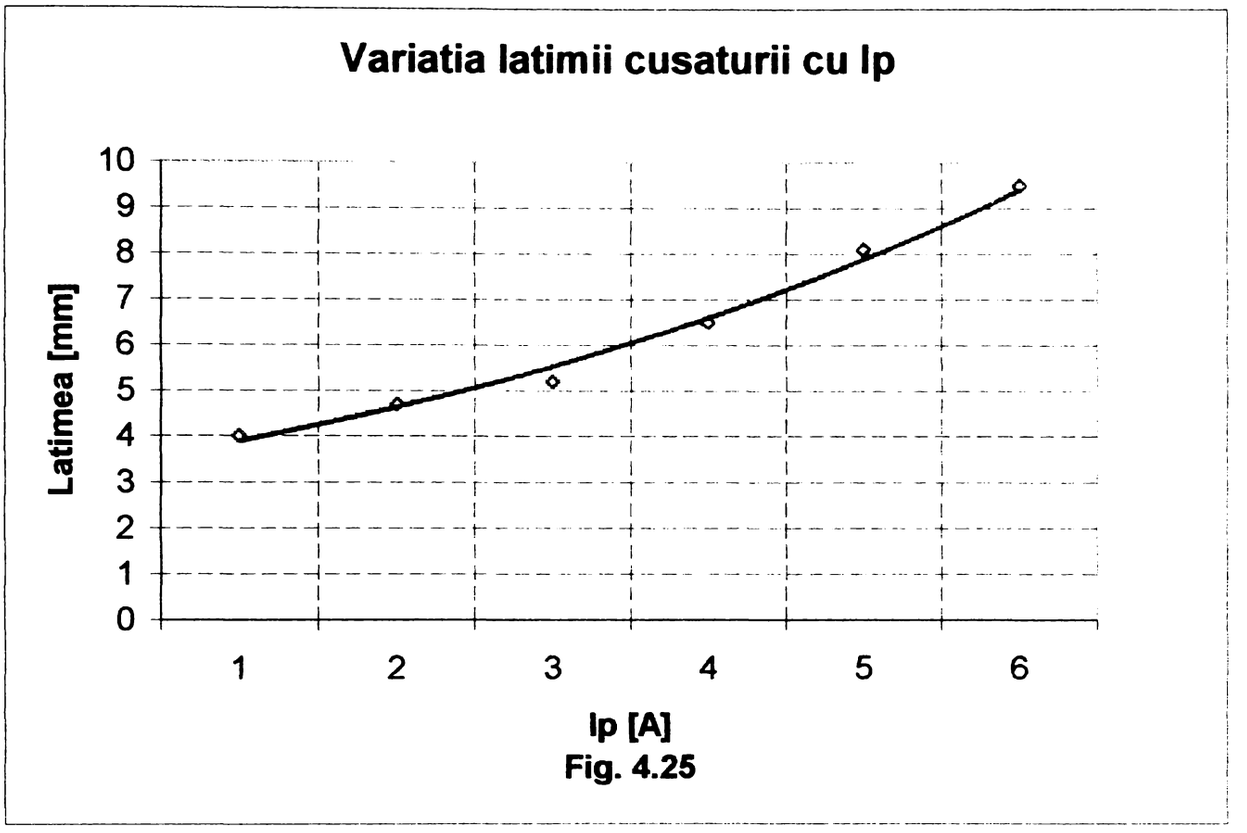


Fig. 4.25

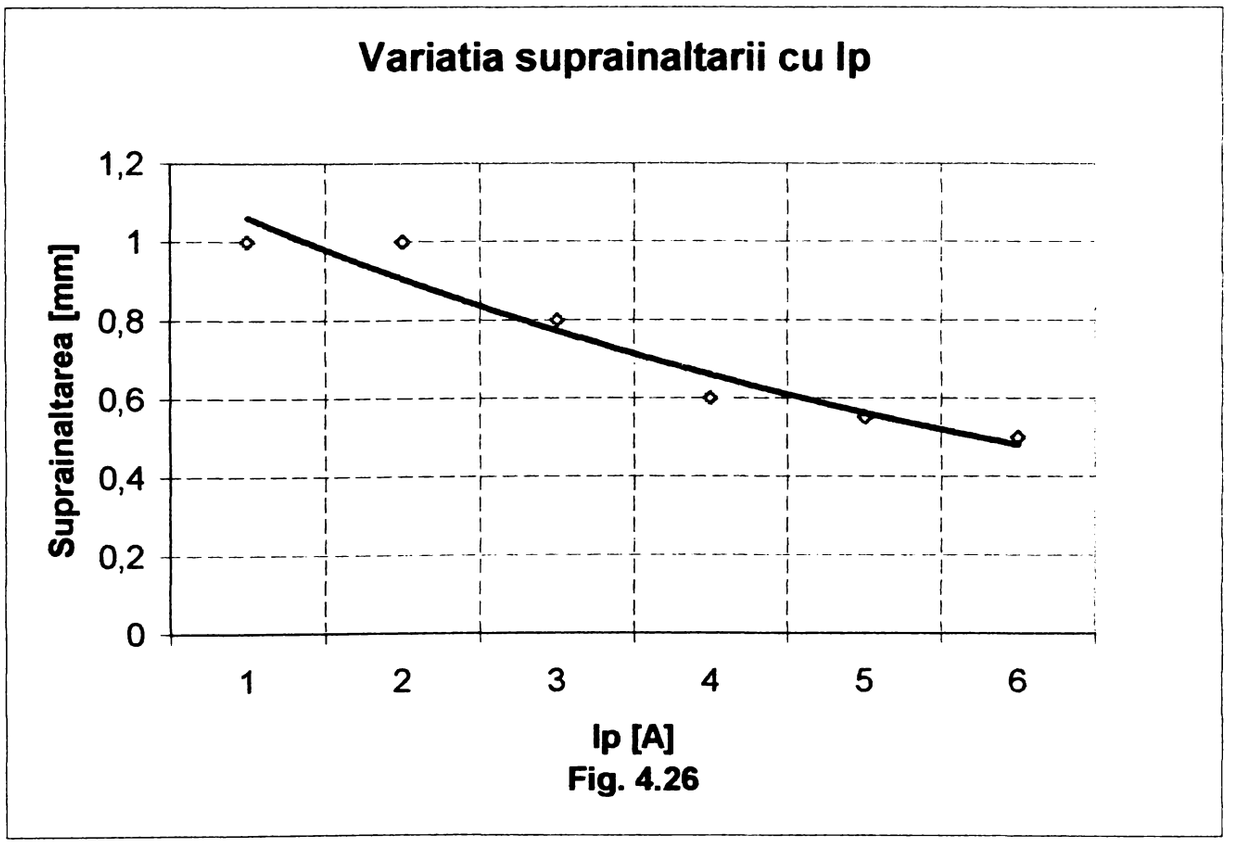


Fig. 4.26

BUPT

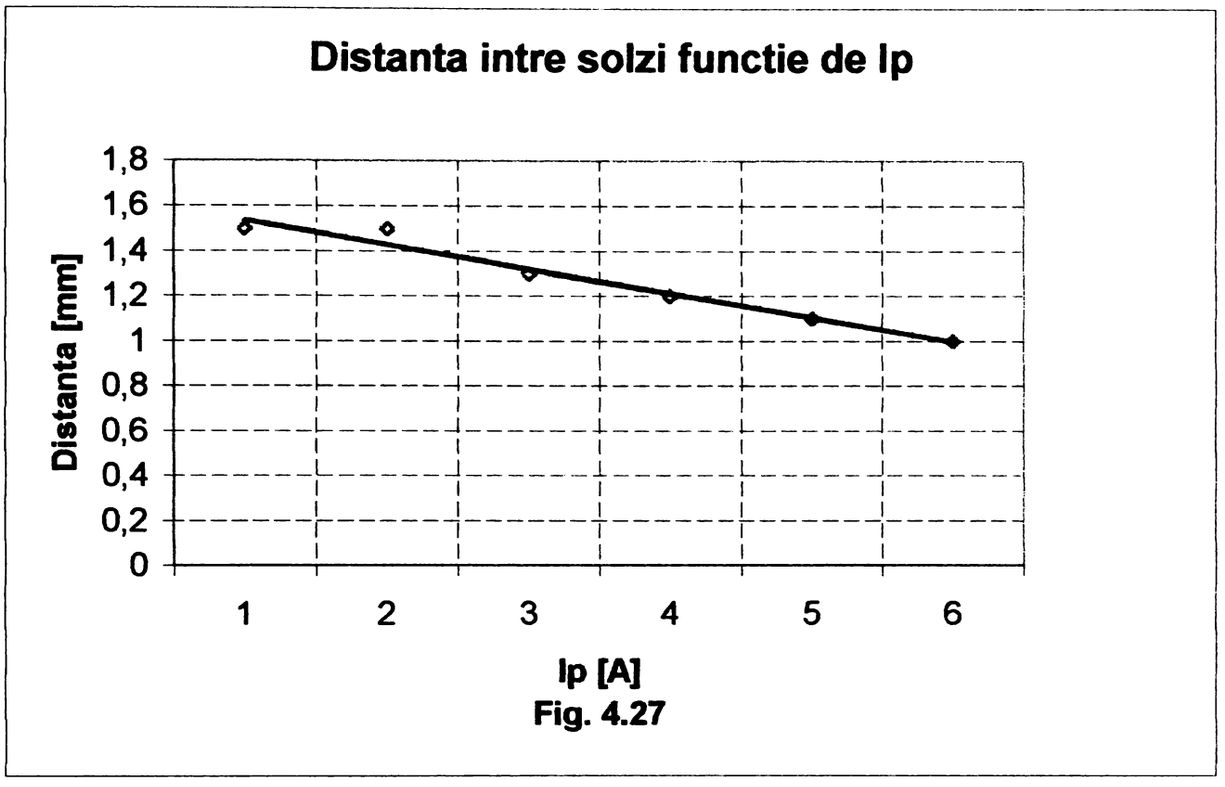
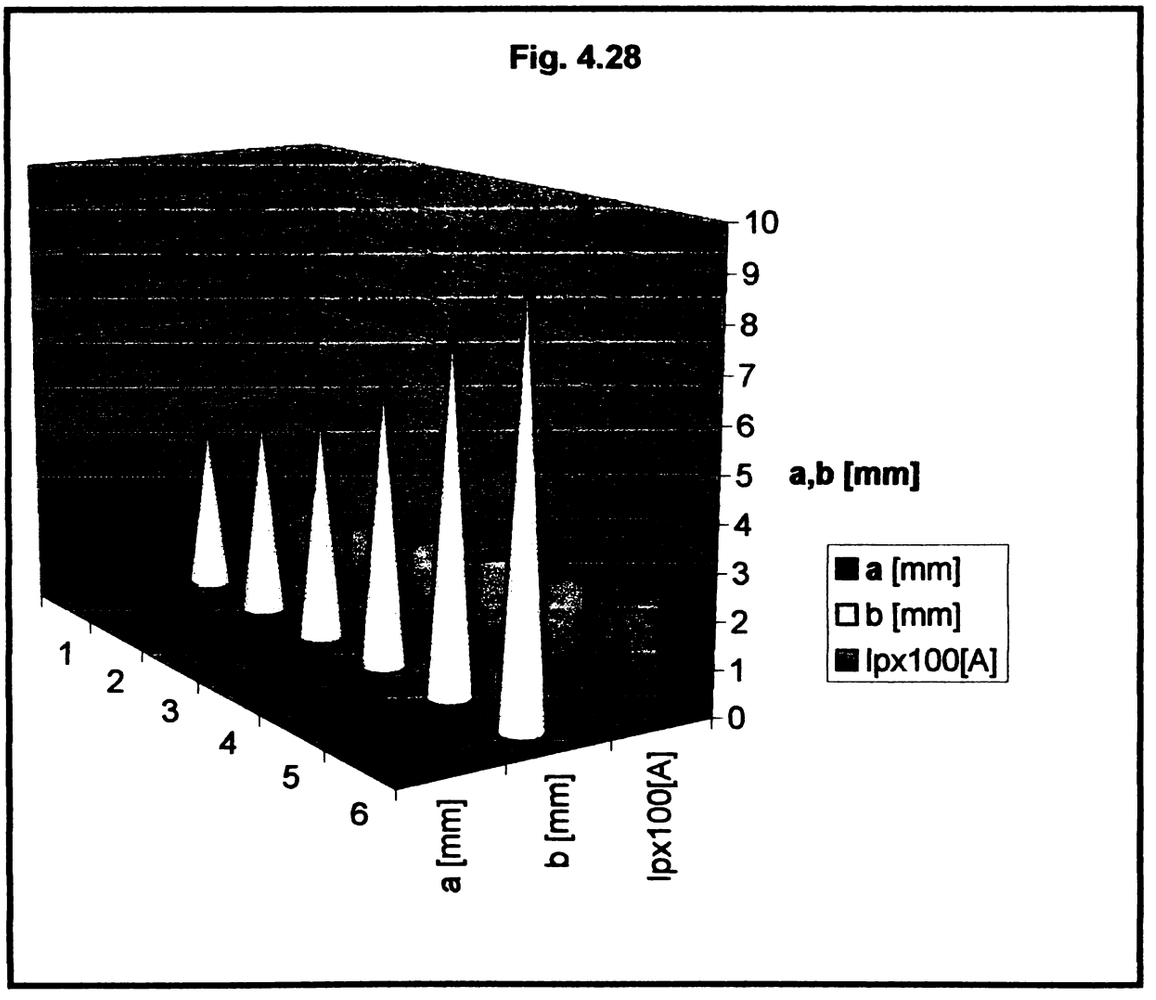


Fig. 4.27

Fig. 4.28



BUPT

Cap. 5 Aparatura de măsură şi înregistrare utilizată

5.1 Osciloscop cu memorie HAMEG - 205/3 cu imprimantă HD 148

Aparatul a fost folosit la inregistrarea curentului şi tensiunii de sudare , în cadrul capitolului de cercetare a performanţelor surselor de sudare, efectuat pe sursa FRONIUS Magic Wave 300 din dotarea laboratorului de Tehnologii de sudare de la Catedra UTS.

Pentru evitarea bruiajului de semnal, dat de sursa de sudare cu invertor şi a perturbaţiilor de radiofrecvenţă externe, s-a folosit pe canalul de curent, un şunt special construit la catedră iar pe canalul de tensiune un filtru RC cu frecvenţă de tăiere de 1450 Hz.

Datele tehnice ale osciloscopului sunt :

Pentru cele două regimuri de funcţionare :

a) regim analog - osciloscop obişnuit

- 2 canale independente
- domeniu de frecvenţe : 0 - 20 MHz
- 10 poziţii calibrate de intrare : 5 mV/cm - 5 V/cm
- extensie pe axa Y 1 şi 5
- impedanţă de intrare : 1 MΩ / 25 pF
- declanşare : normal şi prin impuls
- deviaţie pe orizontală (baza de timp) : 21 poziţii calibrate 0,2 µs/ cm - 1 s / cm
- posibilitatea lucrului în regim X,Y

b) regim digital

- frecvenţa de achiziţie (de eşantionare) : max. 20 MHz / canal
- funcţionarea pe două canale simultan cu posibilitate de sumă şi diferenţă
- moduri de acţionare :
    - o reîmprospătare

BUPT

- singular
- menținere
- funcția DOT joiner

frecvența de achiziție este strict corelată cu baza de timp, astfel la

b_t = 10 ms $\rightarrow f_{achiziție}$= 20 MHz

b_t = 5 ms $\rightarrow f_{achiziție}$= 40 MHz

b_t = 2 ms $\rightarrow f_{achiziție}$= 100 MHz

deoarece capacitatea memoriei este fixă.

- capacitatea memoriei : 2048 celule / 8 bit
- rezoluția orizontală : 2048 puncte / 10 cm
- rezoluția verticală 28 puncte / cm
- baza de timp : 18 poziții calibrate 10 μs / cm → 5 s / cm

Clasa de precizie ± 5 %

Alimentare : 220 V, 50/60 Hz, 46 W

Clasa de protecție : I

Dimensiuni ecran : 10 cm orizontal x 8(9) vertical

5.2 Aparat de măsură HAND HELD DMMS -1133 instrument numeric universal

Aparatele au fost utilizate la măsurarea curentului şi a tensiunii la sudare, precum şi a curentului de încălzire a sârmei electrod.

Caracteristicile tehnice sunt următoarele :

Ecran : LCD - 65 x 34,5 mm cu număr de digiți 3 - 3/4

temperatura de funcționare : 0 - 50 °C

Domenii de măsurare :

tensiune CC : 400 mV - 1000 V cu precizia de ± 0,5 % din citire + 1 digit

tensiune AC : 400 mV - 750 V cu precizia de 2 % din citire + 4 digiți

curent continuu : 400 μA - 10 A cu precizia de ± 2 % + 3 digiți

curent alternativ : 400 μA - 10 A cu precizia de ± 2,5 % + 4 digiți

rezistență 400 Ω - 40 MΩ cu precizia de 1 -3 % (±1 - 5 digiți)

Tactul de măsurare : 2 citiri / secundă

BUPT

5.3 Termometru digital cu termocuple YOKOGAWA seria 2455 - 15 şi seria 2455 - 16

Termometrele au fost folosite la măsurarea temperaturii sârmei material de adaos pentru confirmarea corelației de calcul elaborată.

Termometrul este dotat cu două tipuri de termocuple cu posibilitate de comutare internă :

- tip K cromel - alumel
- tip J fier - constantan

Domenii de măsurare :

- pe canalul K : - 160 °C - + 1372 °C
- pe canalul J : - 170 °C - + 1000 °C

Rezoluție :

- până la 200 °C ..... 0,1 °C
- peste 200 °C 1 °C

Precizie :

- până la 200 °C ..... ± (0,1 % din citire ± 0,7 °C)
- peste 200 °C ..... ± (0,2 % din citire ± 1 °C)

Tactul de măsurare : o citire la 1,2 secunde

5.4 Set AMC - uri pentru îmbinări sudate tip TIMASUD

- Şablon univesal pentru îmbinări sudate în colț la 90 °
- Şablon universal pentru îmbinări sudate cap la cap
- Sudometru de uz general

Condiții de utilizare : temperatura + 10 ..... + 30 °C
umiditatea max 80% la 20 °C

Şubler industrial KINZO B.V. Olanda, tip K - 12W61

Lungimea maximă de măsurare : 150 mm
Precizie 0,02 mm

BUPT

Cap. 5 Realizări şi Contribuţii personale

1. Studiul performanţelor surselor de sudare WIG din oferta firmelor existente pe piaţa românească FRONIUS, CLOOS, REHM, EWM, KEMPPI, ESSAB, MATSUSHITA-PANASONIC referitor la amorsarea arcului, posibilităţi de sudare, forme ale curentului pulsat şi alternativ, forme de undă ale curentului, formarea sferei din vârful electrodului nefuzibil, sudarea cu frecvenţe şi viteze mari la componente subţiri. A fost realizat un studiu documentar asupra capacităţii, diverselor firme de a rezolva problemele tehnologice, de a simplifica utilizarea unor surse de sudare cu performanţe deosebite, fără ca operatorii să fie obligaţi să cunoască detalile electronice ale acestora.

2. Elaborarea modelului matematic al arcului electric WIG pentru sudarea cu impulsuri de curent. A fost elaborat modelul matematic al arcului electric , respectiv funcţia de transfer pentru electrodul nefuzibil, relaţia 2.11. Pentru curentul pulsat a fost luată în discuţie varianta de pusare între două caracteristici prereglate de către sursă , fig. 2.9. Datorită numărului mare de parametrii care trebuie luaţi în considerare forma funcţiei de transfer se complică extrem de mult. Simplificarea acesteia este posibilă sub ipoteze care să ignore variaţii importante ale parametrilor arcului lucru care ar conduce la indepărtarea de realitate.

3. Cercetarea influenţei formei de ascuţire a electrodului de wolfram asupra diametrului băii topite, respectiv a gradului de concentrare a arcului electric. Au fost luate în considerare două forme de ascuţire conform fig. 2.13 realizate pe patru tipuri diferite de electrozi. Amorsarea , durata de ardere a arcului şi stingerea acestuia au fost făcute automat, utilizând comanda de electronituire a surcei FRONIUS. Piesele pe care s-au făcut încercările au avut volume egale, aceiaşi temperatură iniţială astfel încât condiţiile iniţiale să fie aceleaşi. Au fost măsurate diametrele băilor metalice topite după două diagonale perpendiculare şi calculată media lor. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 2.5 şi concluziile arată că este posibilă reducerea diametrului băii topite la electrozii aliaţi cu thoriu respectiv zirconiu cu până la 1 mm şi suprafaţa băii topite cu cca 10 mm^2, ceea ce înseamnă densitate mai mare de energie.

BUPT

4. Cercetări privind materializarea conului de argon pur, realizarea standului şi a unui set de poze cu forma reală a jetului de argon.

A fost realizat un studiu teoretic asupra jeturilor înecate şi o cercetare experimentală cu scopul vizualizării acestor jeturi pentru patru dimensiuni de duze de gaz. Fotografierea jeturilor care au în spate o riglă a permis măsurarea înălţimii conului de argon pur, cu eroare de $\pm$ 1 mm. Standul cuprinde câte un model de duză pentru fiecare tipodimensiune studiată, conform fig. 2.20 , o sursă de fum cu posibilităţi de reglare a debitului pentru ca viteza la ieşire să fie egală cu cea a jetului de argon , furtune de legătură, aparatul de fotografiat şi fondul închis la culoare pentru contrast. În fotografia 1 din teză este prezentat pistoletul de sudare WIG echipat cu modelul de duză din polietilenă.

5. Stabilirea colelaţiilor statistice de calcul a debitului optim pentru a obţine înălţimea maximă a conului de argon pur. Pe stand au fost reglate 5 debite de argon diferite pentru fiecare tip de duză şi a fost măsurată înălţimea conului de argon pur.

Rezultatele sunt prezentate tabelar în tab 2.6 .... 2.9 , reprezentarea grafică a modului de variaţie a înălţimii conului funcţie de debit în fig 2.21. .... 2.24 , iar corelaţiile care descriu modul de variaţie sunt prezentate în tabelul 2.10. Concluziile arată că debitul de argon se reglează funcţie de diametrul duzei, astfel ca înălţimea conului de argon pur să fie maximă, rezultând o protecţie maximă a arcului şi a băii. În anexa 2 sunt prezentate poze realizate în timpul experimentului.

6. Cercetări privind viteza de stabilizare a tensiunii şi curentului, realizate pe o sursă Fronius cu măsurarea timpului de reacţie a sursei. Oscilografierea curentului şi a tensiunii. Testarea a urmărit determinarea vitezei de revenire a tensiunii şi curentului prin oscilografierea acestor mărimi la sudarea cu curent continuu şi curent alternativ. Oscilogramele sunt prezentate în anexa 3. Fiecare oscilogramă este însoţită de parametrii înregistraţi precum şi de constanta de şunt, curent şi tensiune pentru evaluarea fidelităţii înregistrărilor. Baza de timp este importantă pentru stabilirea valorii timpilor de reacţie a sursei în diverse situaţii precum pulsarea în curent continuu sau alternativ. Interpretările şi concluziile sunt prezentate în capitolul 2.5.4. Rezultatele demonstrează că timpii de reacţie sunt sunt de ordinul milisecundelor iar ca valori sub 10 ms. Concluzia este că sursa este performantă cu capacitatea de a menţine stabil arcul electric prin viteze de reacţie mari atfel încât revenirea la valorile prescrise ale curentului şi tensiunii se face în maximum 10 ms în cea mai defavorabilă situaţie. Stabilitatea arcului electric este asigurată de către sursă deci ea poate fi utilizată la mecanizarea procedeului.

BUPT

7. Realizarea unui stand de sudare WIG mecanizat pentru îmbinări liniare. Mecanizarea procedeului WIG pentru realizarea de îmbinări liniare este necesară pentru a elimina influența factorului uman asupra calității. Standul a fost amenajat utilizând un tractor acționat cu motor electric cu posibilitate de reglare continuă a vitezei de sudare pe care au fost montate : sistemul de avans, tamburul de sârmă, dispozitivul electric de preîncălzire a sârmei şi capul de sudare WIG. Întreg ansamblul trebuie să aibă rigiditate mare pentru a nu transmite vibrații capului de sudare. Testarea standului la sudare a dat rezultate bune. Reglajele care pot fi efectuate sunt : viteza de avans sârmă, temperatura sârmei şi viteza de sudare.

8. Realizarea dispozitivului de preîncălzire a sârmei material de adaos pentru standul de sudare mecanizată. Preîncălzirea sârmei este benefică creşterii ratei de depunere prin creşterea vitezei de topire a acesteia. Dispozitivul este de tip rezistiv cu două duze de contact amplasate la distanță de 15 cm alimentate de la un transformator special. Comanda reglării curentului din secundarul transformatorului între 0 şi 35 A, se face în primarul acestuia cu ajutorul unui dispozitiv cu triac. Domeniul de reglaj a fost stabilit în capitolul 3.2 Temperatura maximă de preîncălzire este limitată la temperatura la care începe plastifierea materialului de adaos deoarece apar probleme la împingerea acesteia spre arcul electric. Pe porțiunea dintre duzele de contact se recomandă protejarea sârmei cu gaz inert, pentru a evita oxidarea acesteia şi introducerea de oxizi în baia metalică topită.

9. Stabilirea formulei de calcul a temperaturii de preîncălzire a sârmei în miscare de avans spre arcul electric şi nomograma de determinare a acestui parametru funcție de v_{ae} şi I_{pr}. Dată fiind necesitatea de a controla acest parametru, temperatură de preîncălzire, în capitolul 3.2 am stabilit un algoritm de calcul a acestei temperaturi. Pentru viteza de avans între 1 şi 2 m/min am determinat valoarea necesară a curentului de preîncălzire şi am ridicat nomograma pentru stabilirea temperaturii de preîncălzire funcție de viteza de avans şi curent. Valorile măsurate, confirmă valorile calculate cu erori de $\pm$ 10 °C.

10. Stabilirea unui algoritm de calcul a vitezei de topire, respectiv a ratei de depunere în funcție de energia arcului şi temperatura de preîncălzire a sârmei, corelații statistice şi diagrame de variație. Corelarea parametrilor mai sus menționați este necesară pentru delimitarea sudării de îmbinare de sudarea de încărcare. Algoritmul prezentat în capitolul 3.3 permite stabilirea parametrilor tehnologici de sudare şi corelarea acestora cu temperatura de preîncălzire a sârmei, pentru a ştii la diferite valori ale energiei arcului care este volumul de

BUPT

material de adaos care se topeşte (rata depunerii). Se demonstrază că viteza de topire poate creşte de 6 ori la temperatură de preîncălzire de 600 °C față de sârma aflată la temperatura mediului ambiant. Corelațiile de tip polinomial stabilite fac legătura dintre temperatura de preîncălzire a sârmei cu ceilalți parametrii de sudare.

11. Realizarea de încercări, pe baza unui program, pentru a studia influența parametrilor de sudare şi a temperaturii de preîncălzire asupra factorilor geometrici ai îmbinărilor realizate. Dat fiind numărul mare al parametrilor tehnologici care pot să influențeze parametrii geometrici, programul urmăreşte aceste influențe pentru un număr limitat de parametrii prezentați în capitolul 4. Programul de cercetare propus a fost parcurs în întregime fără pretenția de a acoperi toate posibilitățile. Rezultatele obținute sunt prezentate tabelar în capitolul 4.

12. Elaborarea corelațiilor care descriu modul de variație a parametrilor geometrici funcție de parametrii de sudare.
Rezultatele obținute sunt prelucrate şi au fost elaborate corelații statistice care redau influențele parametrilor studiați. Variațiile acestor parametrii sunt reprezentate grafic în anexa 4. Prelucrarea statistică a fost efectuată pe calculator cu erori ale valorilor reprezentate de 5 % şi deviere standard s = 1, restul parametrilor statistici fiind controlați de computer.

13. Realizarea unor treceri de încărcare cu flancurile pătrunse care asigură o aderență foarte bună la materialul de bază. În cadrul experimentelor realizate am constatat că preîncălzirea sârmei la valori mari de 500 - 600 °C determină o pătrundere a flancurilor rândului depus mai mare decât în centrul acestuia , şi o lățire a acestuia , aspecte favorabile care ne asigură o aderență foarte bună a stratului de placare, precum şi un control al pătrunderii şi diluției.

BUPT

Bibliografie :

1. AICHELE, G., 116 regului de sudare în mediu de gaz protector, Editura Sudura, Timişoara, 1999
2. ANCUŞA, V., Mecanica fluidelor şi maşini hidraulice, vol II, Lito IPT ,1980
3. TĂNĂSESCU, F.T., Agenda Tehnică, Editura Tehnică, Bucureşti, 1990
4. BAUM, L. şi FICHTER, V. Der Schutzgas Schweisser, Teil I : WIG Schweissen, DVS Verlag GmbH, Dusseldorf, 1990
5. DEHELEAN, D. Tehnologia sudării prin topire, Vol I+II, Lito UP Timişoara, 1993
6. ECHIM, I. şi LUPESCU, I., Tehnica sudării prin topire a metalelor şi aliajelor, Editura Tehnică, 1983
7. IONESCU, Gh.D, Teoria diferenţială a curbelor şi suprafeţelor cu aplicaţii tehnice, Editura DACIA, Cluj Napoca, 1984
8. POMASKA, H.U., MAG - Schweissen, Linde-DVS, Muenchen, 1989
9. SAFTA, V.I. şi SAFTA, V.I. Defectoscopie nedistrucivă industrială, Editura SUDURA, Timişoara. 2001
10. SĂLĂGEAN, T. Tehnologia procedeelor de sudare cu arc, Editura Tehnică, Bucureşti, 1985
11. SĂLĂGEAN, T., Elemente ale fizicii sudării prin topire, prelucrare după "The physics of welding" Pergamon Press, 1984, OID 1988
12. LANCASTER, J.F., ş.a., The electric arc in welding , document IIS, gr. 212, 1983
13. MICLOŞI, V ş.a., Bazele proceselor de sudare, EDP, Bucureşti, 1982
14. MICLOŞI, V ş.a. Echipamente pentru sudare, EDP, Bucureşti, 1984
15. MĂLAI D., Modelul matematic al arcului electric, Referat nr. 3 în stagiu doctorat, Timişoara
16. E VĂRŞĂNDAN, M. VĂRŞĂNDAN – Cum se aleg electrozii de wolfram pentru a realiza o îmbinare sudată de calitate prin procedeul de sudare WIG, Revista SUDURA nr. 3/2001 – ISSN 1453-0384
17. AICHELE, G. : WIG Schweissen von Aluminium mit modernen Schweissgeraten, SCHWEISSTWCHNIK, 1991, m.3,
18. MURA, M. s.a. : The effects of nickel and nitrogen on the microstructure and corrosion resistance of duplex stainless steel weldments, WELDING INTERNATIONAL, 1990, mart.
19. KRYSIAK, K.F. : Shielding gas purification improves weld quality, WELDING JOURNAL,1990, nr. 11

BUPT

20. SUGA, Y si HASUI, A. : The effect of argon pressure on the TIG arc welding, TRANSACTION of JWS, 1989, iul – dec.
21. HILL, P.M : Cutting and welding in naval construction, WELDING & METAL FABRICATION, 1991, nr. 3
22. WRIGHT, R.R : The modular approach to automated and mecanized welding, WELDING & METAL FABRICATION, 1990, nr. 3
23. SUMMERFIELD, A.J. si HUTCHINSON, J. : Automated welding of titanium tube to tubeplate in a steam turbine condenser, WELDING & METAL FABRICATION, 1990, nr. 10
24. LELLIS, D. : Narow gas welding of sttel, WELDING & METAL FABRICATION, 1991, nr. 4
25. AICHELE, G. : Schweissen von unlegierten stahlen, SCHWEISSTECHNIK, 1990, nr. 6
26. BUTTHOFF, H. : Weiterentwicklung einer Geraebetechnik zum automatischen Senkrechtschweissen an nichtebenen Bauteilen, ZIS, 1990, nr. 11
27. *** : Products, WELDING & METAL FABRICATION, 1990, nr. 8/9
28. HILGER, S., s.a. : Some notes on the design of welding torches, WELDING & METAL FABRICATION, 1990, nr. 10
29. *** : Product review. TIG equipment, WELDING & METAL FABRICATION, 1991, nr. 7
30. BRODNICKA, M. : Effect of ellectromagnetic stirring of GTA welds in austenitic stainless steel, WELDING JOURNAL, 1990, nr. 2
31. JOHNSON, A.W. Weld repairs on marine aluminium allois, WELDING JOURNAL, 1990, vol. 69, nr.8
32. SPICER, R.A., s.a. Elemental effects on GTA spot weld penetration in cast alloy 718, WELDING JOURNAL, 1990, vol. 69, nr. 8
33. STEFFENS, H.D., s.a. : Auswirkungen der volmechanisirten Wolfram Inert Gas schweissen von austenitischen stahlen, SCHWEISSEN und SCHNEIDEN , 1990, nr. 7
34. BRODNICKA, M., s.a. ; Effect of electromagnetic stirring on GTA welds in austenitic stainless steel, WELDING JOURNAL, 1990, nr. 2
35. STEFFENS, H.D. : Uber die Ursachen des schmelzen abhaegigen Einbrandverhaltnis beim Wolfram Inertgasschweissen nichtrostender stahle, SCHWEISSEN und SCHNEIDEN, 1990, nr. 11
36. MALINOWSKI – BRODNIKA, M., s.a. : Effects of electrostainless steel, WELDING JOURNAL, 1990, nr. 2
37. VILLA FUERTE, J.C. : Electromagnetic stirring and grain refinement in stainless steel GTA welds, WELDING JOURNAL, 1990, vol. 69, nr. 1
38. XIAO Y.H. si DEN OUDEN, G. : A study of GTA weld pool oscilation, WELDING JOURNAL, 1990, vol. 69, nr. 8

BUPT

39. WILSON, D.W. : Test results on dissimiler metal pipe welds prove faxorable, WELDING JOURNAL, 1990, nr. 1

40. *** : Product lipdate torches, WELDING & METAL FABRICATION, 1991, nr. 11

41. *** : Nouveau poste pour soudage et coupage, SOUDER, 1992, vol. 16, nr. 3

42. *** : Butters turns full circle, WELDING & METAL FABRICATION, 1992, vol. 60, nr. 4

43. *** : The rust – proof sports car, WELDING & METAL FABRICATION, 1992, vol. 60, nr. 1

44. *** : Weld fillers for high alloy corrosion resistant steels, WELDING & METAL FABRICATION, 1992, vol. 60, nr. 1

45. DEPESSEMIER, J.P. : Du TIG au TIG pulse, REVUE DE LA SOUDURE, 1992, vol. 48, nr. 1

46. LUIJENDIJK, T. :Elements actifs en sourface mouvements dans le bain de fusion et profondeur de penetration lors du soudage TIG, REVUE DE LA SOUDURE, 1992, nr. 1

47. LUCAS, W. : Shielding gasses for arc welding, part. 1 , WELDING & METAL FABRICATION,1992, vol.60, nr. 5

48. CUMINO, G. si SCASSO, M. : Influenza dell' apporto termico specifico di soldatura e trattamenti termici dopo soldatura sulle proprieta di giunti soldati di tubi in acciaio tipo 9% Cr – 1% Mo – Nb – V, RIVISTA ITALIANA DELLA SOLDATURA, 1991, nr. 6

49. *** : Nouvelle installation de soudage manuel multi procedes – Haute technologie et confort du soudeur, SOUDER, 1991, vol. 15, nr. 3

50. DOC. IIS/IIW – I - 1114 – 91 Trends in materials, welding and cutting

51. *** : Improving the capabilities of the TIG process, WELDING & METAL FABRICATION, 1992, vol. 60, nr. 6

52. MEZZETI, G. s.a. : Problematiche nella progettazione e construzione soldata dei vapordotti, RIVISTA ITALIANA DELLA SOLDATURA, 1992, nr. 4

53. DUNKERTON, S.B. : Microjoining reviewed – techniques and applications, WELDING REVIEW INTERNATIONAL, 1992, vol. 11, nr. 2

54. JAHRE, H. : Schadensfaelle und ihre Instandsetzung – undichte Schweissverbindung einer Rohrleitung. DER PRAKTIKER, 1992, nr. 7

55. *** : En tournant autour du tube, SUDER, 1992, vol. 16, nr. 5

56. *** : Nouvelle torche TIG a haute performance, SOUDER,1993, vol. 17, nr. 1

57. *** : Pulsed TIG machines contracts, WELDING REVIEW, 1993, vol. 12, nr. 1

58. HELTON, G.B. : Validation of arc welding equipment, WELDING & METAL FABRICATION, 1993, vol. 61, nr. 1

59. OBERMAYR, J. : Some comments on hotwire TIG welding, WELDING REVIEW INTERNATIONAL, 1992, vol. 11, nr. 4

BUPT

60. POLAK, P. si RAJEC, S. : The effects of remelting of weld interfaces by TIG arc weldingon the properties of welded joints of steel T st E 690 TM , SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN, 1992, nr. 10

61. REHFELDT, D. si BREMER, C. : Research into the ignition cycle and process quality in metal – arc inert gas welding of aluminium alloys, SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN, 1993, nr. 1

62. WATKINS, P.V.C. s.a. : Pused arc TIG welding, WELDING REVIEW, 1993, vol. 12, nr. 1

63. ADONYI, Y., s.a. ; Investigation of Arc Force. Effects in Subsurface GTA Welding. Ways to archive arc stability with „biried arc" GTA welding arc examined, WELDING JOURNAL, 1992, vol. 71, nr. 9

64. GUIGON, J.P., s.a. : Mise en oeuvre du procede de soudage TIG orbital avec chanfrein etroit, SOUDER, 1993, vol. 17, nr. 2

65. LUCAS, W. : Gaz de protection pour le soudage a l' arc. Partie I, SOUDER, 1993, vol.17, nr. 2

66. NORRISH, J. si OCI, C.L. : Adaptive asymmetric waveform control in bipolar gas tungsten arc welding of aluminium, WELDING & METAL FABRICATION, 1993, vol. 61, nr. 5

67. *** : Computerized Welding Sistem, METALS INDUSTRY, 1993, vol. 10, nr. 4

68. ZANG, Y.M. s.a. : Determining Joint Penetration in GTAW with Vision Sensing of weld Face Geomety, WELDING JOURNAL, 1993, vol. 72, nr. 10

69. XIAO, Y.H. : Welding Pool Oscilation During Gas Tungsten Arc Welding , WELDING IN THE WORLD, 1993, vol. 31, nr. 6

70. HINATA, T. s.a. : Penetration Form and Welding of Practical Joint Using Traveling TIG Arc, QJ of JWS, 1994, vol.12, nr. 1

71. ISHIZAKI, I. s.a. : Anode Phenomen and Penetration in He – WIG Arc Welding , QJ of JWS, 1994, vol. 12, nr. 1

72. KOJIRO, K. s.a. : TIG welding Phenomenon in an Atmosphere changing with Time and Properties of its welds, QJ of JWS, 1993, vol. 1, nr. 4

73. BODT, J.M. : L'economie du soudage TIG ... ?, REVUE DU SOUDAGE, 1993, vol. 49, nr. 2

74. YOKOYA, S. si MATSUNAWA, A. : Heat and Mass Transfer and Their Effect on Penetration Shape in Stationary TIG Arc Weld Pool, TRANSACTION of JWS, 1993, vol. 24, nr. 1

75. *** : Systemes de soudage TIG mechanises, SOUDAGE ET TECHINQUES CONNEX, 1993, vol 47, nr. 5/6

76. VANSCHEN, W. : Wirtschaftliche orbitalschweissen mit dem Wolfram Inertgasverfahren komponenten, PRAKTIKER, 1993, vol. 45, nr. 6

77. SHIRALI, A.A. s.a. MILLS, K.C. : The Effect of Welding Parameters on Penetration in GTA Welds, WELDING JOURNAL, 1993, vol. 72, nr. 7

BUPT

78. BULTMANN, F. : Influence of diffrent shielding gases and welding parameters on the quality in TIG welding with dual gas shield, SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN, 1995, nr. 8

79. SYKES, I. si DIGIACOMO, J. : Automatic hot wire GTA welding of pipe offers speed and in increased deposition, , WELDING JOURNAL, 1995, vol. 74, nr. 7

80. *** : Mechanisation and automation, WELDING & METAL FABRICATION, 1995, nr. 8

81. USHIO, M. si TANAKA, K. : Study of tungsten electrode at high current aplication, TRANSACTION of JWRI, 1994, vol. 23, nr. 1

82. HINATA, T. s.a. : Study on penetration form using stationary TIG arc - Study on low speed DC TIG welding method, TRANSACTION on JWS, 1993, vol 24, nr. 2

83. HINATA, T. s.a. : Influence of gas tungsten arc electrode material on AC TIG arc welding , TRANSACTION on JWS, 1993, vol 24, nr. 2

84. SHTRIKMAN, M. ; Thermal processes in argon - arc welding with vertical feed filler wire , WELDING INTERNATIONAL, 1996, vol. 10, nr. 1, p. 67 - 69

85. ANDERSON, P.C.J. ; şi WIKTOROWICZ, R. : Improving productivity with a TIG welding, WELDING & METAL FABRICATION, 1996, vol. 64, nr. 3, p. 108 - 109

86. JIN, B. ş.a. : Control of weld pool width and cooling time in TIG welding by using neutral Network model, QUARTERLY of JAPAN WELDING SOCIETY, 1996, vol. 14, nr. 1, p. 92 - 98

87. RUNNERSTAM, O. şi PERSSON, K. A. : The importance of a good quality gas shield, SVETSAREN, 1995, vol. 50, nr. 3. p. 24 - 27

88. REHFELDT, D. ş.a. : Untersuchungen zum Einsatz hoherer Frequenzen fur das Wolfram Inert Gas Schweissen mit Kleinen Wechselstromen, SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN, 1996, vol. 48, nr. 5, p. 344 - 351

89. TANAKA, M. ş.a. : Calculating the temperature of electrodes in gas tungsten arcs, TRANSACTION of JWRI, 1996, vol. 25, nr. 1, p. 9 - 15

90. COUDERC, P. : Une revolution electronique dans le materiel de soudage, SOUDER, 1996, vol. 20, nr. 5, p. 22 - 32

91. LEE, Y şi NA, J. : A numerical analysis of a stationary gas tungsten welding arc considering various electrode angles, WELDING JOURNAL, 1996, vol. 75, nr. 9, p. 269 - 279

92. MARINER, H.P. : Hot wire orbital TIG welding, BIULETYN INSTYTUTU SPAWALNICTWA W GLIWICACH, 1996, vol. 38, nr. 5, p. 15 - 18

93. DEBUIGNE, A. : Caracteristiques de l'electrode de tungstene en soudage TIG, SOUDAGE ET TECHNIQUES CONNEXES, 1966, vol. 50, nr. 11/12, p. 9 - 32

94. SPIEGEL, C.V. ş.a. : Handling of thoriated , nonconsumable electrodes in TIG, Doc. IIS - 1800 - 97

BUPT

95. MARCHAND, D. şi BONNET, C. : Augmentation du pouvoir penetrant du soudage TIG : Le soudage A - TIG, SOUDER, 1997, vol. 21, nr. 4, p. 27 - 30

96. HENDICKX, P. : Le soudage automatique TIG helium de l'aluminium et de ses alliages, 1997, vol. 53, nr. 3, p. 18, 20 - 22

97. LEBEDEV, V.A. ş.a. : Reliabilityof the electrode wire feeding mechanismus in the units for mechanized welding, AUTOMATICESKAJA SVARKA, 1998, nr. 1, p. 34 - 39

98. AHMED, A. ş.a. : Evaluation of weld poolmechanics and development of high speed welding technology for stainless steels, AUSTRALASIAN WELDING, 1998, vol. 43, nr. 2, p. 20 - 21

99. *** : Welding processes for year 2000, SVETSAREN, 1998, VOL.47, NR. 1, P. 10 - 13

100. SADEK, A. A. : Observation of dynamic characteristics of TIG arc, TRANSACTION of JWRI, 1997, vol. 26, nr. 1, p. 21 - 31

101. D. DZELNITZKI, R KILLING - WIG-impulsschweissen in verschiedenen Frequenzbereichen , Der Praktiker 3/99 DVS – Verlag GmbH, Dusseldorf

102. XIAOJUN, Z. ş.a. : Influence for TIG surface melting on the features of a coated surface, Conferinţă IIW, 1999 iulie 19-20

103. WITSENBURG, E. : Hot - wire TIG, LASTECHNIEK, 2000, nr. 7/8, p. 4 - 6

104. TROMMER, C. : Metodă de sudare cu sârmă caldă, bază a unor soluţii tehnice superioare, SUDURA - ASR, 2000, an 10, nr. 2, p. 24 - 26

105. MOL, M. : Sudare TIG , LASTECHNIEK, 1999, nr. 2, p. 16 - 17

106. MASUBUCHI, K. : A hollow electrode GTAW system developed and tested for space applications, WELDING JOURNAL, 1999, vol. 78, nr. 12, p. 37 - 38

107. *** : Starting and operating a GTAW, AMERICAN WELDING, 2000, nr. 2, p. 13

108. CHEN, S.B. ş.a. : Inteligent methodology for sensing modeling and control of pulsed GTAW : Part 2 - Butt joint welding, WELDING JOURNAL, 2000, vol. 79, nr. 6, p. 164 - 174

109. D. Tunea., SUDAREA WIG MECANIZAT CU ADAOS DE SÂRMA PREÎNCALZITA, Analele Univ. ORADEA, mai 1999, ISSN 1222-555x

110. D. Malai , D. Tunea., MODELUL MATEMATIC SI FUNCTIA DE TRANSFER A ARCULUI ELECTRIC ÎN CAZUL SUDARII WIG , Analele Univ. ORADEA, mai 1999, ISSN 1222-555x

111. D. Tunea, CORELATII DE CALCUL A ÎNALTIMII CONULUI DE ARGON PUR LA SUDAREA WIG, Bul. Şt. Univ. Transilvania Braşov, martie 2001, ISBN 973-8124-18-2

112. D. Tunea, CALCULUL TEMPERATURII DE PREÎNCALZIRE A SÂRMEI ÎN MISCARE LA PROCEDEUL WIG MECANIZAT, Vol. Conf. ASR, Cluj, sept. 2001, ISBN 973-99425-2-0

BUPT

113. V. Budău, M. Liță, D. Țunea, ASPECTE ALE ÎMBINĂRILOR SUDATE DIN ACELE DE SIRINGĂ REALIZATE DIN OȚEL INOXIDABIL AUSTENITIC, Volum Zilele Academice Timişene ediția a VII a , 24 - 25 mai 2001, ISBN 973-8247-32-2

114. D. Țunea, STUDIU ASUPRA GAZELOR INERTE UTILIZATE LA SUDARE, lucrare comunicată în cadrul Conferinței Zilele Academice Timişene, ediția VI, mai 1999

BUPT

CUPRINS

Cap. 1 Procedeul de sudare WIG

1.1 Scurt istoric

1.2 Stadiul actual

1.3 Obiective urmărite în teză

1.4 Prezentarea procedeului de sudare WIG

1.5 WIG mecanizat, prezent şi perspective

Cap. 2 Cercetări privind arcul electric , gazul protector, performanțele surselor de sudare

2.1 Modelul matematic al arcului electric WIG

2.2 Electrozii de wolfram, modul de ascuțire şi influența acestuia asupra arcului electric

2.2.1 Cercetarea influenței formei de ascuțire a electrodului asupra diametrului petei topite

2.2.2 Rezultate , concluzii

2.3 Studiu privind comportarea argonului ca gaz protector

2.3.1 Fenomenele de ionizare

2.3.2 Evaluarea gradului de ionizare

2.3.3 Fenomene de transport

2.3.4 Ciocnirile particulelor într-un gaz puternic ionizat - plasmă

2.3.5 Conductivitatea electrică

2.4 Studiu privind curgerea gazelor

2.4.1 Elemente teoretice privind curgerea gazelor

2.4.2 Cercetări experimentale privind corelarea înălțimii conului de argon pur cu debitul de gaz

2.4.2.1 Standul pentru vizualizarea conului de argon

2.4.2.2 Rezultatele experimentului

2.4.2.3 Concluzii

BUPT

2.5 Cercetări privind viteza de stabilizare a tensiunii şi curentului, timpul de răspuns.

2.5.1 Descrierea instalației FRONIUS MAGIC WAVE 300

2.5.2 Caracteristicile tehnice ale sursei

2.5.3 Schema bloc

2.5.4 Înregistrarea pe osciloscop a pulsurilor, comentarii şi concluzii

Cap. 3 Standul de sudare WIG mecanizat

3.1 Prezentare generală

3.2 Calculul temperaturii de preîncălzire a sârmei la ieşirea din dispozitivul de preîncălzire.

3.3 Determinarea ratei depunerii funcție de temperatura de preîncălzire a sârmei material de adaos

3.4 Concluzii

Cap. 4 Cercetări privind influența parametrilor tehnologici asupra parametrilor geometrici.

4.1 Programul experimental

4.2 Studiul influenței parametrilor tehnologici asupra parametrilor geometrici

4.2.1 Influența frecvenței pulsurilor de curent asupra parametrilor geometrici tehnologia 1

4.2.2 Influența frecvenței pulsurilor de curent asupra parametrilor geometrici tehnologia 2

4.2.3 Influența frecvenței pulsurilor de curent asupra parametrilor geometrici tehnologia 3

4.2.4 Influența frecvenței pulsurilor de curent asupra parametrilor geometrici tehnologia 4

4.2.5 Influența balansului pulsurilor de curent $t_{puls}/t_{bază}$, asupra parametrilor geometrici

4.2.6 Influența curentului de bază , asupra parametrilor geometrici

4.2.7 Influența curentului de puls , asupra parametrilor geometrici

4.3 Concluzii

4.4 Aspecte ale probelor realizate

BUPT

Cap. 5 Aparatura de măsură şi înregistrare utilizată

5.1 Osciloscop cu memorie HAMEG - 205/3 cu imprimantă HD 148

5.2 Aparat de măsură HAND HELD DMMS -1133 instrument numeric universal

5.3 Termometru digital cu termocuple YOKOGAWA seria 2455 - 15 şi seria 2455 - 16

5.4 Set AMC - uri pentru îmbinări sudate tip TIMASUD

Cap. 6 Realizări şi contribuții personale

Anexa 1 Fotografii ale arcului electric WIG

Anexa 2 Fotografii ale jeturilor de argon

Anexa 3 Oscilograme ale curentului şi tensiunii arcului elctric

Anexa 4 Modul de variație a parametrilor geometrici funcție de parametrii tehnologici (diagrame)

Bibliografie

Cuprins

BUPT