

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI  
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA

Ing. ANTILA VALERIU

T E Z A D E D O C T O R A T

CONDUCATOR STIINTIFIC,  
Prof.dr.doc.șt.ing. POPOVICI VLADIMIR

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

164.008  
34. C

## C U P R I N S U L

| I n t r o d u c e r e   | <u>Pag.</u> |
|---|-------------|
| 1. Imbinări bimetale utilizate în metalurgia aluminiului. . . . .   | 1           |
| 1.1. Evoluția îmbinărilor sudate în metalurgia alu-<br>miniului. . . . .                                      | 1           |
| 1.1.1. Imbinări sudate Cupru-Cupru. . . . .   | 2           |
| 1.1.2. Imbinări sudate Aluminiu-Aluminiu. . . . .   | 5           |
| 1.1.3. Imbinări sudate Cupru-Aluminiu. . . . .  | 8           |
| 1.1.4. Imbinări sudate Oțel-Cupru. . . . .  | 9           |
| 1.1.5. Avantajele utilizării îmbinărilor sudate. . . . .  | 9           |
| 1.2. Stadiul actual de utilizare a îmbinărilor sudate<br>în metalurgia aluminiului. . . . .                   | 12          |
| 1.3. Imbinări Oțel-Al pentru construcția dispozitivului<br>port-anod. . . . .                                 | 14          |
| 1.3.1. Stadiul actual de construcție al dispozi-<br>tivului port-anod. . . . .                                | 14          |
| 1.3.2. Variante constructive de dispozitiv port-<br>anod propuse în prezenta teză. . . . .                    | 20          |
| 1.4. Funcțiile și condițiile de exploatare ale dispo-<br>zitivului port-anod. . . . .                         | 24          |
| 2. Studii și cercetări cu privire la sudarea prin frecare<br>a îmbinărilor Oțel-Al. . . . .                   | 28          |
| 2.1. Materiale folosite la experimentări pentru dis-<br>pozitivele port-anod D P A 4,5,6 . . . . .            | 29          |
| 2.2. Pregătirea componentelor îmbinării Oțel-Al . . . . .   | 30          |
| 2.3. Utilajul folosit la sudare. . . . .  | 35          |
| 2.4. Parametrii tehnologici și regimul de sudare. . . . .   | 36          |
| 2.5. Procesul de sudare. . . . .  | 42          |
| 2.5.1. Sudarea dispozitivelor port-anod D P A 4,5. . . . .  | 42          |
| 2.5.2. Sudarea dispozitivului port-anod D P A 6. . . . .  | 44          |
| 3. Experimentări privind sudarea MIG a îmbinărilor bimetale<br>cu tija anodică din aliaj de aluminiu. . . . . | 52          |
| 3.1. Materiale utilizate. . . . .   | 52          |
| 3.2. Pregătirea pentru sudare. . . . .  | 54          |
| 3.3. Procesul de sudare. . . . .  | 57          |
| 3.3.1. Sudarea MIG a dispozitivului port-anod<br>D P A 1. . . . .   | 57          |
| 3.3.2. Sudarea MIG a dispozitivului port-anod<br>D P A 3 . . . . .  | 58          |

|  | <u>Pag.</u> |
|--|-------------|
| 3.3.3. Sudarea MIG a dispozitivului port-anod<br>D P A 4. . . . .  | 60          |
| 3.3.4. Sudarea MIG a dispozitivului port-anod<br>D P A 5. . . . .  | 66          |
| 3.3.5. Răcirea artificială a îmbinărilor bimetale<br>la sudarea MIG a D P A 4,5. . . . .                     | 68          |
| 4. Sudarea electrică a componentelor de oțel de la îmbinările bimetale cu tetrapodul din oțel. . . . .       | 74          |
| 4.1. Procesul de sudare. . . . .   | 74          |
| 4.2. Efectul sudurilor din oțel asupra rezistenței îmbinărilor bimetale. . . . .                             | 78          |
| 5. Studii și cercetări cu privire la controlul calității îmbinărilor sudate. . . . .                         | 88          |
| 5.1. Controlul calității îmbinărilor sudate Oțel-Al. . . . .   | 88          |
| 5.1.1. Incercări la rupere la tracțiune pentru alegerea componentei din Oțel a îmbinărilor bimetale. . . . . | 88          |
| 5.1.2. Incercări mecanice pentru verificarea regimului de sudare prin frecare a D P A 4,5,6                  | 97          |
| 5.1.3. Incercarea la fluaj a îmbinărilor Oțel-Al. . . . .  | 97          |
| 5.1.4. Distribuția defectelor în sudurile Oțel-Al realizate prin frecare. . . . .                            | 105         |
| 5.1.5. Controlul cu radiații al îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare. . . . .                             | 106         |
| 5.1.6. Cercetarea metalografică a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare. . . . .                           | 115         |
| 5.2. Controlul calității îmbinărilor Al-Al. . . . .  | 124         |
| 5.2.1. Controlul calității îmbinărilor Al-Al ale dispozitivului port-anod D P A 3. . . . .                   | 124         |
| 5.2.2. Controlul calității îmbinărilor Al-Al ale dispozitivului port-anod D P A 4 . . . . .                  | 136         |
| 5.2.3. Controlul calității îmbinărilor Al-Al ale dispozitivului port-anod D P A 5 . . . . .                  | 138         |
| 6. Incercările electrice ale îmbinărilor Oțel-Aluminiu . . . . .   | 139         |
| 6.1. Incercări la stabilitate termică . . . . .  | 140         |
| 6.1.1. Efectuarea încercărilor. . . . .  | 140         |
| 6.1.2. Prelucrarea datelor experimentale. . . . .  | 143         |
| 6.1.3. Interpretarea rezultatelor . . . . .  | 150         |
| 6.2. Incercări dinamice la șocuri de curent. . . . .   | 153         |
| 6.3. Incercări electrice ale dispozitivelor port-anod D P A 1 și D P A 4 . . . . .                           | 165         |

|   | <u>Pag.</u> |
|---|-------------|
| 7. Organizarea producției de serie a dispozitivului port-anod. . . . .                              | 170         |
| 7.1. Incadrarea execuției D P A 4,5,6 în criteriile de organizare a fabricației de structuri sudate | 170         |
| 7.2. Dimensionarea atelierului de fabricație a D P A 4,5,6 . . . . .                                | 175         |
| 8. Considerații finale și contribuții originale. . . . .  | 181         |
| 8.1. Considerații finale . . . . .  | 181         |
| 8.2. Contribuții originale . . . . .  | 183         |
| Notații folosite în text  | 186         |
| B i b l i o g r a f i e   | 188         |
| A N E X E   | 199         |

- Anexa 1 . Informare tehnică privind încercările electrice ale barelor bimetal de tip Al-Fe(Extras). CCSIT-EP-LMP Craiova, nr.520082/06.06.1980.
- Anexa 2. Informare tehnică privind încercările electrice ale dispozitivelor port-anod DPA1 și DPA4 (Extras) CCSIT-EP-LMP Craiova, nr.520085/14.06.1980.
- Anexa 3. Sudarea prin frecare a aluminiului, aliajelor de aluminiu cu OL37(Extras). ISIM-Timișoara, nr.1763 și 1781 din 1981.
- Anexa 4. Rezultatele încercării la fluaaj a îmbinărilor sudate oțel-aluminiu. ISIM- Timișoara, nr.13661/10.02.1981.
- Anexa 5. Aviz CTE. Intreprinderea de Aluminiu Slatina, nr.53/16.01.1982.
- Anexa 6. Hotărîre privind acordarea brevetului de invenție, nr.79.000. OSIM- București, nr.12/15.01.1982.



## I N T R O D U C E R E

În țara noastră, în ultimii ani, metalurgia metalelor neferoase s-a dezvoltat deosebit de rapid. În prezent, prin întreprinderile de alumina din Oradea și Tulcea și de aluminiu din Slatina, se asigură Al și aliajele sale, care se folosesc în diverse ramuri ale industriei, pe o scară tot mai mare. În procesul de fabricație electrolitică a Al, tija dispozitivului de susținere a blocului anodic în cuva de electroliză se execută din aliaj de Al. Ca tonaj, Al ocupă al doilea loc în lume după oțel și întrece cu mult fiecare din celelalte metale neferoase.

Dezvoltarea construcțiilor din aliaj de Al este în strânsă legătură cu progresele realizate în ultimele decenii la sudarea lor prin diferite procedee moderne. Astfel, după un început promițător de sudare a Al și aliajelor sale cu arcul electric și sudarea cu gaze, o extindere deosebită a îmbinărilor din Al a fost obținută prin progresele procedeelor de sudare în mediu de gaze inerte WIG și MIG. Extinderea utilizării industriale a sudării prin explozie a făcut posibilă aplicarea acestui procedeu și în industria Al. În prezent, pentru asamblarea partilor componente din metale diferite ale dispozitivului care susține blocul anodic în cuva de electroliză, se folosește o placă Oțel-Al sudată prin explozie. În cadrul prezentei teze de doctorat s-a adoptat o soluție proprie de realizare a îmbinărilor Oțel-Al pentru metalurgia Al cu procedeul de sudare prin frecare. Sudarea prin frecare a îmbinărilor Oțel-Al pentru dispozitivul port-anod, sudarea MIG a componentelor din Al ale îmbinărilor bimetal cu tija anodică din aliaj de Al, controlul calității acestor îmbinări, încercările electrice la stabilitate termică și încercările dinamice la șocuri de curent a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare constituie tematica studiilor și cercetărilor desfășurate în prezenta lucrare. Teza de doctorat este constituită din 8 capitole și cuprinde 198 file text, 51 tabele, 104 figuri, 54 macro și microfotografii și 10 file anexe.

Pe capitole, lucrarea prezintă următorul conținut:

În capitolul 1 se arată evoluția îmbinărilor sudate în metalurgia Al și se examinează critic în raport cu stadiul actual

de dezvoltare a procedeelor de sudare. Soluțiile adoptate pentru realizarea îmbinărilor Oțel-Al ale dispozitivului port-anod se analizează comparativ, între variantele constructive propuse în teză și variantele care se utilizează în prezent. În vederea trecerii la realizarea programului de cercetări, se definesc funcțiile și condițiile de exploatare ale dispozitivului port-anod.

Capitolul 2 cuprinde studiile și cercetările efectuate pentru sudarea prin frecare a îmbinărilor Oțel-Al. Toate aceste îmbinări se execută cu o componentă din aliaj  $AlSi5Fe$ . Se sudează prin frecare șapte tipuri de probe bimetale cu componenta din oțel din mărci diferite, întrucât rezistența îmbinării este influențată de comportarea la sudare a oțelului cu aliajul din Al. Capitolul se încheie cu procesul de sudare prin frecare a îmbinărilor Oțel-Al ale variantelor dispozitivului port-anod propuse în prezenta teză.

O atenție deosebită se acordă experimentărilor privind sudarea MIG a îmbinărilor bimetale cu tija din aliaj de Al (capitolul 3). Se optimizează tehnologia de sudare a dispozitivului port-anod, care se utilizează în prezent în metalurgia Al, prin creșterea secțiunii rostului de sudare și sudarea îmbinărilor Al-Al pe garnituri din oțel. Cusăturile rezultă fără defecte la rădăcină și corespunzător formate pe toată grosimea de îmbinare. Răcirea îmbinărilor bimetale este necesară la sudarea MIG a îmbinărilor Al-Al deoarece temperatura nu trebuie să depășească, după valorile recomandate în literatura tehnică de specialitate, 673 K în cazul combinațiilor Al cu oțeluri obișnuite și 873 K în cazul perechilor de materiale Al-Oțel inoxidabil. Se arată două dispozitive de răcire cu apă respectiv cu aer comprimat, a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare. Din cauza formei constructive, la dispozitivul port-anod utilizat în prezent, nu se poate asigura răcirea forțată a îmbinării bimetale sudată prin explozie.

Se elaborează tehnologia de sudare a îmbinărilor Oțel-Oțel și se arată două dispozitive de răcire cu aer comprimat a îmbinărilor Oțel-Al la sudarea electrică a dispozitivului port-anod (capitolul 4). Se analizează starea de tensiune a îmbinărilor

bimetal în timpul sudării cusăturilor **Oțel-Oțel**. ~~CC~~ datele efective ale măsurătorilor se obțin valorile tensiunilor introduse în sudurile executate prin frecare, ca urmare a înglobării în construcția dispozitivului port-anod a îmbinărilor **Oțel-Al** sudate prin frecare. În continuare, trei dispozitive port-anod complet sudate se încearcă la tracțiune, la temperatura normală. Rezultă că, după asamblarea în construcția dispozitivului port-anod executat în variantele cu sudură **MIG** și electrică, capacitatea portantă a îmbinărilor **Oțel-Al** sudate prin frecare se reduce, comparativ cu valorile existente înainte de asamblare. Aceasta concluzie se afirmă atât prin analiza experimentală a tensiunilor cât și prin rezultatele încercării la rupere.

În acest stadiu al experimentărilor, cercetările cuprinse în prezenta teză s-au orientat în direcția realizării unui dispozitiv port-anod fără îmbinări **Al-Al** sudate **MIG** și fără îmbinări **Oțel-Oțel** sudate electric. Studiile efectuate s-au finalizat cu sudarea prin frecare a subansamblului din oțel direct pe subansamblul din **Al**, astfel încât dispozitivul port-anod se execută cu un singur procedeu de sudare.

În capitolul 5 se prezintă studiile și cercetările cu privire la controlul calității îmbinărilor sudate **Oțel-Al** și **Al-Al**. Metodele de control care se utilizează sînt următoarele: încercări mecanice, metoda colorării, controlul cu raze  $\gamma$  penetrante, analiza chimică și analiza metalografică. După programul urmat, se deosebesc două programe de încercări:

- controlul calității pentru alegerea unei mărci de oțel cu o bună comportare la sudarea prin frecare cu aliajul **ATSi5Fe**;
- controlul calității pentru verificarea regimurilor de sudare și a îmbinărilor sudate ale dispozitivului port-anod.

În cadrul primului program de încercări probele, care au provenit din sudarea prin frecare a aliajului **ATSi5Fe** cu șapte mărci de oțeluri, se încearcă la tracțiune la temperatura normală și în regim termic de scurtă durată, la 473K și 633 K. În urma efectuării acestor încercări s-a stabilit că, dintre perechile de materiale cercetate, combinația **OL37-ATSi5Fe** este corespunzătoare pentru îmbinările bimetal sudate prin frecare ale dispozitivului port-anod.

Pentru aprecierea comportării la încălzire de lungă durată se efectuează încercarea la fluaj a îmbinărilor OL37-ATSi5Fe. Se constată că influența temperaturii asupra rezistenței la rupere a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare este diferită în funcție de durata de exploatare a dispozitivului port-anod. Astfel, cea mai intensă interdependență se înregistrează pînă la 1000 ore de funcționare, ceea ce corespunde cu 1,48 cicluri de utilizare în cuvele pentru fabricația electrolitică a Al. Intervalul care urmează după durata critică de funcționare se caracterizează printr-o influență redusă a temperaturii asupra rezistenței la rupere a îmbinărilor bimetal. Verificarea regimului de sudare prin frecare a îmbinărilor Oțel-Al pentru dispozitivul port-anod se face prin încercări la tracțiune. În continuare, se cercetează distribuția defectelor în sudurile Oțel-Al prin reducerea în trepte a diametrului îmbinărilor bimetal și controlul prin metoda colorării a suprafețelor respective. Din diagramele de distribuție se constată creșterea numărului și mărimii defectelor de la exterior înspre centrul sudurii Oțel-Al, apoi se analizează cauzele tehnologice care provoacă această distribuție. Controlul cu radiații se efectuează pe MB-Al pentru admiterea materialului turnat la sudarea prin frecare a dispozitivului port-anod. În acest scop se realizează 450 expuneri radiografice. Pentru interpretarea radiografiilor se elaborează criterii de apreciere a calității componente din ATSi5Fe, pe baza controlului radiografic. Rezultatele analizei metalografice se prezintă în încheierea cercetărilor cu privire la controlul calității îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare. Prin analiza metalografică se confirmă că MSF-40, spre deosebire de ZTa-10, asigură condițiile de calitate pentru execuția îmbinărilor bimetal de grosimi mari ( $\phi 60 \dots \phi 90$  mm), ale dispozitivului port-anod. Capitolul se încheie cu controlul calității îmbinărilor Al-Al. Din studiul macrostructural se constată că, în varianta propusă în teză, față de varianta dispozitivului port-anod utilizată în prezent, garnitura din oțel contribuie la formarea corectă a rădăcinii, îmbinările Al-Al rezultînd compacte și fără defecte specifice îmbinărilor care nu se sudează pe garnituri.

Categoria urmatoare de încercari o constituie încercările electrice ale îmbinărilor Oțel-Al (capitolul 6). Prin încercări de stabilitate termică se obțin 462 date experimentale, care se prelucrează statistic, apoi se reprezintă curbele de încălzire ale îmbinărilor bimetale sudate prin frecare. Se analizează încălzirile produse sub efectul termic al curentului electric în componentele din oțel și Al, precum și în sudura prin frecare. De asemenea se compară valorile coeficientului unghiular al curbelor de încălzire și vitezele de încălzire. Pe baza rezultatelor obținute la încercările de stabilitate termică se constată că îmbinările Oțel-Al sudate prin frecare corespund, din punct de vedere al conducerii curentului electric, pentru a fi utilizate în procesul de fabricație electrolitică a Al. În continuare se arată încercările dinamice la șocuri de curent, la care se obțin 252 date experimentale. Încercările electrice sînt efectuate și în condiții de solicitare echivalente ale variantelor dispozitivului port-anod, sudate prin explozie și prin frecare. Temperatura și căderile de tensiune se determină raportîndu-se la aceleași puncte de măsurare. Se constată că, în varianta sudată prin frecare, se asigură condiții mai bune de răcire și o temperatură de exploatare mai coborîtă a îmbinărilor Oțel-Al, comparativ cu varianta sudată prin explozie. Se menționează, de asemenea, că pierderile de energie electrică pe dispozitivul port-anod sudat prin frecare, care se propune în prezenta teză, reprezintă numai 19% din pierderile de energie electrică înregistrate pe dispozitivul port-anod care se utilizează în prezent în metalurgia Al.

Avînd în vedere că anumite rezultate ale tezei sînt deja parțial introduse în producție, în capitolul 7 se prezintă organizarea unui sector corespunzător pentru fabricația de serie a dispozitivului port-anod sudat prin frecare.

Teza de doctorat se încheie cu capitolul 8 în care se evidențiază considerațiunile finale și cîteva din revendicările mai importante tehnico-stiințifice ale autorului.

Teza este completată cu anexe și bibliografia cercetată.

Rezultatele obținute și concretizate în prezenta teză de doctorat sînt urmarea unei activități de cercetare a autorului, desfășurată pe o durată de peste opt ani sub îndrumarea sistemă-



tică a conducătorului științific, tovarășul prof.dr.doc.șt. ing.VLADIMIR POPOVICI.

Partea experimentală a lucrării a fost executată în laboratoarele Institutului de Subingineri din Reșița, ca și într-o serie de întreprinderi și institute de cercetări. Dintre acestea se menționează următoarele:

- Institutul de Sudură și Încercări de Materiale din Timișoara pentru încercări la fluaaj și lucrări de sudare prin frecare cu mașina MSF-40;

- C.C.S.I.T. Electroputere Craiova, laboratorul de mare putere, pentru încercări electrice de stabilitate termică și încercări la șocuri de curent ale dispozitivului port-anod sudat prin frecare;

- Întreprinderea de Construcții de Mașini din Reșița pentru încercări mecanice, analiza metalografică și turnarea tijei din ATSi5Fe a dispozitivului port-anod sudat prin frecare;

- Întreprinderea Mecanică din Reșița pentru dispozitive de sudare;

- Întreprinderea de Construcții Metalice din Bocșa pentru control nedistructiv cu radiații penetrante;

- Întreprinderea de Aluminii Slatina pentru prelucrări mecanice, lucrări de sudare prin topire și urmărirea comportării dispozitivului port-anod sudat prin frecare în cuvele pentru fabricația electrolitică a AL;

- Centrul de Cercetări și Proiectări pentru Tehnologia Aluminiului Slatina pentru colaborări la asamblarea construcției metalice a dispozitivului port-anod, care s-a propus în prezenta teză, cu blocul de anodi pre-copti pulverizați.

Indeplinesc o datorie de conștiință exprimând pe această cale o profundă recunoștință conducătorului meu științific tovarășului prof.dr.doc.șt.ing.Vladimir Popovici, pentru înalta competență cu care a îndrumat eforturile mele de cercetare științifică, pentru tactul și bunăvoința cu care m-a înconjurat, în momentele inerent dificile care apar într-o activitate de mare extindere și lungă durată.

Adresez cele mai alese si călduroase multumiri tovarășilor ing.**Gheorghe Paraschiv**, inginer șef si ing.**Vladimir Economu**, șef serviciu tehnic de la Intreprinderea de Aluminiu din Slatina, pentru sorijinul permanent si pentru efortul generos cu care au asigurat baza materială a cercetării astfel ca realizarea practică a părții experimentale din teză să fi putut deveni posibilă. Prezint de asemenea cele mai sincere multumiri ing.**M.Cezarie**, ing.**E.Munteanu** si ing.**S.Văduva** din cadrul serviciului tehnic, pentru ajutorul consecvent si substanțial pe care mi l-au acordat în interesul studiilor si cercetărilor cuprinse în teză.

Vii multumiri exprim tovarășului ing.**Ion Arjoca** si colectivului de sudare prin frecare al **ISIM Timisoara**, pentru afirmarea unui remarcabil spirit de colaborare si efectuarea unor valoroase lucrări de sudare a dispozitivului port-anod.

Deosebite multumiri adresez colegilor mei care m-au ajutat si înțeles în legătură cu teza de doctorat.

## 1.-IMBINARI BIMETAL UTILIZATE IN METALURGIA ALUMINIULUI

**Metalurgia Al** cuprinde operațiile tehnologice pentru obținerea și prelucrarea în semifabricate a Al. Folosirea îmbinărilor sudate în metalurgia Al este strâns legată de dezvoltarea proceselor tehnologice de fabricație electrolitică.

### 1.1.-Evoluția îmbinărilor sudate în metalurgia aluminiului

Imbinări Cu-Cu, amplasate în partea anodică a unor cuve experimentale, s-au sudat cu flacăra de gaz încă din anul 1934. Din 1940 a fost însușită sudarea cu electrod de cărbune a sinelor din Al de secțiuni mari. În perioada celui de al doilea război mondial s-au efectuat primele încercări de sudare cu gaz a benzilor din Cu cu tije din oțel care se află în partea catodică a circuitului electric al cuvei. Aceste tipuri de îmbinări au fost demontabile iar suprafețele de contact s-au rabotat pentru a se obține un contact electric satisfăcător. Imbinările cu suprafețe nerabotate s-au supraîncălzit în timpul exploatării. Tijele din oțel supraîncălzite din cauza unui contact necorespunzător s-au răcit repede după sudarea Cu sinele din Cu și s-a obținut o cădere de tensiune mai mică decât la îmbinările realizate prin strângere. Astfel a apărut ideea sudării îmbinărilor Cu-Oțel în metalurgia Al. În 1943 s-a experimentat în condiții industriale sudarea îmbinărilor Cu-Al din partea anodică a cuvelor de electroliză (figura 1.1). În 1947 s-a realizat un nou tip de îmbinare tijă catodică din oțel - sine de Cu și s-a elaborat o tehnologie de sudare cu arc electric a Cu cu oțelul. În 1950



s-au obținut îmbinări sudate Cu-Al. O cuvă de mare capacitate,

model 1952, prezintă următoarele tipuri de îmbinări sudate: Cu-Cu, Al-Al, Cu-Al, Oțel-Cu (Figura 1.2).

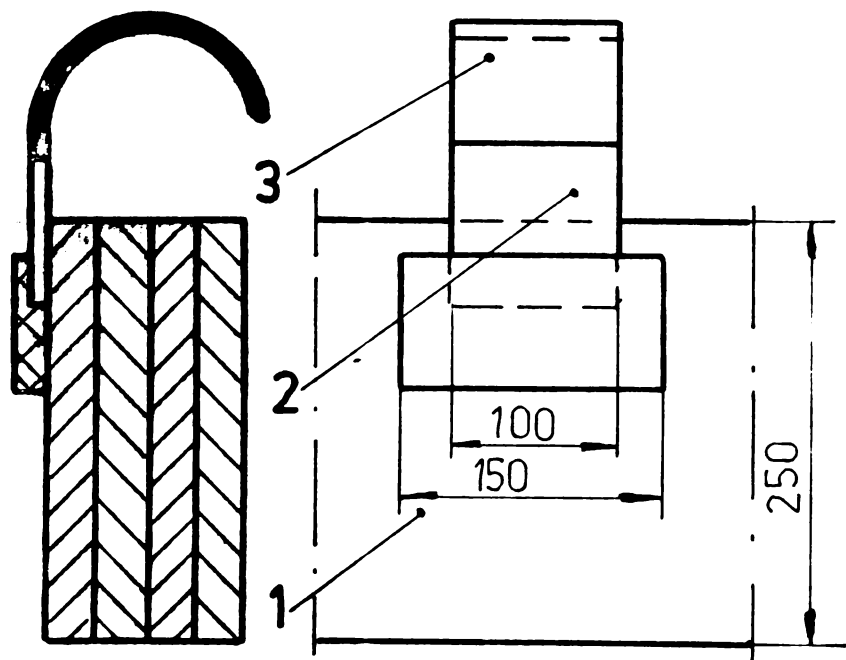


Fig.1.1.-Îmbinare sudată Al-Cu (1943)  
1-șină din Al; 2-șină din Cu l<sub>ox</sub>100 mm  
3-pachet de benzi l<sub>x</sub>l<sub>oo</sub>

#### 1.1.1.-Îmbinări sudate Cupru-Cupru

Îmbinările Cu-Cu se referă la legăturile anodice și catodice și din 1934 se execută prin sudare. Legătura anodică se stabilește între pachetul flexibil al benzilor și șinele rigide. La unele cuve de electroliză benzile din Cu catodic se îmbină cu bara catodică din Al în sistemul pachet (figura 1.3). La astfel de noduri se necesită numeroase operații de demontare întrucât se cere curățirea periodică a fiecărei benzi pe ambele părți, iar numărul benzilor ajunge până la 48 într-un nod. Pentru diminuarea acestui neajuns s-au sudat mai multe benzi elastice ale pachetului din Cu de câte o placă din Cu de 20x250x300 mm (figura 1.4). Prin aceasta, numărul suprafețelor de protejat s-a redus până la 10 iar căderea de tensiune pe îmbinare a scăzut. Îmbinări de tip Cu-Cu se află în

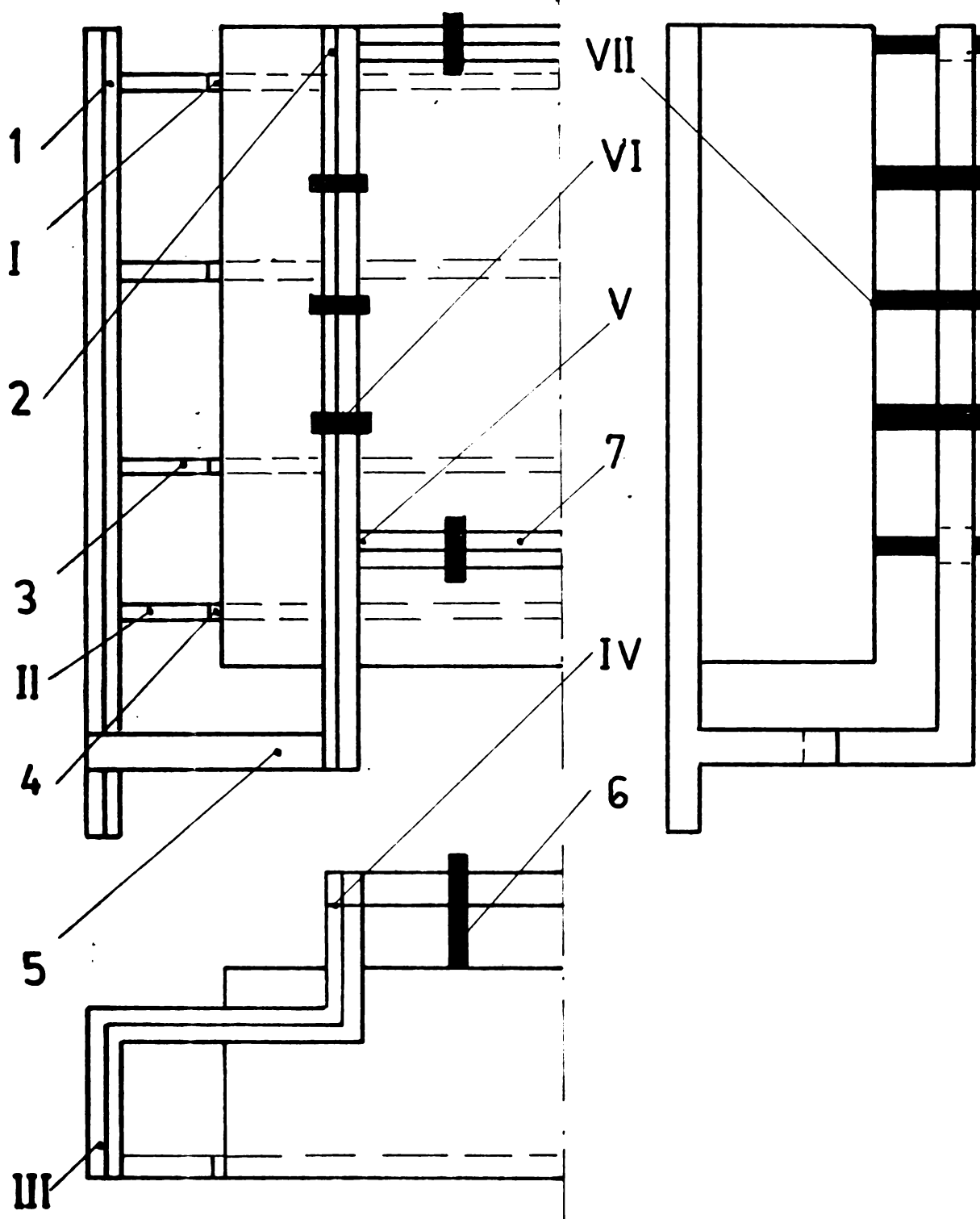


Fig. 1.2. - Schema unei cuve cu îmbinări sudate (anul 1952): 1-bară catodică (Al); 2-bară catodică (Al); 3-banzi elastice (Cu); 4-tijă (otel); 5-suport anodic (Al); 6-Cu anodic; 7-sină compensatoare (Al).

Îmbinări sudate: I-Oțel-Cu; II-Cu-Al; III, IV, V - Al-Al;

VI- Cu-Al; VII- Oțel-Cu.

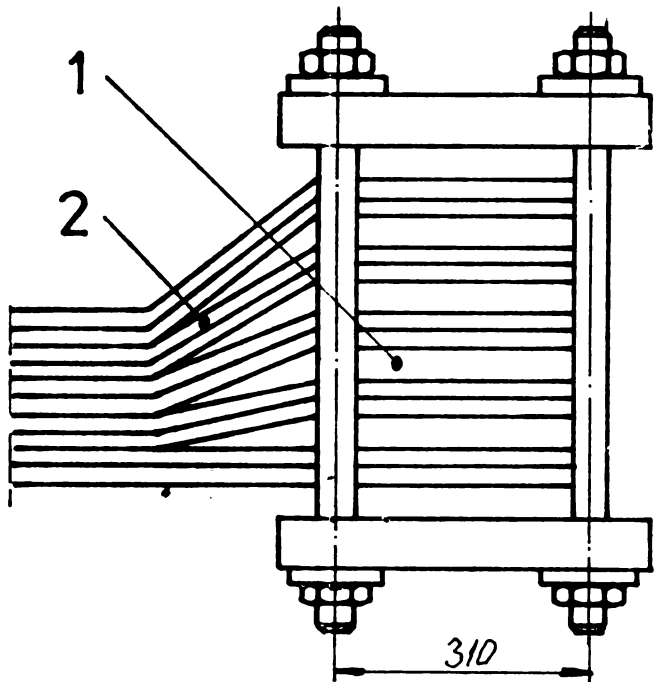


Fig.1.3.-Imbinare demontabilă între bara catodică din Al(1) și pachetul cu benzi elastice din Cu (2)

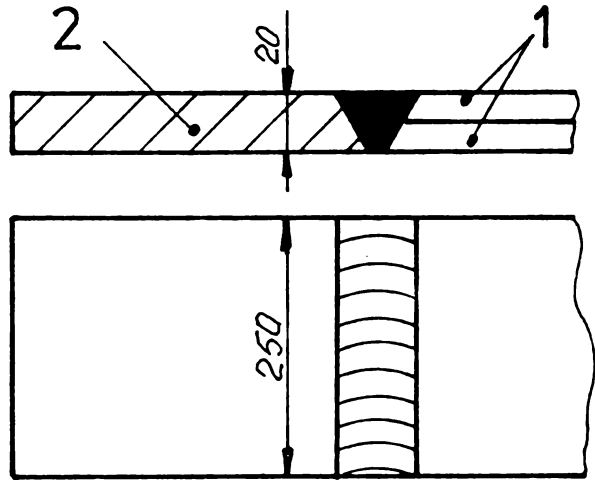


Fig.1.4.-Sudarea benzilor elastice din Cu (1) cu o placă de Cu (?)

redurile II (figura 1.5) și VI (figura 1.6).

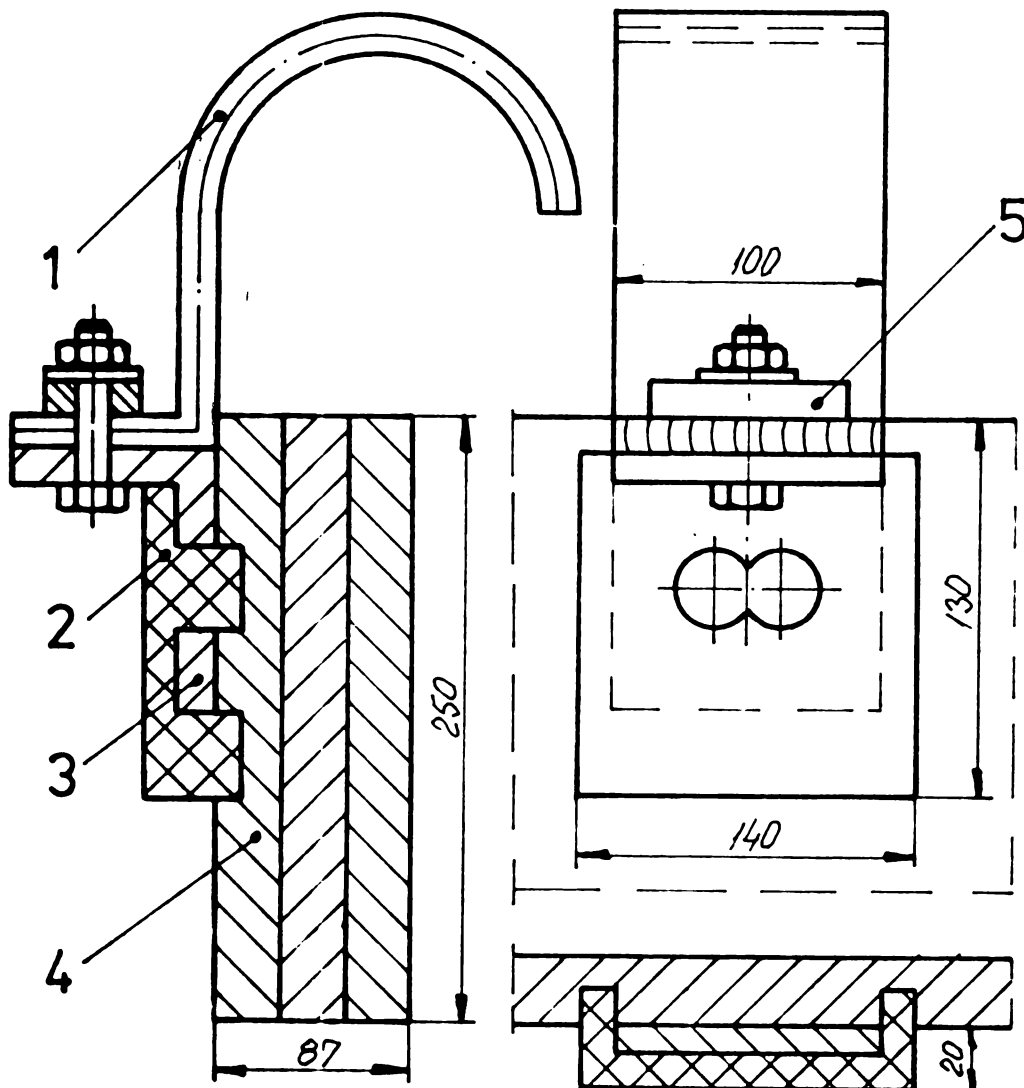
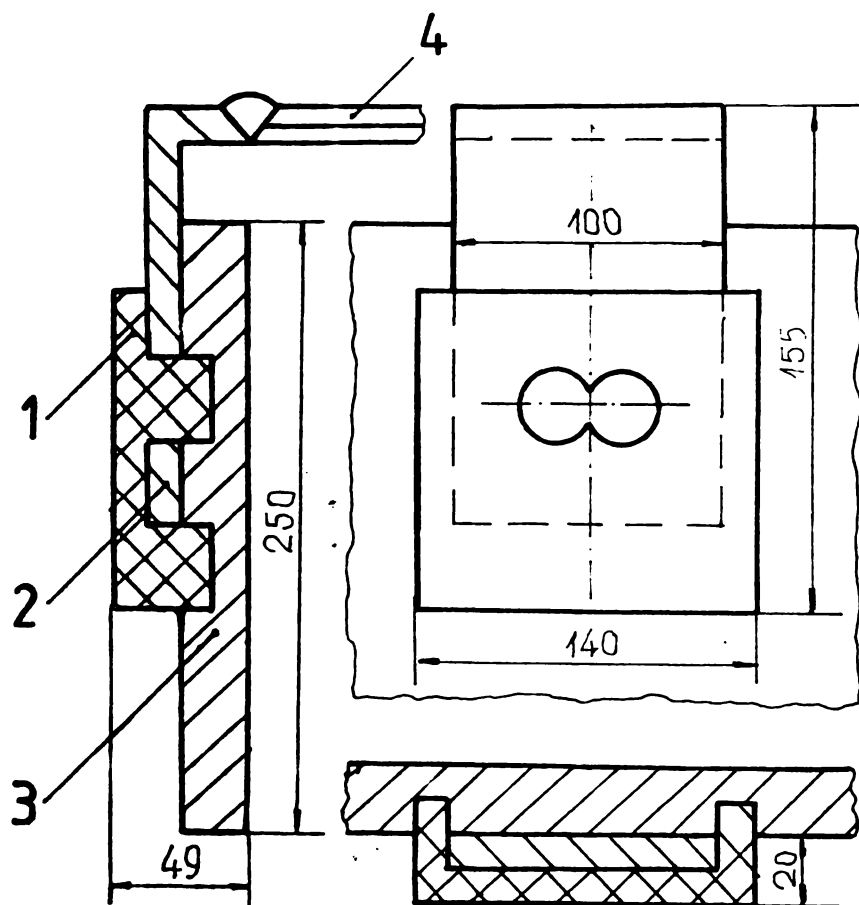


Fig.1.5.-Nod sudat de tip VI (Cu-Al):  
1-pachetul benzilor din Cu anodic;  
2-metal depus prin sudare;  
3-sunort din Cu;  
4-sină din Al;  
5-placă de strângere 10x35x80mm.



Pe aceste îmbinări nu rezultă căderi de tensiune, cu condiția ca secțiunea cusăturii să fie egală cu secțiunea conductorului electric.

Fig.1.6.-Nod sudat de tip II (Cu-Al): 1-metal dens prin sudare; 2-suport din Cu; 3-sină din Al; 4-pachetul benzilor din Cu catodic

#### 1.1.2.-Îmbinări sudate Aluminu-Aluminu

Îmbinările sudate Al-Al se execută între subansamble mari și grele ale cuvelor de electroliză. Astfel, s-a sudat nodul IV (figura 1.2) între bara anodică și suportul anodic. În timpul demontării pachetului anodic, dezavantajele unei asemenea îmbinări sudate au devenit evidente. Comparativ, sudarea suportului anodic cu bara catodică s-a dovedit mai oportună, deoarece pachetul catodic nu se demontează la reparația capitală a cuvei. Când nodul III a fost sudat (figura 1.7), la montarea sau demontarea barei anodice s-au folosit tiranți care au menținut suporturile anodice în poziție verticală, cu pachetele anodice decuplate (figura 1.8).

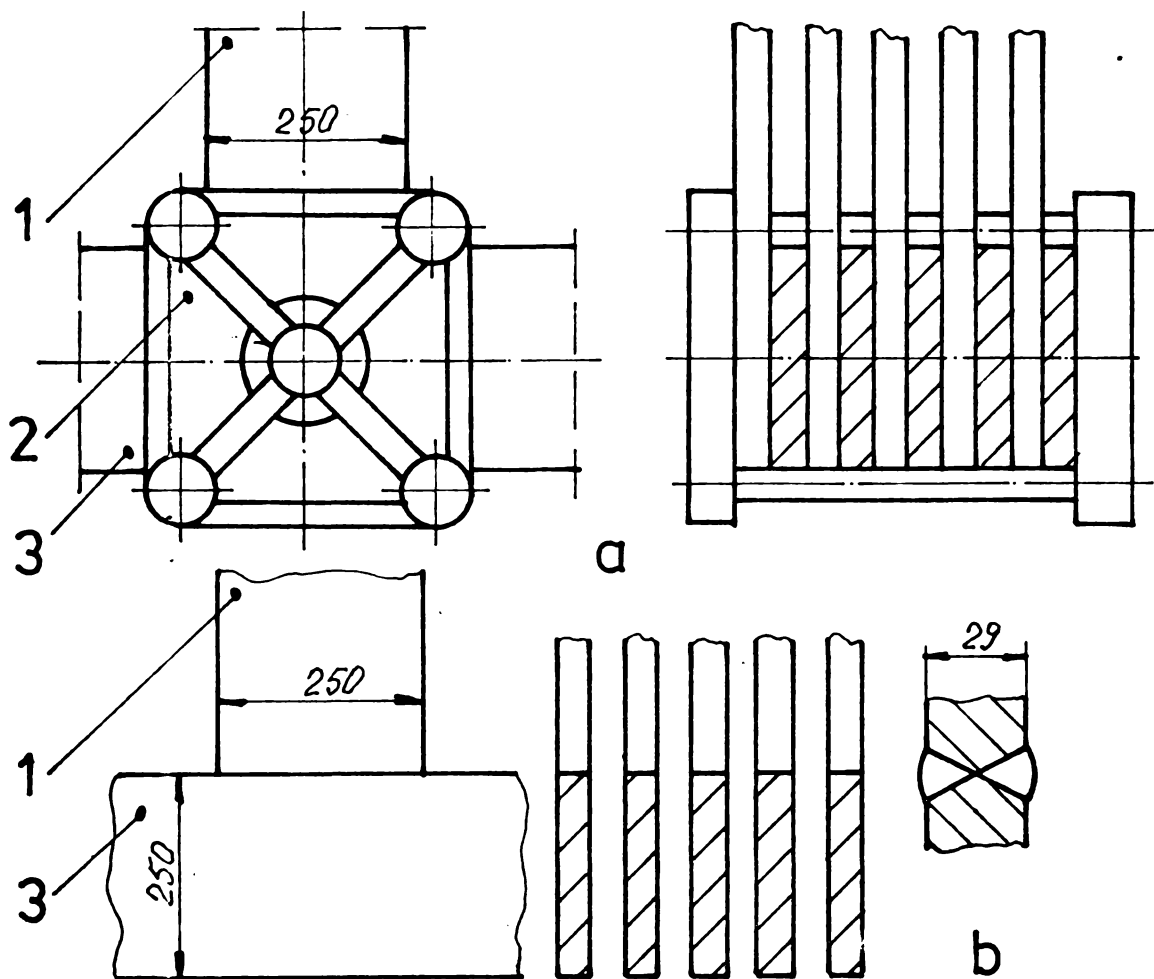


Fig.1.7.-Nod de tip III:  
 a) variantă demontabilă;  
 b) variantă sudată;  
 1-suport anodic; 2-placă  
 din oțel; 3-bară catodică.

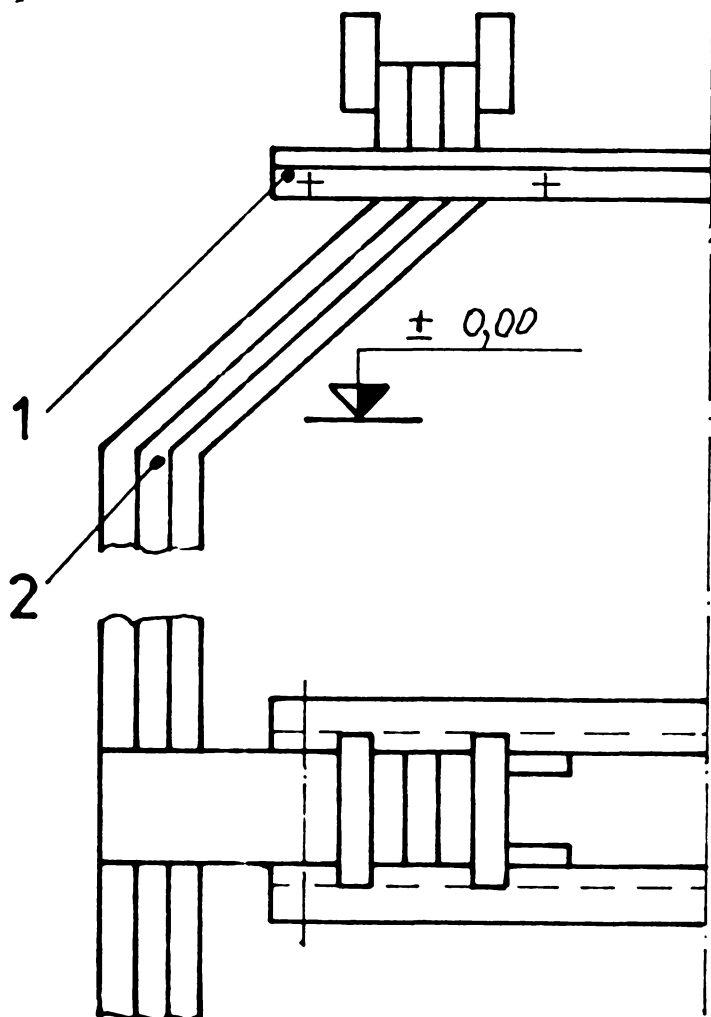


Fig.1.8.-Tirant pentru  
 susținerea suportului  
 anodic: 1-tirant;  
 2-suport anodic.

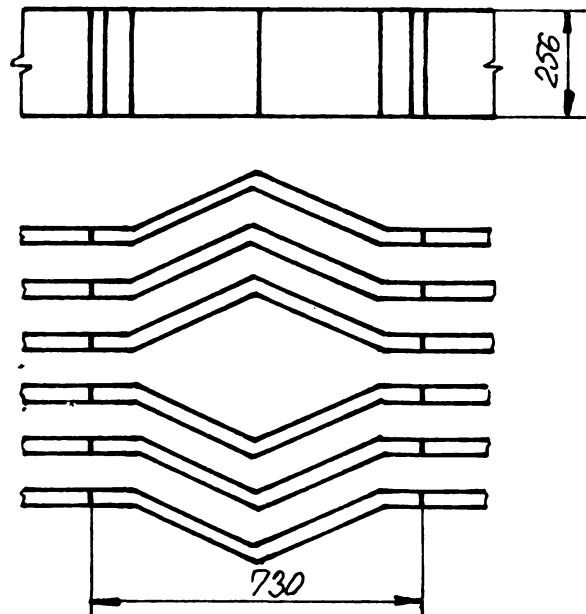


Fig.1.9.-Compensator de dilatație

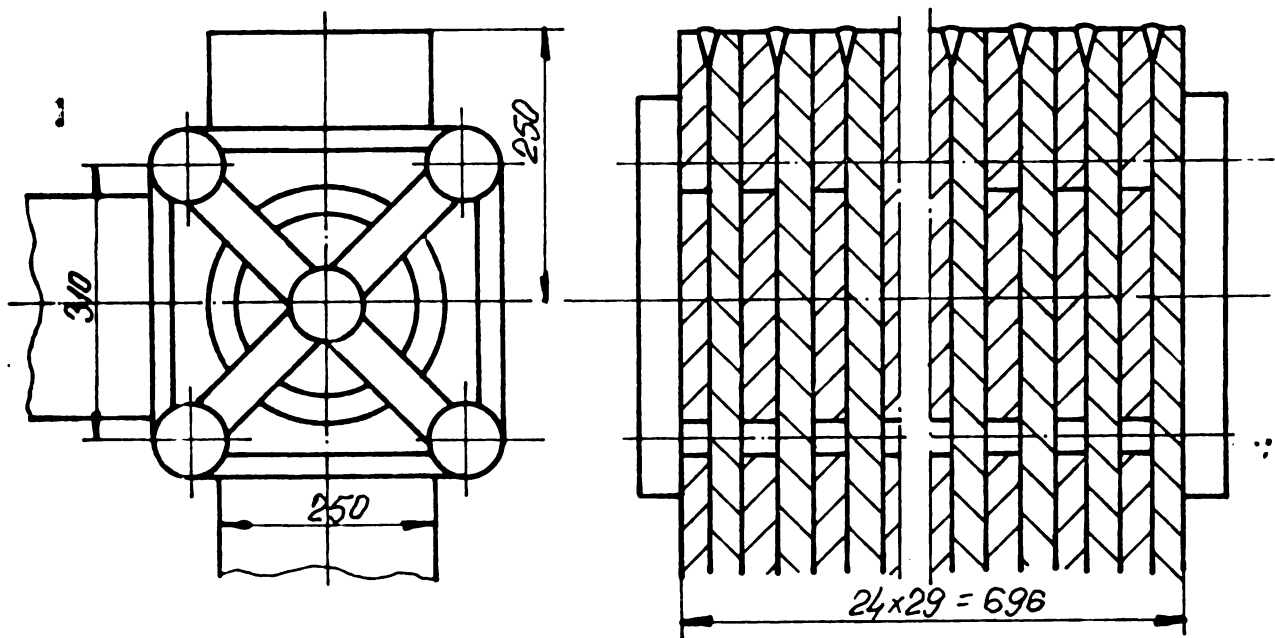


Fig.1.10.-Imbinare sudată între sine din Al disoase perpendicular

In variantă sudată se execută de asemenea compensatoarele de dilatație (figura 1.9) și nodurile unghiulare de contact între corpuri (figura 1.10).

### 1.1.3.-Îmbinări sudate Cupru-Aluminiu

Îmbinările Cu-Al s-au folosit cel mai des la asamblarea cuvelor de electroliză și reprezintă 54% din numărul total de îmbinări metalice ale cuvei. O îmbinare Cu-Al este reprezentată în figura 1.5. Suportul 3 din Cu se sudează de șina 1 din Al și se folosește o îmbinare suplimentară cu șuruburi de strângere. Îmbinarea de tip VI, în construcție demontabilă, se arată în figura 1.11. În unele variante s-a eliminat îndoirea Cu anodic. Pachetul de benzi s-a orientat în jos, direct spre tija din oțel prin modificarea îmbinării sudate (figura 1.12).

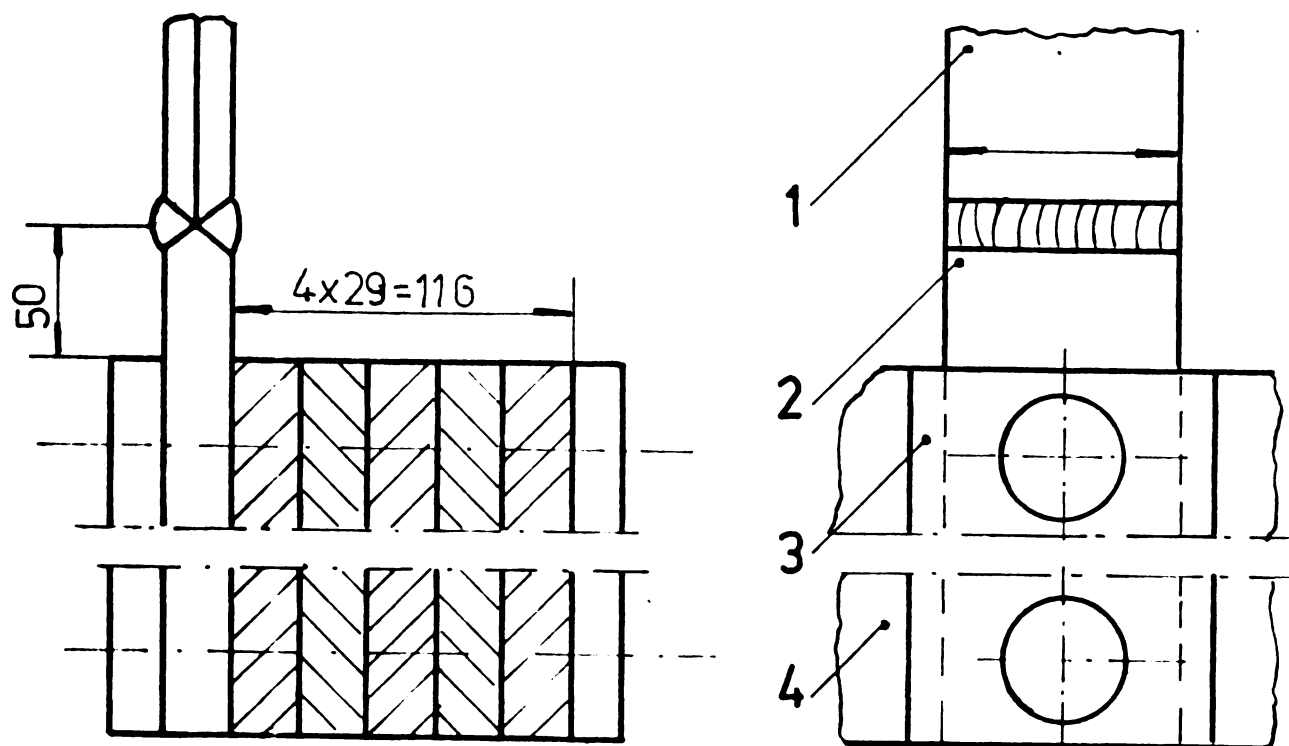


Fig.1.11.-Nod demontabil de tip VI (Cu-Al): 1-benzi din Cu anodic; 2-placă din Cu; 3-placă din oțel; 4-Al anodic .

#### 1.1.4.-Îmbinări sudate Oțel-Cupru

Îmbinările Oțel-Cupru au reprezentat 12,6% din numărul total de îmbinări metalice ale cuvelor de electroliză. Nodul sudat

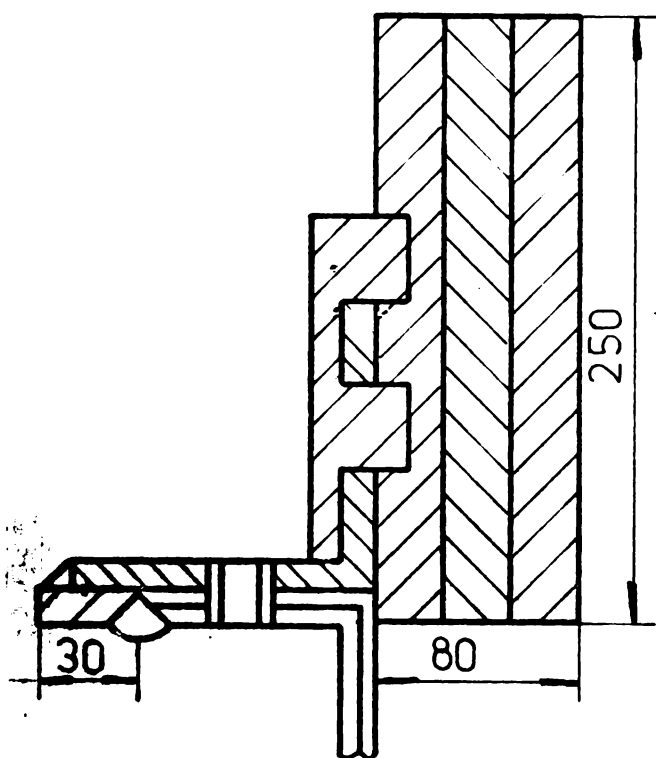


Fig.1.12.-Nod sudat de tip VI (Cu-Al)

oțel și s-au sudat cap la cap cu componente din Cu, care s-au sudat de tije anterior.

#### 1.1.5.-Avantajele utilizării îmbinărilor sudate

Avantajele importante ale utilizării îmbinărilor sudate în metalurgia Al sînt următoarele:

- economie de energie electrică pînă la 15% în timp ce la îmbinările prin strîngere pierderile de energie electrică cresc, ca urmare a rezistenței electrice mari și a oxidării suprafețelor de contact;
- economie de metale feroase și neferoase întrucît se elimină plăcile, bolturile, piulițele și rondellele de strîngere, etc;

I  $O\frac{el}{3}$ -Cu împreună cu nodul II Cu-Al se arată în figura 1.13. Sudurile  $O\frac{el}{3}$ -Cu s-au executat electric cu electrod de carbune. Suprafața cusăturilor s-a mărit cu două electronituri. În figura 1.14 se prezintă îmbinarea sudată a tijelor din oțel cu partea superioară (a) respectiv inferioară (b) a pachetului din Cu. Pachetele elastice din Cu catodic au trecut deasupra sau sub tijele din



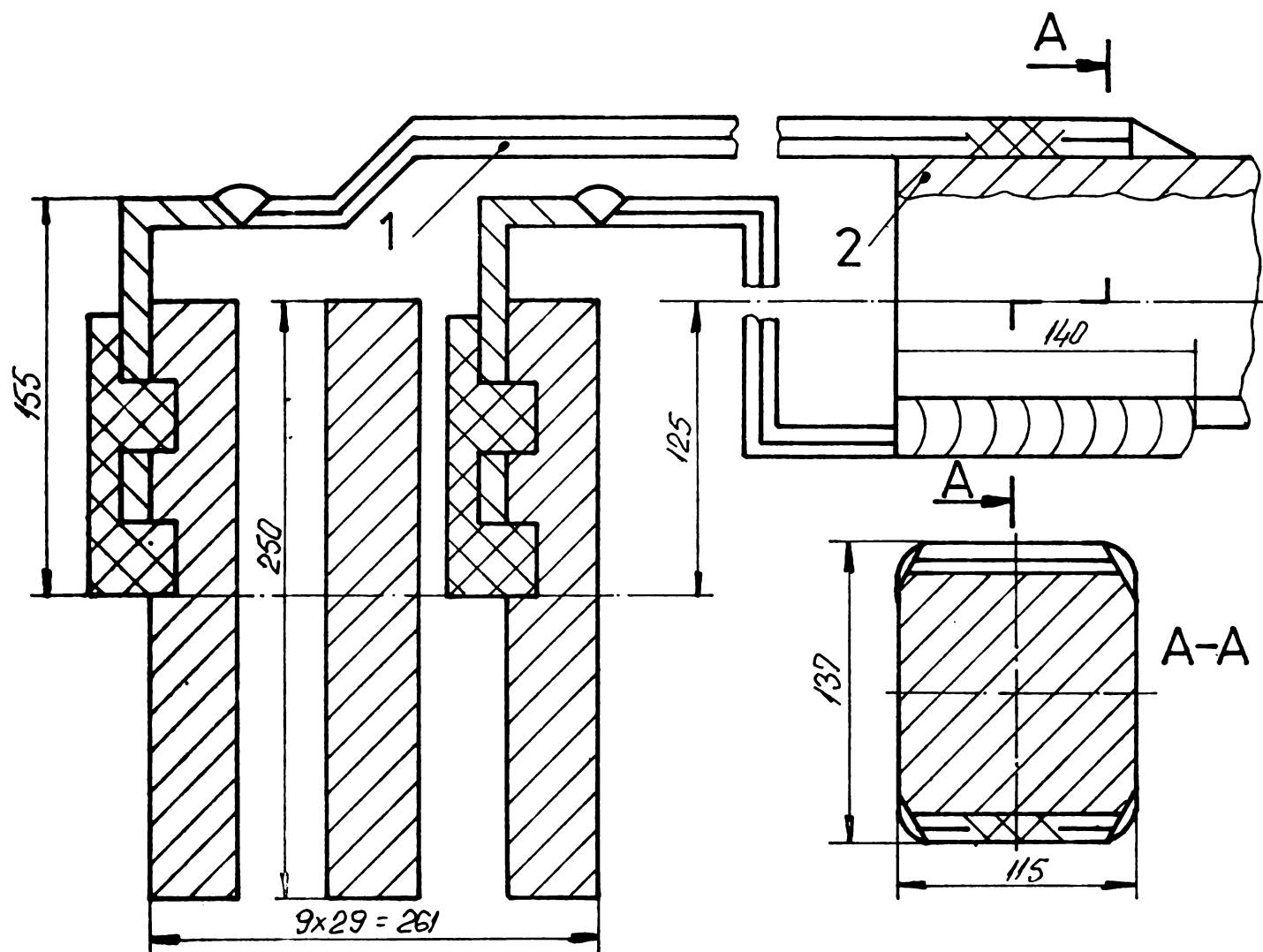


Fig.1.13.-Noduri sudate de tip I (Oțel-Cu) și II (Cu-Al);  
1-benzi din Cu; 2-tijă din oțel .

- se elimină operațiile de rabotare a capetelor tijelor catodice și de găurire a tijelor, sinelor și plăcilor de strângere;
- se reduce substanțial numărul măsurătorilor pentru controlul căderilor de tensiune în îmbinări și nu este necesară operația de curățire a suprafețelor de contact;
- se reduce durata și costul lucrărilor deoarece materialele ajung la locul de montaj sub formă prefabricată și se crează posibilitatea executării lucrărilor cu metode industriale rapide.

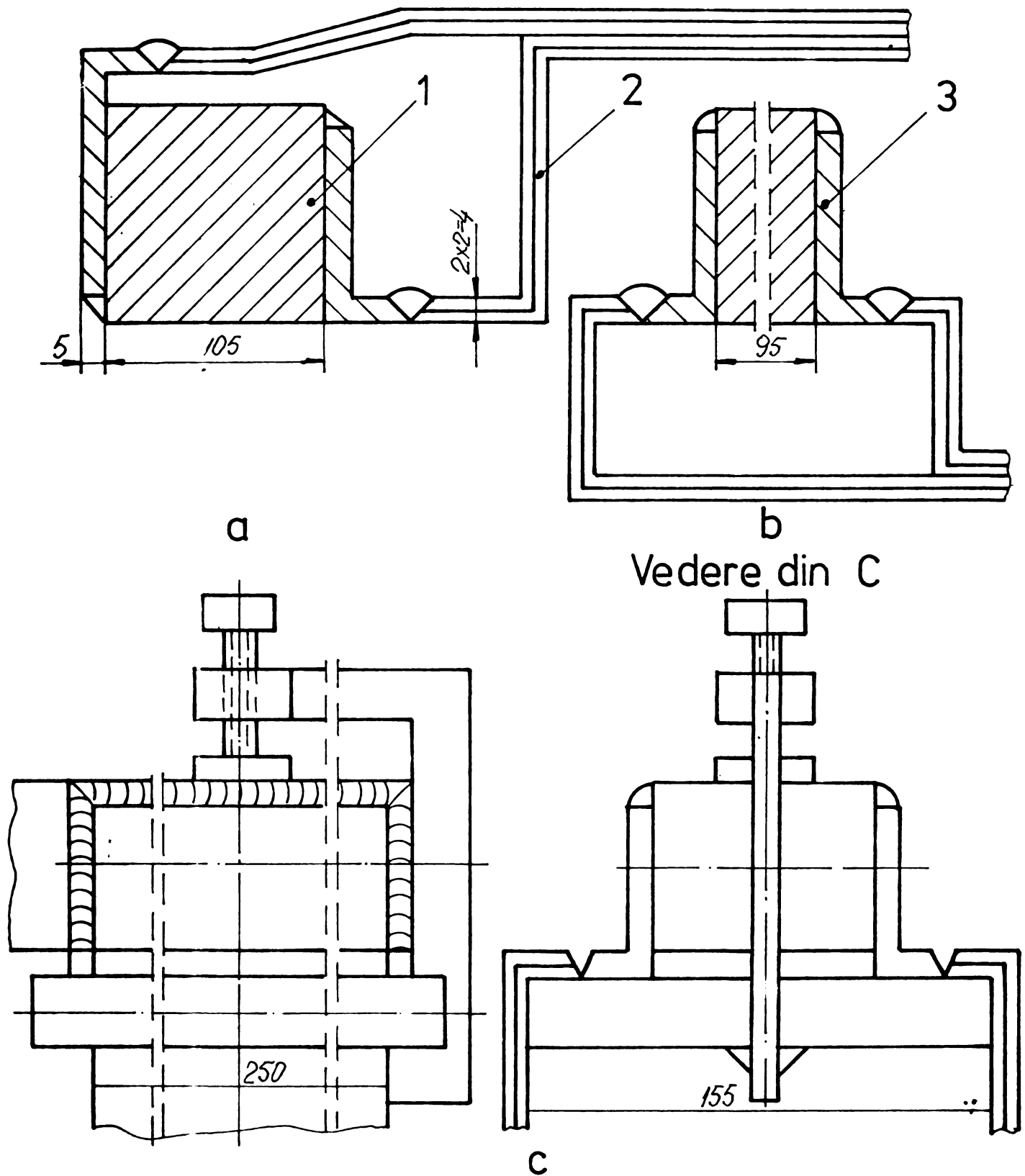


Fig.1.14.-Nod sudat la tip I (Oval-Cu): a-poziția superioară a Cu catodic; b-poziția inferioară a Cu catodic; c-dispozitiv de sudare; 1-tijă din oțel; 2-benzi din Cu catodic; 3-placă din Cu.

Avantajele enumerate ale bobinilor sudate au deschis noi posibilități în crearea unor tehnologii de fabricație a Al, economice și cu pierderi mici de energie electrică.

## 1.2. Stadiul actual de utilizare a îmbinărilor sudate în metalurgia aluminiului

Stadiul de aplicare a îmbinărilor sudate în metalurgia Al a fost determinat de nivelul concepției privind proiectarea construcțiilor sudate și gradul de dezvoltare a procedeelor de sudare.

Sub aspectul concepției constructiv tehnologice, examinarea critică a îmbinărilor sudate prezentate în subcapitolul 1.1. pune în evidență următoarele neajunsuri:

- realizarea cuvei prin folosirea unui număr prea mare de îmbinări sudate ;
- construcția cuvei din trei metale diferite (Al, Cu, Oțel), a mărit foarte mult tipurile de îmbinări sudate (Al-Al, Al-Cu, Cu-Cu, Cu-Oțel, Oțel-Oțel);
- proiectarea necorespunzătoare a nodurilor a făcut necesară consolidarea îmbinărilor prin suduri în găuri;
- utilizarea sudurilor și a buleanelor în aceeași îmbinare;
- necesitatea constructiv-tehnologică a îmbinărilor sudate, prevăzându-se numeroase îmbinări Cu-Al deși sudarea lor era dificil de realizat.

Cusăturile s-au executat cu procedee de sudare învechite : sudarea manuală cu electrod nefuzibil și sudarea oxiacetilenică.

Calitatea sudurilor a fost foarte slabă, întrucât nu s-a putut preveni formarea exizilor de Cu și Al. De asemenea, în cazul sudării cu electrod de cărbune s-a produs impurificarea cu carbon a băii metalice. Astfel, au rezultat cusături cu caracteristici mecanice inferioare și cu rezistență redusă la temperaturi ridicate. Productivitatea a fost scăzută iar unele materiale utilizate deficitare.

Pentru înlăturarea tuturor dificultăților arătate s-a impus proiectarea cuvelor de electroliză și modernizarea tehnologiei de execuție pe baza progresului procedeelor de sudare. Construcția instalațiilor actuale ale metalurgiei Al se realizează cu două metale: Oțel și Al, benzile din Cu fiind înlecuite cu benzi din Al.

Față de construcțiile precedente au fost eliminate îmbinările sudate de tip Cu-Cu, Cu-Al și Cu-Oțel. În prezent se folosesc următoarele tipuri de îmbinări: Al-Al, Oțel-Oțel și Oțel-Al.

Îmbinările Al-Al se sudează prin procedeul MIG iar îmbinările Oțel-Oțel se sudează electric. O variantă de îmbinare Oțel-Al este prin strângere, cu șuruburi. În acest caz însă, rezistența electrică de contact este foarte mare ( $143 \mu \Omega$  pentru Oțel-Al)

iar căderile de tensiune importante (50 ... 100 mV, sau mai mult) Astfel, se impune necesitatea execuției în variantă sudată a acestor îmbinări.

Sudarea prin explozie a fost descoperită în 1957 de V. Philipuk [154]. Acest procedeu a fost însușit la sudarea îmbinărilor Oțel-Al, întrucât nu se folosește metal de adăos, prin presiunea și temperatura ce se produc simultan în câteva microsecunde MB nu suferă transformări și se realizează o legătură interatomică între materiale cu puncte de fuziune și dilatarea termică diferite.

Astfel, rezistența electrică de contact se reduce substanțial ( $0,34 \mu\Omega$ ) iar căderile de tensiune se micșorează de cca zece ori (6 ... 8 mV). La început, plăcile bimetal sudate prin explozie s-au folosit în partea catodică a circuitului electric al cuvei.

În acest scop, ele s-au sudat electric în nodul I (fig. 12) de tija 4 din oțel apoi, prin procedeu MIG, de benzile elastice 3 din Al. În faza următoare s-a generalizat utilizarea plăcilor Oțel-Al pe toată cuva, ele folosindu-se și pentru îmbinarea părților componente ale dispozitivului pert-anel : tija din ATSi 5 Fe și tetrapedul din oțel OL 42.

Având în vedere că la o singură cuvă se necesită 24 plăci bimetal și că acestea se asigură din import, la un preț total de 6 ... 10 milioane lei valută în devizie libere pe an, s-a pus problema realizării în țară a plăcilor Oțel-Al sudate prin explozie.

În țara noastră, cercetările în domeniul sudării prin explozie au fost începute în anul 1970 de un colectiv condus de col.dr. ing. N. Ionescu, din inițiativa prof.dr. dec. st. ing. Vl. Popovici, realizându-se o colaborare între Academia Militară și Institutul Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara. În 1976 încep cercetările privind sudarea prin explozie a plăcilor Oțel-Al pentru întreprinderea de Aluminii Slatina [153]. Aceste cercetări sînt laborioase și de durată.

Prin realizarea plăcilor Oțel-Al sudate prin explozie sînt necesari explozivi plastici. Astfel, se deschide o nouă direcție de cercetare pentru obținerea explozivilor plastici, cu concursul chimiei și protohninei.

În cazul prezentei teze de doctorat s-a adoptat o soluție proprie, de sudare prin frecare a îmbinărilor Oțel-Al pentru metalurgia Al. Procedeu de sudare propus este economic, ușor accesibil și cu posibilități rapide de generalizare în practica industrială.

### 1.3. Îmbinări Oțel- Al pentru construcția dispozitivului pert- anod

Dispozitivul pert- anod este un ansamblu metalic care susține blocul anodic în cuva de electroliză. Subansamblele acestui dispozitiv se execută din două materiale diferite: oțel și aliaj AlSi 5 Fe. Asamblarea părților componente ale dispozitivului pert- anod se face prin sudare sau strângere cu șuruburi. În prezent în metalurgia Al se utilizează ambele tipuri de îmbinări, rezultând următoarele variante ale dispozitivului pert- anod :

- D P A 1 cu placă bimetala sudată prin explozie;
- D P A 2 cu îmbinare Oțel dementabilă.

Variantele corectate și propuse în prezenta teză pentru a fi utilizate în metalurgia Al sînt următoarele :

- D P A 3 cu placă bimetala sudată prin explozie, la care se optimizează tehnologia de sudare a D P A 1 ;
- D P A 4,5,6 cu îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare.

Elementele constructive comune ale variantelor dispozitivului pert- anod sînt tija din Al și tetrapedul din Oțel (figura 1.15).

Modul de asamblare a părților componente se prezintă în figura 1.16.

#### 1.3.1. Stadiul actual de construcție al dispozitivului pert- anod

Tija 1 din aliaj de Al este o parte componentă a dispozitivului pert- anod D P A 1. Tija anodică se obține prin turnare, nu are ramificații iar secțiunea transversală este profilată (figura 1.17).

A doua parte componentă este tetrapedul 2, care se construiește din tablă și bare din oțel. Asamblarea tijei cu tetrapedul se face cu o placă Oțel-Al.

Astfel, la D P A 1 se găsesc următoarele tipuri de îmbinări (Figura 1.18):

- Al-Al sudată MIG, între tija anodică și placa bimetala;
- Oțel-Al sudată prin explozie, între componentele plăcii bimetala;
- Oțel-Oțel sudată electric, între placa bimetala și tetrapod.

Blocul anodic se assemblează cu D P A 1 în vederea introducerii în cuva de electroliză, iar îmbinarea se realizează cu fentă topită (1 ... 5) figura 1.16). D P A 1 are avantajele construcțiilor monolit și asigură o bună conducere a curentului în băile de electroliză.

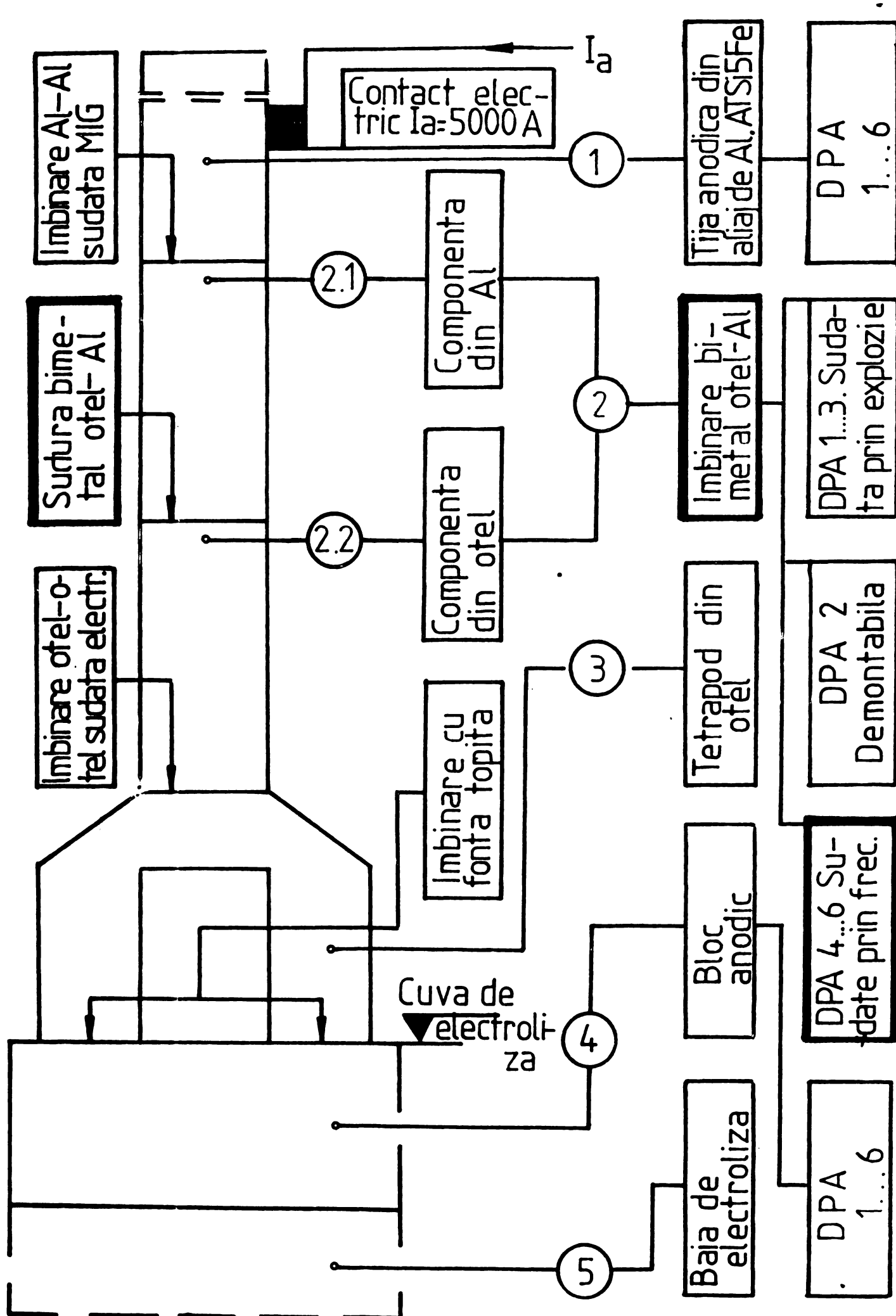


Fig.1.15.-Părțile componente ale variantelor dispozitivului port-anod executat în construcție sudată .



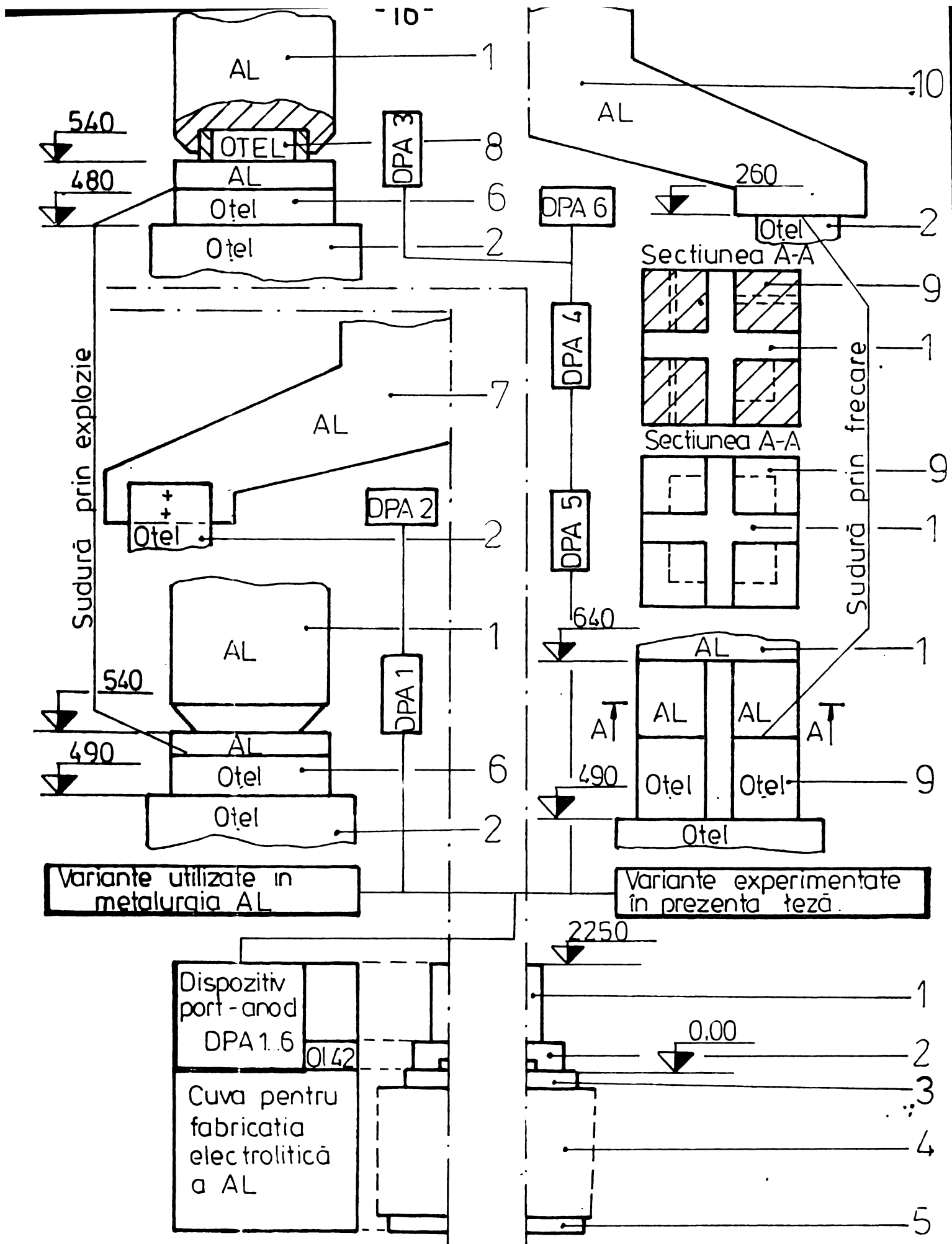


Fig.1.16.2. Asamblarea dispozitivului port-anod; 1-tijă anodică, 2-tetrapod, 3-bloc anodic, 4-fluid, 5-bloc catodic, 6-placă bimetal, 7-tijă anodică; 8-garnitură; 9-bimetal; 10-ramificație.

Dezavantajele DPA1 se referă la raportul între secțiunile sudurilor Oțel-Al și Al-Al. Secțiunea sudată prin explozie este egală cu suprafața plăcii bimetal. Secțiunea sudurilor MIG corespunde celor patru cusături în muchie, care se execută pe laturile plăcii Oțel-Al. Rezultă că siguranța în exploatare a DPA1 este impusă de îmbinările Al-Al. Astfel, caracteristicile mecanice și electrice superioare ale îmbinării bimetal sudată prin explozie nu se valorifică decât parțial. Acestea din cauze alcătuirii constructive a DPA1, prin care nu se asigură o soluție corespunzătoare pentru realizarea îmbinării între placa Oțel-Al și tija anodică din aliaj de Al.

In prezent, <sup>în</sup> metalurgia Al se utilizează, de asemenea, o variantă constructivă DPA2 de dispozitiv port-anod care se execută în construcție demontabilă. Imbinarea între tija anodică cu două ramificații (figura 1.21) și tetrapod se face prin strângere mecanică, cu șuruburi din oțel. Tija din aliaj de Al se obține prin turnare. Construcția DPA2 este robustă și corespunde condițiilor grele în care se exploatează la scoaterea din cuva de electroliză precum și la instalațiile de curățire a fontei, care se află pe linia de asamblare a DPA2 cu un nou bloc anodic. Astfel, siguranța în funcționare a DPA2 este superioară comparativ cu DPA1.

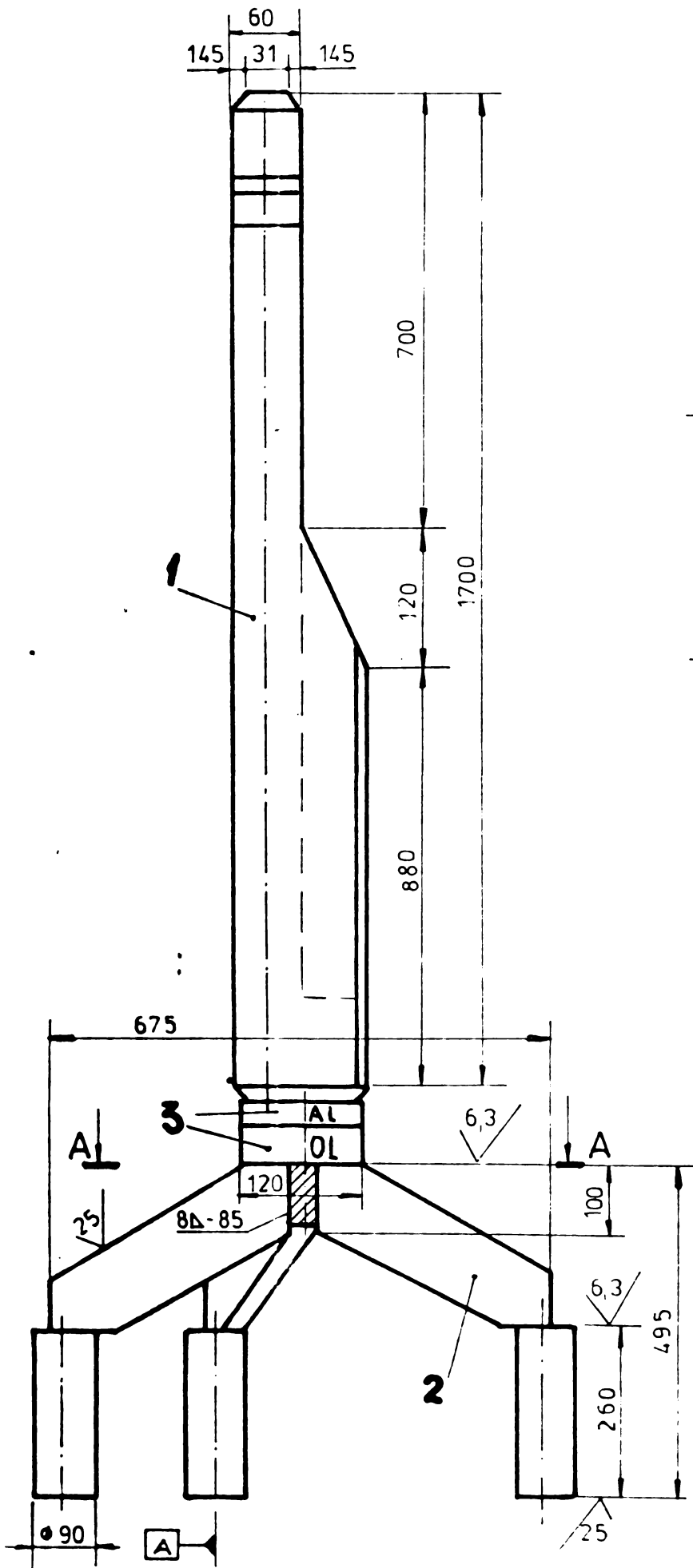
Se menționează ca dezavantaje, următoarele:

-demontarea și reasamblarea DPA2 după fiecare ciclu de utilizare (26...28 zile); se necesită desprinderea tijei anodice de tetrapod pentru dezoxidarea pe cale mecanică a suprafețelor de contact;

-căderea de tensiune pe îmbinarea Oțel-Al (50...100 mV), care conduce la un consum sporit de energie electrică.

464.508/341 C





Secțiunea A-A

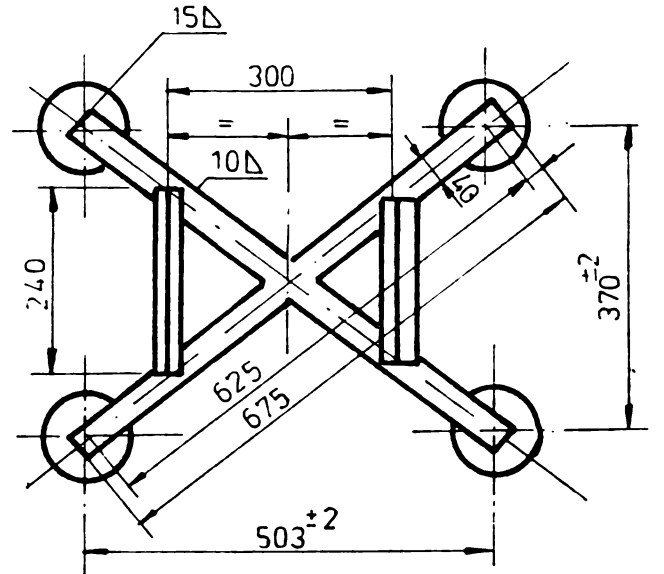


Fig.1.17.-Componentele DPAl: 1-tija din aliaj de Al; 2-tetrapod din oțel; 3-placă Oțel-Al sudată prin explozie [142]

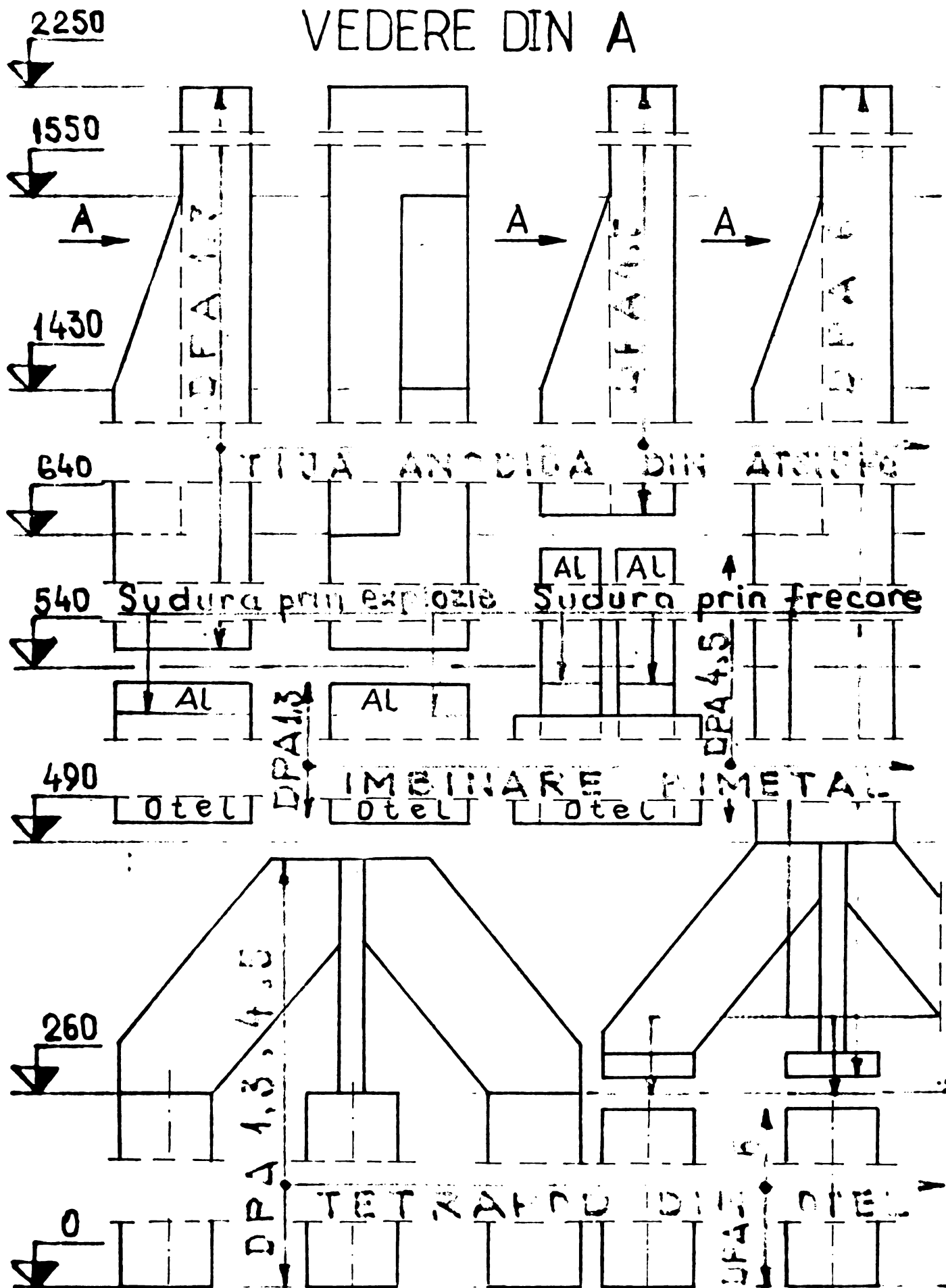


Fig.1.18.-componentele imbinărilor dispozitivului port-ancă .

1.3.2.-variente constructive de dispozitiv port-anod  
propușe în prezenta teză

În prezenta teză, pentru dispozitivul port-anod se propun variantele constructive DPA3...6. DPA3 se realizează cu placă bi-metal sudată prin explozie și se deosebește de DPA1 prin tehnologia de sudare MIG utilizată. DPA4...6 se prevăd cu îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare. Se utilizează următoarele tipuri de tijă din ATSi5Fe:

- fără ramificații, pentru DPA3, care se deosebește de DPA1 (1, figura 1.17), prin re-proiectarea îmbinării Al-Al, conform cercetării (1, DPA3, figura 1.16);
- fără ramificații, pentru DPA4,5 de aceeași formă cu tija care se utilizează la DPA1 (1, figura 1.17);
- cu două ramificații, pentru DPA6, identică cu tija DPA2 (figura 1.21);
- cu patru ramificații, pentru DPA6, proiectată și obținută prin turnare conform cercetării (figura 1.20).

La DPA4,5 placa Oțel-Al sudată prin explozie se înlocuiește cu patru îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare (figura 1.19).

Astfel, la DPA4,5 se află următoarele îmbinări (figura 1.18):

- Al-Al sudată MIG, între tija anodică și patru componente din Al ale îmbinărilor bi-metal;
- Oțel-Al sudată prin frecare, între componentele îmbinărilor bi-metal;
- Oțel-Oțel sudată electric, între patru componente ale îmbinărilor Oțel-Al și tetrapod.

Prin secțiunea bazei tijei anodice se limitează valoarea secțiunii îmbinărilor bi-metal, întrucât cele două suprafețe se suprapun pentru realizarea rostului îmbinărilor Al-Al. Astfel, la DPA4,5

rezultă de 60 mm valoarea maximă a diametrului unei îmbinări Oțel-Al sudată prin frecare, în condițiile în care patru asemenea îmbinări se suprapun pe baza tijei din aliaj de Al.

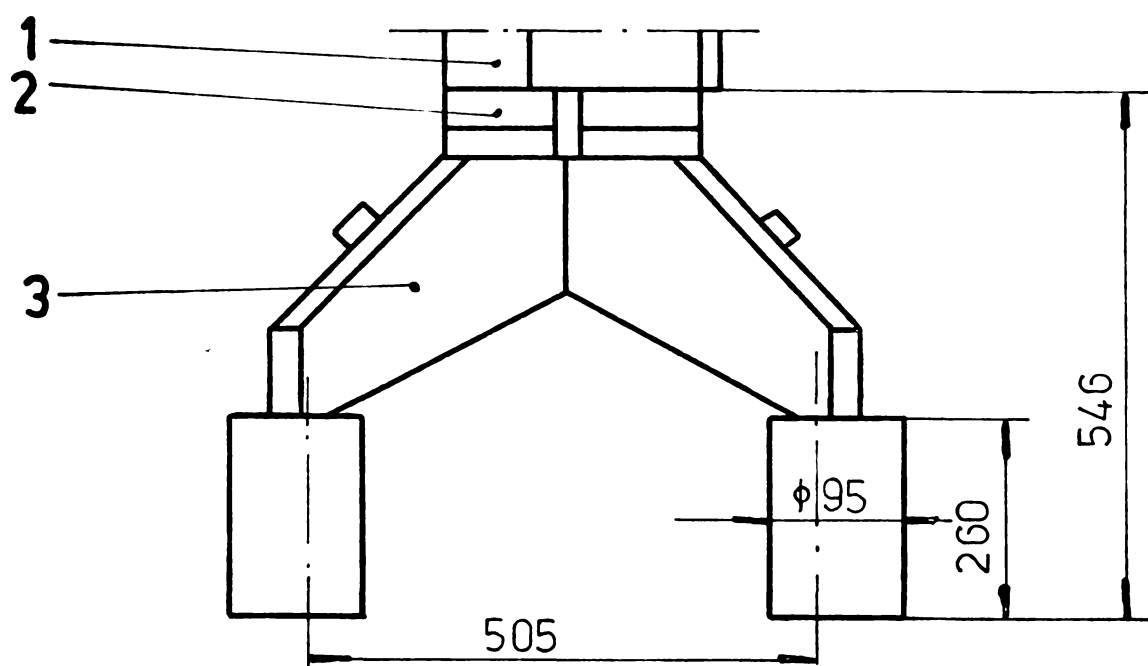


Fig.1.19.-Dispozitiv port-anod DPA4,5: 1-tija din aliaj de Al, 2-îmbinare Oțel-Al sudată prin frecare, 3-tetrapod din oțel.

Tehnologiile de sudare prin frecare a îmbinărilor bimetale și de sudare electrică a îmbinărilor Oțel-Oțel sînt aceleași pentru DPA4 și DPA5. DPA4,5 se deosebesc numai prin tehnologiile diferite de sudare MIG după care se execută îmbinările Al-Al. Comparativ cu DPA1 care se utilizează în prezent, în variantele propuse DPA4,5 se elimină placa bimetale din import. De asemenea, se asigură o soluție corespunzătoare pentru execuția îmbinărilor Al-Al și astfel siguranța în funcționare a DPA4,5 nu mai este influențată de comportarea în exploatare a acestor îmbinări.

Examinîndu-se critic variantele constructive DPA1,3,<sup>4,5</sup> se constată ca deficiență comună numărul mare al tipurilor de îmbinări sudate (Al-Al, Oțel-Al, Oțel,Oțel). De asemenea, execuția îmbinărilor Al-Al este legată de principalele dificultăți care apar la sudarea prin topire a aliajelor de Al cum ar fi:

- formarea rapidă a oxidului de Al cu temperatura de topire 2373K;
- proprietatea de a absorbi mari cantități de hidrogen în stare topită;
- conductibilitatea termică ridicată (0,35 cal/cm.s.K);
- coeficientul de dilatare de cca două ori mai mare decât în cazul oțelului;

Căldura care se produce în material la sudarea electrică a îmbinărilor Oțel-Oțel se disipează prin îmbinările Oțel-Al. Astfel, se mărește temperatura componentelor, crește gradul de solicitare termică a sudurii bimetal, iar timpul de sudare se mărește. Pentru păstrarea temperaturii într-un interval de valori admisibil.

Pentru înlăturarea tuturor neajunsurilor arătate, în prezenta teză s-au efectuat cercetări privind realizarea dispozitivului port-anod DPA6 fără îmbinări de tip Al-Al și Oțel-Oțel. Astfel, s-a reprojec-tat dispozitivul port-anod, modificându-se forma tijei din aliaj de Al (figura 1.20). Coloana tijei anodice a DPA1 se prelungeste la bază după geometria tetrapodului din oțel, obținându-se o tijă din aliaj de Al cu patru ramificații. În acest caz, construcția DPA6 se realizează folosindu-se un singur tip de îmbinări sudate (Oțel-Al). Tija anodică s-a executat prin turnare, iar DPA6 a rezul-tat după sudarea prin frecare a tetrapodului din oțel, direct pe ramificațiile tijei din aliaj de Al. Prin reducerea de secțiune de la coloana tijei (DPA1) la o singură terminație a ramificației (DPA6) se îmbunătățesc condițiile de execuție a îmbinărilor Oțel-Al și se poate înlocui sudarea prin explozie cu sudarea prin frecare a acestor îmbinări. În variante constructivă, DPA6 cu două ramificații, tija anodică se preia fără modificări din fluxul de fabricație al DPA2. La baza tijei se observă patru găuri (figura 1.21), în care se introduc șuruburile de strângere a îmbi-

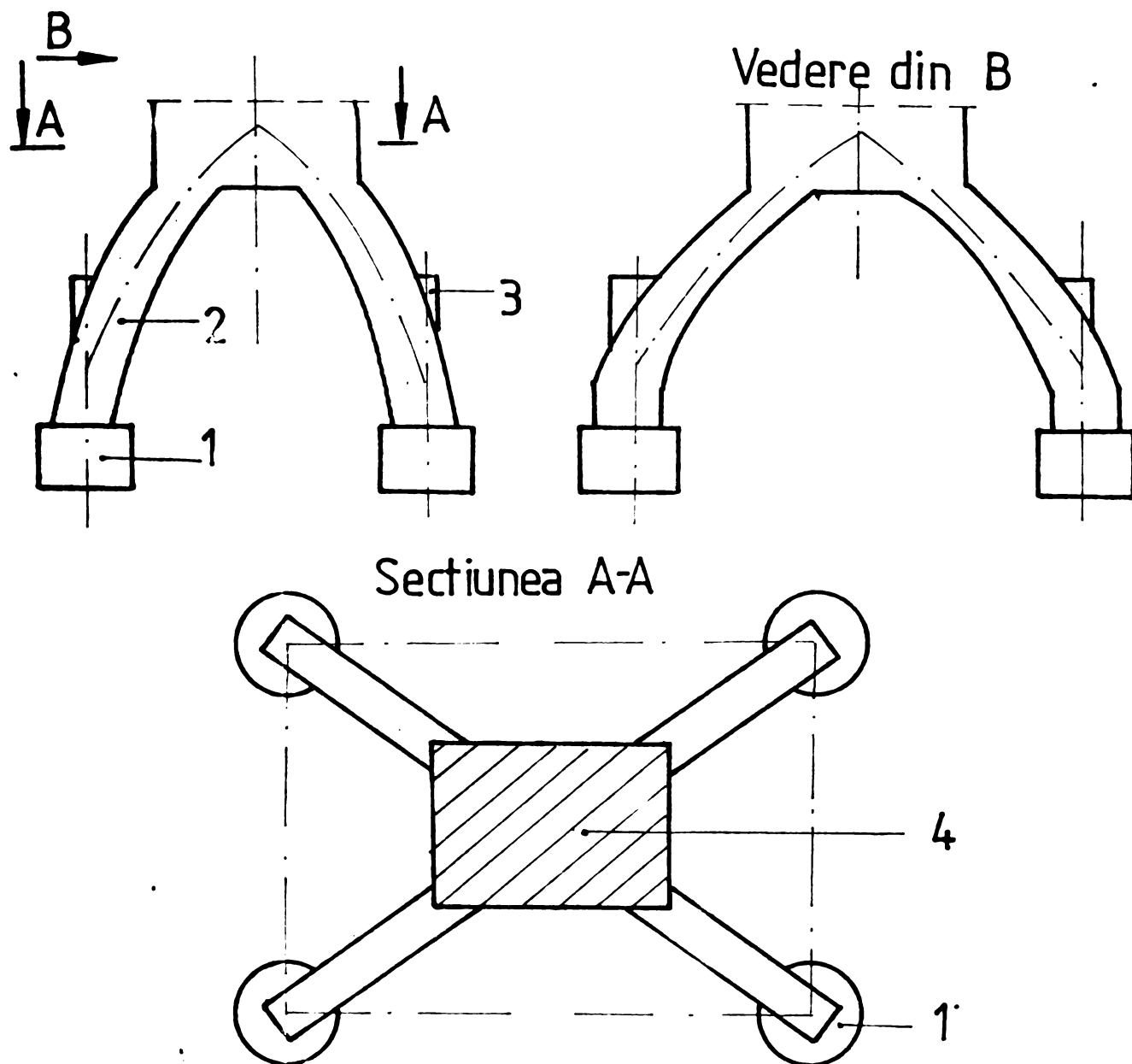


Fig.1.20.-Tijă din aliaj de Al cu patru ramificații pentru DPA6 sudat prin frecare: 1-terminații cilindrice; 2- ramificații; 3-proeminențe; 4-coloana tijei .

nărilor  $\theta$ țel-Al ale DPA2. DPA6 se obține după sudarea prin frecare a două componente din oțel pe fiecare ramificație a tijei din aliaj de Al.

programul de cercetări pentru optimizarea construcției dispozitivului port-anod, care se utilizează în prezent în metalurgia Al, se indică în tabele l.l. În baza acestui program experimental și condițiilor se află cercetarea funcțiilor de exploatare ale dispozitivului port-anod.



Fig.1.21.-Dispozitiv port-anod DPA6 cu două ramificații sudet prin frecare

1.4.-Funcțiile și condițiile de exploatare ale dispozitivului port-anod

Dispozitivul port-anod se montează la cuvă pe un suport orizontal, care la rândul său se sprijină pe două coloane metalice de-a lungul cărora glisează în plan vertical, potrivit cu consumul blocului anodic în baie de electroliză. La partea superioară a tijei se află o suprafață de contact cu care aderă prin strângere la o placă aflată în circuitul electric al cuvelor. Al se obține în cuve cu anodi precopți montate în hale de electroliză, fiecare hală constituind o serie electrică de 63 kA sau 80...85 kA. În literatură de specialitate se prezintă parametrii regimului de fabricație electrolitică a Al (tabelă 1.2). Rezultă că funcțiile și condițiile specifice de exploatare ale DPA1...6 sînt următoarele:



PROGRAM EXPERIMENTAL

- I. Pregătirea îmbinărilor Oțel-Aluminiu.
- II. Investigatii experimentale.
- III. Prelucrarea rezultatelor.

Realizarea dispozitivelor port-anod  
DPA 3 ... 6 experimentate în teză.

DPA 5: se optimizează tehnologia de sudare  
MIG a DPA 1.

Dispozitiv port anod cu placă Oțel-AL  
realizat prin embloxic.

Dispozitiv port-anod D.P.A. 4 ... 6 cu lămpi  
Oțel-AL conectate prin frecare.

DPA 4 : cu tijă sudată DPA 1 și petru lămpi  
Baxtel, ori. se realizează succesiv.

DPA 5: cele patru îmbinări Oțel-AL se realizează  
cu o placă din oțel și forajele din aluminiu  
substanțiale ... 5.

DPA 6: realizat prin frecare conj. corectă în, după  
îmbinări AL-AL și Oțel-Oțel.

Ex. de sudare sub-sonic cu sarcă DPA 4 ... 1

TABELA 1.1.

Incercări mecanice și termice

Tracțiune la 200, 473 și 533 MPa, cu deplasări de 0,1 mm

Lucrul de sudare în condiții de laborator  
cu dispozitivul de sudare  
MIG și Oțel-AL  
cu lămpi de Oțel-AL

Lucrul de sudare în condiții de laborator  
cu dispozitivul de sudare  
MIG și Oțel-AL  
cu lămpi de Oțel-AL  
cu o placă din oțel și forajele din aluminiu

Simularea în laborator a solicitării: - termice - mecanice - electrice

Controlul calitatii îmbinării lor realizate

Lucrul de sudare în condiții de laborator cu dispozitivul de sudare MIG și Oțel-AL

Lucrul de sudare în condiții de laborator cu dispozitivul de sudare MIG și Oțel-AL

Lucrul de sudare în condiții de laborator cu dispozitivul de sudare MIG și Oțel-AL



TABELA 1.2

Date privind regimul de fabricație [131]  
a Al

| Parametri                              | K A - C U V E |             |
|--|---------------|-------------|
|  | 63            | 83          |
| -Curentul de lucru, kA                 | 62...66       | 80...85     |
| -Tensiunea de reglaj pe cuvă, V        | 3,9           | 3,85 ± 0,05 |
| -Temperatura medie de lucru, K         | 1233 - 10     | 1233 ± 10   |
| -Frecvența extracției de metal, 48 ore | 1             | 1           |
| -Timpul de lucru al unui anod, zile    | 26...28       | 26...28     |

- conducerea curentului electric în cuvele de electroliză;
- susținerea blocului anodic;
- încălzirea prin efect Joule-Lenz (curent cca 5000 A în coloana tijei anodice) și cu căldura provenită prin conducție de la blocul anodic;
- durata mare a unui ciclu de exploatare (26...28 zile).

În cadrul cercetărilor efectuate s-au executat măsurători pe 1652 bucăți DPAl montate în cuvele de electroliză și s-a constatat

TABELA 1.3

Temperatura de exploatare a îmbinării bimetale oțel-Al a DPAl

| Nr. intervalul de ort. temperatură, K | Nr. DPAl cu temperatura încadrată în interval |
|---------------------------------------|---|
| 1 sub 373                             | 344   |
| 2 374 - 398                           | 854   |
| 3 399 - 423                           | 306   |
| 4 424 - 448                           | 114   |
| 5 449 - 473                           | 17  |
| 6 474 - 498                           | 2   |
| 7 499 - 523                           | 8   |
| 8 524 - 548                           | 4   |
| 9 549 - 573                           | 2   |
| 10 574 - 598                          | 1   |

temperatura în regim de lucru

a îmbinărilor bimetale Oțel-Al

(tabelă 1.3).

Împărțind intervalul în care se plasează cele 1652 măsurători în porțiuni egale, se determină porțiunea în care se plasează cele mai multe determinări. Conținutul aferent acestui interval este valoarea cea

mai frecventă  $K_f = 398$  K. Se calculează temperatura medie  $\bar{x}$  și abateră:

$$\bar{x} = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.1)$$

$$s = \sqrt{\frac{(\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}} \quad (1.2)$$

rezultând  $\bar{X} = 402,8$  K și  $S = 8,41$ . Cu cât media  $\bar{X}$  este mai apropiată de valoarea cea mai frecventă  $X_f$  cu atât stabilitatea temperaturii este mai bună. Inseamnă deci că raportul:

$$a_p = \frac{\bar{X} - X_f}{X_f} \quad (1.3)$$

este un estimator al stabilității temperaturii, stabilitatea fiind cu atât mai bună cu cât  $a_p$  este mai apropiată de zero.

cu ajutorul lui  $\bar{X}$  și  $S$  se pot calcula limitele între care se situează determinările de temperatură, dacă s-ar face oricât de multe măsurări. Aceste limite se calculează cu relația:

$$\left. \begin{array}{l} LL \\ UL \end{array} \right\} = \bar{X} \pm K \cdot S, \quad (1.4)$$

în care  $K$  este dat în tabele [96] în funcție de  $n$  și de totalul determinărilor  $P$  situate între limita inferioară  $LL$  și limita superioară  $UL$ . Calculele mărimilor statistice dau următoarele rezultate:

- $a_p = 0,0384$  ;
- : -  $K = 2,1$  ;
- $LL = 385$  ;
- $UL = 420$  .

În concluzie, la îmbinarea bimetal  $\theta$ țel-Al a DPAl temperatura medie este de 402,8 K, temperatura cea mai frecventă este de 398 K și, la diferite îmbinări bimetal ale DPAl, temperaturile sînt cuprinse între 385 K și 420 K. Numai 5% din aceste îmbinări ar putea avea temperatura de lucru în afara acestor limite. Se apreciază că stabilitatea temperaturii îmbinărilor  $\theta$ țel-Al ale DPAl este foarte bună, fiindcă  $a_p$  este apropiat de zero.

2.-STUDII SI CERCETARI CU PRIVIRE LA SUDAREA  
PRIN FRECARA A IMPINARILOR OTEL-AL

Cercetările sistematice privind sudarea prin frecare sînt întreprinse în U.R.S.S. din anul 1957 [57, 113], iar în Anglia din anul 1960 [108]. Adaptarea mașinilor de prelucrat prin aşchiere [45, 46, 59, 97] s-a dovedit în prima etapă ca o măsură rațională, economică și rapidă pentru aplicarea procedurii de sudare prin frecare. În prezent, numărul de tipodimensiuni de mașini de sudat prin frecare este de ordinul sutelor și procedeul are opt variante de aplicare, în funcție de modul cum este dezvoltată energia cinetică de frecare [22, 25, 116]. Cu schemele de comandă și aparatura utilizată se reglează automat parametri ciclului de sudare și se execută cu un grad mai mic sau mai mare de automatizare operațiile auxiliare de deservire [41, 85, 98]. Soluția globală de asigurare a unei calități constante a sudurilor constă în aplicarea unui sistem de control prin calculator electronic pentru procesul de sudare [34, 133]. Concomitent cu problemele utilajului de sudare s-au cercetat fenomenele care au loc în timpul sudării, mecanismul formării sudurilor prin frecare [1, 35, 37, 43], parametri regimului de sudare [58, 114, 140].

Sudarea prin frecare se aplică în prezent în diferite domenii ca: industria sculelor, pentru îmbinarea oțelurilor rapide cu oțeluri carbon [26], - industria mecanică, pentru arbori, piese compuse, etc, - construcții montaj, pentru sudarea țevilor [32], a flanșelor pe țevi, ramificațiilor, etc [42], - industria automobilelor [20, 134], - industria atomică [132], - industria maselor plastice [97]. Gama perechilor de materiale care se sudează prin frecare este foarte largă: metale și nemetale, metale feroase și neferoase, compoziții metal-oxid sinterizate [106], metale cu puncte de fuziune foarte diferite (tantal - 3273K cu oțel 1773K), metale care dau compuși fragili la sudarea prin topire (oțeluri cu aliaje din Al), materiale sensibile la acțiunea atmosferei (oțel aliat, metale neferoase), etc.

Îmbinările sudate prin frecare pentru DPA4,5,6 sînt îmbinări 0137-ATSi5Fe. În literatura tehnică de specialitate [22, 44, 75] se prezintă materialele și combinațiile de materiale ce au fost sudate prin frecare pînă în prezent. Se obțin rezultate bune la sudarea Al cu oțel carbon și inoxidabil, însă sudarea prin frecare a acestor oțeluri în combinație cu aliajele din Al este o problemă care necesită cercetări de la caz la caz. Din punct de vedere dimensional, realizarea îmbinărilor bimetal pentru dispozitivele port-anod necesită sudarea prin frecare a unor secțiuni mari, de 2800 mm<sup>2</sup> (DPA4,5) și 5000 mm<sup>2</sup> (DPA6), corespunzătoare unui diametru al componentelor de 60 mm, respectiv 80 mm.

2.1.-Materiale folosite la experimentări pentru dispozitivele port-anod DPA4,5,6

Toate îmbinările Oțel-Al sudate prin frecare pentru DPA4,5,6, au fost executate cu o componentă din ATSi5Fe (tabela 2.1). Diagrama de echilibru Al-Fe este de tip eutectic, cele două faze ale eutecticului sînt Al și compusul intermetalic FeAl<sub>3</sub>. La temperatura eutectică de 928K eutecticul conține 1,8%Fe. Solubilitatea maximă a Fe în Al este de 0,052%, ea scade rapid la 0,025% pentru temperatura de 873K și la 0,006% pentru 773K. După conținutul de Si, ATSi5Fe face parte din grupa aliajelor ușoare de turnătorie. Diagrama de echilibru are un eutectic la 850K cu 11,7% Si. Solubilitatea Si în Al variază cu temperatura în modul următor: [11]

|           |      |      |      |      |       |
|-----------|------|------|------|------|-------|
| - (K) ... | 850  | 823  | 723  | 623  | 523   |
| - Si%     | 1,65 | 1,30 | 0,48 | 0,17 | 0,008 |

Si îmbunătățește proprietățile de turnare ale aliajului și nu formează compuși cu Al. În afară de fazele Al, Si și FeAl<sub>3</sub> pot să apară compușii intermetalici ternari: Al<sub>12</sub>Fe<sub>3</sub>Si și Al<sub>9</sub>Fe<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> [110]. Mn înrăutățește proprietățile de turnare și mai ales fluiditatea, dar mărește rezistența la coroziune a aliajului și atenuează influența dăunătoare a Fe.

Avînd caracteristici mecanice corespunzătoare (tabela 2.2), aliajul ATSi5Fe este folosit în prezent pentru construcția tijelor anodice ale DPA1,2, utilizate în metalurgia Al. Din

această cauză, aliajul ATSi5Fe a fost însușit ca MB în toate îmbinările Oțel-Al sudate prin frecare pentru DPA4,5,6.

Rezistența îmbinărilor bimetale ale DPA4,5,6 este influențată de capacitatea de sudare prin frecare a componentei din oțel cu componenta din ATSi5Fe. Astfel, s-au cercetat șapte perechi materiale Oțel-ATSi5Fe pentru alegerea combinației de metale cu o bună comportare la sudare și cu însușiri corespunzătoare condițiilor de exploatare ale DPA4,5,6. Mărcile de oțel experimentate (tabela 2.1, 2.2) fac parte din următoarele grupe:

- oțeluri de construcție nealiaste ... OL37, OL42;
- oțeluri de construcție slab aliate ... OL52;
- oțeluri de cementare nealiaste ... OLC15;
- oțeluri aliate ... 25MOCr11, 33MOCr11, 30MOCrNi20.

Indicativul îmbinărilor Oțel-Al utilizate în cadrul cercetării este format din numărul care simbolizează maroa componentei din oțel urmat de numărul curent al îmbinărilor realizate cu aceeași combinație de metale sudate prin frecare (tabela 2.4). S-au efectuat prin sondaj analize chimice și măsurări de duritate pe un lot de materiale utilizate în construcția DPA5 (tabela 2.3), iar rezultatele obținute s-au comparat cu valorile respective prevăzute în standarde sau normative tehnice (tabela 2.1). Analiza chimică a pus în evidență un conținut de Si (2,18%) inferior față de cel considerat în compoziția aliajului ATSi5Fe (min.4,13%Si), iar măsurările de duritate au arătat că valorile determinate sînt cuprinse între 111 și 211 HB pentru OL37 respectiv între 46,1 și 48 HB pentru ATSi5Fe.

#### 2.2.-Pregătirea componentelor îmbinării Oțel-Al

Componenta din ATSi5Fe a îmbinărilor bimetale sudate prin frecare pentru DPA4,5 s-a debitat din tija anodică cu fereștrăul mecanic (figura 2.1, a) după care s-a obținut secțiunea transversală pătrată prin frezarea laturilor. Capătul care urma să fie sudat prin frecare s-a strunjit la  $\phi 60$ , iar capătul opus s-a prelucrat prin frezare la forma rostului pentru sudarea ulterioară a îmbinării bimetale cu tija anodică (figura 2.2, a, b). La DPA4, trei componente s-au prelucrat pe două laturi opuse (figura 2.2, a) și una pe două laturi alăturate (figura 2.2, b), iar la DPA5 toate componentele s-au pregătit conform figurii 2.2, b.

Compoziția chimică a componentelor sudate prin frezare

| Nr. crt. | Calitate                     | Compoziția chimică, % |      |      |      |      |      |       |       |      |      |      |    |      |      |      |   |
|----------|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|----|------|------|------|---|
|          |                              | Al                    | Mn   | Si   | Ti   | Zn   | Fe   | C     | S     | P    | Pb   | Sn   | Mg | Ni   | Cr   | Mo   |   |
| 1.       | ATS15Fe                      | rest max 4,13         |      |      | max  |      | 0,62 | -     | -     | -    | max  | max  |    |      |      |      |   |
|          |                              | 0,50                  | 4,88 | 0,20 | 0,10 | 0,70 |      |       |       | 0,20 | 0,10 | 0,10 |    |      |      |      |   |
| 2.       | OL37 STAS<br>500/2-80        | -                     | 0,85 | -    | -    | -    | 0,19 | 0,045 | 0,045 | -    | -    | -    | -  | -    | -    | -    | - |
|          |                              |                       |      |      |      |      | 0,25 | 0,065 | 0,065 |      |      |      |    |      |      |      |   |
| 3.       | OL42 STAS<br>500/2-80        | -                     | 0,85 | -    | -    | -    | 0,25 | 0,045 | 0,050 | -    | -    | -    | -  | -    | -    | -    | - |
|          |                              |                       |      |      |      |      | 0,31 | 0,065 | 0,065 |      |      |      |    |      |      |      |   |
| 4.       | OL52 STAS<br>500/2-80        | -                     | 1,65 | -    | -    | -    | 0,20 | 0,045 | 0,045 | -    | -    | -    | -  | -    | -    | -    | - |
|          |                              |                       |      |      |      |      | 0,22 | 0,055 | 0,055 |      |      |      |    |      |      |      |   |
| 5.       | OLC15 STAS<br>880-80         | -                     | 0,35 | -    | -    | -    | 0,12 | 0,020 | 0,035 | -    | 0,19 | -    | -  | -    | -    | -    | - |
|          |                              |                       |      |      |      |      | 0,18 | 0,045 | 0,040 |      | 0,25 |      |    |      |      |      |   |
| 6.       | 25 MoCr11<br>STAS<br>791-80  | -                     | 0,40 | 0,17 | -    | -    | 0,22 | 0,020 | 0,025 | -    | -    | -    | -  | -    | 0,90 | 0,15 |   |
|          |                              |                       | 0,80 | 0,37 |      |      | 0,29 | 0,035 | 0,035 |      |      |      |    | 1,30 | 0,30 |      |   |
| 7.       | 33MoCr11<br>STAS<br>791-80   | -                     | 0,40 | 0,17 | -    | -    | 0,30 | 0,020 | 0,025 | -    | -    | -    | -  | -    | 0,90 | 0,15 |   |
|          |                              |                       | 0,80 | 0,37 |      |      | 0,37 | 0,040 | 0,035 |      |      |      |    | 1,30 | 0,30 |      |   |
| 8.       | 30MoCrNi20<br>STAS<br>791-80 | -                     | 0,30 | 0,17 | -    | -    | 0,26 | 0,020 | 0,025 | -    | -    | -    | -  | 1,80 | 1,80 | 0,25 |   |
|          |                              |                       | 0,60 | 0,37 |      |      | 0,34 | 0,040 | 0,035 |      |      |      |    | 2,10 | 2,10 | 0,35 |   |



T A B E L A 2.2.

Caracteristicile mecanice ale componentelor sudate prin frezare

| Nr. Calitatea | Limita de curgere<br>Rp 0,2 | Rezistența la rupere la tractiune<br>Rm | Alungirea la rupere<br>A5 min | Reziliența<br>KCU<br>300/2 | Energia de rupere<br>kV<br>min | Duritate Brinell în stare recoaptă |                     |
|---------------|-----------------------------|---|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------|
|               |                             |   |                               |                            |                                |                                    | daN/mm <sup>2</sup> |
| 1             | 2                           | 3                                       | 4                             | 5                          | 6                              | 7                                  | 8                   |
| 1             | ATS15Fe                     | -                                       | 8,9-10,8                      | 1,6-2,4                    | 0,2                            | -                                  | -                   |
| 2             | OL37                        | 21-24                                   | 37-45                         | 25-26                      | 6-7                            | 2,8                                | -                   |
| 3             | OL42                        | 23-26                                   | 42-50                         | 22-23                      | 6-7                            | 2,8                                | -                   |
| 4             | OL52                        | 34-36                                   | 52-64                         | 21-22                      | 6                              | 2,8                                | -                   |
| 5             | OLC15                       | 36-45                                   | 60-90                         | 12-14                      | -                              | -                                  | 146                 |
| 6             | 25MeCr11                    | 68-80                                   | 90-120                        | 11-16                      | 7-8                            | -                                  | 217                 |
| 7             | 33MeCr11                    | 68-80                                   | 90-120                        | 11-16                      | 7-8                            | -                                  | 217                 |
| 8             | 30MeCrNi20                  | 90-105                                  | 125-145                       | 19-12                      | 6-8                            | -                                  | 248                 |

T A B E L A 2.3

Rezultatele controlului prin sondaj al unui lot de materiale pentru DPA5 [129]

| Material  | Analiza chimică    |                      |                   |                   |       |      |      |        |       | Duritatea<br>HB     |
|-----------|--------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------|------|------|--------|-------|---------------------|
|           | C                  | Mn                   | Si                | P                 | S     | Al   | Fe   | Mg     | Cu    |                     |
|           | %                  |                      |                   |                   |       |      |      |        |       |                     |
| OL37      | 0,17               | 0,73                 | 0,22              | 0,029             | 0,029 |      |      |        |       |                     |
| ATS15Fe   | -                  | 0,024                | 2,18              | -                 | -     | rest | 0,69 | 0,0035 | 0,081 | 5/750/5<br>10/500/5 |
| Duritatea |                    |                      |                   |                   |       |      |      |        |       |                     |
|           | HB <sub>1</sub>    | HB <sub>2</sub>      | HB <sub>3</sub>   | HB <sub>med</sub> |       |      |      |        |       |                     |
| OL37      | 118<br>152<br>211  | 111<br>152<br>202    | 117<br>153<br>189 | 156               |       |      |      |        |       |                     |
| ATS15Fe   | 46,1<br>45,9<br>48 | 46,7<br>46,9<br>46,1 |                   | 46,6              |       |      |      |        |       |                     |

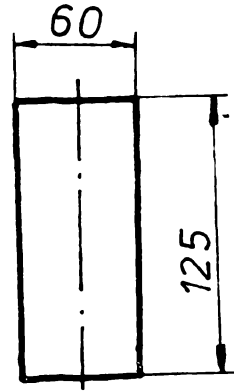
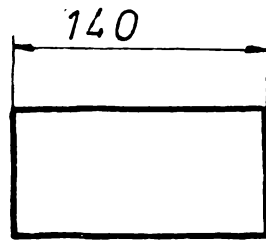
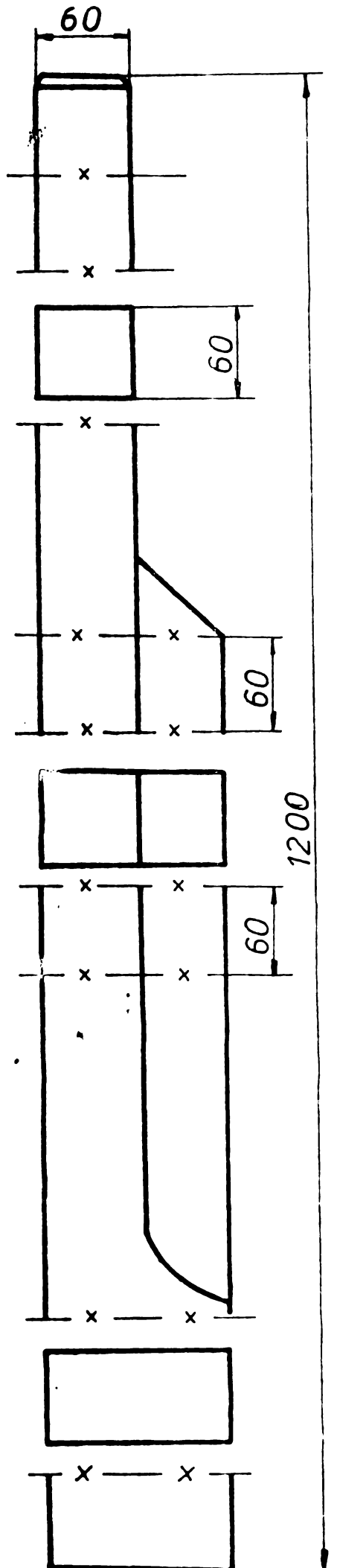


Tabela 2.4. Indicativul spruvetelor utilizate pentru controlul calității îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare.

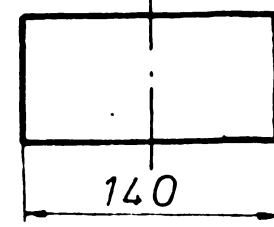
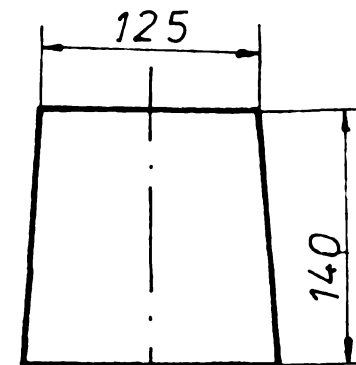
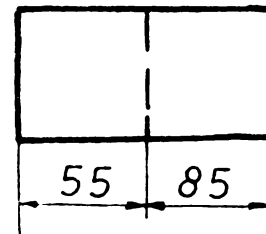
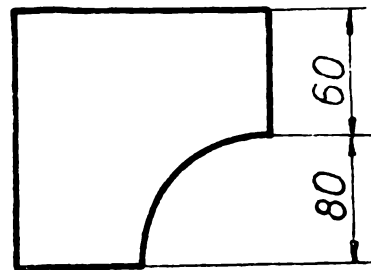
| Nr. crt. | Marea compenentei din oțel | Indicativul îmbinării bi-metal |
|----------|----------------------------|--------------------------------|
| 1        | 2                          | 3                              |
| 1        |                            | 6.4                            |
| 2        |                            | 6.5                            |
| 3        |                            | 6.6                            |
| 4        |                            | 6.7                            |
| 5        |                            | 6.8                            |
| 6        |                            | 6.13                           |
| 7        |                            | 6.14                           |
| 8        |                            | 6.15                           |
| 9        |                            | 6.16                           |
| 10       |                            | 6.17                           |
| 11       | OL 37                      | 6.20                           |
| 12       |                            | 6.23                           |
| 13       |                            | 6.24                           |
| 14       |                            | 6.26                           |
| 15       |                            | 6.28                           |
| 16       |                            | 6.30                           |
| 17       |                            | 6.31                           |
| 18       |                            | 6.32                           |
| 19       |                            | 6.33                           |
| 20       |                            | 6.37                           |
| 21       |                            | 2.2                            |
| 22       |                            | 2.4                            |
| 23       |                            | 2.16                           |
| 24       |                            | 2.25                           |
| 25       | OL 42                      | 2.29                           |
| 26       |                            | 2.31                           |
| 27       |                            | 2.32                           |
| 28       |                            | 2.34                           |
| 29       |                            | 5.1                            |
| 30       | OL 52                      | 5.2                            |
| 31       |                            | 5.3                            |
| 32       |                            | 5.4                            |

| 1  | 2     | 3    |
|----|-------|------|
| 33 |       | 5.5  |
| 34 |       | 5.10 |
| 35 |       | 5.14 |
| 36 |       | 1.15 |
| 37 |       | 5.17 |
| 38 |       | 5.20 |
| 39 | OL 52 | 5.21 |
| 40 |       | 5.22 |
| 41 |       | 5.24 |
| 42 |       | 5.25 |
| 43 |       | 5.33 |
| 44 |       | 5.34 |
| 45 |       | 1.1  |
| 46 |       | 1.2  |
| 47 |       | 1.3  |
| 48 |       | 1.4  |
| 49 |       | 1.5  |
| 50 |       | 1.6  |
| 51 |       | 1.7  |
| 53 |       | 1.9  |
| 54 | OLC15 | 1.20 |
| 55 |       | 1.21 |
| 56 |       | 1.24 |
| 57 |       | 1.26 |
| 58 |       | 1.34 |
| 59 |       | 1.35 |
| 60 |       | 7.1  |
| 61 |       | 7.2  |
| 62 |       | 7.3  |
| 63 |       | 7.5  |
| 64 |       | 7.6  |

| 1  | 2           | 3    |
|----|-------------|------|
| 65 |             | 7.7  |
| 66 |             | 7.8  |
| 67 | 25 Mo Cr 11 | 7.9  |
| 68 |             | 7.10 |
| 69 |             | 7.11 |
| 70 |             | 7.12 |
| 71 |             | 7.15 |
| 72 |             | 3.2  |
| 73 |             | 3.3  |
| 74 |             | 3.4  |
| 75 |             | 3.6  |
| 76 |             | 3.8  |
| 77 | 33 Mo Cr 11 | 3.9  |
| 78 |             | 3.12 |
| 79 |             | 3.13 |
| 80 |             | 3.14 |
| 81 |             | 3.15 |
| 82 |             | 3.16 |
| 83 |             | 4.1  |
| 84 |             | 4.9  |
| 85 |             | 4.10 |
| 86 |             | 4.18 |
| 87 |             | 4.19 |
| 88 |             | 4.20 |
| 89 |             | 4.13 |
| 90 |             | 4.21 |
| 91 |             | 4.23 |
| 92 | 30 Mo Cr 11 | 4.29 |
| 93 |             | 4.31 |
| 94 |             | 4.32 |
| 95 |             | 4.34 |
| 96 |             | 4.38 |



b.



a.

Fig.2.1.-Debitarea MB pentru DPA4,5:

a)debitarea componentelor din tija anodică de ATS15Fe;

b)debitarea componentei din OL37

La DPA6, pregătirea pentru sudarea prin frecare a rezultat din forma obținută prin turnarea tije de Al. Componenta din oțel a DPA4,5,6, s-a debitat cu fereștrăul mecanic (figura 2.1,b), apoi prin strunjire s-a realizat conicitatea suprafeței frontale a unui capăt și adaosul tehnologic, cu  $\phi 30$  la al doilea capăt (figura 2.2,c). Acest adaos se introduce în mandrina mașinii de sudat prin frecare și se îndepărtează după sudare, prin tăiere cu oxigen. Prelucrarea capetelor MB s-a făcut astfel ca unghiul de înclinare a suprafețelor frontale ale conului să nu fie mai mare de  $5...7^\circ$  față de planul normal la axa componentelor

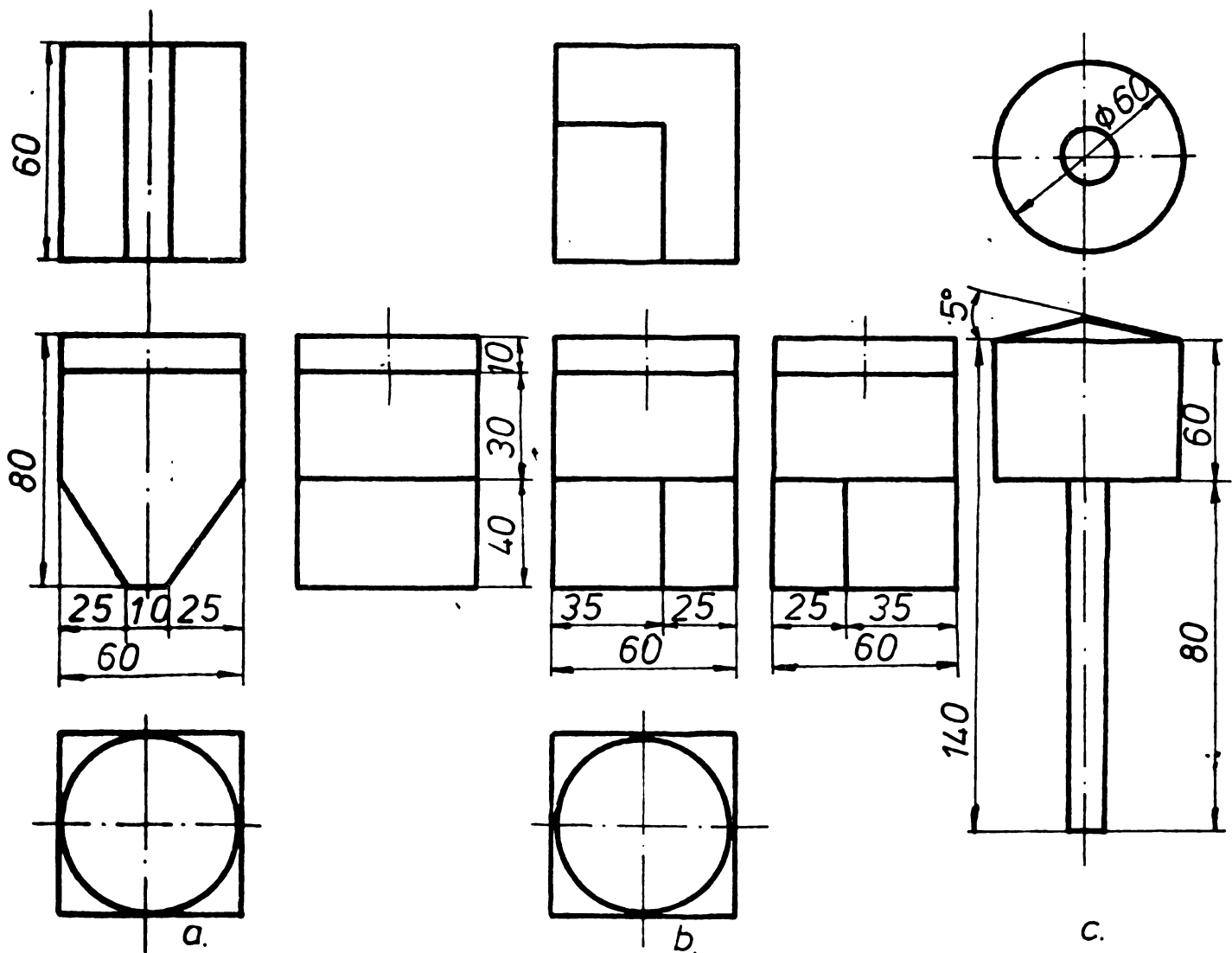


Fig.2.2.-Pregătirea componentelor pentru sudarea prin frecare: a)componentă din Al pentru DPA4, b)componentă din Al pentru DPA4,5, c)componentă din oțel pentru DPA4,5,6

Modul de curățire a aliajului AlSi15Fe înainte de sudarea prin frecare a cuprins următoarele operațiuni [55, 67]:

- umedirea suprafeței cu o soluție de NaOH în concentrație de 10...20% la temperatura de 323...353K;
- spălarea cu apă rece abundentă;
- neutralizare cu o soluție de HNO<sub>3</sub> în concentrație de 15...20% la temperatura normală prin scufundare de pînă la 30s;
- spălare cu apă rece și apoi cu apă fierbinte.

Curățirea componentei din oțel s-a efectuat prin polizare la luciu metalic.

### 2.3. -Utilejul folosit la sudare

La sudarea DPA4,5,6, s-au folosit mașinile de sudat prin frecare tip ZTs-10 și MSF-40 (figura 2.3). În urma comparării performanțelor celor două mașini de sudat utilizate, s-a constatat că MSF-40 prezintă caracteristici tehnice superioare față de ZTs-10 (tabela 2.5). Procesul de sudare prin frecare a DPA4,5,6 cuprinde următoarele etape și operații:

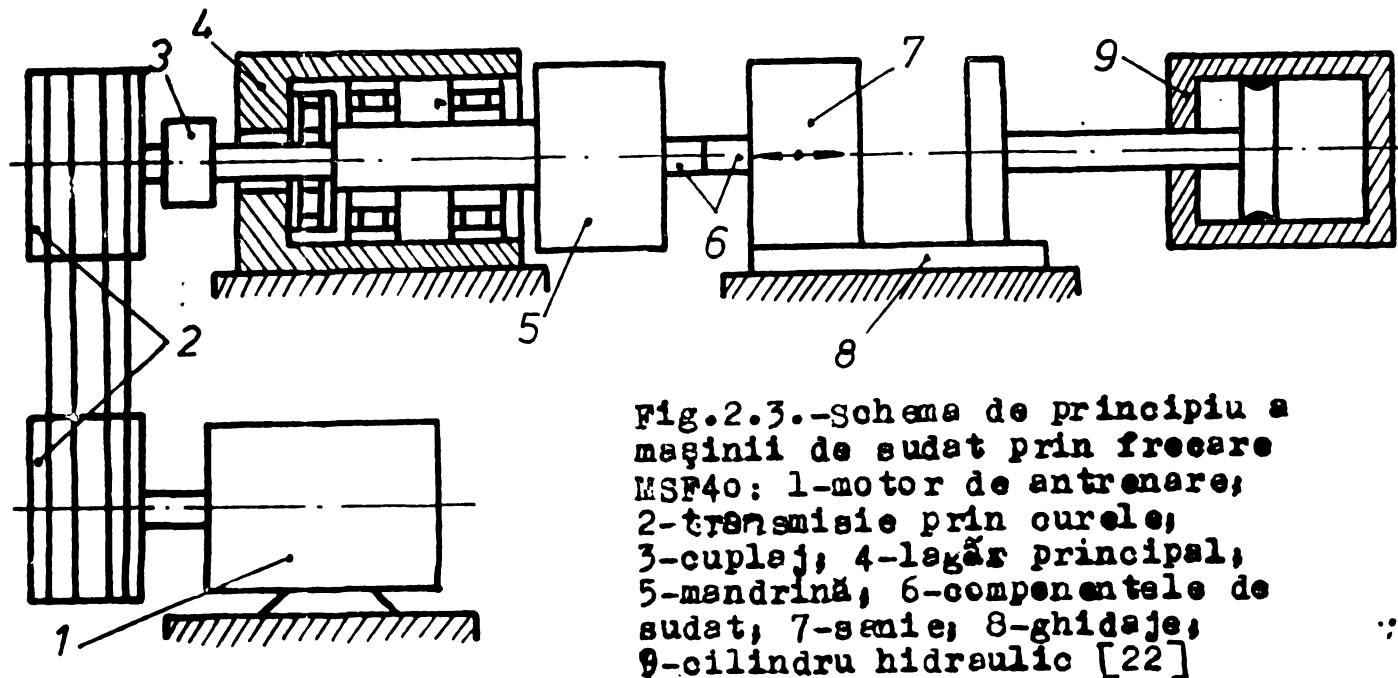


Fig.2.3.-Schema de principiu a mașinii de sudat prin frecare MSF40: 1-motor de antrenare; 2-transmisie prin curele; 3-cuplaj; 4-legătură principală; 5-mandrină; 6-componentele de sudat; 7-sanie; 8-ghidaj; 9-cilindru hidraulic [22]

- prinderea componentei din Al în becurile de pe sanie și a celei din oțel în mandrină;
- avansul saniei pînă la contactul celor două componente din metale diferite;
- etapa de frînare;
- etapa de refluxare;
- retragerea saniei cu piesa sudată și deschiderea becurilor.

Cu excepția prinderii componentei din Al în bacuri și desfacerea acestor bacuri, celelalte operații se realizează automat. Se reglează parametri:

- forța de strângere a componentelor;
- forța de frecare;
- forța de refulare;
- timpul de menținere a forței de frecare;
- timpul de întârziere a frînării arborelui principal;
- timpul de menținere a forței de refulare.

#### 2.4. Parametri tehnologici și regimul de sudare

Parametrii regimului de sudare prin frecare sînt: viteza de mișcare relativă a componentelor de sudat, presiunea de refulare, timpul de frecare, timpul de refulare și scurta-rea axială.

T A B E L A 2.5

Mașini de sudat prin frecare cu turația de cca 1450 rot/min utilizate la sudarea DPA4,5,6

| Nr. crt. | Caracteristici tehnice  | ZTa-10                             | MSF-40      |
|----------|---|------------------------------------|-------------|
| 1        | Puterea motorului electric de antrenare KW  | 13                                 | 45          |
| 2        | Turația motorului electric și a piesei de sudat, rot/min                            | 1450                               | 1450        |
| 3        | Secțiunea maximă a pieselor de sudat (bare și țevi), oțel ne-aliat, mm <sup>2</sup> | 700                                | 3000        |
| 4        | Lungimea maximă a pieselor de sudat, mm   | în mandrină 200<br>în menghină 200 | 350<br>1500 |
| 5        | Forța de frecare maximă, daN  | 4500                               | 28000       |
| 6        | Forța de refulare maximă, daN   | 10000                              | 40000       |
| 7        | Timpul de frecare, s  | 2...20                             | 1,6...41    |
| 8        | Timpul de refulare, s   | 0,5...0,6                          | 0,08...10,2 |

Poziția componentelor în timpul sudării este orizontală. Valorile parametrilor de sudare (tabela 2.6) s-au stabilit luîndu-se în considerare:

- secțiunea componentelor de sudat,
- calitatea materialelor;
- performanțele mașinii de sudat prin frecare.

Rezultatele obținute la sudarea îmbinărilor Oțel-Al s-au comparat cu unele valori recomandate la sudarea prin frecare a îmbinărilor având componentele realizate din același metal (tabela 2.7). Pe baza a cca 500 probe s-au cercetat influențele reciproce între parametri tehnologici precum și asupra calității îmbinărilor bimetal și s-au comparat cu unele valori recomandate la sudarea unor îmbinări omogene, întrucât în literatura tehnică de specialitate nu se găsesc date similare pentru sudarea prin frecare a unor îmbinări de secțiuni mari ( $2826 \text{ mm}^2$ ), realizate între componente din oțel și aliaje Al-Si.

T A B E L A 2.6

Regimul de sudare prin frecare al îmbinărilor Oțel-Al

| Diame-<br>trul<br>îmbi-<br>nării<br>bime-<br>tal | Tipul<br>mașii<br>de<br>sudat<br>prin<br>frecare | Presiunea       |                       | Timpul          |                |                  | Scur-<br>tarea<br>axială<br>mm | Vite-<br>za<br>rela-<br>tivă<br>m/s |
|--|--|-----------------|-----------------------|-----------------|----------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
|  |  | de fre-<br>care | de re-<br>fula-<br>re | de fre-<br>care | de în-<br>nare | de re-<br>fulare |                                |                                     |
| 15   |  | 1,2             | 1,6                   | 5,26            | 0,175          | 1,32             | 15...17                        | 1,30                                |
| 18   |  | 1,4             | 1,8                   | 5,26            | 0,175          | 1,32             | 14...16                        | 1,36                                |
| 20   | ZT-10  | 1,5             | 1,8                   | 6,00            | 0,175          | 1,32             | 11...14                        | 1,51                                |
| 60   |  | 3,0             | 3,5                   | 16,37           | 0,220          | 2,11             | 6...10                         | 4,55                                |
| 88   |  | 4,5             | 4,8                   | 20,00           | 0,300          | 2,325            | 5...8                          | 6,68                                |
| 60   | MSP40  | 30              | 60                    | 20,48           | 0,80           | 1,020            | 23..26,7                       | 4,55                                |

Examinând aceste probe s-au constatat următoarele:

- viteza relativă  $V_r$  influențează durata operației de sudare;
- prin creșterea  $V_r$  durata ciclului de sudare se reduce din cauza stabilizării mai de vreme a momentului de frecare, ceea ce influențează presiunea necesară încălzirii și scăderea cantității de metal consumat în baură;
- prin scăderea  $V_r$  încălzirea scade, în special în vecinătatea axei, astfel putînd rezulta o repartizare neuniformă a căldurii în planul de frecare.

La sudarea prin frecare a DPA5,  $V_r$  depășește cu 50% limita superioară a intervalului recomandat pentru oțeluri, iar după parametrul  $n.d_n$  sudarea îmbinărilor Oțel-Al are loc în condiții

T A B E L A 2.7.

Relații și valori recomandate la sudarea prin frecare a componentelor din același material [5, 18, 22, 129] comparativ cu rezultatele sudării îmbinărilor Oțel-Al ale DPA5

| Nr. crt. | Valoarea parametrului sau relația recomandată  | Semnificația termenilor                        | Unitatea de măsură | Relații de transformare  | Valori echivalente la îmbinări bimetale sudate cu mașinile: ZTa-10 MSF-40 |                   |
|----------|--|--|--------------------|--|---|-------------------|
| 1        | 2  | 3  | 4                  | 5  | 6   | 7                 |
| 1        | Oțel-Oțel<br>$V_r = 0,6 \dots 3$   | $V_r$ : viteza relativă                        | m/s                | -  | 4,55  | 4,55              |
| 2        | n.d. <sub>n</sub> =<br>Oțel+Oțel = $3 \cdot 10^4$<br>Cu + Cu = $(4 \dots 4,5) \cdot 10^4$<br>Ti + Ti = $(8 \dots 10) \cdot 10^4$ | n: turația<br>$d_n$ : diametrul nominal        | mm/min             | -  | $8,70 \cdot 10^4$   | $8,76 \cdot 10^4$ |
| 3        | Oțel nealiat<br>$p_f = 300 \dots 600$<br>Al 99,5<br>$p_f = 150$  | $p_f$ : presiunea de frecare                   | bar                | -  | 3   | 30                |
| 4        | $\frac{p_r}{p_f} = 1,5 \dots 3$  | $P_r$ : presiunea de refulare                  |                    |  | 1,17  | 2                 |
| 5        | $p_r > (0,20 \dots 0,14) R_m$  | $R_m$ : rezistența la rupere la tracțiune a MB | bar                | ATSi5Fe<br>$R_m = 890 \dots 1040$<br>$p_r = 0,14 \cdot 890$<br>$p_r = 125$ | 3,5   | 60                |
| 6        | $\Delta l_a = (0,5 \dots 0,75) d$  | $\Delta l_a$ : scurta-rea axială               | mm                 | $d = 60$<br>$\Delta l_a = 0,5 \cdot 60$<br>$\Delta l_a = 30$               | $6 \dots 10$  | $23 \dots 26,7$   |



similare cu sudarea Ti (tabela 2.7). Reducerea  $V_r$  este posibilă prin folosirea unor mașini de sudat prin frecare cu turația sub 800 rot/min (tabela 2.8).

Compresiunea specifică influențează rezistența sudurii prin deformațiile plastice cât și prin configurația câmpului termic pe care le determină.

T A B E L A 2.8

Mașini de sudat prin frecare cu turația sub 800 rpm 22

| Tip mașină        | Pute-<br>rea<br>kW | Turația<br>rot/min | Forța<br>de<br>refu-<br>lare<br>kN | Diametrul<br>îmbinării<br>mm |
|-------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------|
| ZT3-22 R.P.P.     | 22                 | 800                | 200                                | 45                           |
| MST-2001          | 40                 | 750                | 200                                | 16...50                      |
| ZT-40 R.P.P.      | 40                 | 700                | 400                                | 10...70                      |
| ZT-100 R.P.P.     | 100                | 700                | 740                                | 32...70                      |
| RSM-50 R.D.G.     | 30                 | 500...1500         | 200                                | 30...60                      |
| MST-6001 U.R.S.S. | 75                 | 500                | 600                                | 32...70                      |
| SR-100 R.D.G.     | 100                | 400                | 1000                               | 35...100                     |

presiunea de frecare,  $p_f$ , determină valoarea momentului de frecare, respectiv cantitatea de căldură generată, determinând prin aceasta temperatura maximă în zona de sudare. Presiunea de frecare este în strînsă corelație cu timpul de frecare  $t_f$ , la o anumită viteză relativă. Cu cât crește  $p_f$  cu atât scade  $t_f$  necesar pentru a asigura o anumită deformare plastică. Valoarea presiunii de refulare  $p_r$  influențează rezistența sudurii, datorită acțiunii sale asupra granulației materialului. La o refulare excesivă, materialul încălzit este împins în bavură și zonele calde vor veni în contact cu zone de metal mai reci, rezultînd îmbinări cu caracteristici mecanice slabe. Creșterea  $p_f$  la valoarea  $p_r$  se face după oprirea componentei în rotație, deoarece la cîteva fracțiuni de secundă după oprire, metalul din îmbinare nu se răcește și efectul refulării nu se schimbă. Dacă crește presiunea în timpul rotirii, se produce un surplus de creștere a căldurii și crește consumul de metal. Presiunile de frecare

și refulare utilizate la sudarea DPA5, sînt mai mici decît valorile parametrilor  $p_f$  și  $p_r$  recomandate pentru îmbinări omogene (tabelă 2.7), însă cu mașina de sudat MSP-40 s-au obținut presiuni, în cele două faze ale procesului de sudare, de 17 ori, respectiv de 17 ori mai mari decît cele produse cu mașina de sudat prin frecare ZTa-10. La sudarea Al 39,5,  $p_f$  este superioară celei utilizate în cazul îmbinărilor bimetal, întrucît pierderile de căldură în MB la sudarea a două componente din Al sînt mai mari decît într-o îmbinare Oțel-Al. Cu MSP-40 s-au realizat îmbinări la care raportul  $p_r/p_f = 2$ , se încadrează în intervalul 1,5...3. recomandat, dar la mașina ZTa-10 valoarea acestui raport este numai 1,17 (tabelă 2.7).

Timpul de frecare  $t_f$  s-a ales astfel încît să asigure o distribuție uniformă a temperaturii pe suprafețele frontale ale componentelor de sudat și o expulzare a impurităților prezente inițial pe respectivele suprafețe. Corespunzător  $p_f$  utilizate, există un domeniu limitat al  $t_f$  pentru producerea unor suduri satisfăcătoare. La timpi scurți, sudurile s-au rupt în îmbinare datorită neconsolidării ei. În cazul folosirii unor timpi mai lungi de frecare, rezistența s-a micșorat datorită formării unor structuri grosolane și formării unor creștături la baze bavurii. La sudarea prin frecare a două materiale diferite,  $t_f$  necesar obținerii unor suduri corespunzătoare, variază în limite strînse și stabilirea lui este mai dificilă. La sudarea îmbinărilor Oțel-Al ale DPA4,5,6, cu mașina ZTa-10  $t_f$  (tabelă 2.6) reprezintă 21...100% din timpul maxim realizabil cu această mașină. La sudarea îmbinărilor bimetal cu  $\phi 88$  pentru DPA6 pe mașina ZTa-10 s-a folosit același  $t_f$  cu care s-au sudat îmbinările Oțel-Al de  $\phi 60$  pentru DPA5 pe mașina MSP-40, ceea ce arată că mașina de sudat prin frecare ZTa-10 nu este corespunzătoare pentru sudarea DPA4,5,6. Timpul de refulare  $t_r$ , comparativ cu cel de frecare, nu s-a ales la valori prea mari, deoarece la oprirea mișcării relative sudura se răcește cu viteză mare. Scurtarea axială, care rezultă în urma acțiunii forței axiale, are și rolul de a îndepărta oxizii și impuritățile din planul de îmbinare, ceea ce este cu atât mai dificil cu cît diametrul pieselor de sudat este mai mare. Din acest motiv  $\Delta l_f$  se stabilește în funcție de

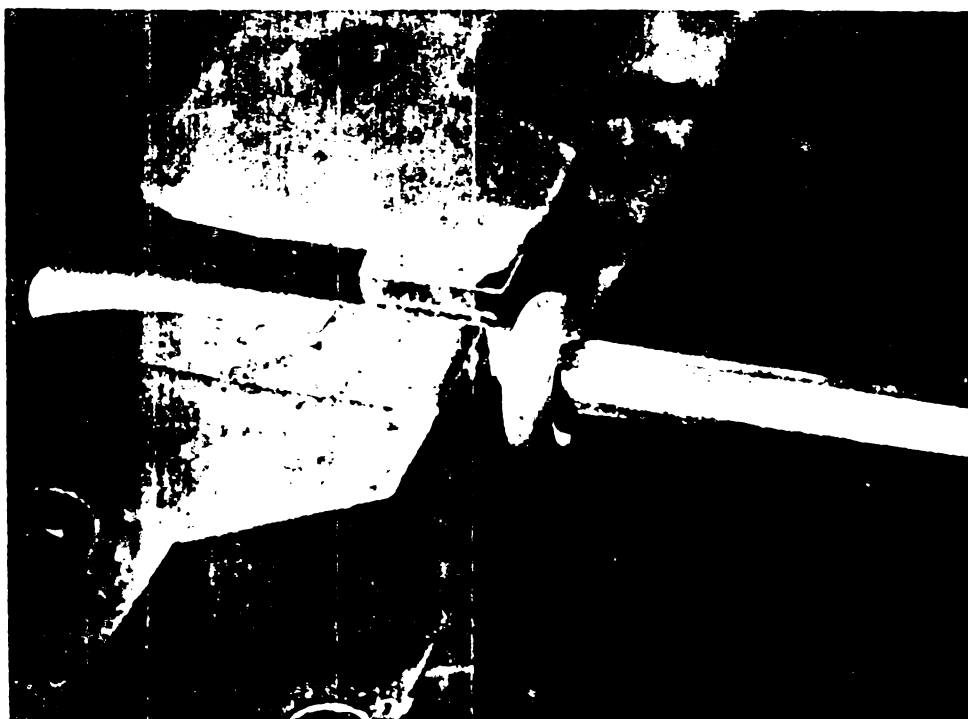
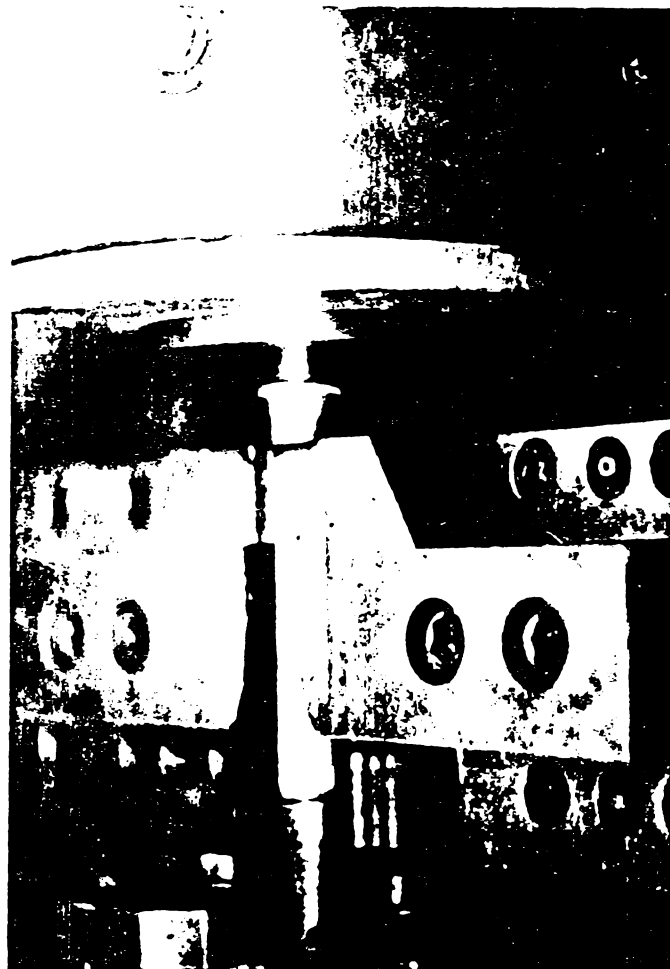
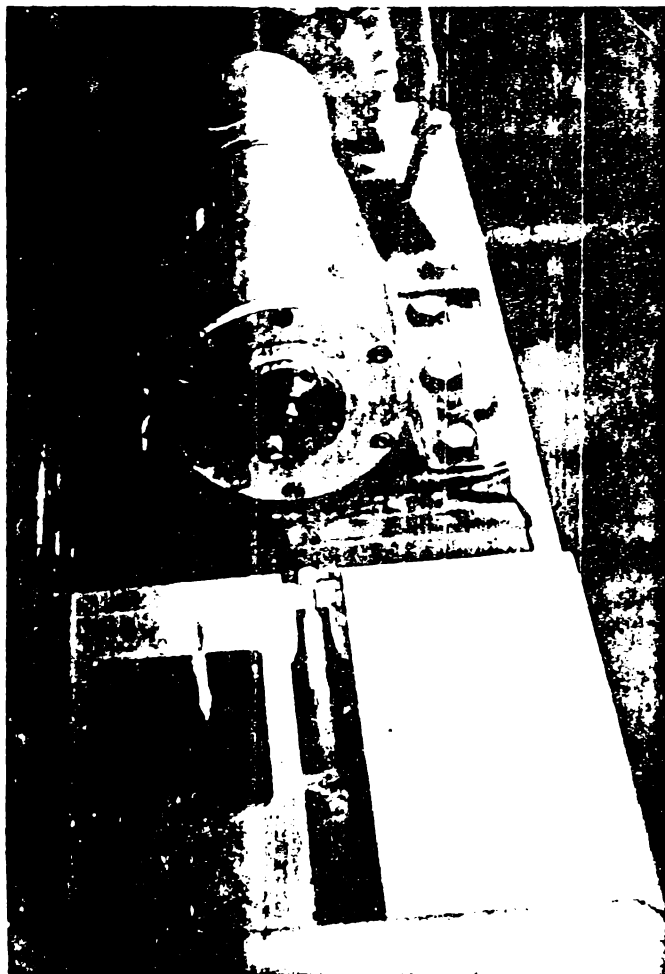


Fig.2.4.-Sudarea prin frecare a înălțărilor Oțel-Al:  
a) pregătirea pentru sudare; b) în timpul procesului de sudare;  
c) după sudare

diametru și există valori recomandate la sudarea metalelor de același fel (tabela 2.7).  $\Delta l_0$ , realizată cu mașina MSF-40 la sudarea îmbinărilor Oțel-Al ale DPA5, este apropiată de valoarea recomandată pentru îmbinări omogene (26,7 mm față de 30 mm).  $\Delta l_0$  obținută cu mașina ZTA-10 a fost de 3...5 ori mai mică, ceea ce a cauzat dislocația într-o măsură mai mică a oxizilor în bavură. Din cercetările efectuate, îmbinările bimetal pentru DPA5 executate cu mașina ZTA-10 au prezentat caracteristici mecanice inferioare.

## 2.5.-Procesul de sudare

### 2.5.1.-Sudarea dispozitivelor port-anod DPA4,5

În vederea sudării, componenta din ATSi5Fe se prinde în bacuri, iar cea din oțel se fixează în mandrina mașinii de sudat prin frecare (figura 2.4).

Figura 2.5 ilustrează o îmbinare Oțel-Al care s-a executat cu mașina de sudat prin frecare MSF-40, folosind regimul de sudare indicat în tabela 2.6. După sudare, îmbinarea

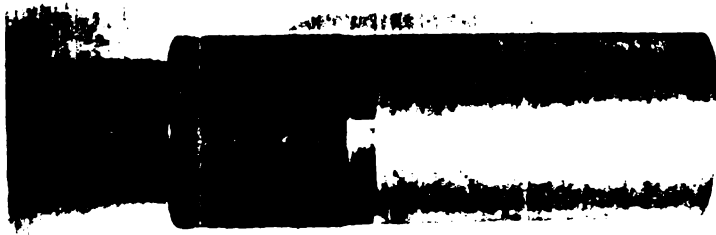


Fig.2.5.-Imbinare Oțel-Al cu o60, debavurată și prelucrată

bimetal este supusă la următoarele operații de prelucrare mecanică:  
-tăierea la ferestrău a adaosului tehnologic ( $\phi 30$ , figura 2,2,c), care a fost necesar pentru prinderea componentei din oțel

în mandrina mașinii de sudat prin frecare;  
-frezarea pe două laturi a componentei din aliaj de Al pentru îndepărtarea bavurii rezultate după sudare.

Bavura, care este păstrată pe două laturi ale îmbinării bimetal, funcționează ca un radiator de căldură în timpul exploatării dispozitivului port-anod.

Pentru construcția DPA4 se utilizează îmbinări Oțel-Al aflate în acest stadiu de prelucrare mecanică (figura 2.6,a).

La DPA5 lucrările de pregătire continuă prin asamblarea și sudarea tetrapiedului bimetal. Tetrapiedul Oțel-Al este construcție nouă sudată prin frecare, propusă pentru înlocuirea plăcuței bimetal sudată prin explozie, care se utilizează în prezent în metalurgia Al. Acest tetrapied se obține

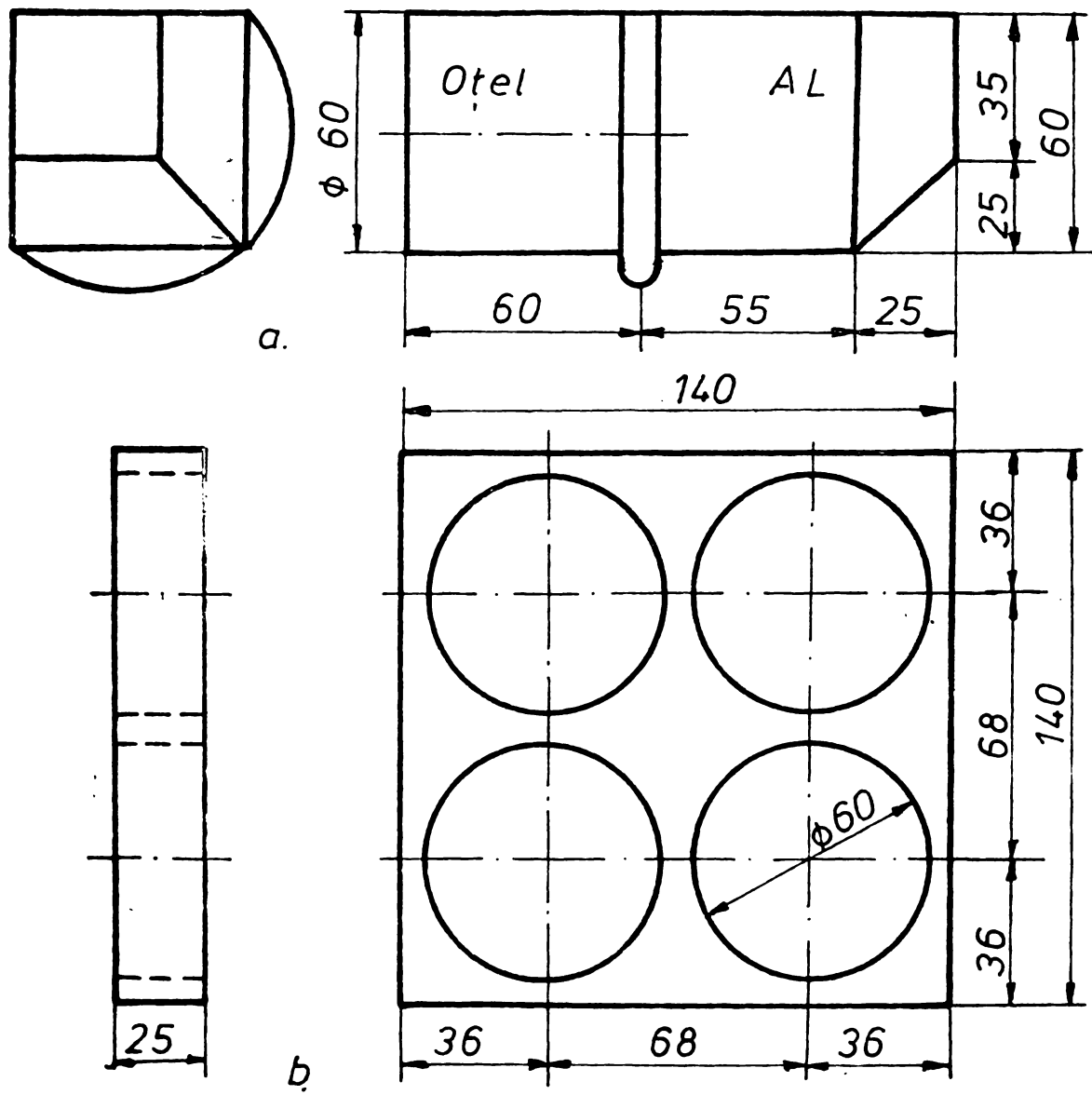


Fig. 2.6.-Tetrapied Oțel-Al pentru DPA5: a) îmbinare bimetal sudată prin frecare; b) placă din oțel; c) vedere de ansamblu

din patru îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare și o placă din oțel OL37 prevăzută cu patru găuri (figura 2,6.b). Componentele din oțel ale tetrapiedului se asamblează și se îmbină prin sudură electrică manuală. La asamblarea DPA5, partea din Al a bimetalului astfel format se îmbină cu tija din aliaj de Al prin procedeul MIG, iar subansamblul tijă anodică - tetrapied bimetal se așează cu placa din OL37 pe tetrapodul din oțel al dispozitivului port-anod, de care se sudează manual cu electrod învelit. Tetrapiedul Oțel-Al pentru DPA5, gata sudat, se prezintă în figura 2,5,c.

#### 2.5.2. - Sudarea dispozitivului port-anod DPA6

DPA6 este realizat cu o tijă din aliaj ATSi5Fe, obținută prin tumare, prevăzută cu patru ramificații, de care se sudează prin frecare cele patru componente din oțel ale dispozitivului port-anod. Întrucât modificarea constructivă adoptată permite sudarea directă de tijă a părții din oțel, la DPA6 sînt eliminate îmbinările de tip Al-Al sudate prin procedeul MIG, îmbinări care există la dispozitivele port-anod DPA1,3,4,5 [10]. În vederea sudării tija anodică se montează pe mașina de sudat prin frecare 1 (figura 2.7). În acest scop coloana tijeii 2 se introduce în dispozitivul 3, putînd efectua o deplasare în lungul batiului mașinii și o mișcare de rotație în jurul axei longitudinale. Dispozitivul este rezemat pe fundație; astfel încît greutatea proprie și greutatea tijeii din aliaj de Al nu încarcă construcția mașinii de sudat prin frecare. Ramificația 4 a coloanei se prinde în bacurile 5, iar componenta din oțel 6, se fixează în mandrină, asigurîndu-se liniaritatea axei sale cu axa terminației cilindrice 7 a componentei din Al. Presiunile de frecare și de refulare se produc prin acționarea pistonului de forță al mașinii de sudat asupra proeminenței 8, care imprimă tijeii anodice o mișcare longitudinală. După refulare sania revine în poziția inițială, bacurile se deschid, cu dispozitivul 3 se rotește coloana tijeii din Al și se restabilesc condițiile pentru sudarea ramificației următoare. Procesul de sudare prin frecare al DPA6 se încheie, astfel, după patru cicluri de sudare a componentelor din oțel cu tija din Al. Parametrii regimului de sudare se aleg corespunzător diametrului componentelor de 88mm (tabela 2.6).

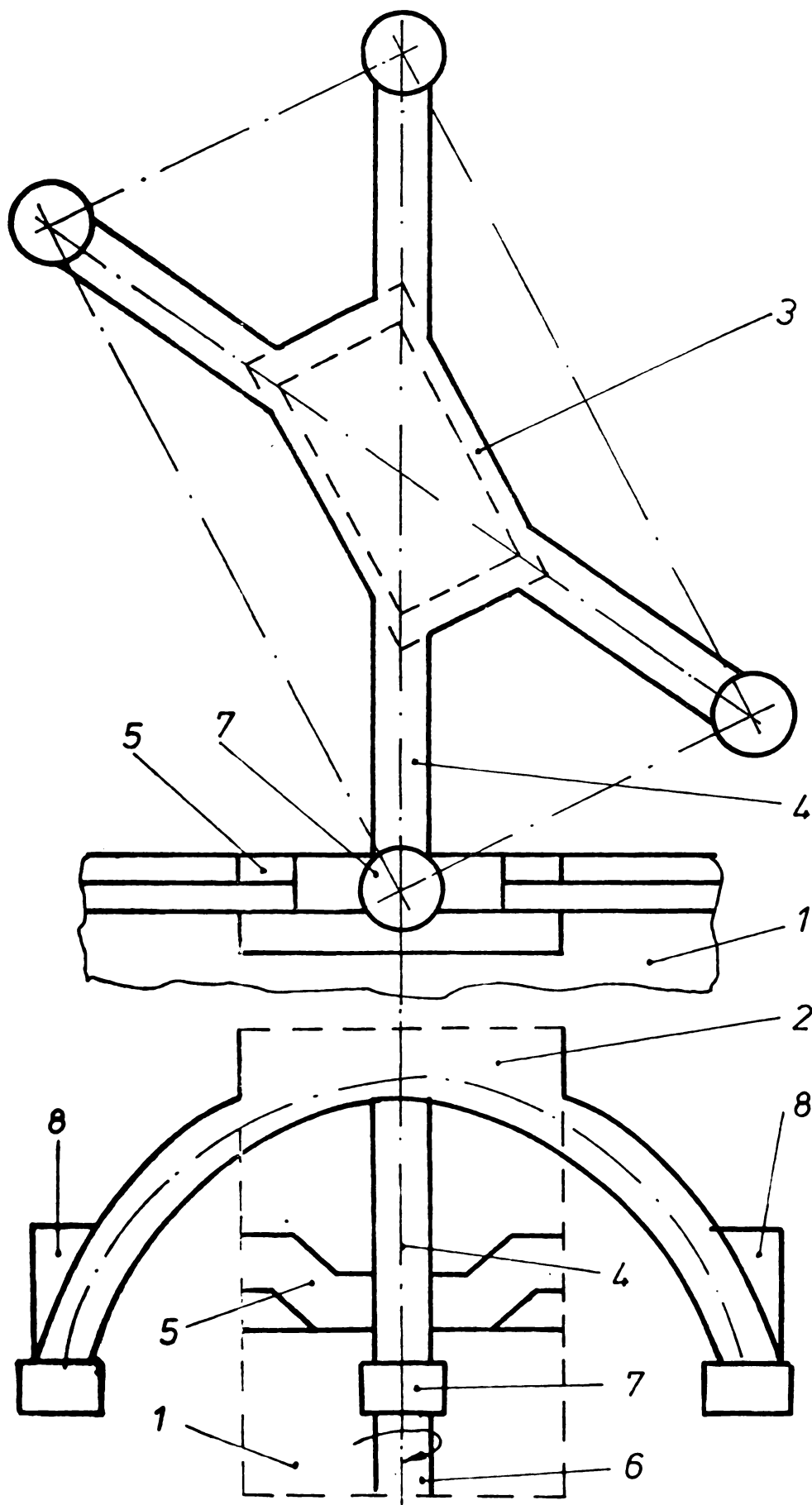


Fig.-2.7.-Sudarea prin frecare a DP6 cu patru ramificații: 1-batiul mașinii de sudat; 2-coleasa tijei șnodice; 3-dispozitiv de poziționare a tijei; 4-ramificațiile colesnei tijei; 5-becuri; 6-componenta din oțel; 7-terminația cilindrică a ramificațiilor; 8-proeminențe.



În cadrul cercetărilor experimentale pentru realizarea dispozitivului port-anod DPA6 sudat prin frecare, au fost rezolvate următoarele probleme:

- proiectarea DPA6 în condiții de similitudine geometrică și funcțională cu DPA1;
- executarea unei machete din lemn a DPA6, la scara 1:1;
- verificarea DPA6 pe linia de asamblare a anozilor și efectuarea corecturilor de formă și dimensionale impuse de trecerea DPA6 la toate instalațiile aflate pe această linie de asamblare;
- stabilirea tehnologiei de turnare, realizarea modelului de turnare și turnarea din aliaj ATSi5Fe a tijei DPA6, prevăzută cu patru ramificații;
- sudarea prin frecare a DPA6.

Datorită volumului mare al lucrărilor de pregătire, experimentările privind sudarea DPA6 cu patru ramificații, au avut o durată mai lungă de realizare. Reducerea acestei durate s-a obținut prin folosirea tijei anodice a DPA2, utilizată în prezent în metalurgia Al, în urma sudării prin frecare cu componentele din oțel, rezultând DPA6 cu două ramificații. În timpul procesului de sudare tija din Al a fost așezată pe două piese de susținere și ghidare, montate pe un suport metalic. Sistemul de

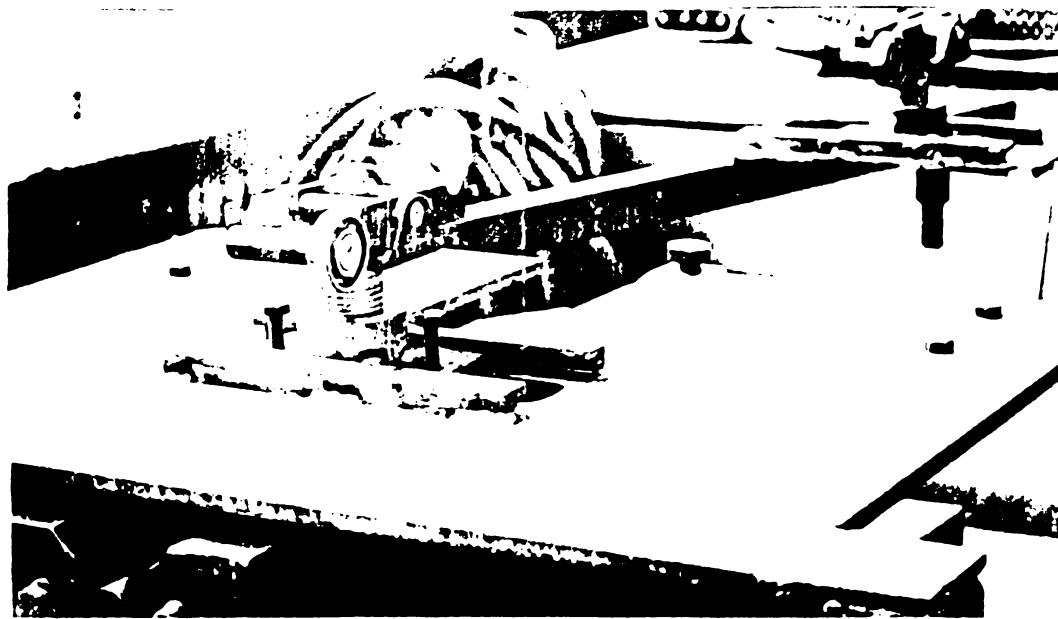


Fig.2.8.-Dispozitiv de poziționare a DPA6 cu două ramificații  
rulare a fost alcătuit din patru rulmenți, reglarea pe verticală s-a făcut prin intermediul unei îmbinări șurub-piuliță cu filet pătrat și un sistem de ghidare a permis deplasarea tijei transversal pe mașina de sudat (figura 2.8).

După prinderea în becuri, cele două ramificații s-au aflat într-un plan vertical (figura 2.9). Intrucît suprafața frontală a componentelor din Al, datorită geometriei tijei, s-a aflat prea sus față de suprafața frontală a componentei din oțel prinsă în mandrina mașinii de sudat prin frecare, a rezultat un contact parțial între suprafețele care urmau a fi îmbinate. Acest neajuns s-a înlăturat prin frezarea la exterior a ramificațiilor, deplasarea suprafeței de rezemare spre axa componentei din Al determinînd coborîrea corespunzătoare a terminației tijei din Al. Pe ramificația inferioară s-au sudat succesiv două componente din oțel (figura 2.10,a,b), apoi s-a adus a doua ramificație în poziția de sudare și s-au sudat următoarele două componente din oțel (figura 2.10,c,d). Astfel, tija din aliaj de Al, în vederea sudării, a efectuat următoarele mișcări:



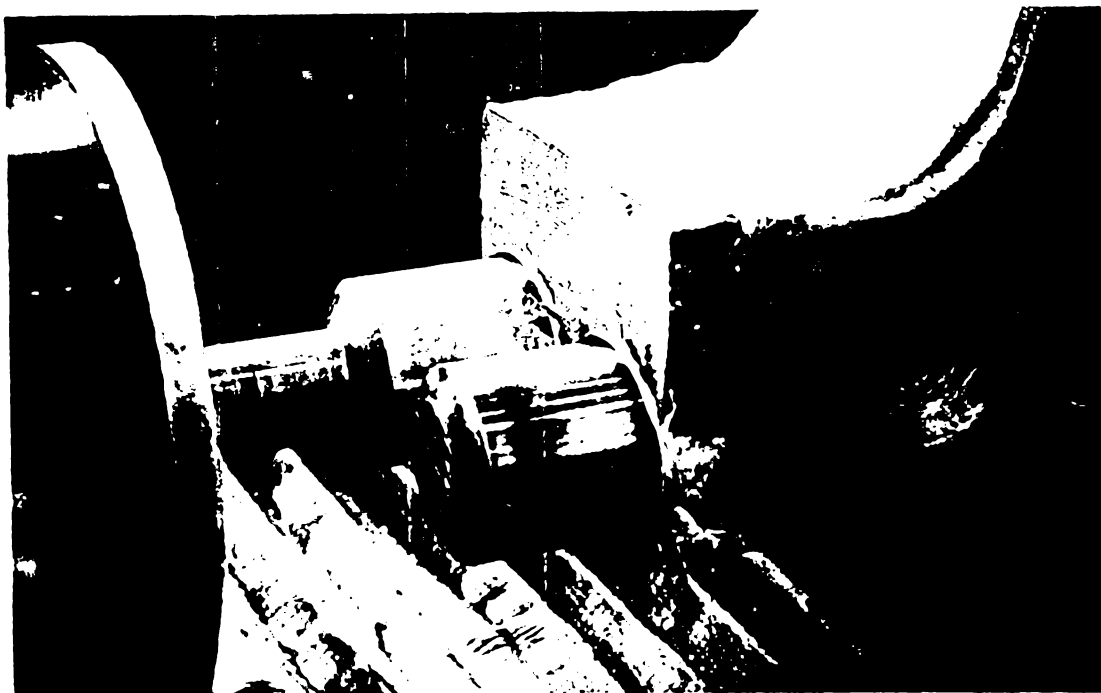
Fig.2.9.-vedere de ansamblu la sudarea prin frecare a DPA6 cu două ramificații

- longitudinală, pentru realizarea **prestunghilor** de frecare și refulare;
- transversală, pentru poziționare în raport cu axa componentei din oțel care este fixată în mandrina mașinii de sudat prin frecare;
- de rotație în jurul axei, pentru schimbarea poziției ramificațiilor.

La fiecare ramificație, după sudarea primei componente din oțel se îndepărtează porțiunea cu care a fost fixată în mandrină, pentru a permite cursa de apropiere a tijei la sudarea îmbinării bimetal următoare. Parametrii regimului de sudare s-au ales corespunzător diametrului componentelor din oțel de 60 mm (tabela 2.6).

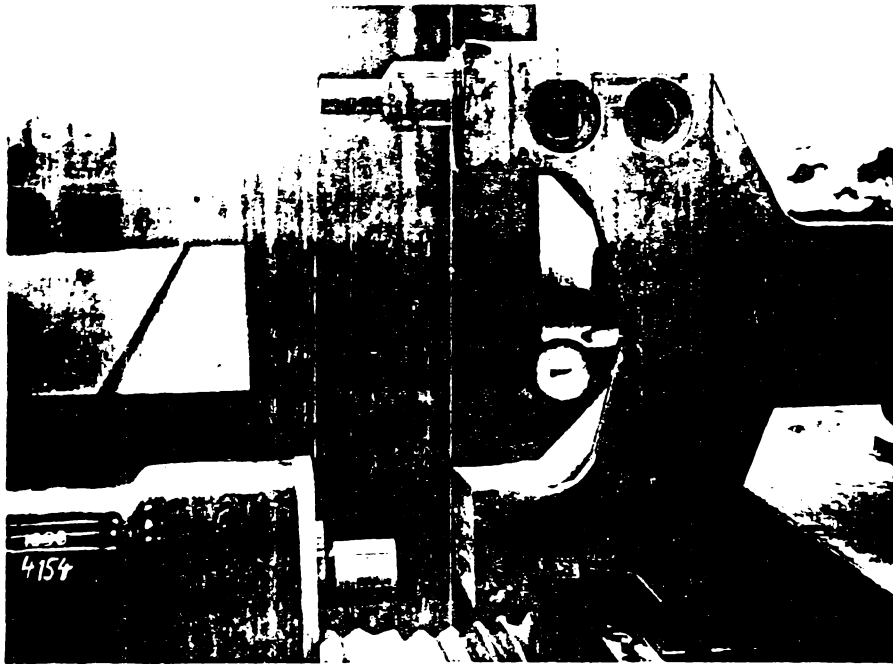


a)



b)

Fig.2.10.-Ordinea de sudare prin frecare a îmbinărilor Oțel-Al ale DPA6 cu două ramificații; a) sudarea componentei 1 din oțel; b) sudarea componentei 2 din oțel.



c)

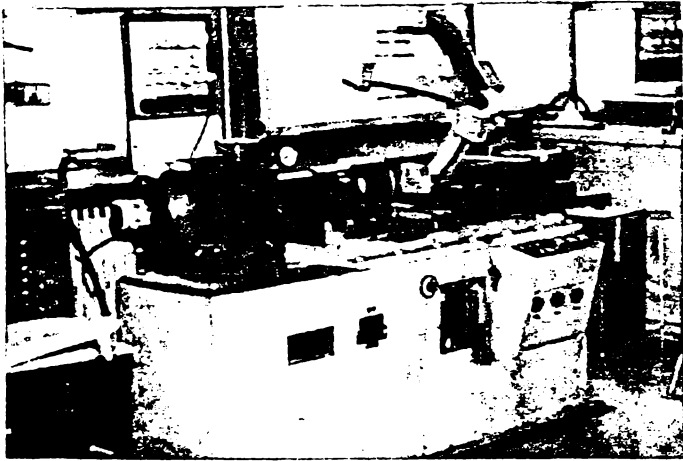


d)

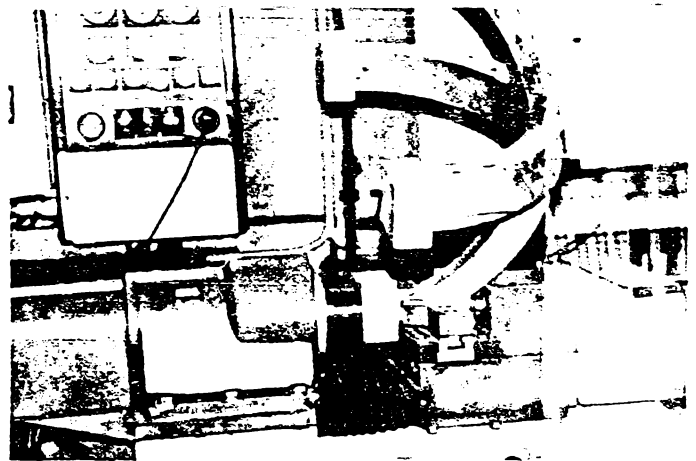
Fig.2.10. c) sudarea componentei 3 din oțel ,  
d) sudarea componentei 4 din oțel ;

După obținerea prin turnare a tijei anodice realizată conform cercetării, s-a procedat la sudarea prin frecare a dispozitivului port-anod cu patru ramificații (fig.2.11.)

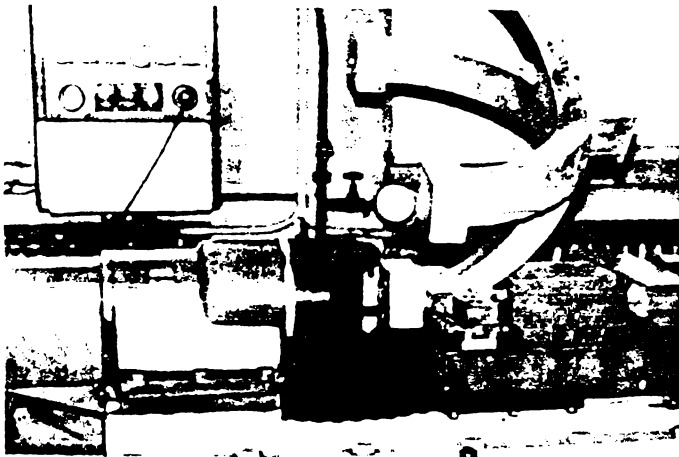
Pentru această ramificațiile se fixează succesiv în bacurile mașinii și se sudează prin frecare cu câte o componentă din oțel.



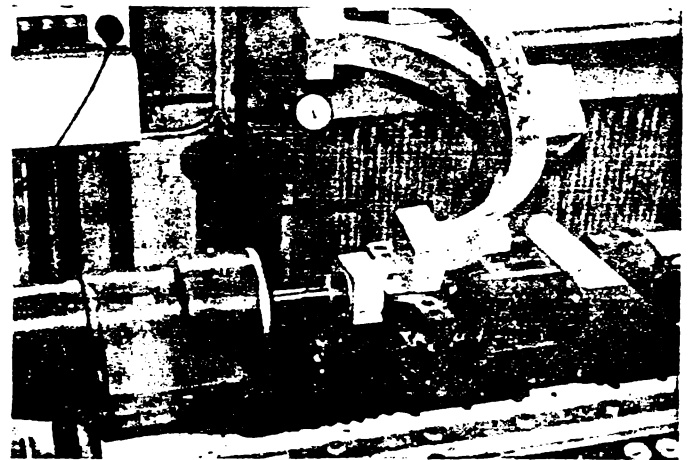
a



c

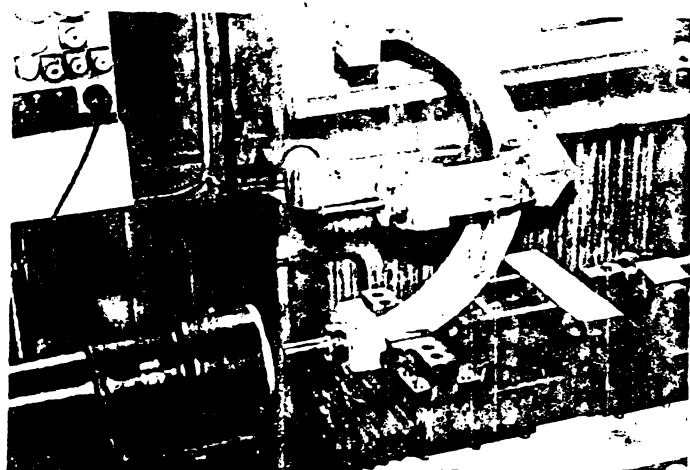


b

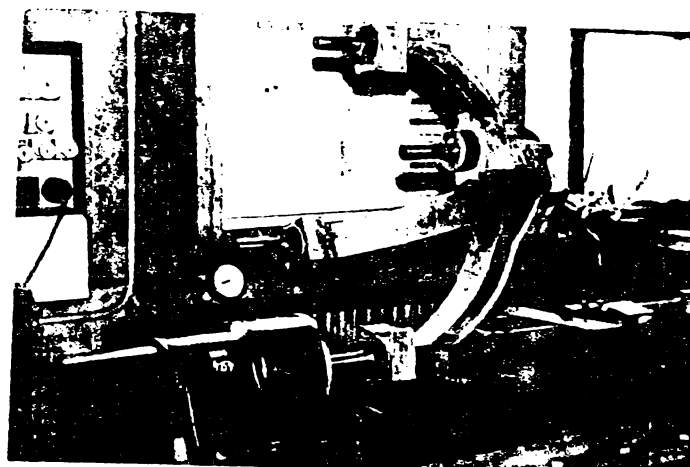


d

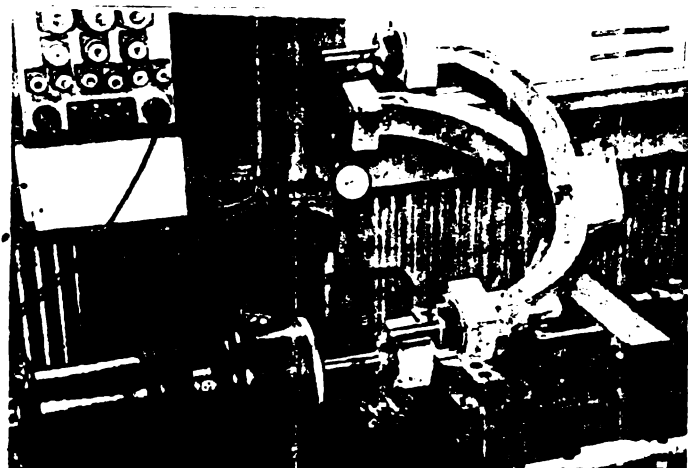
Fig.2.11.-Ordinea de sudare prin frecare a îmbinărilor  
oțel-Al ale DPA6 cu patru ramificații: a) prinderea tijei din  
aliaj de Al în bécuri; b) prinderea componentei din oțel în  
mandrină; c) sudarea componentei 1 din oțel; d) sudarea  
ramificației 1



e



f



g

Fig.2.11 e) sudarea ramificației 2; f) sudarea ramificației 3;  
g) sudarea ramificației 4

### 3.-EXPERIMENTARI PRIVIND SUDAREA MIG A ÎMBINĂRILOR BIMETAL CU TIJA ANODICĂ DIN ALIAJ DE ALUMINIU

În procesul de fabricație al dispozitivului port-anod procedeul MIG se utilizează la sudarea îmbinărilor Al-Al. Astfel, la DPA1,3, se îmbină prin acest procedeu tija din aliaj de Al cu o placă bimetal sudată prin explozie, iar la DPA4,5, tija anodică cu patru îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare. Stadiul actual de dezvoltare și aplicare a sudării MIG la construcții tehnologice pentru fabricarea electro-litică a Al a fost determinat de perfecționările ce s-au adus surselor de sudare în mediu de gaze protectoare, gazelor de protecție și sîrmelor-electrod [24, 29, 77, 79, 80, 86, 93, 94, 100]. Îmbinările de tip Al-Al ale DPA1,3,4,5, s-au obținut folosind procedeul de sudare MIG cu arc pulsatoriu [33, 36, 39, 40, 54, 66, 120]. Necesitatea cercetării aspectelor tehnologice ale execuției prin sudare MIG a construcțiilor din materiale de Al, s-a impus datorită dezvoltării în special a industriei chimice, petroliere și alimentare [31, 69, 73, 74, 91, 95, 99, 104, 109, 151]. În cadrul prezentei cercetări s-au optimizat constructiv tehnologic DPA1,2 utilizate în metalurgia Al. Întrucît producția de dispozitive port-anod este de 12.000 buc/an este necesar a se asigura un grad ridicat de mecanizare a lucrărilor de asamblare și sudare a DPA1,3,4,5, [83, 87, 88, 119, 141]. La sudarea prin topire a aliajelor ATSi5Fe, o importanță deosebită are alegerea metalului de adăos pentru prevenirea formării compusului ternar AlSiFe, care fragilizează îmbinarea sudată [48, 50, 60, 61, 68, 103, 105, 112, 117].

#### 3.1.-Materiale utilizate

Una din cele două componente ale îmbinărilor Al-Al sudate prin procedeul MIG este o tijă anodică din aliaj ATSi5Fe. În varianta actuală DPA1 și în varianta propusă DPA3, a doua componentă este din Al 99,5 are grosimea 12,7 mm și aparține unei plăci bimetal sudată prin explozie (tabelul 3.1). În variantele propuse DPA4,5, a doua componentă este din ATSi5Fe, are grosimea de 80 mm și formează o îmbinare bimetal sudată prin



Carecteristici ale unor materiale utilizate la sudarea MIG

T A B E L A 3.1

| Nr. Denumire-<br>art rea | Calitatea | Compoziția chimică % |    |    |    |    |    |    |   |   |   |    | Dimensiuni geometrice și toleranțe | Secțiunea a + b -<br>Tip I Tip II<br>mm |
|--------------------------|-----------|----------------------|----|----|----|----|----|----|---|---|---|----|------------------------------------|---|
|                          |           | Al                   | Cu | Mn | Si | Ti | Zn | Fe | C | S | P | Mg |                                    |   |

|                    |           |      |     |   |      |     |      |      |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |
|--------------------|-----------|------|-----|---|------|-----|------|------|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|
| 1. Sîrîă elec-trod | Al 99,5 T | min  | max | - | max  | 0,1 | max  | max  | - | - | - | - | - | - | - | 2,4 | - | - |
|                    |           | 99,5 | 0,5 |   | 0,12 | 0,2 | 0,05 | 0,20 |   |   |   |   |   |   |   |     |   |   |

|                  |  |      |      |   |       |      |      |      |   |   |      |      |      |               |            |            |     |     |
|------------------|--|------|------|---|-------|------|------|------|---|---|------|------|------|---------------|------------|------------|-----|-----|
| 2. Placă bimetal | A 5<br>Franța<br>echi-<br>valent<br>Al 99,5<br>STAS<br>7607-72 | 99,5 | 0,02 | - | 0,030 | 0,03 | 0,07 | 0,40 | - | - | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 12,7 ±<br>1,5 | 150<br>140 | 120<br>100 | ± 3 | ± 3 |
|------------------|--|------|------|---|-------|------|------|------|---|---|------|------|------|---------------|------------|------------|-----|-----|

|         |  |   |   |              |             |   |   |             |             |             |   |   |   |               |  |  |  |  |
|---------|--|---|---|--------------|-------------|---|---|-------------|-------------|-------------|---|---|---|---------------|--|--|--|--|
| 3. Oțel | SAE 1008<br>Franța<br>echiva-<br>lent<br>OL 42<br>STAS<br>500-80 | - | - | 0,25<br>0,50 | max<br>0,25 | - | - | max<br>0,10 | max<br>0,05 | max<br>0,04 | - | - | - | 38,3 ±<br>1,6 |  |  |  |  |
|---------|--|---|---|--------------|-------------|---|---|-------------|-------------|-------------|---|---|---|---------------|--|--|--|--|

152 - A

frecare (tabela 2.1, 2.2, 2.3). Rezultă că prin procedeul MIG, la DPA1,3 se sudază materiale având compoziții chimice și caracteristici mecanice diferite (Al 99,5 AlSi5Fe), iar la DPA4,5 se îmbină două componente din acelaș material (AlSi5Fe). Comportarea la sudare a aliajelor din Al poate fi apreciată după conținutul în elemente de aliere care determină gradul de fisurabilitate al aliajului (tabela 3.2). Întrucât conținutul minim în Si al aliajului AlSi5Fe este 2,18% (tabela 2.3), iar sensibilitatea la fisurare este maximă pentru 0,75%Si (tabela 3.2), rezultă că acest aliaj are o comportare bună la sudare.

TABELA 3.2

Concentrații care determină un grad maxim de fisurabilitate  
[102]

| Aliajul | Sensibilitatea maximă la fisurare (%) | Conținutul minim în elementul respectiv (%) |
|---------|---------------------------------------|---|
| Al Cu   | 3 Cu                                  | 5 Cu  |
| Al Mg   | 1,3 Mg                                | 3,5 Mg                                      |
| AlSiMg  | 0,5...0,8 Si                          | 2 Si  |
| Al Si   | 0,2...1,2 Mg<br>0,75 Si               | 3,5 Mg<br>2 Si                              |

Sîrmele pentru sudarea aliajelor de Al se aleg conform următoarelor criterii [96]:

-Sîrma după topire și amestecarea cu metalul de bază să nu conțină în exces produși ce scad plasticitatea și rezistența la oboseală. Asemenea produși fragilizanți sînt: MgSi, CuAl<sub>2</sub>, MnAl<sub>6</sub>, AlFeSi.

-Sîrma de sudură trebuie să aibe o rezistență mecanică mai mare decît cea a MB în stare recoaptă.

-La aliajele de Al călibile se alege o sîrmă de sudare de acelaș tip dacă structura sudată se tratează termic după sudare. În cazul în care nu se face nici un fel de tratament termic după sudare, se alege o sîrmă netratabilă termic cu rezistențe mecanică ridicată. În concordanță cu aceste criterii, la sudarea MIG a îmbinărilor Al-Al s-a utilizat ca metal de adeos sîrmă din Al 99,5 modificată cu titan (tabela 3.1),

având diametrul de 2,4 mm și rezistența de rupere la tracțiune de minim 15...17 daN/mm<sup>2</sup>.

### 3.2.-Pregătirea pentru sudare

Pregătirea suprafețelor în vederea sudării MIG s-a desfășurat în următoarele operațiuni:

- îndepărtarea particulelor de ulei;
- decapare cu NaOH (10...20%) la 353K timp de 1...2 min;
- spălare cu apă rece;
- neutralizare cu HNO<sub>3</sub> (15...20%) la 293K;
- spălare succesivă cu apă rece și fierbinte.

În condițiile fabricației de serie a DPA1, componenta din Al 99,5 se degresează cu acetona. În DPA3, aceeași componentă s-a decapă cu o soluție formată din patru părți HNO<sub>3</sub> (54%) și o parte HF (70%), la 293K timp de un minut. A urmat spălarea succesivă cu apă rece și fierbinte.

Pregătirea îmbinărilor Al-Al ale dispozitivului port-anod în vederea sudării MIG s-a făcut în mod diferit, în funcție de variantele constructive DPA1,3,4,5. Astfel, la DPA1 placa bimetăl sudată prin explozie se montează cu baza tijei din aliaj de Al (figura 3.1). În procesul tehnologic actual de sudare în varianta DPA1 se menționează următoarele dezavantaje:

- montarea componentelor se face fără dispozitiv și fără șabloane de control;
- operațiunea de montaj necesită doi sudori;
- nu se folosesc garnituri de sprijin a rădăcinii.

DPA3 reprezintă varianta nouă a DPA1 care s-a realizat, conform cercetării [15], cu scopul de a optimiza tehnologia de sudare prin procedeul MIG a îmbinării dintre plăci bimetale sudate prin explozie și tija anodică (figura 3.2). Deosebirea între DPA3 și DPA1 constă în forma diferită a rostului îmbinărilor Al-Al. La DPA3 această formă s-a realizat prin prelucrări mecanice, care s-au efectuat la baza tijelor din Al ale DPA1. În condițiile aplicării în producție a rezultatelor cercetării, operațiile suplimentare vor fi însă eliminate, întrucât forma rostului se va obține direct prin turnarea tijei ca în prezent la DPA1. Tehnologia de sudare a îmbinărilor Al-Al ale DPA3 s-a optimizat, comparativ cu DPA1, prin mărirea deschiderii rostului (4 mm) și a lățimii acestuia (25mm),

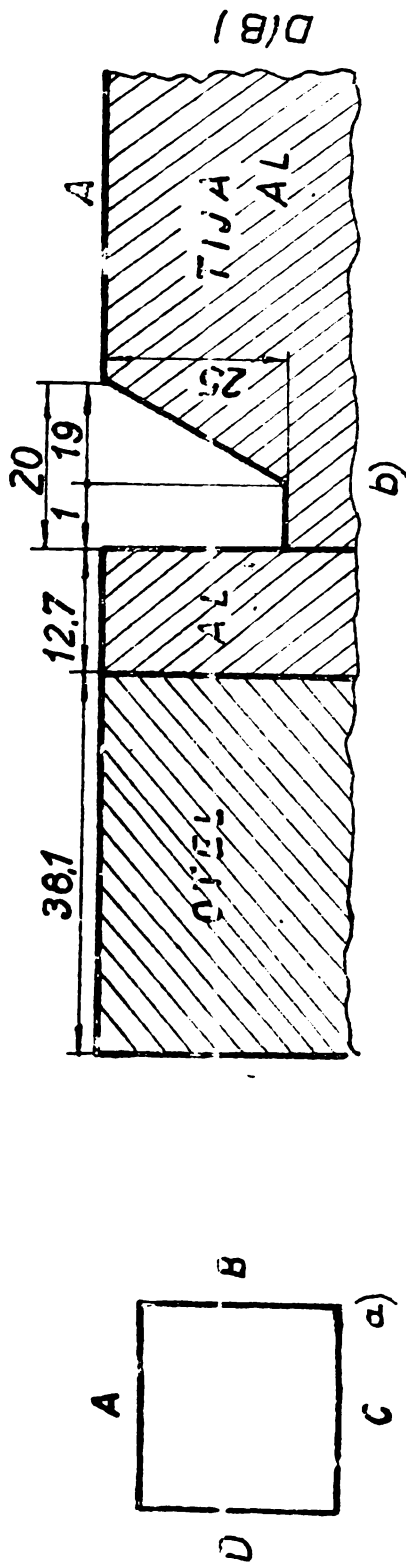


Fig. 3.1.-Pregătirea pentru sudarea MIG a DPAl: a) simbolul laturilor țifei anodice, b) forma rostului de sudare [142]

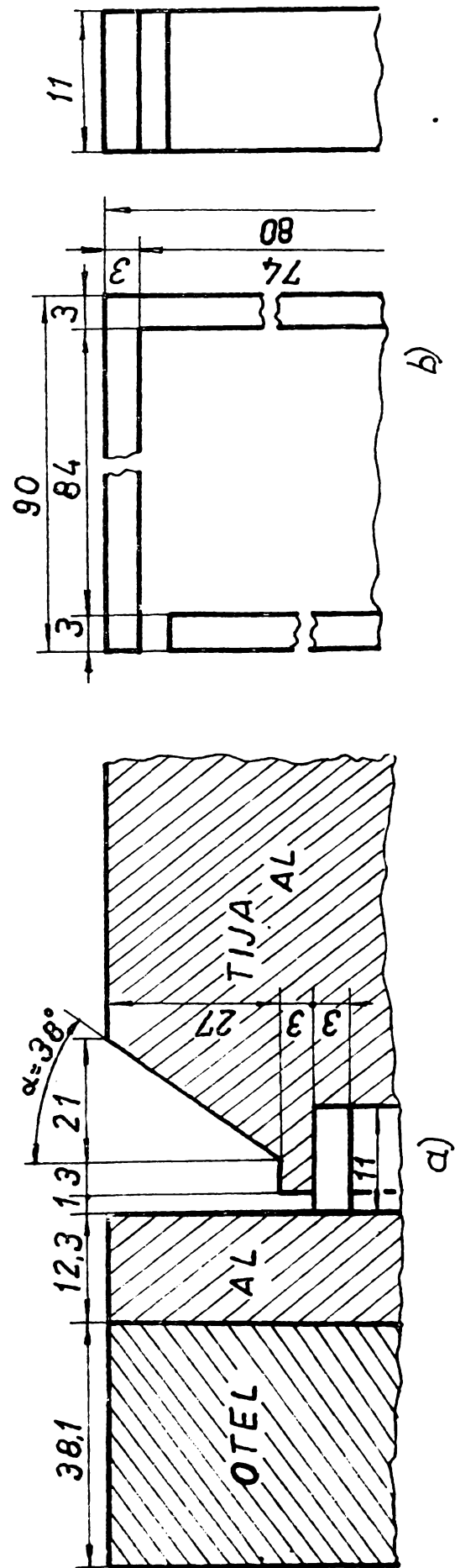


Fig. 3.2.-Pregătirea pentru sudarea MIG a DPA3: a) forma rostului de sudare; b) garnitura din oțel

precum și prin introducerea unei garnituri din oțel la baza tijei, sub rădăcina rostului îmbinării (figura 3.2). Ca urmare, a crescut secțiunea rostului și prin aceasta va crește capacitatea portantă a cusăturii, capul de sudare va avea acces neimpiedecat pe toată grosimea de îmbinare și astfel se poate executa corect stratul de rădăcină, iar garnitura din oțel nu va permite modificarea formei cusăturii prin scurgeri de metal topit în interstițiul dintre componente.

Față de DPA3, care s-a propus ca o variantă de optimizare a tehnologiei de sudare a DPAl, dispozitivele port-anod DPA4,5, sînt variante constructive sudate prin frecare propuse pentru înlocuirea DPAl, utilizat în prezent în metalurgia Al. DPA4 este prevăzut cu patru îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare, care se sudează succesiv cu tija din aliaj de Al. Întrucît secțiunea totală a celor patru componente din Al ale îmbinărilor bimetal ( $13.400 \text{ mm}^2$ ) reprezintă 64% din secțiunea maximă a bazei tijei din aliaj de Al cu care se sudează (tip I,  $21.000 \text{ mm}^2$  tabela 3.1), este foarte importantă atât forma rostului cît și ordinea de sudare a componentelor, pentru ca suprafața totală a sudurilor MIG, în condițiile date, să fie maximă. Din această

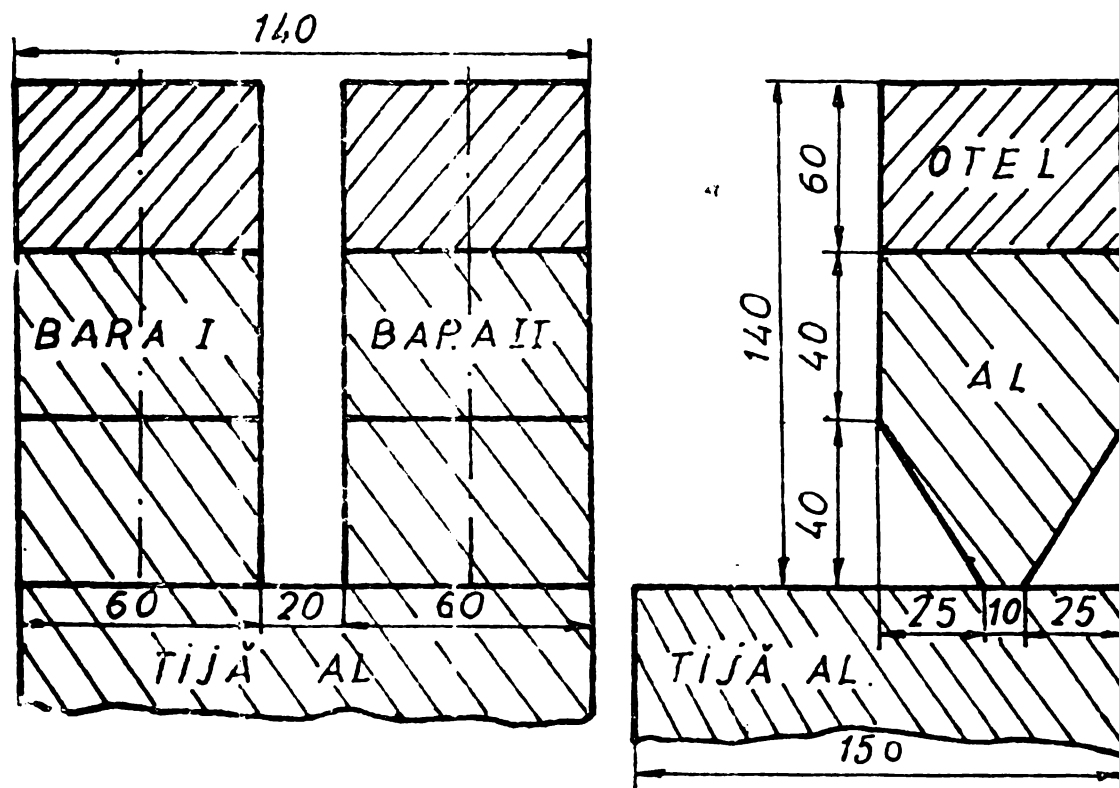


Fig.3.3.-Pregătirea pentru sudarea MIG a DPA4

cauza pregătirea pentru sudare a DPA4 a constat în asamblarea a două componente cu tija anodică (figura 3.3), celelalte două îmbinări

Oțel-Al sudate prin frecare urmînd să fi asamblate în fața procesului de sudare a DPA4. Poziționarea îmbinărilor bimetale pe tija anodică s-a făcut cu un dispozitiv de asamblare-sudare, care a asigurat geometria rostului și fixarea rigidă a componentelor. Spre deosebire de DPA4, cele patru îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare ale DPA5 se sudează concomitent cu tija din aliaj de Al. Pregătirea pentru sudare a îmbinărilor Al-Al pentru DPA5 constă din asamblarea tetrapiedului bimetale cu tija anodică și prinderea cu puncte de sudură a acestor îmbinări (figura 3.4).

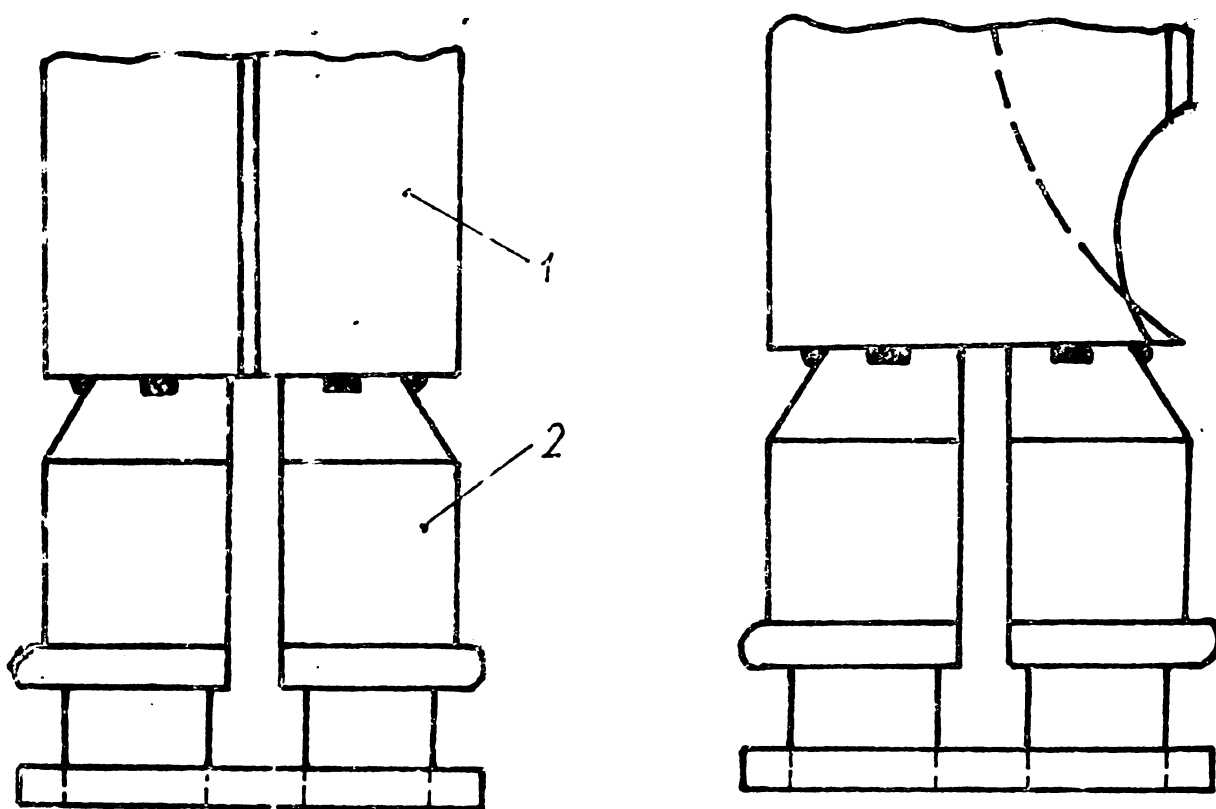


Fig.3.4.-Pregătirea pentru sudarea MIG a DPA5: 1-tijă din aliaj de Al; 2-tetrapied cu patru îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare

### 3.3.-Procesul de sudare

#### 3.3.1.-Sudarea MIG a dispozitivului port-anod DPA1

În varianta actuală DPA1, sudarea MIG a îmbinării tijei anodice cu placa de Oțel-Al sudată prin explozie, comportă executarea a patru cusături în muchie, pe laturile care delimitează suprafața de contact între componentele din Al. Fiecare cusătură se sudează în poziție orizontală și se obține din patru treceri (figura 3.5). Succesiunea operațiilor



de sudare este următoarea:

- se realizează rândurile 1, 2 și 3 întâi pe latura A (figura 3.1), apoi succesiv pe laturile B, C și D;
- se efectuează stratul de acoperire pe toate laturile, capul de sudare fiind condus cu devieri transversale maxime (20 mm) pentru a rezulta o îmbinare fără creștături. Curentul de sudare este 300 A, iar tensiunea arcului 27...28 V.

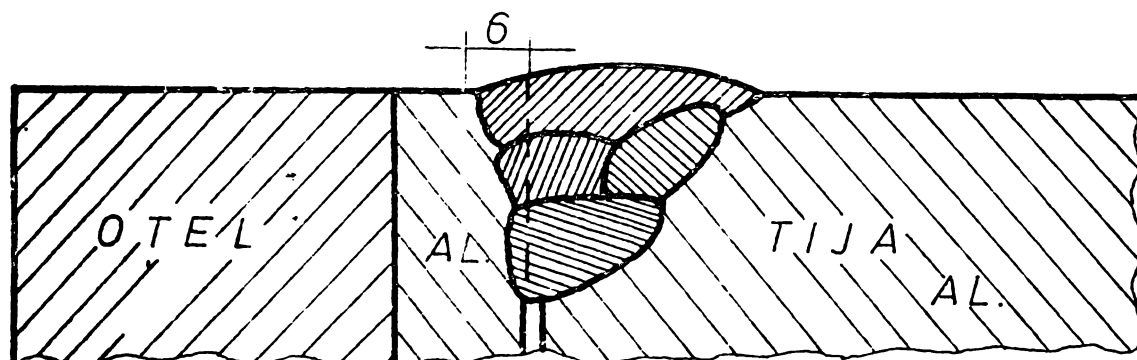


Fig.3.5.-Sudarea MIG a DPAl [142]

În tehnologia actuală de sudare a DPAl se evidențiază următoarele neajunsuri:

- practic s-au constatat străpungeri în stratul de Al plăcat prin explozie pe oțel;
- se concentrează o mare cantitate de căldură într-un spațiu restrâns, ceea ce deteriorează îmbinarea sudată prin explozie. Experiența a demonstrat că este necesară o limitare a temperaturii la 588K în timpul procesului de sudare, ceea ce este foarte dificil de realizat. Se menționează că la funcționarea în cuvele pentru fabricația electrolitică a Al nu depășește 533K [142];
- sudarea fără susținerea rădăcinii pe garnituri provoacă surgerarea băii, respectiv defecte de rădăcină.

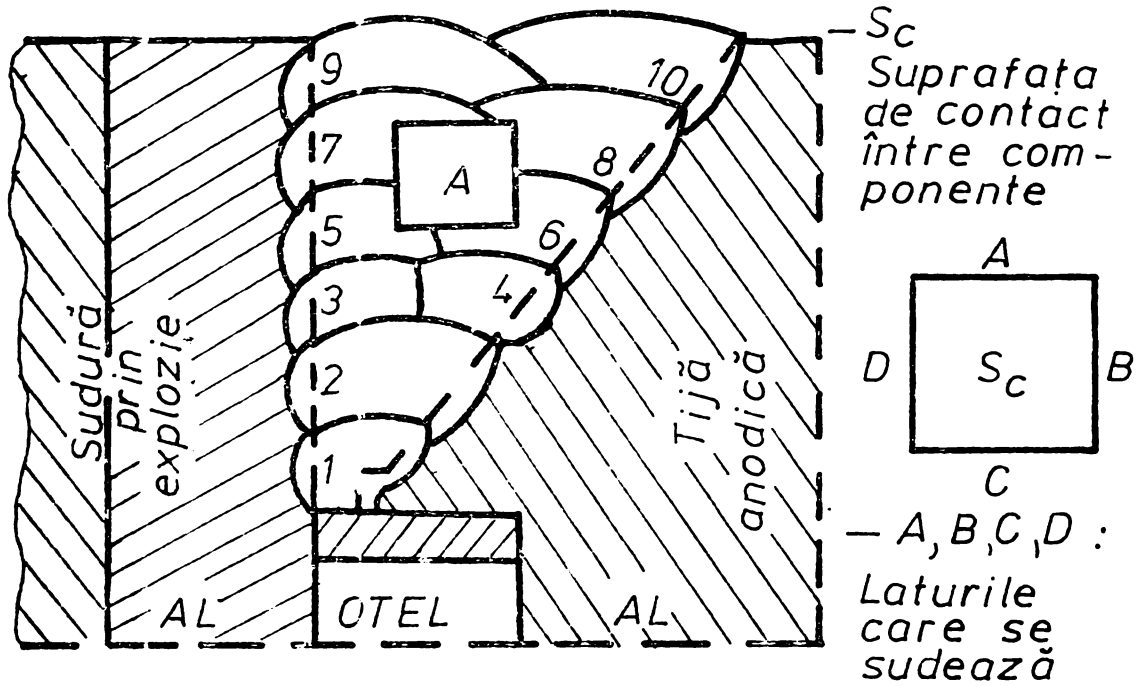
### 3.3.2.-Sudarea MIG a dispozitivului port-anod DPA3

Îmbinările Al-Al sînt modificate constructiv la DPA3 față de DPAl, astfel încît este posibilă schimbarea tehnologiei de sudare. Conform prezentei cercetări, sudarea MIG între placa Oțel-Al sudată prin explozie și tija anodică s-a făcut pe garnituri din oțel, care au susținut rădăcina cusăturilor efectuate pe laturile suprafeței de contact între componente



Nr. Crt. Date tehnologice privind sudarea îmbinărilor Al-Al

1 Forma îmbinării sudate



2 Regimul de sudare

| Curentul de sudare<br>A | Tensiunea arcului<br>V | Viteza de sudare<br>m/min | Debitul de argon <sub>3</sub><br>m <sup>3</sup> /h |
|-------------------------|------------------------|---------------------------|--|
| 275...300               | 28                     | 6                         | 1,42   |

3 Ordinul de sudare

| Fazele procesului de sudare | Numărul operațiilor | Lotura care se sudează | Rîndurile care se execută | Senzul de sudare |
|-----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|------------------|
| I                           | 1                   | A                      | 1...4                     | D-B              |
|                             | 2                   | C                      |                           | B-D              |
|                             | 3                   | B                      |                           | A-C              |
|                             | 4                   | D                      |                           | C-A              |
| II                          | 1                   | A                      | 5...8                     | B-D              |
|                             | 2                   | C                      |                           | D-B              |
|                             | 3                   | B                      |                           | C-A              |
|                             | 4                   | D                      |                           | A-C              |
| III                         | 1                   | A                      | 9...10                    | D-B              |
|                             | 2                   | C                      |                           | B-D              |
|                             | 3                   | B                      |                           | A-C              |
|                             | 4                   | D                      |                           | C-A              |

[126]. Pentru micșorarea efectului termic al arcului electric asupra întinării binetel, s-a utilizat energia liniară la sudarea MIG și s-a urmărit repartizarea uniformă a căldurii în îmbinare, prin stabilitatea corespunzătoare a ordinii de sudare (tabela 3.3). Astfel, la DPA3 o cusătură a rezultat din depunerea a zece rînduri cu conducere liniară a capului de sudare, față de patru rînduri efectuate cu devieri transversale ale arcului electric, la sudarea MIG a DPA1. Pentru fiecare cusătură, cele șase straturi s-au executat în trei faze diferite ale procesului de sudare, iar în cadrul fiecărei faze rîndurile s-au depus succesiv pe cîte două laturi paralele ale suprafeței de contact între placă Oțel-Al și tija din aliaj de Al. Ordinea de sudare a DPA3, comparativ cu DPA1, a făcut necesară mărirea numărului de rotații a tijei anodice în jurul axei longitudinale, pentru stabilirea poziției de sudare a unui număr mai mare de straturi. Acest fapt nu a mărit însă durata procesului de sudare, care în cazul îmbinărilor Al-Al ale DPA1,3, este un proces discontinuu, întreruperile fiind necesare pentru limitarea temperaturii în îmbinarea Oțel-Al sudată prin explozie la valori sub 588K.

Rezultatele sudării DPA3 sînt superioare celor obținute la sudarea DPA1, cusăturile rezultînd fără defecte la rădăcină și corespunzător formate pe toată grosimea de îmbinare.

### 3.3.3. Sudarea MIG a dispozitivului port-anod DPA4

La sudarea MIG a tijei din aliaj de Al cu îmbinările Oțel-Al sudate prin frecare se execută șase cusături în K și o cusătură în colț exterior [16]. Primele patru cusături se sudează pe componentele bimetale care au fost asamblate cu tija, în faza de pregătire pentru sudare (figura 3.5). Acest mod de pregătire a permis accesul nestînjănit al capului de sudare pe ambele părți ale îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare, rezultînd cîte două cusături din cinci straturi fiecare (figura 3.6,a). Din același motiv, a treia îmbinare Oțel-Al sudată prin frecare s-a așezat pe baza tijei anodice cu rostul orientat perpendicular față de îmbinările bimetale I și II (figura 3.7.a), după care s-a sudat definitiv (figura 3.6,a).

A urmat montarea pe tija din aliaj de Al a imbinării bimetale IV (figura 3.7,b) și procesul de sudare al DPA4 prin procesul MIG s-a încheiat cu realizarea cusăturii de colț exterioare între componentele din Al (figura 3.6,b).

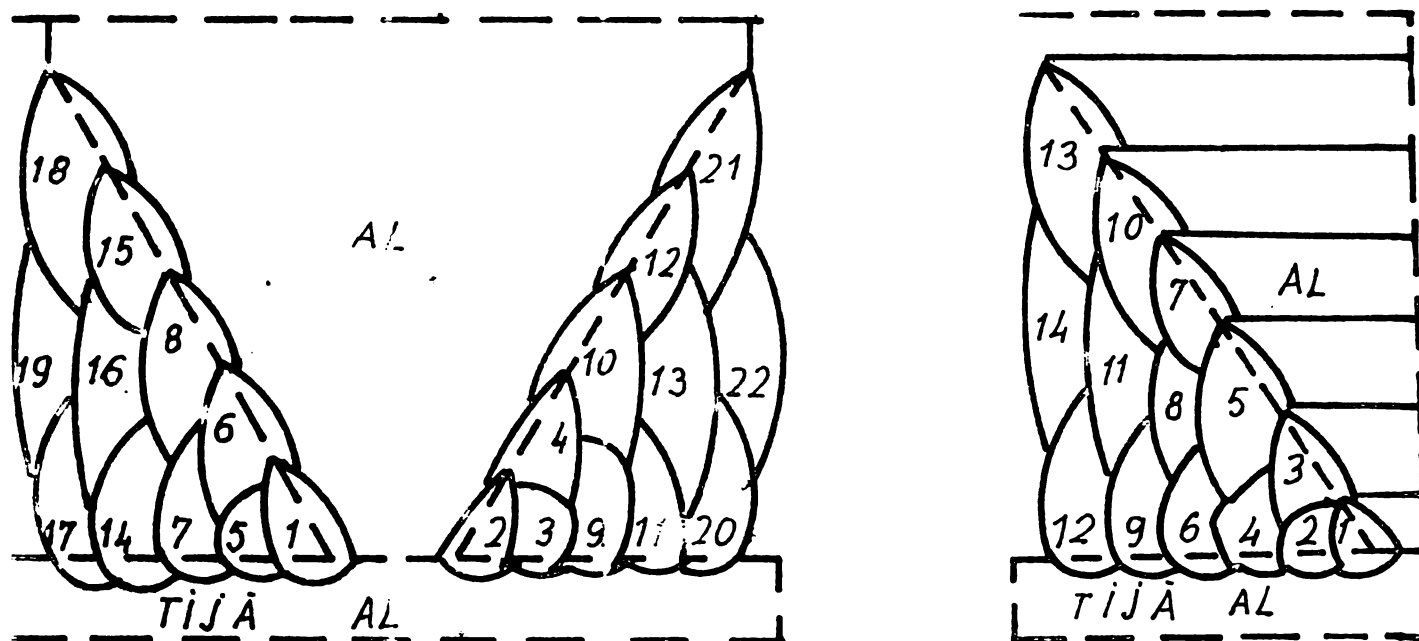


Fig.3.6.-Ordinea depunerii rândurilor la sudarea MIG a DPA4: a) pentru componentele bimetale I, II, III; b) pentru componenta bimetale IV

Intrucât lucrările de asamblare și sudare MIG s-au efectuat cu un dispozitiv care a asigurat fixarea rigidă a imbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare, nu a fost necesară prinderea cu puncte de sudură provizorii a componentelor din Al.

T A B E L A 3.4

Parametri tehnologici la sudarea imbinărilor Al-Al ale DPA4

| Metal de bază | Sîrmă de sudură |                  | Parametri de sudare   |                        |                          |                                       |
|---------------|-----------------|------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
|               | Cali-tate       | Diăme-trul<br>mm | Curent de sudare<br>A | Tensiune ar-cului<br>V | Viteza de su-dare<br>m/h | Debitul de argon<br>m <sup>3</sup> /h |
| ATS15Fe       | Al99,5T         | 2,4              | 300...350             | 30                     | 6                        | 1,42                                  |

In timpul sudării s-a asigurat respectarea parametrilor regimului de sudare (tabelă 3.4) și s-a controlat temperatura între straturi, care s-a limitat la valoarea maximă de 473K lucrînd continuu cu răcire artificială.

Sudarea MIG a DPA4, comparativ cu DPA1, prezintă următoarele avantaje:

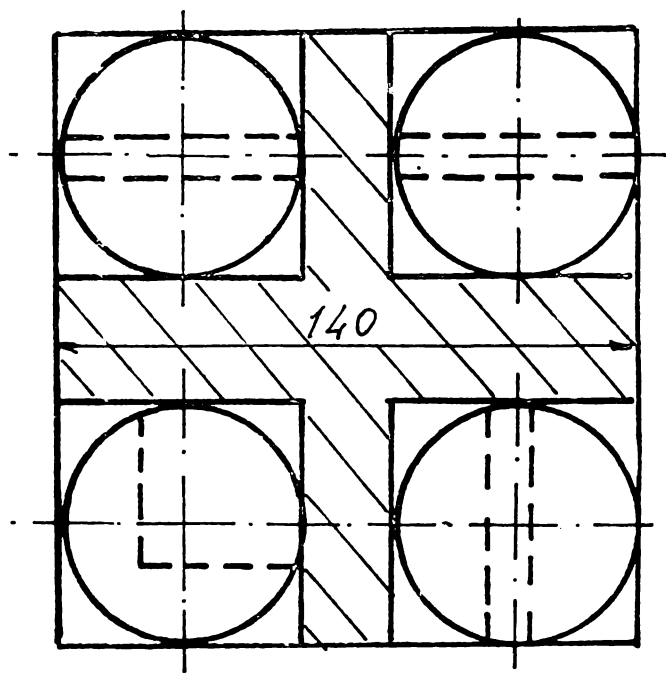
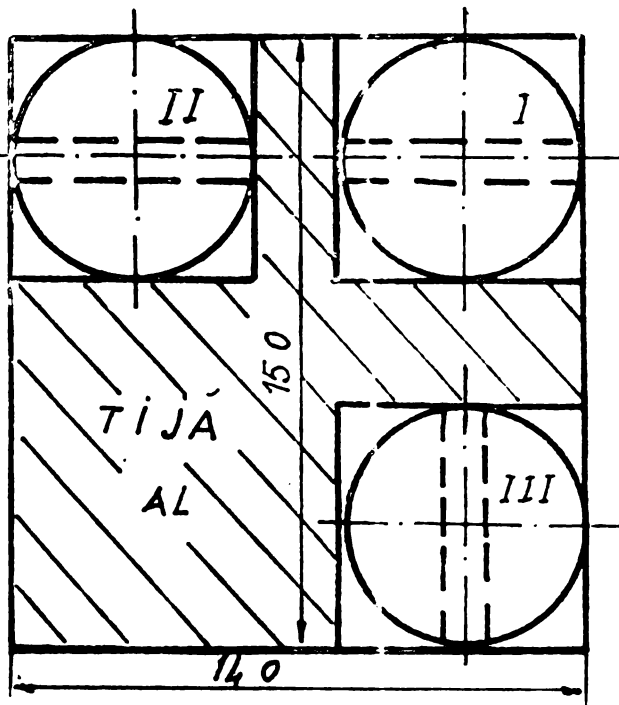
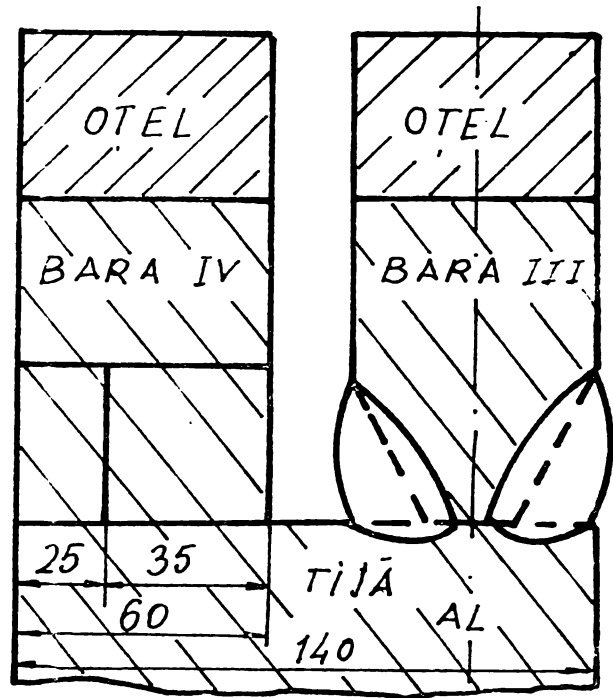
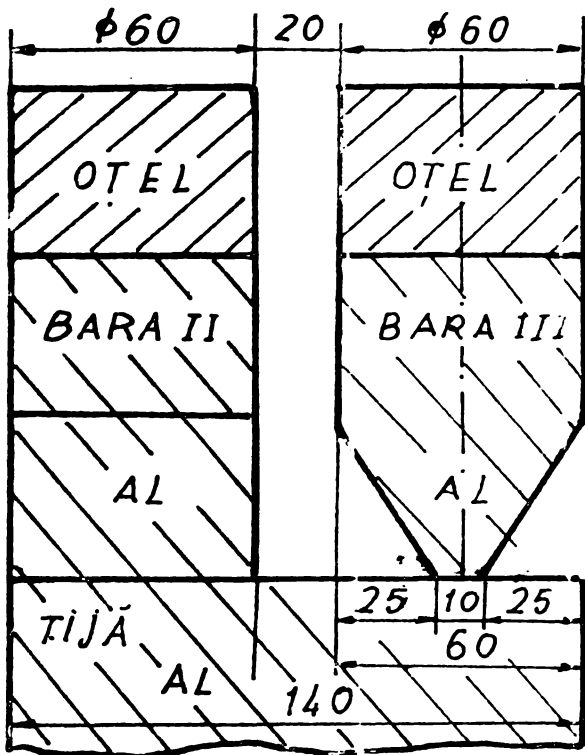


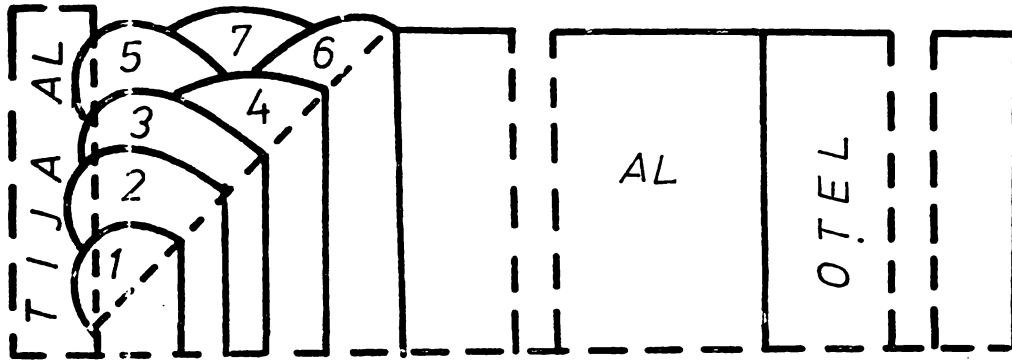
Fig.3.7.-Sudarea MIG e DPA4: a) îmbinarea componentei bimetal III; b) îmbinarea componentei bimetal IV

sudarea MIG a DPA5

Nr. Date tehnologice privind sudarea îmbinărilor Al-Al

1 2

1 Forma îmbinării

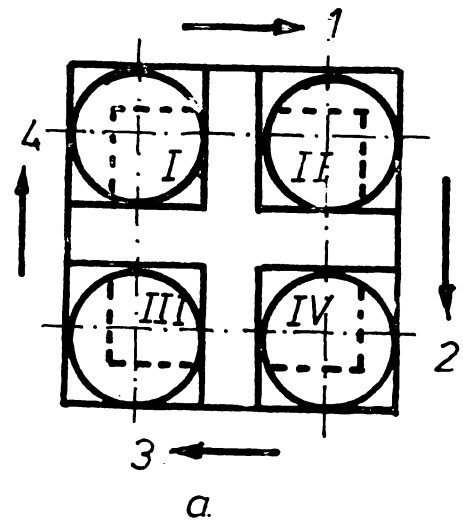


Ordinea de sudare

| 2 | pezele<br>procesu-<br>lui de<br>sudare | Nr.ope-<br>rației | Rinduri-<br>le care<br>se exe-<br>cută | Poziția tijei anodice și<br>sensul de sudare |
|---|--|-------------------|--|--|
|---|--|-------------------|--|--|

|  | 2.1 | 2.2. | 2.3 | 2.4 |
|--|-----|------|-----|-----|
|--|-----|------|-----|-----|

|   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
| 1 | 1 | 1 | 1 |  |
|   |   | 2 | 2 |  |
|   |   | 3 | 3 |  |
|   |   | 4 | 4 |  |



|   |   |   |  |  |
|---|---|---|--|--|
| 2 | 1 | 5 |  |  |
|---|---|---|--|--|

|  |   |   |  |  |
|--|---|---|--|--|
|  | 2 | 6 |  |  |
|  | 3 | 7 |  |  |
|  | 4 | 8 |  |  |

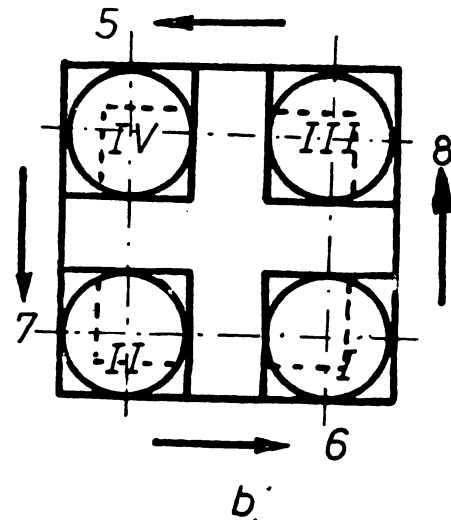


TABELA 3.5 (continua)

| 1 | 2   |     |     |           |
|---|-----|-----|-----|-----------|
|   | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4       |
| 3 | 1   | 9   | 10  | <p>c.</p> |
|   | 2   | 11  | 12  |           |
|   | 3   | 13  | 14  |           |
|   | 4   | 15  | 16  |           |
|   | 5   | 17  | 18  | <p>d.</p> |
|   | 6   | 19  | 20  |           |
|   | 7   | 21  | 22  |           |
|   | 8   | 23  | 24  |           |
| 4 | 1   | 25  | 26  | <p>e.</p> |
|   | 2   | 26  | 27  |           |
|   | 3   | 27  | 28  |           |
|   | 4   | 28  |     |           |

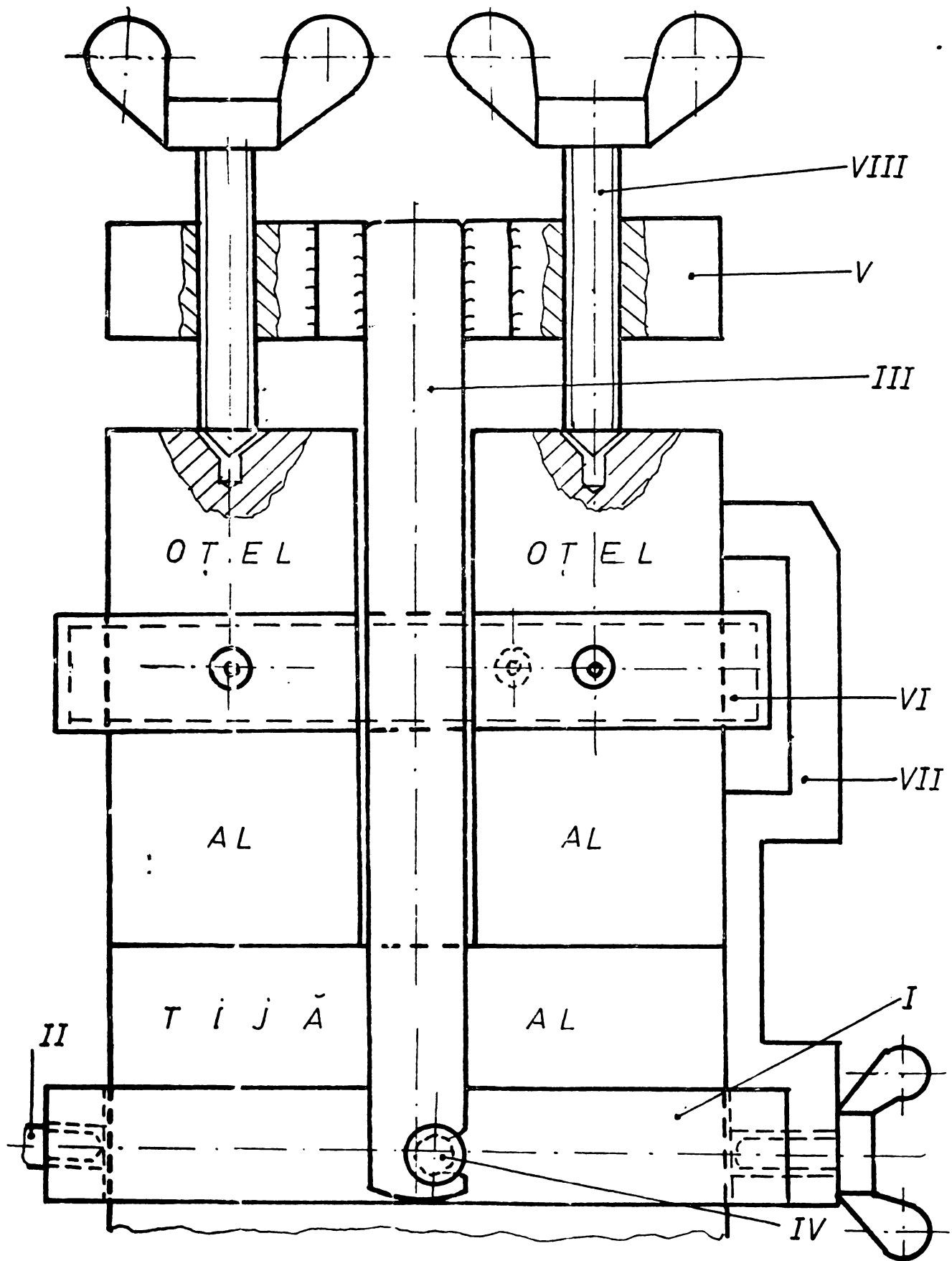


Fig.3.8. Dispozitiv de răcire a îmbinărilor bimetal la sudarea MIG e DPA4: I-colier, II-șurub de fixare, III-bară de fixare, IV-știft de ghidare, V-placă de centrare, VI-piesă de răcire, VII-reazem, VIII-șuruburi de centrare



-față de arcul electric MIG, sudura prin frecare Oțel-Al se află la o distanță de trei ori mai mare decât sudura prin explozie a plăcii bimetal;

-cusătura este compactă și are rădăcina corect formată, forma rostului înlesnind accesul capului de sudare pe grosimea cusăturii;

-rezistența mecanică a îmbinărilor Al-Al este superioară atât pentru că secțiunea cusăturilor este mai mare, cât și pentru faptul că 37% din aceste suduri sînt repartizate în zona centrală a bazei tijei anodice, în timp ce la DPA1 toate cusăturile sînt exterioare, pe muchiile suprafeței de contact cu placa bimetal sudată prin explozie;

-secțiunea sudurii MIG fiind mai mare, densitatea de curent prin îmbinare este redusă, iar încălzirea prin efect Joule-Lenz se micșorează.

#### 3.3.4.-Sudarea MIG a dispozitivului port-anod DPA5

Sudarea MIG a tijei din aliaj de Al cu îmbinările Oțel-Al sudate prin frecare se efectuează pe laturile exterioare, în raport cu baza tijei anodice, a componentelor din Al ale tetrapiedului bimetal (figura 3.4). Operațiile de pregătire și sudare a acestor componente sînt, respectiv, asemănătoare cu ale îmbinării bimetal IV a DPA4 (figura 3.6,b, 3.7,b). Astfel regimul de sudare este identic în cele două cazuri (tabelul 3.4), diferența constînd în faptul că o componentă a DPA5 este sudată pe două laturi alăturate față de două laturi paralele la DPA4, ceea ce creează sensuri defavorabile de acțiune a forțelor în timpul exploatarei DPA5. Tetrapiedul bimetal și tija anodică s-au îmbinat cu opt cusături în colț exterioare, realizate din patru straturi fiecare, iar succesiunea execuției rîndurilor și sensul lor de sudare s-a ales astfel ca să rezulte o încălzire uniformă a MB în timpul sudării (tabelul 3.5) [17].

Fazele procesului de sudare corespund cu numărul straturilor, iar operațiile indică numărul pozițiilor diferite ale tijei anodice pentru care toate rîndurile de sudură ale îmbinării Al-Al se execută în poziție orizontală. Din tabelul 3.5 rezultă că sînt necesare 20 de mișcări ale tijei din aliaj de Al în

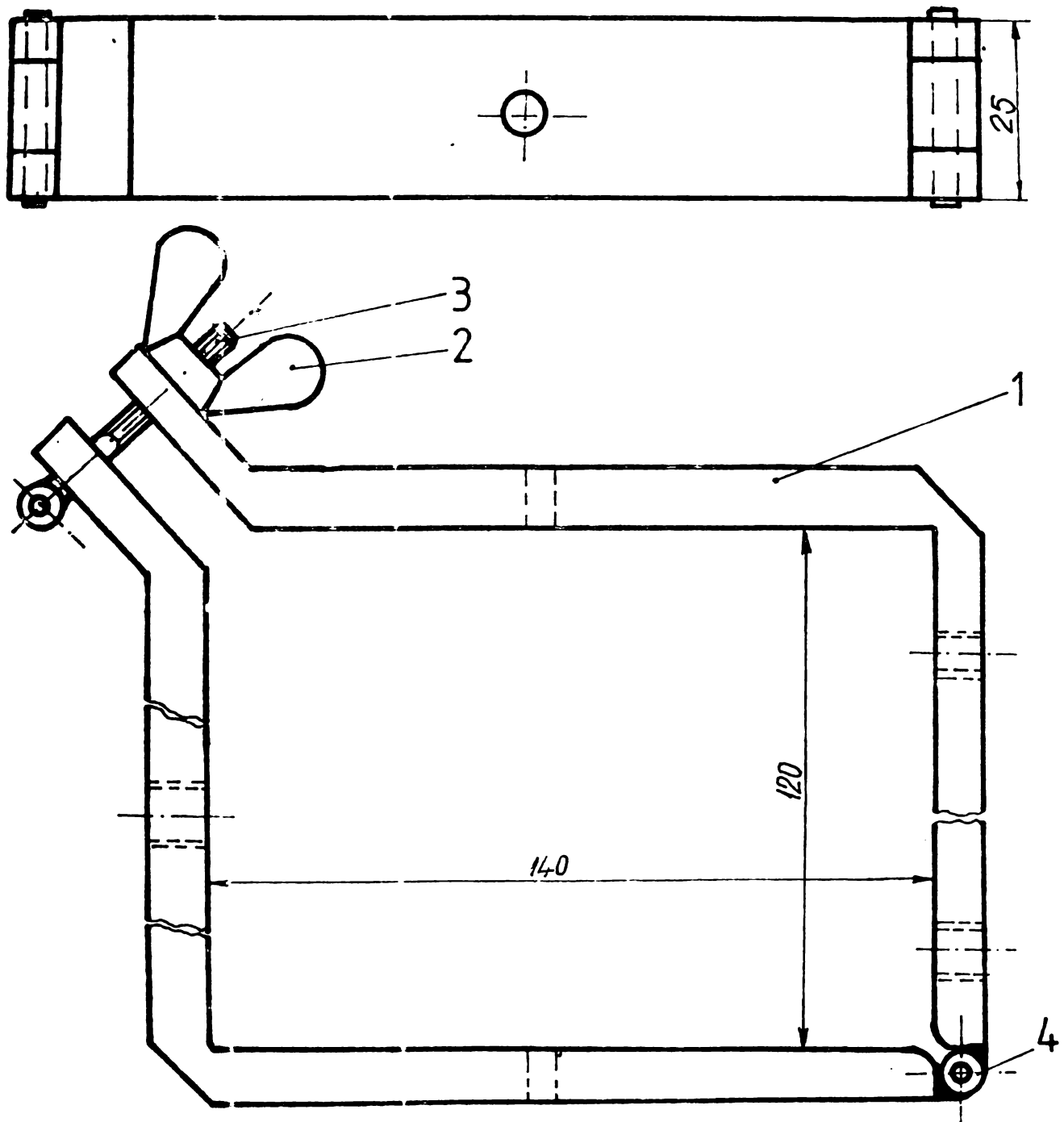


Fig.3.9.-Colier I: 1-ramă; 2-piuliță fluture; 3-șurub pliant; 4-belone

jurul axei longitudinale pentru sudarea completă a DPA5 prin procedeul MIG. Timpul necesar pentru efectuarea acestor mișcări poate fi redus prin mecanizarea lucrărilor de sudare. În condițiile prezentei cercetări s-au luat în considerare următoarele posibilități:

-sudarea în poziție orizontală a cusăturilor Al-Al de către un sudor cu calificare medie efectuând un număr mare de rotiri ale tijei anodice;

-sudarea în cornișă a acestor îmbinări de un sudor cu calificare superioară fără rotirea tijei din aliaj de Al. Timpul efectiv de execuție al DPA4,5, nu se mărește din cauza operației auxiliare de mișcare a tijei anodice, întrucât procesul de sudare MIG se aplică concomitent la mai multe dispozitive port-anod. Rîndurile de sudură corespunzătoare fazelor de lucru s-au executat pe cîte zece bucăți DPA4,5, astfel încît rotirea fiecărei tije s-a efectuat în cadrul timpului total de sudare MIG și răcire a îmbinărilor lotului de dispozitive port-anod. În ceea ce privește sudarea în cornișă a îmbinărilor Al-Al, aceasta este influențată de alcătuirea constructivă a dispozitivului port-anod, la DPA5 putînd fi aplicată, în timp ce tehnologia de sudare utilizată în prezent în metalurgia Al pentru execuția DPA1, interzice efectuarea sudării MIG în această poziție [142].

### 3.3.5.-răciră artificială a îmbinărilor bimetale

#### la sudarea MIG a DPA4,5

Încălzirile repetate ale îmbinărilor Oțel-Al nu trebuie să depășească 673K în cazul combinațiilor cu oțeluri obișnuite și 823...873K în cazul perechilor de materiale Al-Oțel inoxidabil [38, 114, 129]. Asemenea valori ale temperaturii îmbinărilor bimetale nu apar în timpul exploatării dispozitivului port-nod. Totuși, reducerea căldurii de transfer constituie o rezervă importantă de micșorare a tensiunilor în îmbinarea Oțel-Al. În acest sens, s-a considerat răciră artificială ca o soluție pentru menținerea limitei maxime a temperaturii îmbinărilor sudate prin frecare, pe toată durata sudării MIG a îmbinărilor Al-Al, sub o valoare acceptată ca

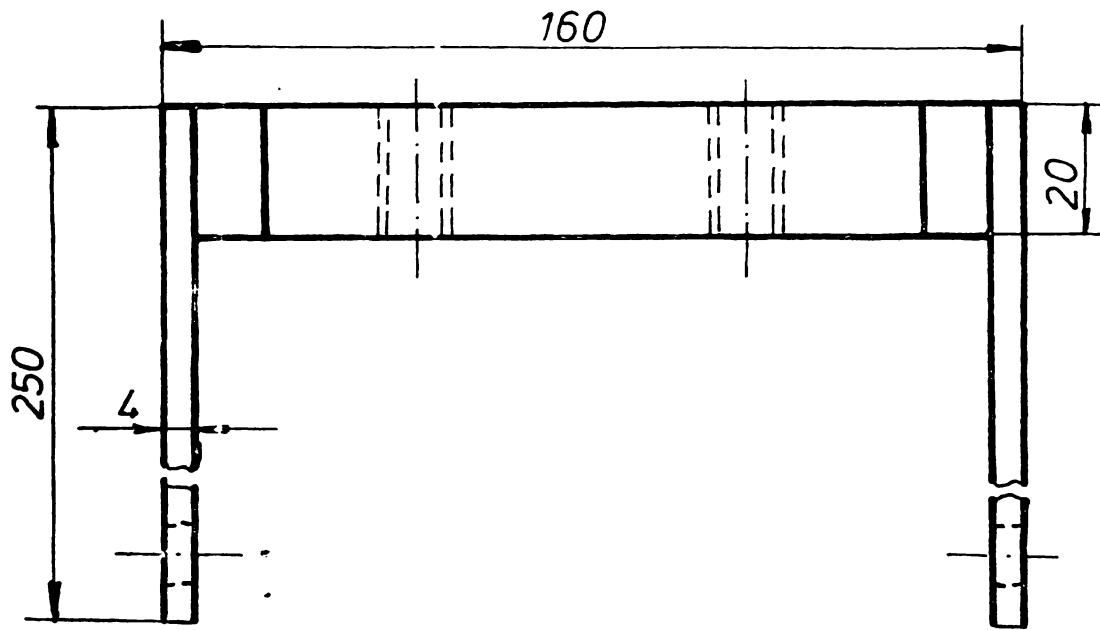


Fig.3.10.-Bară de fixare III

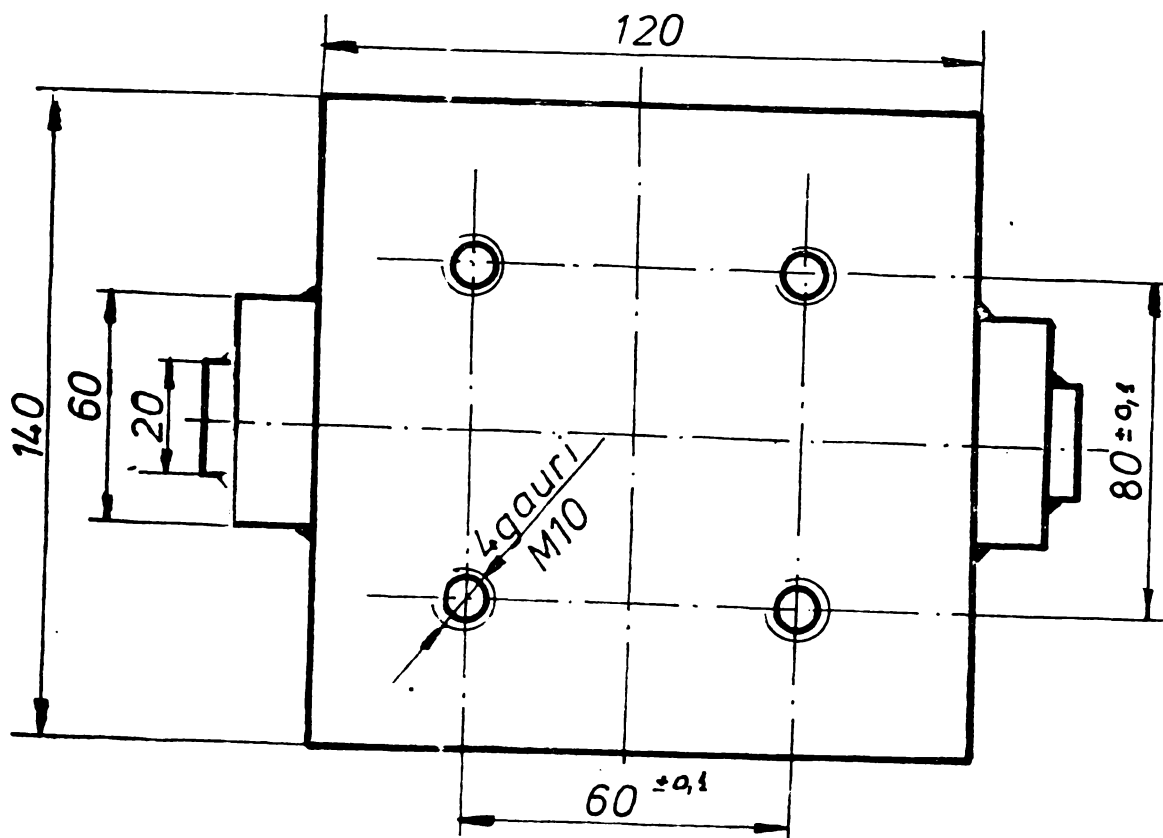


Fig.3.11.-Placă de centrare v

admisibilă. Procesul de sudare MIG a fost discontinuu atunci când răcirea îmbinărilor bimetal s-a produs în aer liber, pentru ca temperatura lor să nu depășească 473K.

La sudarea în poziție orizontală a îmbinărilor Al-Al ale DPA4 s-a utilizat aer comprimat ca mediu de răcire. Apa nu s-a folosit în acest scop, din cauza dificultății de etanșare a circuitului de răcire în zona celor patru suduri Oțel-Al. O vedere de ansamblu a dispozitivului de răcire se prezintă în figura 3.8. S-au prevăzut piese de fixare pe tija din aliaj de Al de centrare a îmbinărilor bimetal sudate prin frecare, de distribuție a aerului comprimat în planul sudurilor Oțel-Al (figura 3.9, 3.10, 3.11, 3.12).

La sudarea în cornișă a îmbinărilor Al-Al ale DPA5, s-a utilizat apa ca mediu de răcire. Pentru această tetrapiedul sudat prin frecare s-a introdus într-un recipient (figura 3.13), unde nivelul apei a acoperit sudurile bimetal dar s-a aflat sub forma prelucrată a rostului componentelor din Al. Pentru evitarea încălzirii apei în timpul sudării mediul de răcire s-a înlocuit continuu, apa intrând la baza recipientului și ieșind la partea superioară a acestuia. Sistemul de răcire a putut fi utilizat la DPA5, întrucât lungimea unei componente din Al (80 mm) este suficientă pentru a permite acoperirea completă cu apă a sudurilor Oțel-Al și, în același timp, desfășurarea normală a procesului de sudare MIG cu tija anodică. Comparativ la DPA1,3, răcirea cu aer sau cu apă a îmbinării bimetal nu este posibilă, din cauza grosimii reduse a stratului de Al plăcat prin explozie (12,8 mm). După introducerea tetrapiedului bimetal în recipientul cu apă de răcire, tija din aliaj de Al s-a așezat în poziție verticală cu baza coloanei pe suprafața frontală a îmbinărilor sudate prin frecare, formându-se rostul îmbinărilor Al-Al ale DPA5. În vederea poziționării tijelor anodice s-a realizat un dispozitiv pentru mai multe piese port-anod (figura 3.14). Tijele anodice 1, s-au introdus între distanțierile 2, apoi s-au fixat de bara 3. prin șuruburile 4 și bridele 5. Stabilitatea spațială a sistemului s-a obținut cu cadrele transversale 6 și barele de rigidizare 7,8. Procesul de sudare s-a desfășurat continuu, în condițiile date neinfluen-

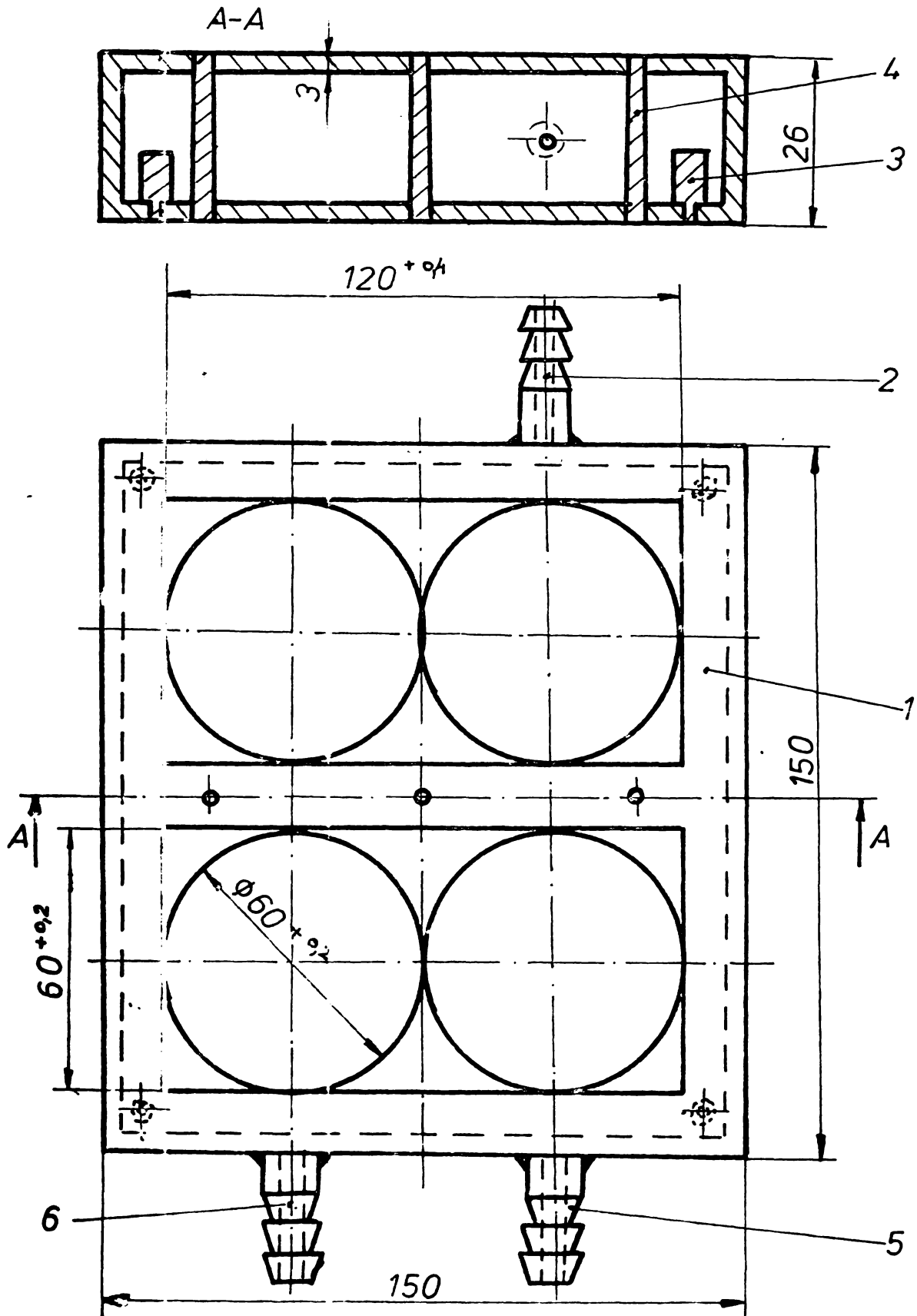


Fig.3.12.-Piesă de răcire VI: 1-cuție metalică, 2-record furtun, 3-opritor, 4-distanțier, 5-record furtun, 6-racord furtun

ținând starea termică a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare.

În concluzie, la asamblarea în construcții sudate, temperatura îmbinărilor bimetal trebuie menținută sub 673K în cazul combinațiilor între Al și oțelul obișnuit.

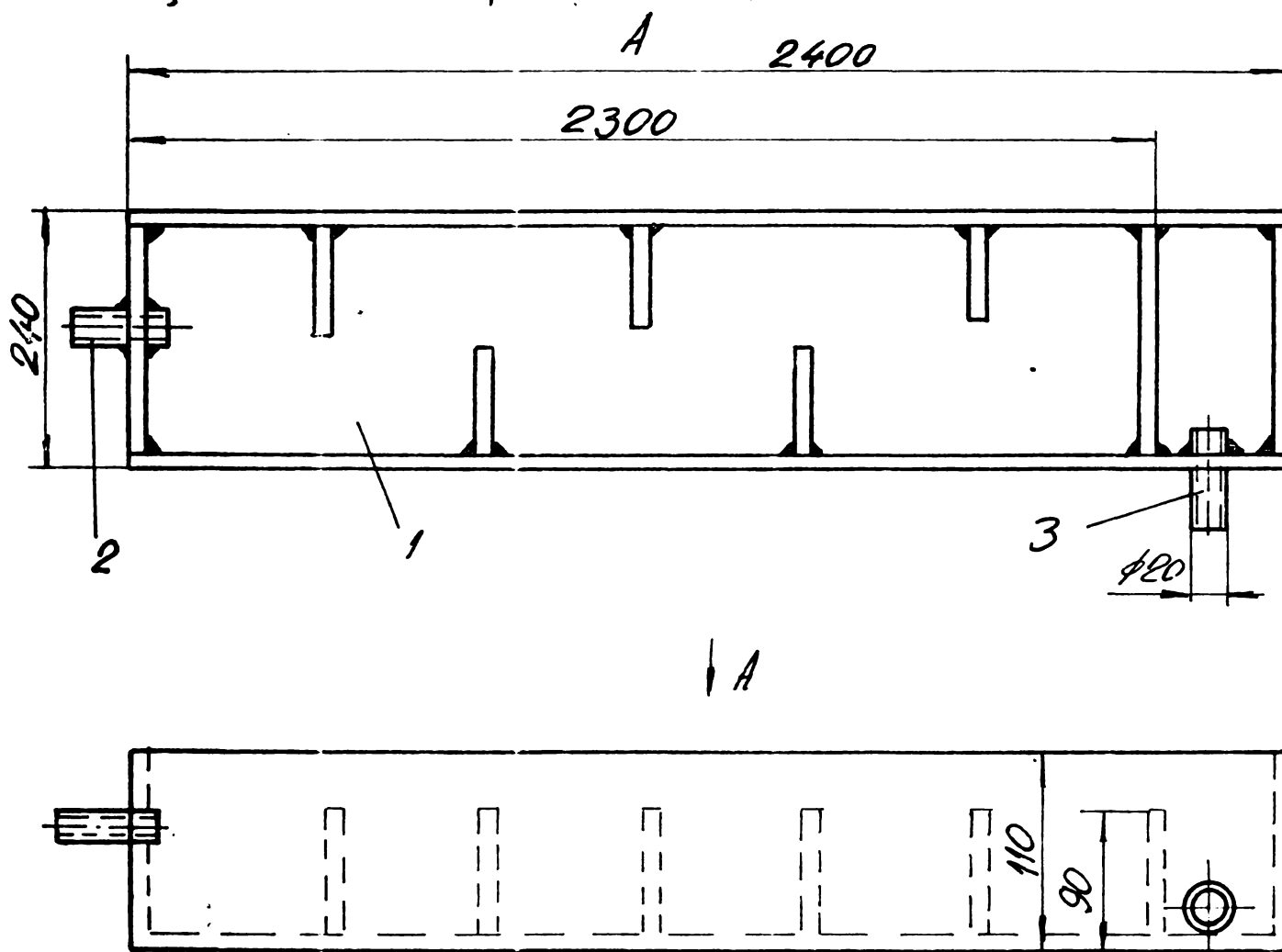


Fig.3.13.-Recipient pentru răcirea îmbinărilor bimetal la sudarea MIG a DPA5: 1-corpul recipientului; 2-racord pentru intrarea apei; 3-racord pentru ieșirea apei din recipient

La DPA1,3 s-a prelungit durata de execuție astfel încât, în fiecare moment al procesului de sudare temperatura să fie menținută, prin răcire naturală, sub valoarea de 588K. La sudarea MIG a dispozitivelor port-șnod prevăzute cu îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare, încălzirea sudurilor bimetal a fost eliminată complet prin folosirea unui dispozitiv de răcire cu aer la DPA4, respectiv de răcire cu apă în cazul DPA5. Utilizarea acestor dispozitive a făcut posibilă desfășurarea continuă a lucrărilor de sudare la DPA4,5 în condiții



de productivitate similare cu cele existente la sudarea unor construcții realizate din materiale omogene.

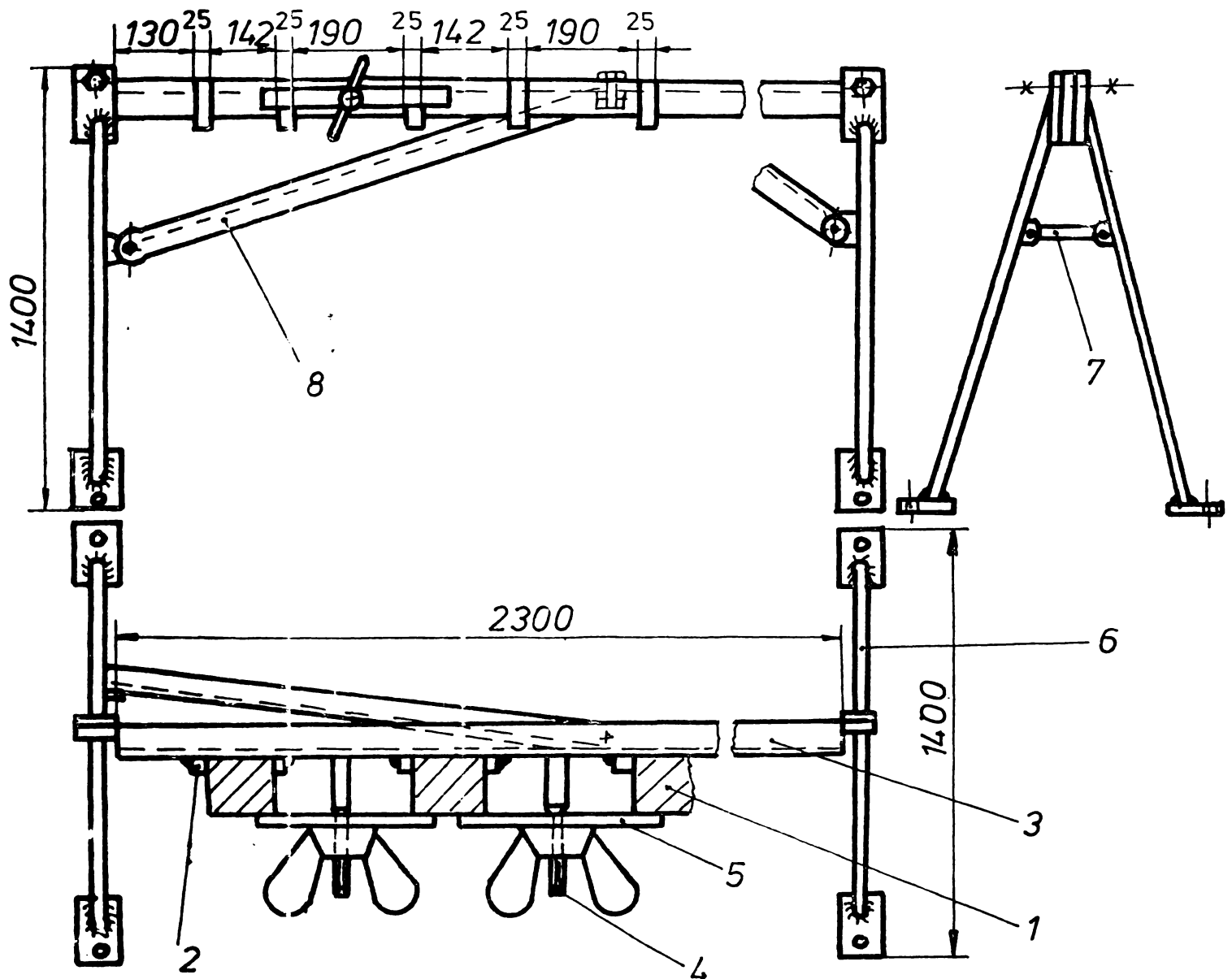


Fig.3.14.-Dispozitiv de poziționare utilizat la sudarea MIG a DPA5: 1-lătișia anodică; 2-distanțier; 3-bară de fixare din profil cornier; 4-șurub cu piuliță fluture; 5-bridă; 6-cadru din țevă; 7-bară de rigidizare I; 8-bară de rigidizare II

Din cauze grosimii reduse (12,8 mm) a stratului de Al plăcat prin explozie, la sudarea MIG a îmbinărilor Al-Al ale DPA1,3 nu poate fi aplicată răcirii forțată cu aer comprimat sau cu apă a îmbinării Oțel-Al. De asemenea spre deosebire de DPA4,5 răcirii artificiale a sudurii prin explozie nu poate fi realizată nici în timpul sudării ulterioare a îmbinărilor Oțel-Oțel ale DPA1,3, din cauze lipsei de acces la ambele suprafețe ale plăcii bimetal după sudarea MIG a îmbinărilor Al-Al.

#### 4.-SUDAREA ELECTRICA A COMPONENTELOR DE OTEL DE LA IMBINARILE BIMETAL CU TETRAPODUL DIN OTEL

La DPA1...5 tija din aliaj de Al și tetrapodul din oțel se assemblează cu îmbinări Oțel-Oțel sudate electric, prin intermediul unor componente bimetal sudate prin explozie sau prin frecare.

Imbinările Oțel-Oțel asigură o legătură fără joc între anod și tijă. Aceste îmbinări sînt slab sollicitate static, greutatea unui anod precoat pulverizat fiind de 2630 N. Particularitățile cusăturilor Oțel-Oțel sînt următoarele;

-lungimea este foarte mică, fiind limitată de dimensiunile componentei din oțel a îmbinărilor bimetal;

-secțiunea lor trebuie să fie cît mai mare pentru ca densitatea de curent să fie scăzută;

-prin sudurile Oțel-Oțel se încastrează la al doilea capăt îmbinările bimetal și se introduc tensiuni în sudurile Oțel-Al ale DPA5.

##### 4.1. Procesul de sudare

Tija din aliaj de Al, după sudarea prin procedeul MIG cu componenta din Al a îmbinărilor bimetal ale DPA1,3,4,5, se așează în poziție verticală pe tetrapodul din oțel, de care se fixează prin patru suduri de prindere provizorie decalate între ele cu  $90^\circ$ . Poziția de sudare a îmbinărilor Oțel-Oțel este orizontală (figura 4.1). Se utilizează electrozi Superbaz E51.5 B.110.2.0.H. La DPA1,3, sudarea se face discontinuu, cu pauze de răcire între straturi pentru menținerea îmbinării bimetal sudată prin explozie sub temperatura de 588K. La DPA4,5, se folosește un dispozitiv de răcire cu aer comprimat (figura 4.2), pentru menținerea temperaturii îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare sub 473K și reducerea timpului de sudare a îmbinărilor Oțel-Oțel.

Dispozitivul este alcătuit din semicutiile 1,2 care se assemblează cu plăcile 3,4,5 și se fixează pe îmbinările bimetal cu șuruburile rebataabile 8,9. S-a experimentat, de asemenea,

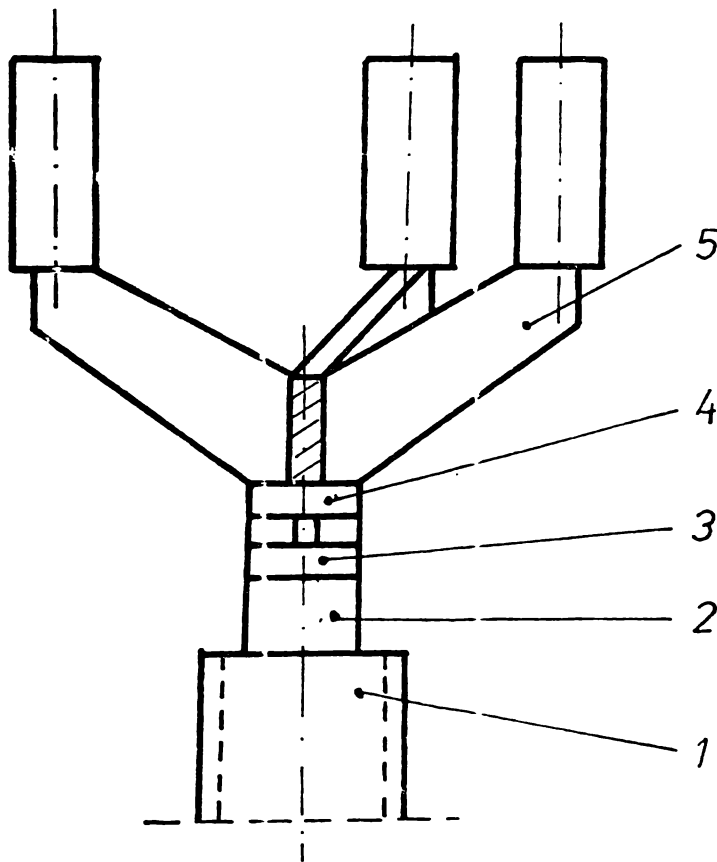


Fig.4.1.-Sudarea îmbinărilor Oțel-Oțel ale DPAl,3,4,5: 1-țeavă; 2-tijă anodică; 3-sudură MIG; 4-îmbinare bimetel; 5-tetrapod din oțel

propagare a fluxului termic, căldura disipându-se în tetrapodul din oțel.

La sudarea îmbinărilor Oțel-Oțel ale DPAl,3,4,5, în poziție orizontală (figura 4.1), greutatea tetrapodului se distribuie uniform pe suprafața îmbinării Oțel-Al și se orientează în sensul producerii contracțiilor la răcirea materialului. Astfel, această solicitare nu generează tensiuni în sudurile bimetel. Productivitatea este influențată de numărul dispozitivelor port-anod care se sudează concomitent. În poziția de sudare orizontală productivitatea este scăzută, datorită numărului limitat al dispozitivelor de poziționare utilizate în procesul de sudare a DPAl,3,4,5. Sudarea îmbinărilor Oțel-Oțel fără dispozitiv de poziționare s-a realizat în plan inclinat, prin rotirea dispozitivului port-anod cu  $90^{\circ}$  față de poziția inițială de asamblare. În acest caz, DPAl,3,4,5

in răcirea directă a îmbinărilor bimetel prin orientarea jetului de aer comprimat asupra plăcii din oțel de care se sudează tetrapodul. În timpul procesului de sudare, căldura care se dezvoltă în această placă se transmite prin sudurile bimetel la tija anodică datorită conductibilității termice ridicate a Al. Prin folosirea unui dispozitiv cu aer comprimat care să provoace răcirea plăcii de oțel din partea spre îmbinările Oțel-Al (figura 4.3), se obține schimbarea sensului de

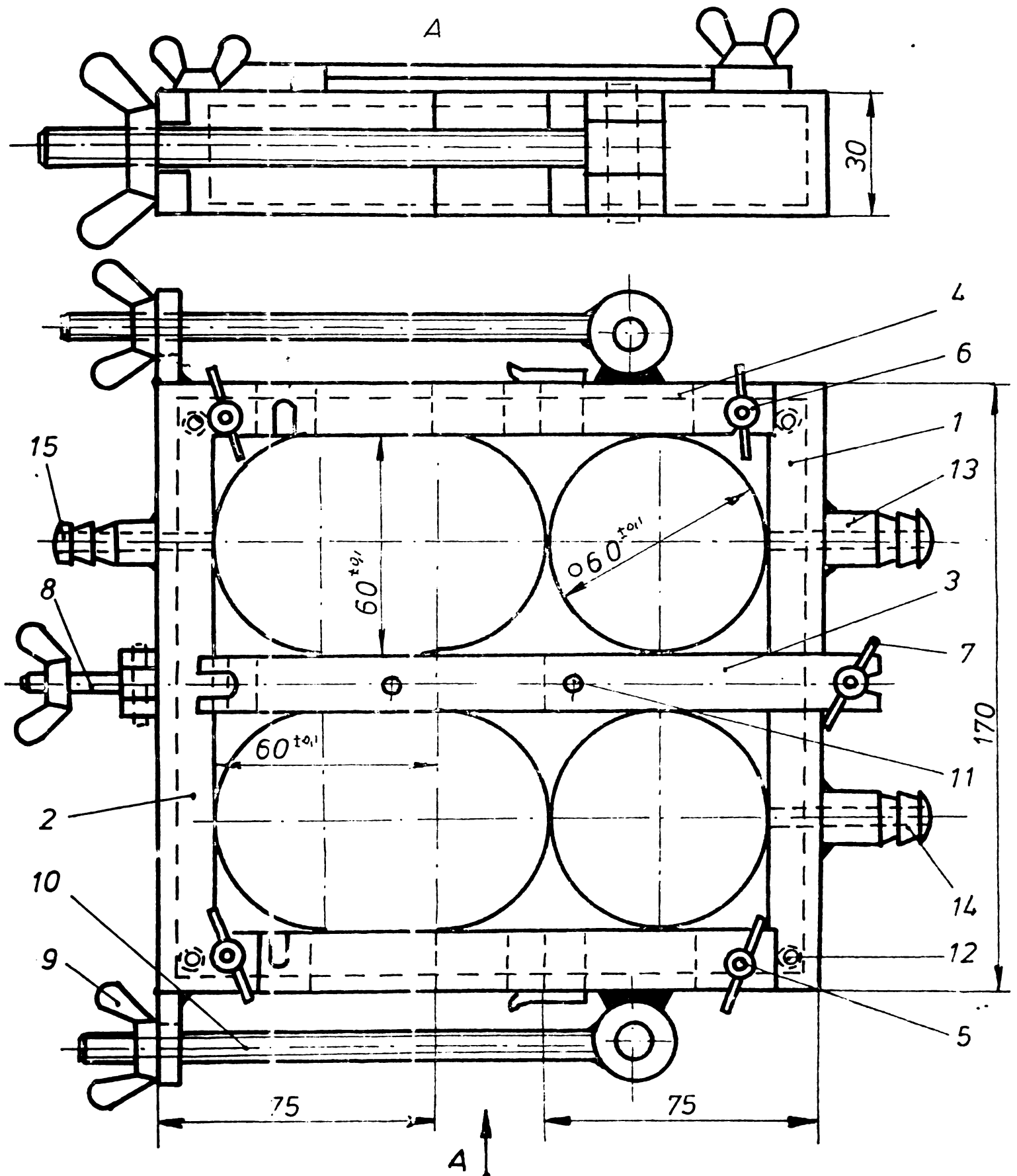


Fig.4.2.--Dispozitiv de răcire directă cu aer comprimat a îmbinărilor bimetel: 1,2-semicoutii; 3,4,5-plăcuțe; 6,7--șuruburi cu piuliță fluture; 8,9--șuruburi rabatabile; 10--distanțier; 11--opritor; 12,13,14--racorduri aer comprimat

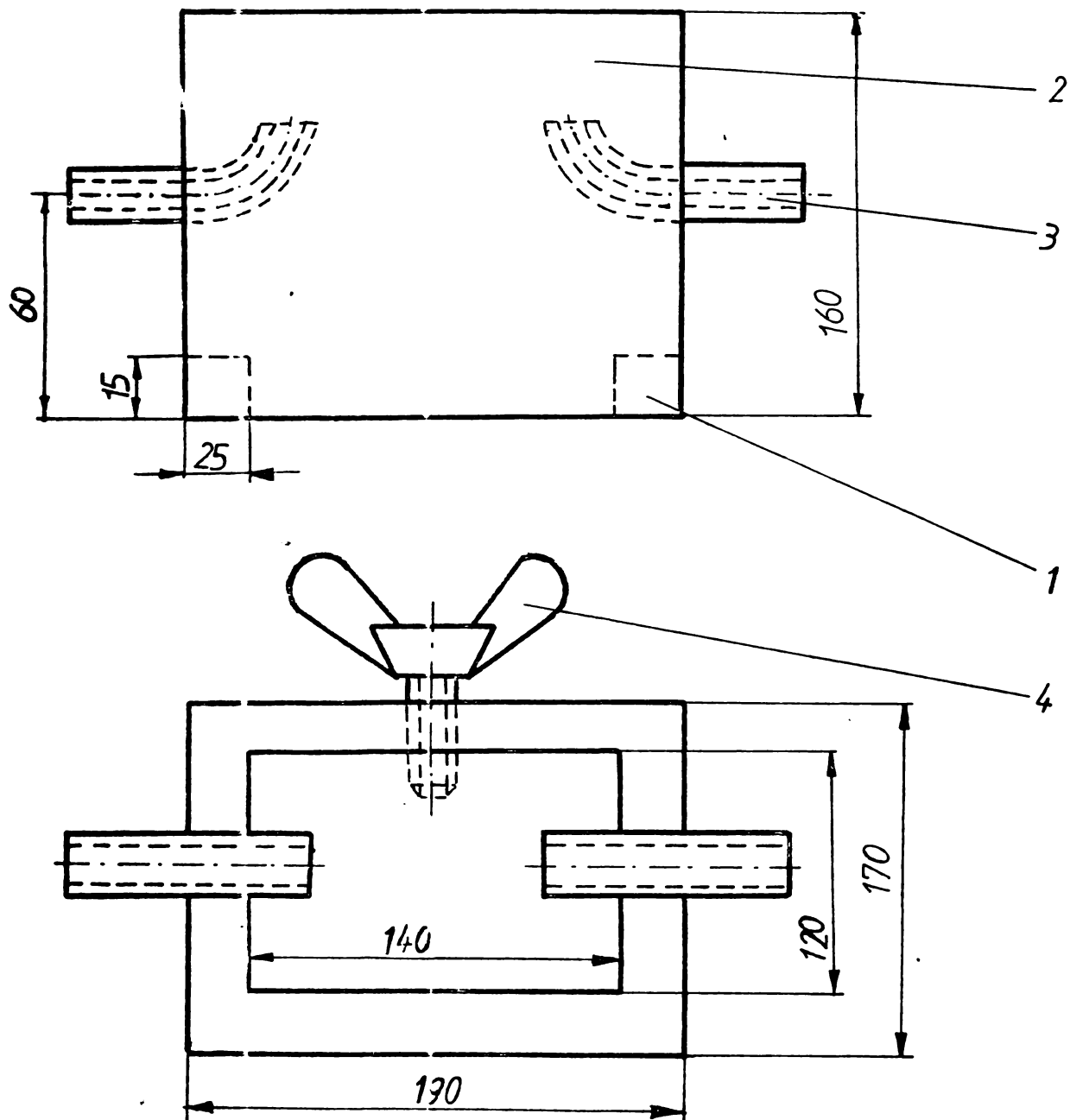


Fig.4.3.-Dispozitiv de răcire indirectă cu aer comprimat a îmbinărilor bimetal: 1-ramă, 2-cutie de tablă, 3-racord de aer comprimat; 4-șurub cu piuliță fluture

s-a sprijinit pe sol în trei puncte, respectiv pe vârful tijei anodice și două ramificații ale tetrapodului din oțel. Incercările experimentale au arătat că deplasările microvolumelor de material, provocate de dilatările și contracțiile ce apar la sudarea în plan înclinat, sînt împiedecate de forțele de frecare din reazeme. Ca urmare, în îmbinările Oțel-Al s-au produs tensiuni importante, care au provocat desprinderea îmbinărilor bimetal. Aceste constatări au confirmat oportunitatea sudării în poziție orizontală a cusăturilor Oțel-Oțel (figura 4.1).

Un rol deosebit de important în procesul de răcire îl are coloana tijei anodice, care funcționează ca un radiator termic. Transferul de căldură între cusăturile Oțel-Oțel și tija din aliaj de Al se face însă integral prin intermediul îmbinărilor Oțel-Al, din care cauză temperatura îmbinărilor bimetal este constant ridicată în timpul sudării. Ordinea de sudare a DPAl,3,4,5, care începe cu îmbinările Al-Al și se încheie cu îmbinările Oțel-Oțel, a fost aleasă tocmai din considerentul de a folosi tija anodică asemenea unui radiator termic. Prin inversarea ordinii de sudare se efectuează următoarele operații:

- sudarea îmbinărilor Oțel-Oțel;
- asamblarea subansamblului tetrapod-îmbinări bimetal cu tija din aliaj de Al;
- sudarea îmbinărilor Al-Al prin procedeul MIG.

Cu această ordine de sudare nu s-au obținut rezultate corespunzătoare, întrucât căldura degajată la sudarea componentelor din oțel s-a acumulat integral în îmbinarea Oțel-Al și a provocat desprinderea acestei îmbinări.

#### 4.2.-Efectul sudurilor din oțel asupra rezistenței îmbinărilor bimetal

Îmbinările Oțel-Al sudate prin frecare se înglobează

în construcția dispozitivului port-anod prin îmbinări Al-Al și Oțel-Oțel. La sudarea componentei din Al cu tija anodică îmbinarea bimetal se încastrează la un capăt și nu apar tensiuni, întrucât deformările nu sînt împiedecate. Încadrarea îmbinării Oțel-Al la al doilea capăt

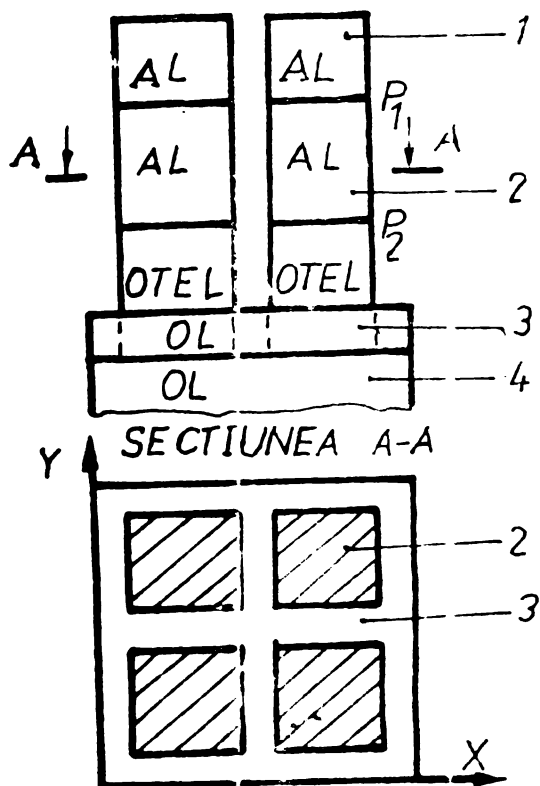


Fig.4.4.-Măsurarea deformațiilor la sudarea îmbinărilor Oțel-Oțel 1-componentă din tija anodică; 2-bară bimetal Oțel-Al; 3-placă din oțel;  $P_{1,2}$ -puncte de măsurare a deplasărilor

prin sudare cu tetrapedul din oțel introduce tensiuni de încheiere, rigiditatea dispozitivului port-anel complet asamblat (DPA4,5) opunându-se producerii deformațiilor. Prin desfacerea primei încastrări (figura 4.4) s-au cercetat deplasările îmbinărilor Al-Al în cazul când deformarea ar fi neimpiedecată la sudarea îmbinărilor Oțel-Oțel. În acest scop s-au efectuat 576 măsurători (tabelul 4.1) pe opt îmbinări bimetal, înregistrându-se deplasări în timp ale punctelor de măsurare aflate pe sudura MIG (P1) și sudura prin frecare (P2).

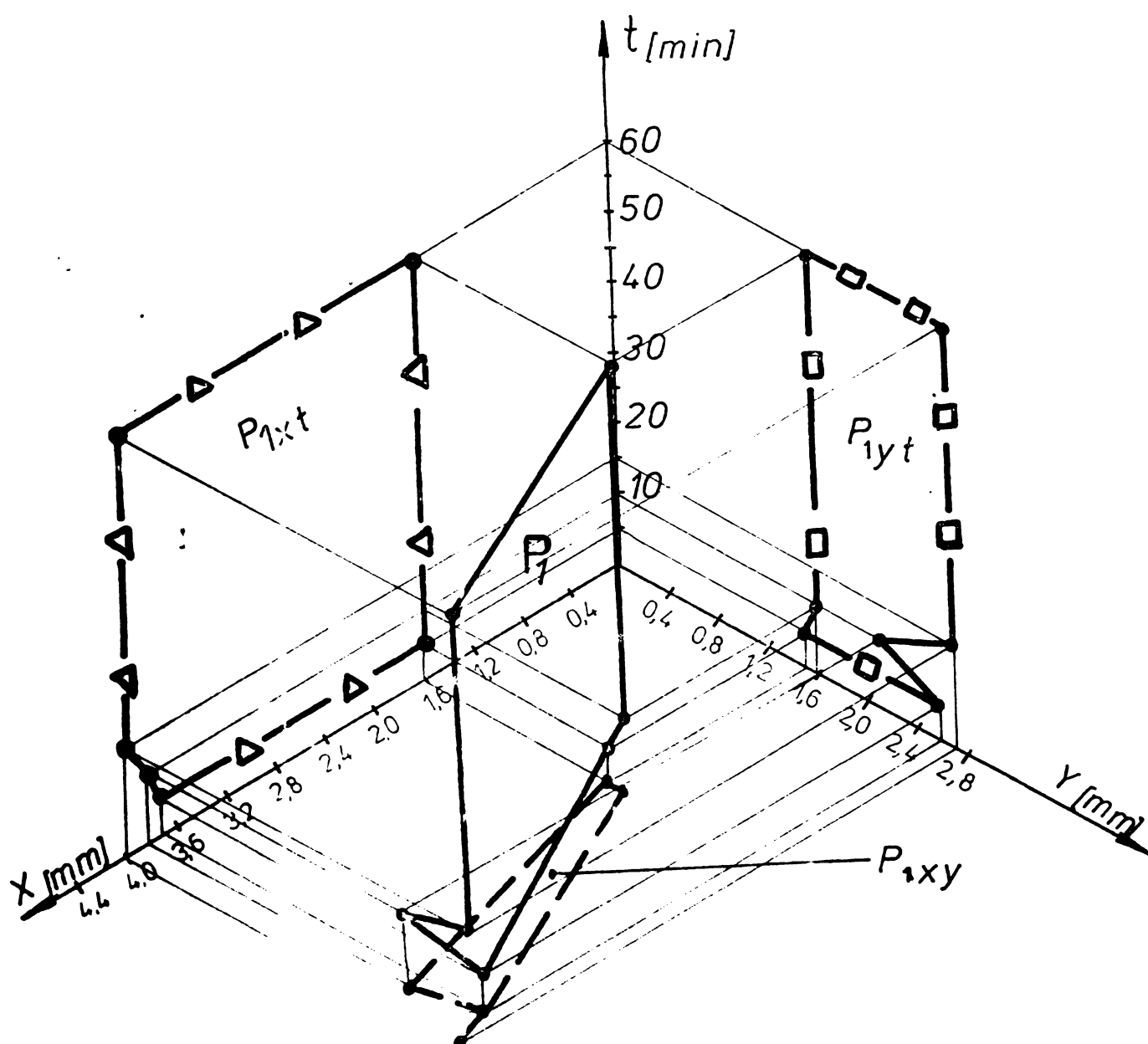


Fig.4.5.-Deplasările capătului liber al îmbinărilor bimetal (P1) la sudarea îmbinărilor Oțel-Oțel după desfacerea încastrării în tije anodice



S-au constatat (figura 4.5) modificări importante de poziție a capătului îmbinării Oțel-Al ( $P_1$ ), începutul procesului de stabilizare după 15 minute de la sudarea îmbinării Oțel-Oțel și încadrarea finală a deformațiilor într-un interval relativ larg de valori (1,6...4,0 mm) [8].

S-au efectuat măsurători tensometrice, pentru determinarea tensiunilor introduse în îmbinările bimetal prin împiedecarea acestor deformații de încadrare ale cele două capete a îmbinării bimetal. Suprafețele pe care urmau să fie aplicați traductorii s-au curățit până la luciu metalic cu ajutorul unei benzi abrazive. Cei doi traductori s-au montat pe îmbinarea bimetal cu un unghi între ei de  $180^\circ$  (figura 4.6). Întrucât

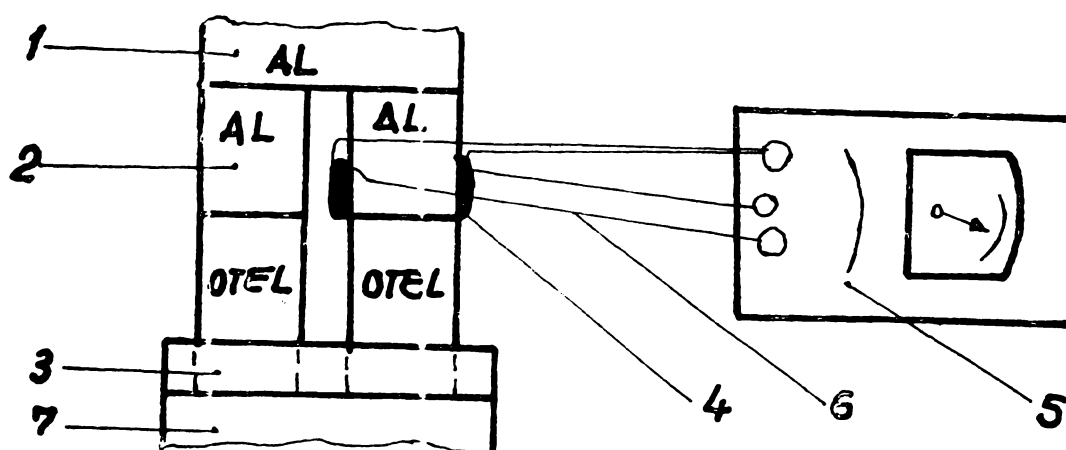


Fig.4.6.-Schema de legături a traductorilor tensometrici:  
1-tijă anodică, 2-îmbinare bimetal, 3-placă din oțel,  
4-traductori tensometrici RFT tip WG 12/025 de 5x5 mm,  
5-tensometru UMK 10, fabricație Hottinger, 6-conductori  
de legătură, 7-tetrapod din oțel

limita de funcționare a traductorilor tensometrici este 343 K iar temperatura în timpul sudării depășește această valoare, s-a asigurat răcirea în apă concomitent cu răcirea sudurii bimetal Oțel-Al. Pentru protecția traductorilor tensometrici contra umezelii, s-a folosit o rășină epoxidică tip NV.9535, diluată cu o soluție tip AY.103, în proporție de 1/1. Operația de sudare a îmbinărilor Oțel-Oțel s-a efectuat cu electrozi Superbaz,  $\varnothing$  3,25 mm. Cele patru componente din oțel ale îmbinărilor bimetal, au fost introduse în placa de oțel 1, de care s-au îmbinat prin sudură în gaură (figura 4.7), ordinea de sudare fiind

Intervalul deplasărilor măsurate pe sudurile MIG ( $P_1$ ) și sudurile prin frecare ( $P_2$ ) la sudarea a opt îmbinări

| Tim-<br>pul<br>după<br>su-<br>dare<br>min | P U N C T E D E M A S U R A R E |           |           |           |
|---|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | $P_1$                           |           | $P_2$     |           |
|   | Coordonatele deplasării - mm    |           |           |           |
|   | X-X                             | Y-Y       | X-X       | Y-Y       |
| 5   | 1,6...3,7                       | 1,5...2,6 | 1,4...2,6 | 1,1...2,4 |
| 10  | 1,5...3,8                       | 1,6...2,1 | 1,7...2,2 | 1,0...2,2 |
| 15  | 1,6...4,0                       | 1,6...2,7 | 1,6...3,7 | 1,2...2,4 |
| 20  | 1,6...4,0                       | 1,6...2,7 | 1,5...3,0 | 1,2...2,4 |
| 25  | 1,6...4,0                       | 1,6...2,7 | 1,5...2,7 | 1,1...2,4 |
| 30  | 1,6...4,0                       | 1,6...2,7 | 1,5...2,4 | 1,1...2,4 |
| 35  | 1,6...4,0                       | 1,6...2,7 | 1,5...2,4 | 1,1...2,4 |
| 40  | 1,6...4,0                       | 1,6...2,7 | 1,5...2,4 | 1,1...2,4 |
| 45  | 1,6...4,0                       | 1,6...2,7 | 1,5...3,0 | 1,1...2,4 |
| 50  | 1,6...4,0                       | 1,6...2,7 | 1,5...3,2 | 1,1...2,4 |
| 55  | 1,6...4,0                       | 1,6...2,7 | 1,5...3,2 | 1,1...2,4 |
| 60  | 1,6...4,0                       | 1,6...2,7 | 1,5...3,2 | 1,1...2,4 |

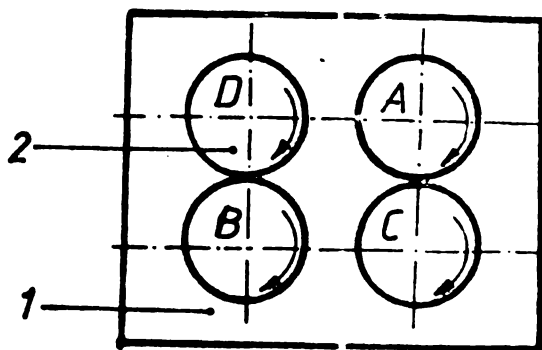


Fig.4.7.-Ordinea de sudare a îmbinărilor Oțel-Oțel:  
1-placă din oțel; 2-îmbinare Oțel-Al

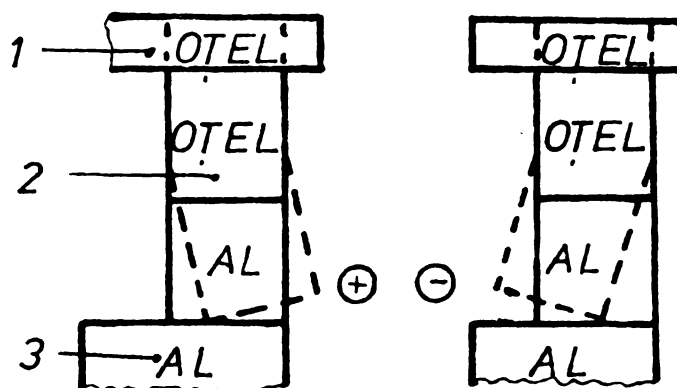
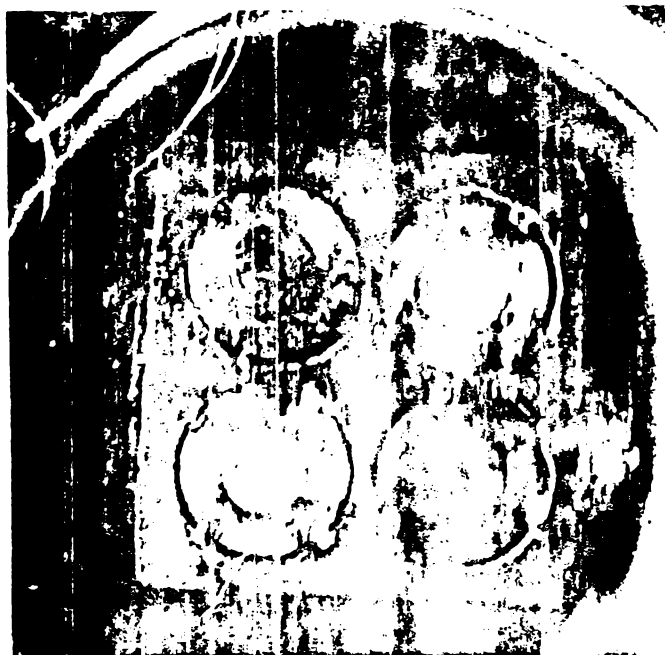


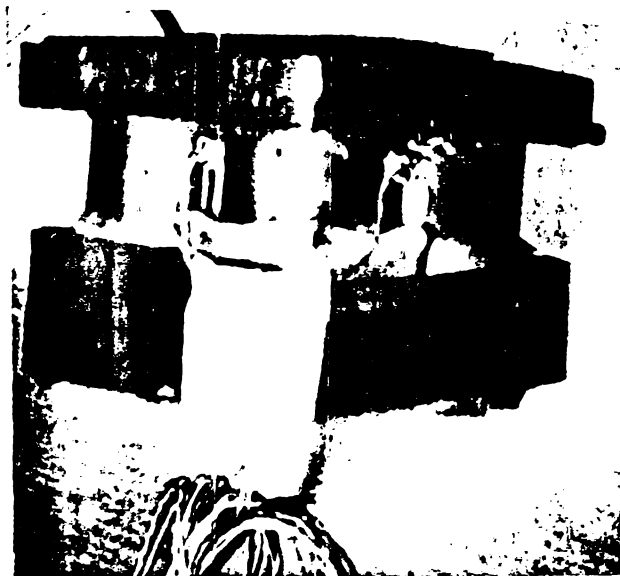
Fig.4.8.-Îmbinări bimetal după sudarea îmbinărilor Oțel-Oțel: a)îmbinări Oțel-Al, A,B,D; b)îmbinări bimetal c) 1-placă din oțel; 2-îmbinari bimetal; 3-componentă tijă Al



a)



**Fig. 4.8. A**  
a) forma costului de sudare ;  
b) sudarea electrica a imbinărilor C<sub>1</sub>el-C<sub>1</sub>el .



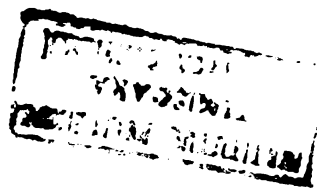
c)



d)

Fig. 4.8- 1.

- c) Poziția ea traductorilor tensometrici ;
- d) Vedere de ansamblu .



A, B, C, D. La efectuarea măsurătorilor nu s-a folosit un traductor de compensație special, această funcție fiind îndeplinită de unul din cei doi traductori utilizați. Valoarea măsurată corespunde variației relative a rezistenței și este proporțională cu deformația specifică. Tensiunea de încovoiere, care este produsă datorită deformațiilor în piesa sudată, se calculează cu relația:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma'}{2} \quad (4.1)$$

$$\bar{\sigma} = \epsilon \cdot E \quad (4.2)$$

unde:

$\epsilon$  - deformația specifică;

$E$  - modulul de elasticitate longitudinală;

$\sigma'$  - tensiunea de încovoiere dată de cei doi traductori tensometrici;

$\bar{\sigma}$  - tensiunea de încovoiere efectivă.

După încastrarea îmbinărilor bimetal în placa din oțel s-a procedat la asamblarea generală a DPA4 prin montarea subansamblului tijă anodică 1, îmbinări bimetal 2, placă 3 pe tetrapodul 4 (figura 4.4) și sudarea prin cășturi de colț. Cu datele efective ale măsurătorilor se rezultă valorile de tensiuni introduse în sudurile executate prin frecare, ca urmare a înglobării Oțel-Al în construcția DPA4 (tabele 4.2).

TABELA 4.2

Tensiunea de încovoiere efectivă a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare la asamblarea generală a DPA4

| Opera-<br>ția de asam-<br>blare | Elementele<br>de asamblate   | Compo-<br>nente din<br>care se su-<br>deză | Proce-<br>deu de<br>sudare | Mărimi de<br>calcul            |                 | Tensiuni de<br>încovoiere   |                                    |
|---------------------------------|--|--|----------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------------|
|                                 |  |  |                            | $\epsilon$<br>$\times 10^{-6}$ | $E \times 10^6$ | $\bar{\sigma} = \epsilon E$ | $\bar{\sigma} = \frac{\sigma'}{2}$ |
|                                 |  |  |                            | daN/cm <sup>2</sup>            |                 |                             |                                    |
| 1                               | Tijă anodică<br>și patru îm-<br>binări bime-<br>tal A,B,C,3<br>Fig.4.7 | A<br>B<br>C<br>D                           | NIC                        |                                |                 |                             |                                    |
| 2                               | Subansamblul<br>1 și placă din<br>oțel Fig.4.8                         | A<br>B<br>C<br>D                           | sudare<br>electri-<br>că   | 300<br>20<br>-20<br>100        | 2,1             | 620<br>42<br>-42<br>210     | 310<br>21<br>-21<br>105            |
| 3                               | DPA4<br>Fig.4.4  | Tetra-<br>pod<br>din<br>Oțel               | "                          | 40                             | 2,1             | 84                          | 42                                 |

Valoarea totală a tensiunilor efective de încovoiere prevenite din încastrarea îmbinărilor bimetal cu sudurile din oțel este  $415 \text{ daN/cm}^2$ .



Fig. 4.9. - Proba pentru încercarea de rupere la tracțiune a DPA4

Determinările tensometrice au fost completate cu încercări de răpere la tracțiune a DPA4 după sudarea îmbinărilor Oțel-Oțel. Astfel, pentru proba de rupere s-a reținut baza tijei din aliaj de Al, îmbinările bimetal sudate cu aceste prin procedeul MIG și placa din oțel, care încastrază cele patru componente la al doilea capăt (figura 4.9). S-a realizat un dispozitiv cu bolt pentru prinderea probei în bacurile mașinii de încercat la tracțiune (figura 4.10).



Fig. 4.10. - Dispozitiv de prindere în mașină de încercat la tracțiune

Forțele la care a fost solicitată îmbinarea au ajuns la valori atât de mari încât au provocat deformarea bolțului din oțel (figura 4.11).



Fig.4.11.-Forma bolțului din oțel după ruperea îmbinării

Ruperea s-a amorsat în zona găurii din tije anodică, apoi s-a dezvoltat în MB și sudura Al-Al (figura 4.12).



Fig.4.12.-Aspectul ruperii DPA4 după încercarea la tracțiune



In toate cazurile cercetate (tabela 4.3) nu s-a constatat desprinderea îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare. In valori medii, forța maximă la rupere la temperatura normală a DPA4 este 29.000 daN. Intrucât varianta propusă DPA4 este executată din patru îmbinări bimetale sudate prin frecare, rezultă că fiecărei îmbinări Oțel-Al i-a revenit o forță la rupere de 7250 daN.

T A B E L A 4.3

Rezultatele încercării de rupere la tracțiune a DPA4

| Nr. crt. | Temperatura de încercare<br>K | Forța de rupere<br>la tracțiune<br>daN |
|----------|-------------------------------|--|
| 1        | 293                           | 33000                                  |
| 2        | 293                           | 25000                                  |
| 3        | 293                           | 30000                                  |
| 4        | 393                           | 28000                                  |
| 5        | 623                           | 11000                                  |

Se compară această valoare cu 13640 daN, care este media valorilor forței de rupere la tracțiune obținută după sudarea prin frecare a zece îmbinări Oțel-Al (tabela 5.5). Diferența între cele două valori este 6390 daN. Rezultă că încastrarea îmbinărilor bimetale prin sudurile Oțel-Oțel are ca efect reducerea cu 45% a rezistenței la rupere a acestor îmbinări bimetale.

## 5.-STUDII SI CERCETARI CU PRIVIRE LA CONTROLUL CALITATII IMBINARILOR SUDATE

Dispozitivele port-anod DPA3,4,5,6 se montează în cuve, susțin blocurile cu anodi precopti și preiau, prin conducție și radiație, o parte din căldura ce se degajă în procesul de fabricație electrolitică a aluminiului.

Astfel, la un dispozitiv port-anod îmbinările de tip Oțel-Al și Al-Al sînt solicitate static la întindere și ambele tipuri de îmbinări la temperaturi medii de 403 K. În aceste condiții se necesită încercarea mecanică a îmbinărilor sudate pentru DPA3,4,5,6 la temperatură normală și încălzire de lungă durată, controlul nedistructiv și structural al acestor îmbinări.

### 5.1.-Controlul calității îmbinărilor Oțel-Al

În cadrul prezentei cercetări s-au efectuat încercări de rupere la tracțiune la rece și la încălzire de scurtă durată; încercarea la fluej a îmbinărilor bimetal, măsurarea durității și analiza metalografică a îmbinărilor sudate.

5.1.1.-Încercări la rupere la tracțiune pentru alegerea  
componentei din oțel a îmbinărilor bimetal

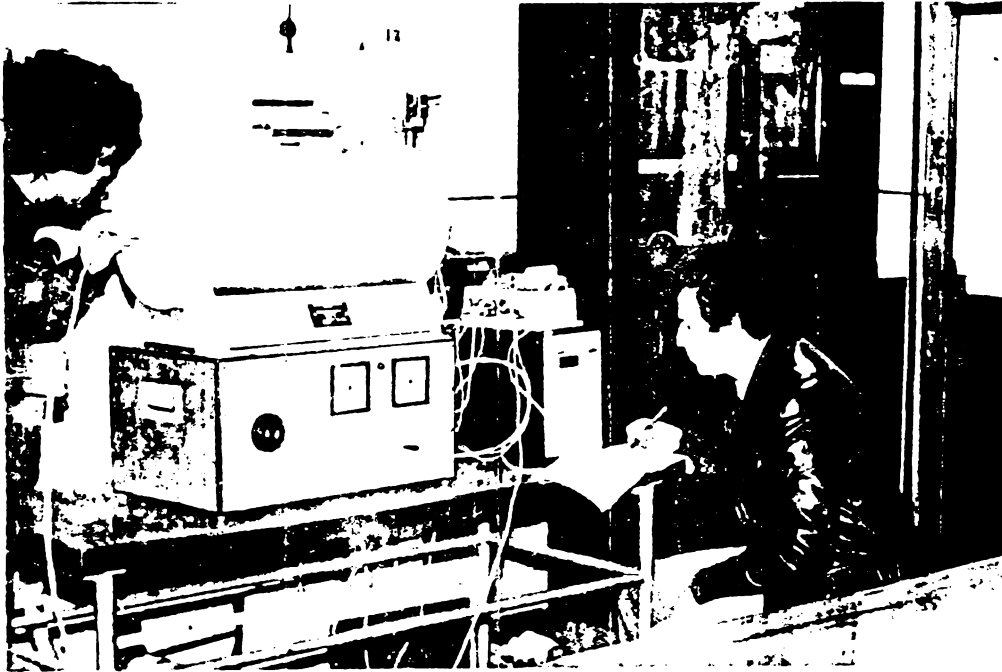
Încercările mecanice pentru verificarea calității îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare ale DPA4,5,6 sînt încercări de rupere la tracțiune la temperatură normală și în regim termic de scurtă durată, la temperatura de 473K și 633K.

#### 5.1.1.1.-Efectuarea încercărilor

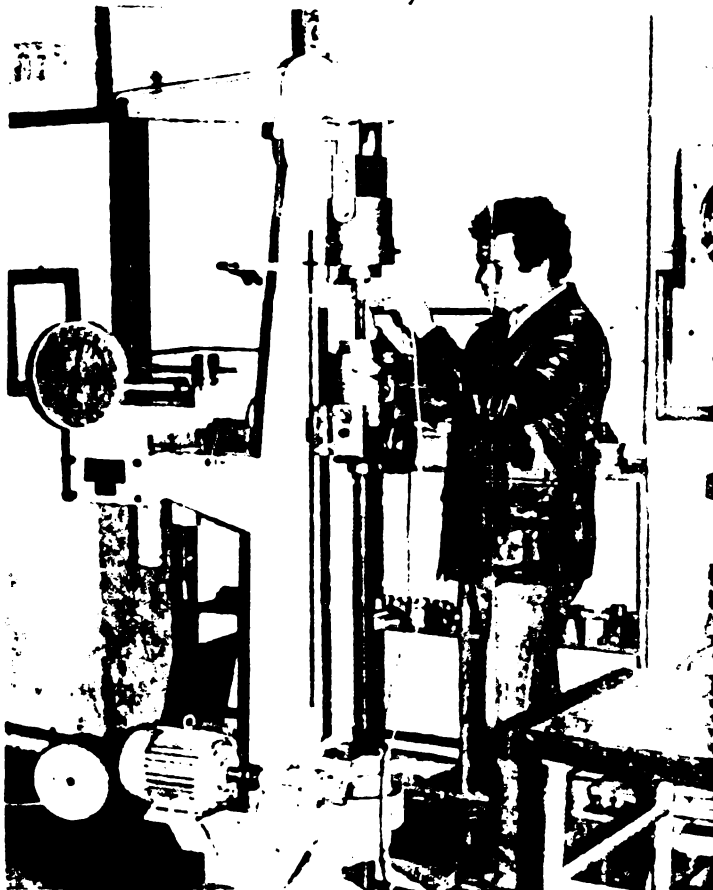
Temperatura de 473K aleasă pentru încercări este mai mare cu 70 K decît temperatura medie de exploatare a îmbinărilor bimetal, iar aceea de 633K depășește cu 35K temperatura cea mai ridicată care s-a constatat pe îmbinările Oțel-Al ale dispozitivului port-anod montat în cuve de electroliză [131].

Scopul acestor încercări este de a stabili marca oțelului care, după acest criteriu, are o bună capacitate de sudare prin frecare cu aliajul ATSi5Fe și de a cerceta influența încălzirii asupra rezistenței la rupere la tracțiune a acestor îmbinări.

Încălzirea s-a făcut într-un cuptor tubular tip I.N.M. (figura 5.1,a), care este utilizat pentru verificarea termocuplelor și are avantajul unei încălziri uniforme de-a lungul probei. Elementele de încălzire sânt bare de siliciu. Temperatura de încălzire se reglează continuu, iar valoarea maximă este 1373K. Traductorul de temperatură folosit este un termocuplu Cr-Al, cu o bună liniaritate și sensibilitate pentru temperaturile de 473K și 633K.



a)



b)

Fig.5.1.-Încercarea de rupere la tracțiune la încălzire de scurtă durată a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare:

- a) cuptor tubular tip I.N.M. cu termocuplu Cr-Al
- b) controlul temperaturii unei îmbinări bimetal prinsă în bacurile mașinii R.M-104 (R.P.U.)

capătul "rece" al termocuplului s-a termostatat la temperatura de  $323 \pm 0,2K$ , iar sudura "caldă" s-a aflat în contact intim cu sudura realizată prin frecare. Pentru indicarea temperaturii de încălzire s-a utilizat un compensator tip Hartmann-Braun, efectuându-se și verificări periodice ale indicației cu un compensator manual tip Q.T.K.(R.S.C.). Luând în considerare erorile mijloacelor de măsurare a termocuplului (selecționat), din analiza valorilor rezultă că determinările s-au făcut cu o eroare de  $\pm 2K$ , timpul de răspuns al sistemului de măsurare fiind corespunzător față de inerția termică a masei încălzite.

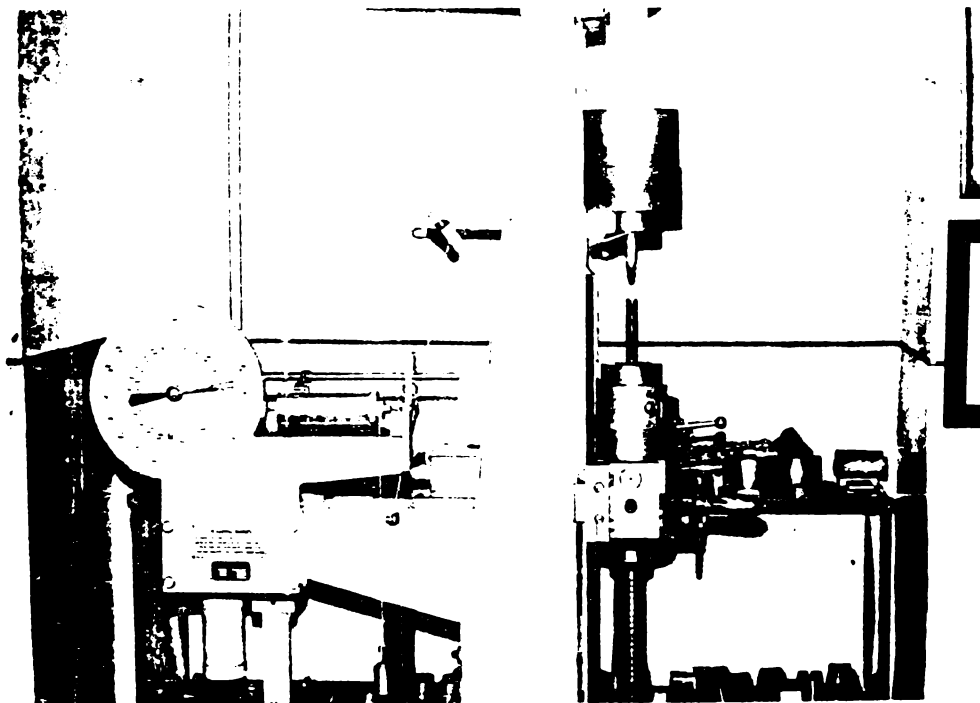


Fig.5.1.c) Aspectul îmbinării după încercarea de rupere la tracțiune statică

Încercarea de rupere la tracțiune s-a efectuat cu o mașină tip RM-104 (R.P.U.), având capacitatea maximă de încărcare de 0,1MN. Datorită pierderilor de căldură ce apar după scoaterea din cuptor, s-a verificat concordanța între temperatura îmbinării Oțel-Al introdusă în bacurile mașinii de încercat la tracțiune și temperatura stabilită pentru încercări (figura 5.1,b), după care s-a produs ruperea îmbinării sudate (figura 5.1,c). S-a calculat rezistența la tracțiune și s-a examinat modul de rupere al îmbinărilor. Rezultatele obținute s-au diferențiat după marca componentei din oțel și după temperatura la încercarea de tracțiune a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare (tabela 5.1). Se constată valori apropiate ale rezistenței de rupere la temperatură normală pentru toate îmbinările bimetal cercetate.

Odată cu creșterea temperaturii rezistența de rupere se micșorează, iar la 633K aliajul ATSi5Fe, după sudarea prin frecare cu componente din oțel 33MnCr11, 30MnCrNi20, formează perechi de materiale cu proprietăți necorespunzătoare în raport cu condițiile de exploatare ale dispozitivului port-anod. 72% din îmbinările Oțel-Al cercetate s-au rupt sub sarcină în sudură, iar 17% în Al (tabela 5.2.). Cele mai multe cazuri de rupere în aluminiu s-au constatat la îmbinările bimetale cu componenta de oțel din OLCl5, atât la temperatura normală cât și la 473K. Din cauza procesului de fragilizare foarte intens, îmbinările Oțel-Al care au o componentă din 33MnCr11 sau 30MnCrNi20 se rup la 633K, în timpul scoaterii din cuptor, sau la prinderea în bacurile mașinii de încercat la tracțiune.

#### 5.1.1.2.-Prelucrarea datelor experimentale

##### A) Stabilirea valorilor testului Student

Pentru prelucrarea datelor provenite din încercarea la rupere la tracțiune se utilizează testul Student de aprecierea estimațiilor pe bază de eșantioane mici ( $n < 30$ ). Se calculează indicatorii de sondaj:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i \quad (5.1.)$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum X_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum X_i \right)^2 \right] \quad (5.2.)$$

$$t_c = \frac{\bar{X} - m}{S/\sqrt{n}} \quad (5.3.)$$

în care:  $\bar{X}$  - este media de sondaj;  $S$  - abaterea medie pătratică a datelor de sondaj;  $t_c$  - valoarea de sondaj a testului Student.

Se consideră rezultatele încercării la tracțiune la temperatura de încercare de 473K, obținute la ruperea îmbinărilor bimetale cu componenta de oțel din OL37 și OL52 (tabela 5.1.), se calculează valoarea intermediară  $X_i$  și rezultă  $X_i^2$  (tabela 5.3.).

Rezultatele încercării la rupere la tracțiune a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare

T A B E L A 5.1

| Temperatura de încercare K |   | La încălzire în regim termic de scurtă durată |                         |                     |   |                         |                     |   |                         |                     |   |                         |                     |   |
|----------------------------|---|---|-------------------------|---------------------|---|-------------------------|---------------------|---|-------------------------|---------------------|---|-------------------------|---------------------|---|
| Nr.crt.                    | Componenta din oțel a îmbinărilor bimetal | Diametrul îmbinărilor Oțel-Al                 | Normală                 |                     |   | 293                     |                     |   | 473                     |                     |   | 633                     |                     |   |
|                            |   |   | Indicativul îmbinărilor | Forța de rupere dan | Rezistența la rupere la tracțiune dan/mm <sup>2</sup> | Indicativul îmbinărilor | Forța de rupere dan | Rezistența la rupere la tracțiune dan/mm <sup>2</sup> | Indicativul îmbinărilor | Forța de rupere dan | Rezistența la rupere la tracțiune dan/mm <sup>2</sup> | Indicativul îmbinărilor | Forța de rupere dan | Rezistența la rupere la tracțiune dan/mm <sup>2</sup> |
| 1                          | 2   | 3   | 4                       | 5                   | 6   | 7                       | 8                   | 9   | 10                      | 11                  | 12  |                         |                     |   |
| 1.                         | OL37 STAS<br>500/2-80                     | 18  | 6,4                     | 1660                | 6,52  | 6,24                    | 750                 | 2,94  | 6,26                    | 400                 | 1,57  |                         |                     |   |
|                            |   |   | 6,6                     | 2180                | 8,57  | 6,32                    | 800                 | 3,14  | 6,28                    | 340                 | 1,33  |                         |                     |   |
|                            |   |   | 6,7                     | 2300                | 9,04  | 6,33                    | 820                 | 3,22  | 6,30                    | 450                 | 1,76  |                         |                     |   |
| 2.                         | 0152 STAS<br>500/2-80                     | 18  | 6,8                     | 2620                | 10,3  | 6,37                    | 850                 | 3,34  | 6,31                    | 600                 | 2,35  |                         |                     |   |
|                            |   |   | 5,2                     | 2340                | 9,20  | 5,1                     | 560                 | 2,20  | 5,15                    | 550                 | 2,16  |                         |                     |   |
|                            |   |   | 5,14                    | 2300                | 9,04  | 5,3                     | 860                 | 3,38  | 5,17                    | 520                 | 2,04  |                         |                     |   |
|                            |   |   | 5,30                    | 2340                | 9,20  | 5,4                     | 750                 | 2,94  | 5,21                    | 650                 | 2,55  |                         |                     |   |
|                            |   |   | 5,33                    | 2520                | 9,90  | 5,5                     | 1080                | 4,24  | 5,22                    | 580                 | 2,28  |                         |                     |   |

TABELA 5.1 (continua)

|                                 | 1 | 2 | 3  | 4    | 5    | 6     | 7    | 8    | 9    | 10   | 11  | 12    |
|---------------------------------|---|---|----|------|------|-------|------|------|------|------|-----|-------|
| 3. O1Cr15 STAS<br>880-80        |   |   |    | 1,1  | 2220 | 8,72  | 1,9  | 1300 | 5,11 | 1,11 | 160 | 0,62  |
|                                 |   |   | 18 | 1,2  | 2820 | 11,08 | 1,10 | 2300 | 9,04 | 1,5  | 100 | 0,39  |
|                                 |   |   |    | 1,4  | 2310 | 9,08  | 1,3  | 2065 | 8,11 | 1,12 | -   | -     |
|                                 |   |   |    | 1,7  | 2630 | 10,34 | 1,6  | 400  | 1,57 | 1,8  | 70  | 0,27  |
| 4. 25MoCr 11<br>STAS<br>791-80  |   |   |    | 7,2  | 1600 | 6,29  | 7,6  | 630  | 2,47 | 7,1  | 240 | 0,94  |
|                                 |   |   | 18 | 7,9  | 2960 | 11,63 | 7,7  | 500  | 1,96 | 7,3  | 220 | 0,86  |
|                                 |   |   |    | 7,10 | 2780 | 10,93 | 7,8  | 940  | 3,09 | 7,5  | 260 | 0,70  |
|                                 |   |   |    | 7,11 | 2680 | 10,53 | 7,15 | 920  | 3,61 | 7,12 | -   | -     |
| 5. 30MoCr 11<br>STAS<br>791-80  |   |   |    | 3,2  | 2100 | 11,88 | 3,6  | 840  | 4,75 | 3,4  | 110 | -     |
|                                 |   |   | 20 | 3,3  | 2180 | 12,34 | 3,8  | 680  | 4,98 | 3,9  | 110 | 0,032 |
|                                 |   |   |    | 3,4  | 1950 | 11,04 | 3,13 | 780  | 4,41 | 3,14 | -   | -     |
|                                 |   |   |    | 3,1  | 2080 | 11,77 | 3,14 | 860  | 4,86 | 3,15 | -   | -     |
| 6. 30MoCrNi20<br>STAS<br>791-80 |   |   |    | 4,1  | 2110 | 7,90  | 4,10 | -    | -    | 4,13 | -   | -     |
|                                 |   |   | 20 | 4,9  | 2320 | 9,12  | 4,18 | -    | -    | 4,13 | -   | -     |
|                                 |   |   |    | 4,19 | 2410 | 9,47  | 4,20 | 920  | 3,61 | 4,32 | 120 | 0,47  |
|                                 |   |   |    | 4,23 | 2050 | 4,12  | 4,21 | 900  | 2,53 | 4,34 | -   | -     |



T A B E L A 5.2

Date privind runerea îmbinărilor bimetal Oțel-Al la încercarea de tracțiune

| Nr. crt.  | Componenta din oțel a îmbinărilor bimetal | Temperatura de încercare K |             |   |      |       |                |             |      |
|---|---|----------------------------|-------------|---|------|-------|----------------|-------------|------|
|   |   | Normală                    |             | La încălzire în regim termic de scurtă durată |      |       |                |             |      |
|   |   | 293                        |             | 473   |      |       | 633            |             |      |
|   |   | Runere                     |             | Runere  |      |       | Runere         |             |      |
|   | în Al în su-<br>dură                      | în Al                      | în          | în  | în   | în Al | în su-<br>dură | în          |      |
|   |   |                            | sudu-<br>ră | sudu-<br>ră                                   | la   |       | sub            | su-<br>dură |      |
|   |   |                            | sub         | în-   |      | sar-  | sar-           | la          |      |
|   |   |                            | sar-        | călzi-  |      | cină  | cină           | fixa-       |      |
|   |   |                            | cină        | re în   |      |       |                | re în       |      |
|   |   |                            |             | cuptor  |      |       |                | ba-         |      |
|   |   |                            |             |   |      |       |                | curi        |      |
| Indicativul îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare |   |                            |             |   |      |       |                |             |      |
| 1   | 2   | 3                          | 4           | 5   | 6    | 7     | 8              | 9           | 10   |
| 1   | OL 37<br>STAS<br>500/2/80                 | 6.4                        |             |   | 6.24 |       |                | 6.26        |      |
|   |   | 6.8                        |             |   | 6.32 |       |                | 6.28        |      |
|   |   |                            | 6.5         |   | 6.33 |       |                | 6.30        |      |
|   |   |                            | 6.7         |   | 6.37 |       |                | 6.31        |      |
| 2   | OL 52<br>STAS<br>500/2/80                 |                            | 5.2         | 5.4   | 5.1  |       | 5.17           | 5.15        |      |
|   |   |                            | 5.14        |   | 5.3  |       | 5.22           | 5.21        |      |
|   |   |                            | 5.30        |   | 5.5  |       |                |             |      |
|   |   |                            | 5.33        |   |      |       |                |             |      |
| 3   | OLC 15<br>STAS<br>880/80                  | 1.2                        | 1.1         | 1.9   |      |       |                | 1.11        |      |
|   |   | 1.4                        |             | 1.10  |      |       |                | 1.5         |      |
|   |   | 1.7                        |             | 1.3   |      |       |                | 1.12        |      |
|   |   |                            |             | 1.6   |      |       |                | 1.8         |      |
| 4   | 25MoCr11<br>STAS<br>791/80                |                            | 7.2         |   | 7.6  |       |                | 7.1         |      |
|   |   |                            | 7.9         |   | 7.7  |       |                | 7.3         |      |
|   |   |                            | 7.10        |   | 7.8  |       |                | 7.5         |      |
|   |   |                            | 7.11        |   | 7.15 |       |                | 7.12        |      |
| 5   | 33MoCr11<br>STAS<br>791/80                | 3.1                        | 3.2         | 3.14  | 3.6  |       |                |             | 3.4  |
|   |   |                            | 3.3         |   | 3.8  |       |                |             | 3.9  |
|   |   |                            | 3.4         |   | 3.13 |       |                |             | 3.12 |
|   |   |                            |             |   |      |       |                |             | 3.15 |
| 6   | 30MoCrNi20<br>STAS<br>791/80              |                            | 4.1         |   |      | 4.20  |                |             | 4.13 |
|   |   |                            | 4.9         |   |      | 4.21  |                |             | 4.31 |
|   |   |                            | 4.19        |   | 4.10 |       |                |             | 4.32 |
|   |   |                            | 4.23        |   | 4.18 |       |                |             | 4.34 |

TABELA 5.3

Calculul parametrului  $X_i^2$ 

| Nr. ord. | $R_{m1}$            | $R_{m2}$        | $R_{m2} - R_{m1}$ |         |
|----------|---------------------|-----------------|-------------------|---------|
|          | daN/mm <sup>2</sup> |                 | $X_i$             | $X_i^2$ |
|          | ATSi5Fe<br>OL37     | ATSi5Fe<br>OL52 |                   |         |
| 1        | 2,94                | 2,20            | -0,74             | 0,54    |
| 2        | 3,14                | 2,94            | -0,20             | 0,04    |
| 3        | 3,22                | 3,38            | 0,16              | 0,02    |
| 4        | 3,34                | 4,24            | 0,90              | 0,81    |
|          | Total               |                 | 0,12              | 1,41    |

Folosind relațiile (5.1.), (5.2.), (5.3.), valorile indicatorilor de sondaj se obțin astfel:

$$\bar{X} = \frac{0,12}{4} = 0,03 \quad \tilde{S}^2 = \frac{1}{3} (1,41 - 0,003) = 0,49$$

$$t_0 = \frac{0,03}{0,7\sqrt{4}} = 0,01$$

Păstrînd ca bază de comparație rezultatele încercării de rupere la tracțiune a îmbinărilor OL37-ATSi5Fe sudate prin frecare, se calculează în mod analog valoarea de sondaj  $t_0$  a testului Student pentru îmbinările bimetal realizate din ATSi5Fe în combinație cu mărcile de oțel OLC15, 25MnCr11, 33MnCr11 și 30MnCrNi20 (tabela 5.4.) și se reprezintă grafic (figura 5.2.). Din tabelele privind repartiția lui Student [28, 63] se constată că pentru a obține o diferență semnificativă în cazul unui nivel de semnificație de 1% și a unui număr de 3 grade de libertate ( $n - 1$ ), variabila  $t_t$  trebuie să fie egală sau mai mare decât 5,841.

TABELA 5.4.

valorile testului Student pentru perechile de materiale  
Oțel-Al sudate prin frecare, încercate la rupere la  
tracțiune

| Componenta din<br>oțel a îmbinării<br>bimetal | valoarea de sondaj $t_c$<br>Temperatura de încercare K |       |        | valoarea<br>teoretică<br>$t_t$ |
|---|--|-------|--------|--------------------------------|
|   | 293  | 473   | 633    |                                |
| OL52  | 0,90   | 0,04  | -0,03  |                                |
| OLC15   | 3,90   | 0,58  | -1,69  |                                |
| 25MnCr11                                      | 2,18   | -1,00 | -18,33 | $\pm 5,841$                    |
| 33MnCr11                                      | 5,90   | 316   | -155   |                                |
| 3MnCrNi20                                     | -2,18  | -0,77 | -139   |                                |

B) Estimarea valorii medii a rezistenței îmbinărilor  
OL37 - ATSi5Fe sudate prin frecare

Datele inițiale de calcul sînt valorile obținute la  
încercarea de rupere la tracțiune la temperatură normală a  
îmbinărilor OL37-ATSi5Fe sudate prin frecare (tabela 5.1.):

$X_1 - 6,52 \quad 8,57 \quad 9,04 \quad 10,3$   
se calculează indicatorii de sondaj:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 3,607$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = 1,8526$$

$$D(\bar{X}) = \sqrt{\frac{S^2}{n-1}} = 0,7858$$

în care  $D(\bar{X})$  este dispersia mediei de sondaj. Se verifică  
dacă datele inițiale corespund unei repartiții normale  
avînd media populației originare  $m=90$ . Cu o probabilitate  
egală cu 0,99, corespunzătoare la  $n - 1 = 3$  grade de libertate,  
avem:

$$|\bar{X} - 90| < 4,541 \cdot 0,7358 = 3,7$$

de unde:

$$5,3 < \bar{X} < 12,7$$

(5.4.)

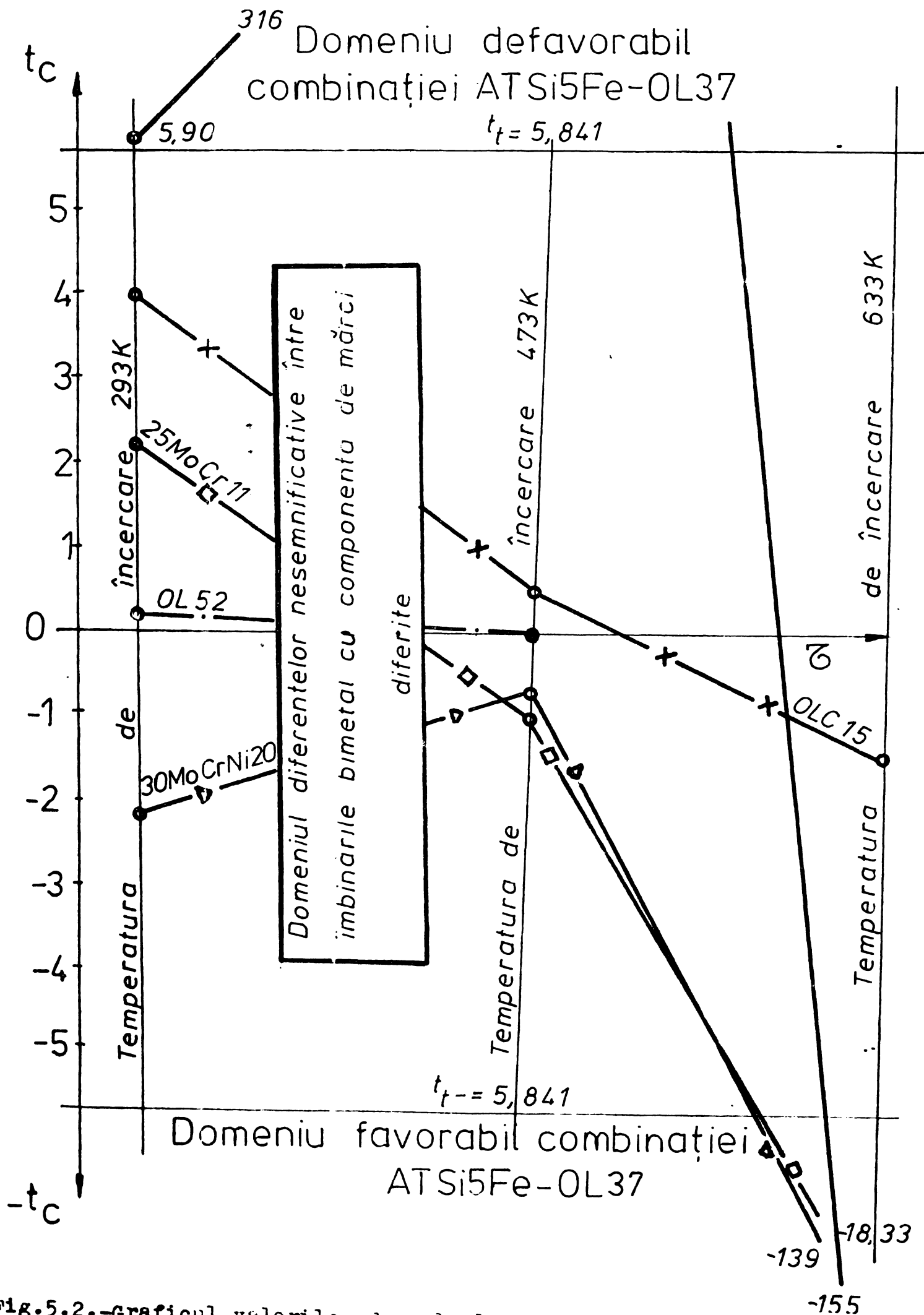


Fig.5.2.-Graficul valorilor de calcul ale funcției Student

Atît media de sor\_daj  $\bar{X}$  cît și cele patru valori inițiale  $X_i$  sînt cuprinse între aceste limite, astfel încît se poate admite ipoteza că frecvențele aparțin unei repartiții normale. Se poate admite deci, în baza criteriului Student, cu o probabilitate egală cu 0,99 că media valorilor din eșantioanele extrase este egală cu  $9 \text{ d} \bar{N} / \text{mm}^2$ .

### 5.1.1.3.-Interpretarea rezultatelor

Conform testului Student, pentru îmbinările bimetale sudate prin frecare avînd componenta de oțel din OL52, OLCl5, 30MoCrNi20 sau 25MoCrll, valorile de calcul  $t_c$  sînt inferioare valorii teoretice  $t_t = 5,841$  (tabela 5.4). Rezultă că folosirea îmbinărilor din ATSi5Fe sudate prin frecare cu aceste oțeluri nu prezintă avantaje semnificative sub aspectul rezistenței mecanice, în condițiile de exploatare ale DPA4,5,6, comparativ cu îmbinările OL37-ATSi5Fe sudate prin frecare.

Dintre îmbinările cercetate, avantaje semnificative, inclusiv față de combinația de materiale OL37-ATSi5Fe sudate prin frecare, se obțin la utilizarea în exploatare, pînă la temperaturi de cca 473K, a oțelului 33MoCrll sudat prin frecare cu aliajul ATSi5Fe, întrucît  $t_c > t_t$  (figura 5.2). Utilizarea acestui oțel în construcția dispozitivului port-anod are însă următoarele dezavantaje:

- oțelul 33MoCrll este mai scump decît oțelul OL37, fiind un oțel aliat;
- după asamblarea dispozitivului port-anod, la sudarea oțelului 33MoCrll cu tetrapodul din oțel OL42 sînt necesare măsuri tehnologice speciale;
- creșterea temperaturii de exploatare pînă la 633K determină scăderea rapidă a însușirilor de rezistență ale îmbinării bimetale în comparație cu îmbinarea OL37-ATSi5Fe sudată prin frecare, indicatorii testului Student fiind în acest caz  $t_c = -155 \ll t_t = -5,841$ .

În concluzie, pe baza încercărilor de rupere la tracțiune la rece și la încălzire de scurtă durată, se alege combinația de materiale OL37-ATSi5Fe pentru realizarea îmbinărilor bimetale sudate prin frecare, utilizate în construcția DPA4,5,6. Astfel, conform relației (5.4.), se obțin îmbinări Oțel-Al cu rezistența

minimă de rupere la tracțiune de  $5,3 \text{ daN/mm}^2$  și maximă de  $12,7 \text{ daN/mm}^2$  care reprezintă 60-117% din rezistența la rupere la tracțiune a aliajului AT315Fo.

5.1.2. Incercări mecanice pentru verificarea regimului de sudare prin frecare a DPA4,5,6

Experimentările de sudare a îmbinărilor Oțel-Al pentru DPA4,5,6, s-au efectuat pe o mașină de sudat prin frecare MSP-40 și au condus la stabilirea valorii parametrilor de sudare. Cu regimul de lucru utilizat la experimentări s-au sudat zece îmbinări bimetal care au fost apoi pregătite în vederea încercării la tracțiune (figura 5.3.) Rezistența la rupere a celor

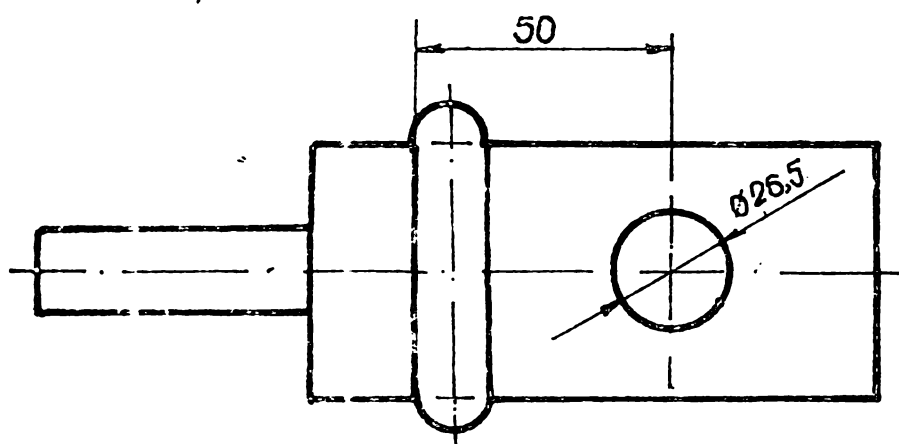


Fig.5.3. Aspectul îmbinărilor Oțel-Al pentru încercarea la tracțiune

zece îmbinări a fost cuprinsă între  $2,62$  și  $6,25 \text{ daN/mm}^2$  (tabelul 5.5.), iar opt îmbinări bimetal s-au rupt în MB (figura 5.4.). Astfel, regimul de sudare a fost considerat ca rezonant

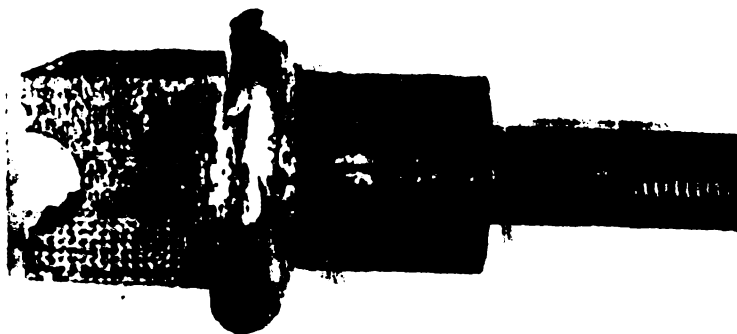


Fig.5.4.-Aspectul unei îmbinări Oțel-Al sudată prin frecare, după încercarea la tracțiune statică

pentru execuția DPA4,5,6, întrucât forța minimă înregistrată la ruperea unei îmbinări Oțel-Al a fost de  $7400 \text{ daN}$ , față de  $1000 \text{ daN}$  cât este greutatea blecului anodic și a te trepedului din oțel care solicită patru suduri bimetal în exploatarea dispozitivului port-anod.

Rezultatele încercării la tracțiune pentru verificarea regimului de sudare prin frecare a DPA4,5,6 [129]

| Indicativul<br>îmbinării<br>Oțel-Al | Secțiunea<br>îmbinării<br>mm <sup>2</sup> | F <sub>r max</sub><br>daN | R <sub>m</sub><br>daN/mm <sup>2</sup> | Locul<br>ruperii |
|-------------------------------------|---|---------------------------|---------------------------------------|------------------|
| T 11                                |   | 17700                     | 6,25                                  | sudură           |
| T12                                 |   | 15400                     | 5,45                                  | MB               |
| T 13                                |   | 13900                     | 4,95                                  | MB               |
| T 14                                |   | 15100                     | 5,35                                  | MB               |
| T 15                                | 2820                                      | 7400                      | 2,62                                  | sudură           |
| T 16                                |   | 13100                     | 4,65                                  | MB               |
| T 17                                |   | 12500                     | 4,45                                  | MB               |
| T 18                                |   | 13700                     | 4,85                                  | MB               |
| T 19                                |   | 15400                     | 5,45                                  | MB               |
| T 20                                |   | 12300                     | 4,35                                  | MB               |

5.1.3.--Încercarea la fluaj a îmbinărilor Oțel-Al

5.1.3.1.-Efectuarea încercărilor

Încercarea la fluaj este necesară pentru aprecierea comportării îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare ale DPA4,5,6, la încălzire de lungă durată. Epruvetele au fost prelucrate la diametrul porțiunii calibrate de 10 mm, cu capetele de prindere filetate la M16 (figura 5.5.). Încercarea la

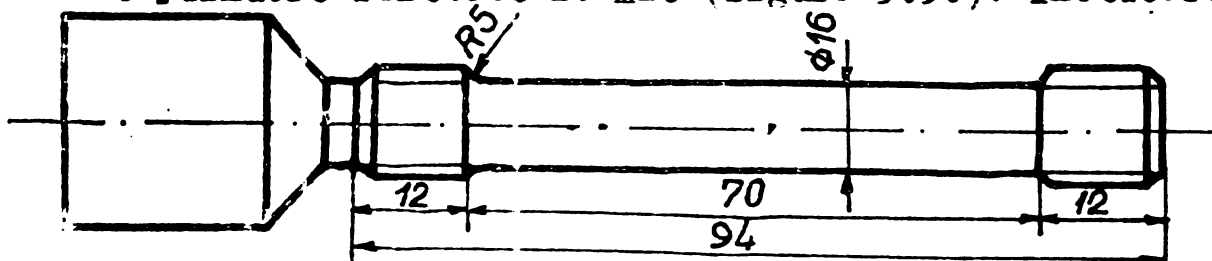


Fig. 5.5. Imbinări Oțel-Al sudate prin frecare, utilizate pentru încercări de rupere la fluaj

fluaj s-a efectuat în condițiile prevăzute de STAS 8894-71. Epruvetele s-au încălzit la temperaturi cuprinse între 393...473K și corelate cu cele din exploatare ale DPA 1,3,4,5,6. Pe baza rezultatelor obținute (tabelă 5.6) s-a stabilit rezistența tehnică de durată (tabelă 5.7) și s-a reprezentat grafic tensiunea în funcție de parametrul Larson-Miller (figura 5.6.).



Pentru calcularea rezistenței tehnice de durată se utilizează un program pentru prelucrarea pe calculaterul electronic FELIX C256. Acest program cuprinde cinci metode de prelucrare, dintre care calculatorul a selectat cele care se pretează la materialele investigate, ținând cont de îndeplinirea condițiilor de dispersie și extrapolare.

### 5.1.3.2. Prelucrarea datelor experimentale

Prelucrarea datelor din tabela 5.6. se face prin estimarea coeficientului corelației simple de sondaj. Acest coeficient indică intensitatea interdependenței dintre variabilele aleatorii normale  $x$  (temperatura) și  $y$  (rezistența tehnică de durată) și este definit prin relația [148]:

$$R_{x,y} = \frac{A}{\sqrt{B \cdot C}} \quad (5.5.)$$

în care:

$$A = n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \left( \sum_{i=1}^n y_i \right) \quad (5.6.)$$

$$B = n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (5.7.)$$

$$C = n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \quad (5.8.)$$

iar  $x_i, y_i$  sînt perechile de valori determinate experimental și  $n$ , numărul acestor perechi. Coeficientul  $R_{x,y}$  s-a calculat atât pentru estimațiile simple LM, LMC, MS, SD, cît și pentru estimația globală  $G$ , cu toate datele  $x_i, y_i$  obținute după încercarea la fluaj (tabela 5.7.). Verificarea semnificației valorii obținute pentru  $R_{x,y}$  se face calculînd expresia [52, 107]:

$$R_{xy_{min}} = -\frac{1}{6} \left( \sqrt{n+36} - \sqrt{n} \right) \quad (5.9)$$

în care  $n$  este numărul perechilor de valori determinate experimental (tabela 5.7.). Estimarea valorii coeficientului de corelație  $\rho_{x,y}$  în populația originară [27, 65, 92] se face cu ajutorul următorului interval de încredere, garantat

cu o probabilitate de peste 0,89 (inegalitatea lui Cebîșev):

$$R_{xy} - 3 \frac{1-R_{xy}}{\sqrt{n}} < \rho_{xy} < R_{xy} + 3 \frac{1-R_{xy}}{\sqrt{n}} \quad (5.10.)$$

în care  $R_{xy}$  este coeficientul corelației simple de sondaj și  $n$ , numărul perechilor de valori (tabela 5.7.).

### 5.1.3.3.-Interpretarea rezultatelor

Valorile limită ale lui  $R_{xy}$  sînt 0 și  $\pm 1$ . Cu cît valoarea acestui coeficient este mai apropiată de 1, cu atît legătura dintre cele două variabile  $x$  și  $y$  este mai puternică.

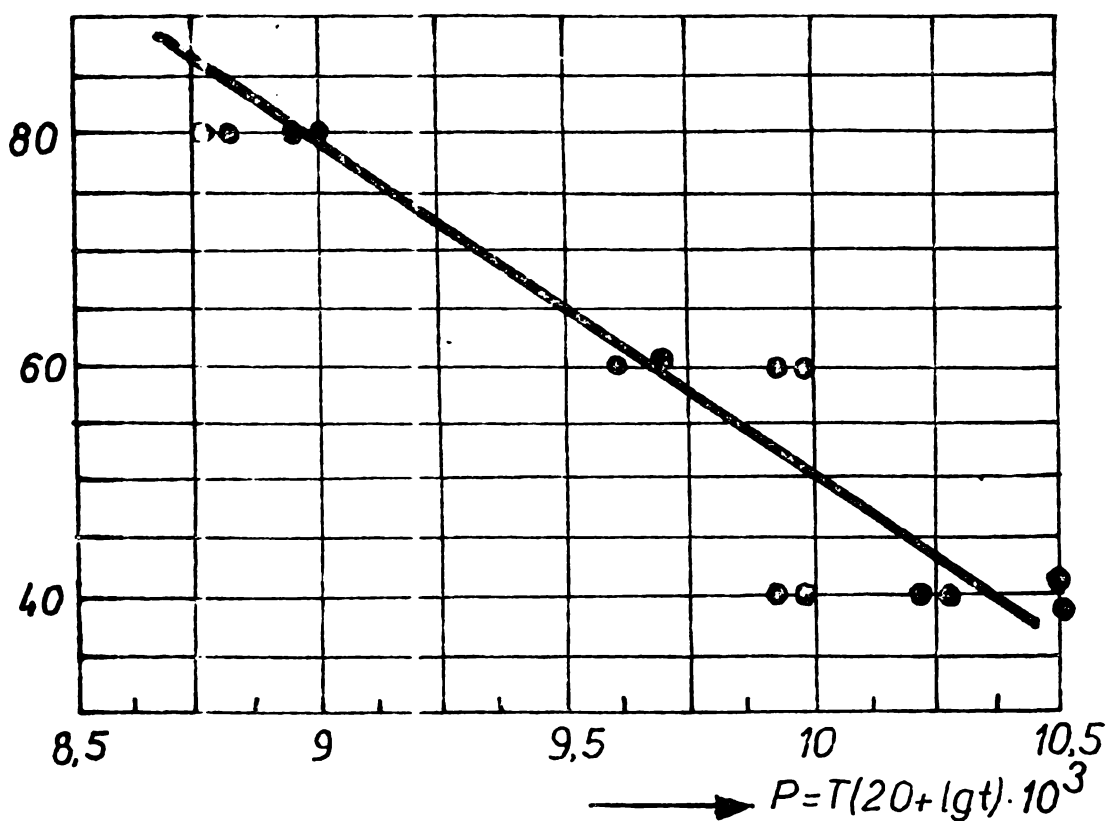


Fig.5.6.-Dependența tensiunii de parametrul de extrapolare Larsen-Miller [130]

Din analiza rezultatelor obținute (tabela 5.9.), se constată că influența temperaturii asupra rezistenței la rupere a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare este diferită, în funcție de durata de exploatare a DPA4,5,6. Astfel, cea mai intensă interdependență se constată pînă la 1000 ore de funcționare, interval în care coeficientul corelației simple de sondaj, definit prin relația (5.5.), are valoarea limită -1 pentru estimările LMC, MS, SD și foarte apropiată de unitate (-0,913) pentru G. Semnul minus rezultat din

T A B E L A 5.6

Rezultatele încercării la fluaaj a îmbinărilor Otel-Al  
sudate prin frecare [130]

| Nr. crt. | Indicativ<br>îmbinare<br>bimet-<br>tal | Ter-<br>sit-<br>nea<br>daN<br>$\frac{daN}{mm^2}$ | Tempe-<br>ratu-<br>ra<br>K | Durata<br>pînă<br>la<br>rupere<br>h |    |      |   |     |       |
|----------|--|--|----------------------------|-------------------------------------|----|------|---|-----|-------|
| 1        | 2                                      | 3  | 4                          | 5                                   | 1  | 2    | 3 | 4   | 5     |
| 1        | 6.57                                   | 4  | 433                        | 959,5                               | 27 | 6.66 | 6 | 453 | 78,0  |
| 2        | 6.41                                   | 4  | 433                        | 805,4                               | 28 | 6.67 | 6 | 433 | 180,0 |
| 3        | 6.42                                   | 4  | 433                        | 695,3                               | 29 | 6.68 | 6 | 433 | 240,0 |
| 4        | 6.43                                   | 4  | 453                        | 409,0                               | 30 | 6.88 | 6 | 473 | 17,0  |
| 5        | 6.44                                   | 4  | 453                        | 471,0                               | 31 | 6,89 | 6 | 473 | 4,0   |
| 6        | 6.45                                   | 4  | 473                        | 205,0                               | 32 | 6,90 | 6 | 453 | 95,3  |
| 7        | 6.46                                   | 4  | 473                        | 192,0                               | 33 | 6,91 | 6 | 453 | 78,0  |
| 8        | 6.69                                   | 4  | 473                        | 205,5                               | 34 | 6,92 | 6 | 433 | 180,2 |
| 9        | 6,70                                   | 4  | 473                        | 129,0                               | 35 | 6,93 | 6 | 433 | 240,2 |
| 10       | 6.71                                   | 4  | 453                        | 471,0                               | 36 | 6,52 | 8 | 393 | 205,0 |
| 11       | 6.72                                   | 4  | 453                        | 409,0                               | 37 | 6,54 | 8 | 393 | 231,5 |
| 12       | 6.73                                   | 4  | 433                        | 1405,0                              | 38 | 6.55 | 8 | 413 | 46,0  |
| 13       | 6.74                                   | 4  | 433                        | 1745,0                              | 39 | 6.56 | 8 | 413 | 68,0  |
| 14       | 6.80                                   | 4  | 473                        | 205,5                               | 40 | 6.57 | 8 | 433 | 18,0  |
| 15       | 6.81                                   | 4  | 473                        | 129,0                               | 41 | 6.58 | 8 | 433 | 8,0   |
| 16       | 6.82                                   | 4  | 453                        | 271,0                               | 42 | 6.59 | 8 | 413 | 68,0  |
| 17       | 6.85                                   | 4  | 453                        | 409,0                               | 43 | 6.60 | 8 | 413 | 46,0  |
| 18       | 6.86                                   | 4  | 433                        | 1405,0                              | 44 | 6.61 | 8 | 393 | 251,5 |
| 19       | 6.87                                   | 4  | 433                        | 1745,0                              | 45 | 6.62 | 8 | 393 | 205,0 |
| 20       | 6.45                                   | 6  | 433                        | 180,2                               | 46 | 6.94 | 8 | 433 | 18,0  |
| 21       | 6.49                                   | 6  | 433                        | 160,2                               | 47 | 6.95 | 8 | 433 | 8,0   |
| 22       | 6.50                                   | 6  | 453                        | 78,0                                | 48 | 6.96 | 8 | 413 | 68,0  |
| 23       | 6.51                                   | 6  | 453                        | 95,3                                | 49 | 6.97 | 8 | 413 | 46,0  |
| 24       | 6.63                                   | 6  | 473                        | 17,0                                | 50 | 6.97 | 8 | 393 | 251,5 |
| 25       | 6.64                                   | 6  | 473                        | 4,0                                 | 51 | 6.99 | 8 | 393 | 205,0 |
| 26       | 6.65                                   | 6  | 453                        | 95,3                                |    |      |   |     |       |

T A B E L A 5.7

Rezistența tehnică de durată a îmbinărilor Otel-Al  
sudate prin frecare [130]

| Nr. crt. | Tempe-<br>ratură<br>K | Metoda<br>de<br>extra-<br>polare | $\frac{R_R}{1000}$ | $\frac{R_R}{5000}$ | $\frac{R_R}{8000}$ | $\frac{R_R}{10000}$ |
|----------|-----------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
|          |                       |                                  | $d=N/mm^2$         |                    |                    |                     |
| 1        | 403                   | LMC                              | 4,741              | 4,422              | 4,333              |                     |
| 2        | 403                   | SD                               | 4,680              | 4,544              | 4,505              |                     |
| 3        | 403                   | MS                               | 4,786              | 4,518              | 4,443              |                     |
| 4        | 403                   | LM                               |                    | 6,215              |                    | 5,886               |
| 5        | 403                   | LMC                              |                    | 5,155              |                    | 4,753               |
| 6        | 403                   | SD                               |                    | 5,058              |                    | 4,636               |
| 7        | 403                   | MS                               |                    | 4,902              |                    | 4,539               |
| 8        | 413                   | LMC                              | 4,652              | 4,332              | 4,243              |                     |
| 9        | 413                   | SD                               | 4,654              | 4,518              | 4,479              |                     |
| 10       | 413                   | MS                               | 4,707              | 4,444              | 4,379              |                     |
| 11       | 413                   | LM                               |                    | 5,589              |                    | 5,286               |
| 12       | 413                   | LMC                              |                    | 4,959              |                    | 4,287               |
| 13       | 413                   | SD                               |                    | 4,563              |                    | 4,183               |
| 14       | 413                   | MS                               |                    | 4,531              |                    | 4,145               |
| 15       | 423                   | LMC                              | 4,565              | 4,243              | 4,154              |                     |
| 16       | 423                   | SD                               | 4,628              | 4,493              | 4,454              |                     |
| 17       | 423                   | MS                               | 4,629              | 4,370              | 4,297              |                     |
| 18       | 423                   | LM                               |                    | 5,026              |                    | 4,747               |
| 19       | 423                   | LMC                              |                    | 4,210              |                    | 3,866               |
| 20       | 423                   | SD                               |                    | 4,137              |                    | 3,792               |
| 21       | 423                   | MS                               |                    | 4,137              |                    | 3,785               |
| 22       | 433                   | LMC                              | 4,479              | 4,113              | 4,092              |                     |
| 23       | 433                   | SD                               | 4,604              | 4,403              | 4,396              |                     |
| 24       | 433                   | MS                               | 4,552              | 4,315              | 4,198              |                     |
| 25       | 403                   | LM                               |                    | 6,2                |                    | 5,0                 |
| 26       | 403                   | LMC                              |                    | 5,1                |                    | 4,7                 |
| 27       | 403                   | SD                               |                    | 5,0                |                    | 4,6                 |
| 28       | 403                   | MS                               |                    | 4,9                |                    | 4,5                 |
| 29       | 413                   | LM                               |                    | 5,6                |                    | 5,3                 |
| 30       | 413                   | LMC                              |                    | 4,9                |                    | 4,3                 |
| 31       | 413                   | SD                               |                    | 4,6                |                    | 4,2                 |
| 32       | 413                   | MS                               |                    | 4,5                |                    | 4,1                 |
| 33       | 423                   | LM                               |                    | 5,0                |                    | 4,7                 |
| 34       | 423                   | LMC                              |                    | 4,2                |                    | 3,9                 |
| 35       | 423                   | SD                               |                    | 4,1                |                    | 3,8                 |
| 36       | 423                   | MS                               |                    | 4,1                |                    | 3,8                 |

TABELA 5.8

Parametri statistici ai încercării la fluaj a îmbinărilor  
Otel-A1 sudate prin frecare

| Rezistența<br>tehnică<br>de durată | Simbol         | ESTIMATIA                        |         |         |       |        |
|------------------------------------|----------------|----------------------------------|---------|---------|-------|--------|
|                                    |                | LM                               | LMC     | SD      | MS    | G      |
|                                    |                | Valorile parametrilor statistici |         |         |       |        |
| 1                                  | 2              | 3                                | 4       | 5       | 6     | 7      |
| $R_T/1000$                         | A              |                                  | 17,46   | 5,08    | 15,60 | 114,42 |
|                                    | B              |                                  | 2000    | 2000    | 2000  | 18000  |
|                                    | C              |                                  | 0,15    | 0,012   | 0,11  | 0,872  |
|                                    | $R_{xy}$       |                                  | 1,0     | 1,0     | 1,0   | 0,913  |
|                                    | n              |                                  | 4       | 4       | 4     | 12     |
|                                    | $R_{xymin}$    |                                  | 0,720   | 0,720   | 0,720 | 0,577  |
|                                    | $\rho_{xymin}$ |                                  |         |         |       | 0,988  |
| $R_T/5000$                         | A              | 35,67                            | 132,31  | 1599,5  | 84,15 | 1520,4 |
|                                    | B              | 600                              | 5200    | 2041600 | 5200  | 58800  |
|                                    | C              | 2,11                             | 6,80    | 3,14    | 2,36  | 137,95 |
|                                    | $R_{xy}$       | 1,0                              | 0,703   | 0,631   | 0,759 | 0,533  |
|                                    | n              | 6                                | 10      | 10      | 10    | 36     |
|                                    | $R_{xymin}$    | 0,752                            | 0,651   | 0,651   | 0,651 | 0,474  |
|                                    | $\rho_{xymin}$ |                                  |         |         |       | 0,818  |
| $R_T/8000$                         | A              |                                  | 7043,77 | 16,34   | 16,34 | 118,86 |
|                                    | B              |                                  | 1259864 | 2000    | 2000  | 18000  |
|                                    | C              |                                  | 70,65   | 0,13    | 0,13  | 2,3    |
|                                    | $R_{xy}$       |                                  | 0,746   | 1,0     | 1,0   | 0,504  |
|                                    | n              |                                  | 4       | 4       | 4     | 12     |
|                                    | $R_{xymin}$    |                                  | 0,720   | 0,720   | 0,720 | 0,577  |
|                                    | $\rho_{xymin}$ |                                  |         |         |       | 0,944  |
| $R_T/10000$                        | A              | 34,17                            | 26,61   | 25,32   | 22,62 | 434,88 |
|                                    | B              | 600                              | 600     | 600     | 600   | 9600   |
|                                    | C              | 10,94                            | 1,17    | 4,10    | 0,85  | 52371  |
|                                    | $R_{xy}$       | 0,42                             | 1,0     | 0,51    | 1,0   | 61613  |
|                                    | n              | 6                                | 6       | 6       | 6     | 24     |
|                                    | $R_{xymin}$    | 0,752                            | 0,752   | 0,752   | 0,752 | 0,577  |
|                                    | $\rho_{xymin}$ |                                  |         |         |       | 0,948  |
|                                    |                |                                  |         |         | 0,278 |        |

calculare pentru  $R_{xy}$  semnifică raportul de proporționalitate inversă între temperatura de lucru  $x$  și rezistența tehnică de durată  $y$  a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare. Deoarece datele experimentale au o împrăștiere aleatorie, este posibil ca valoarea coeficientului  $R_{xy}$  să fie diferită de zero chiar pentru două variabile independente. Confirmarea proprietății lui  $R_{xy}$  de a reprezenta mărimi corelate se obține dacă

$$|R_{xy}| > R_{xy\min} \quad (5.11)$$

În cazul încercării la fluaaj a îmbinărilor Oțel-Al se constată că această inegalitate este verificată pentru  $R_r/1000$  cu datele fiecărei estimări. Intensitatea legăturii dintre temperatura de lucru și rezistența îmbinării bimetal este confirmată și de coeficientul de corelație  $\rho_{xy}$  al mulțimii dispozitivelor portanod montate în cuvele de electroliză, care are valoarea minimă, garantată cu o probabilitate de peste 0,89, apropiată de unitate (0,838). Rezultă că îmbinările Oțel-Al sudate prin frecare ale DPA4,5,6 au durata critică de funcționare de 1000 de ore, ceea ce corespunde cu 1,488 cicluri de utilizare în cuvele pentru fabricația electrolitică a Al.

Intervalul care urmează după durata critică de funcționare este caracterizat de o influență redusă a temperaturii asupra rezistenței tehnice de durată a îmbinărilor bimetal. Aprecierea se face cu estimarea globală  $G$  care, utilizând numărul cel mai mare de valori experimentale ( $n=12 \dots 36$ ), are o putere de semnificație superioară față de fiecare în parte din estimările simple ( $n=4 \dots 10$ ) și verifică în toate cazurile condiția (5.11.). Din tabela 5.9 rezultă că pentru  $G$  și  $R_r/5000$  variabilele  $x$  și  $y$  rămân corelate:

$$|R_{xy}| > R_{xy\min}$$

însă intensitatea legăturii între temperatura de exploatare și rezistența tehnică de durată a îmbinărilor Oțel-Al reprezintă doar 58% din cea existentă la  $R_r/1000$ , valoarea coeficientului corelației simple de sondaj fiind  $R_{xy} = 0,533$ . Reducerea legăturii între cele două variabile se constată și cu coeficientul de corelație  $\rho_{xy}$  al mulțimii dispozitivelor port-anod montate în cuvele de electroliză. Astfel, limita inferioară



a intervalului de încredere al lui  $\rho_{xy}$  garantată cu o probabilitate mai mare de 0,86 confirmă estimăția G și reprezintă pentru  $R_T/5000$  numai 29% din valoarea limitei echivalente pentru  $R_T/1000$ . De asemenea, întrucît  $\rho_{xymin}=0,248$ , are o valoare apropiată de zero, pentru o parte din DPA4,5,6, care se montează în cuve și depășesc intervalul critic de funcționare, variabilele temperatură-rezistență tehnică de durată vor deveni practic independente.

#### 5.1.4.-Distribuția defectelor în sudurile Oțel-Al realizate prin frecare

Examinarea distribuției defectelor în planul sudurii Oțel-Al s-a efectuat utilizînd metoda colorării, concomitent cu distrugerea progresivă a îmbinării sudate. Față de aplicațiile cunoscute din literatura de specialitate [3, 12, 13, 14], tehnica de examinare cu lichide penetrante, în condițiile cercetării, prezintă următoarele particularități: [6, 128]:

-îmbinarea bimetal Oțel-Al sudată prin frecare se fixează pe strung, suprafața fiind curățită de grăsimi, uleiuri, oxizi, stropi de metal;

-se depune pe sudură în 3...4 treceri un strat de lichid colorat tip PENEPRANT Spray defectoscop P8V2, timpul de uscare maxim fiind  $t=13$  min, la temperatura optimă de pulverizare  $T=298 - 301K$ ;

- suprafața se spală cu un jet de apă, se șterge și se usucă;

-se pulverizează pe sudură soluția DEVELOPANT Spray defectoscop D6.50 și după  $t=5...15$  min defectele de suprafață apar sub formă de puncte sau linii colorate în roșu;

-îmbinarea sudată se rotește și se măsoară, față de baza zero, unghiurile  $\alpha_1, \alpha_{i+1}$  ale extremităților defectelor existente în stratul superficial.

Se procedează analog pe zece straturi provenite din strungirea succesivă a sudurii bimetal la diametrele reduse în trepte de cîte 5 mm, rezultînd mărimea defectelor și distribuția lor pe secțiunea sudurii Oțel-Al realizată prin frecare.

S-au examinat cu această tehnică patru îmbinări bimetal sudate prin frecare (tabelul 5.9) și s-au reprezentat diagramele de distribuție a defectelor (figura 5.7). Cele mai puține



**Distribuția defectelor în sudura Oțel-Al a îmbinărilor bimetale MC<sub>1</sub>, MC<sub>2</sub>, MC<sub>3</sub>, MC<sub>4</sub>. TABELA 5.9**

| Îmbinarea bimetale<br>Numărul stratului controlat | Marcajul extremităților defectului |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
|---|------------------------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|
|   | AB                                 | CD             | EF               | GH             | IJ             |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| Măsura arcului de cerc al defectului, în grade    |                                    |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
|   | α <sub>1</sub>                     | α <sub>2</sub> | α <sub>1+2</sub> | α <sub>3</sub> | α <sub>4</sub> | α <sub>3+4</sub> | α <sub>5</sub> | α <sub>6</sub> | α <sub>5+6</sub> | α <sub>7</sub> | α <sub>8</sub> | α <sub>7+8</sub> | α <sub>9</sub> | α <sub>10</sub> | α <sub>9+10</sub> |
| <b>M C<sub>1</sub></b>                            |                                    |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 2   | 255                                | 6              | 261              | 347            | 4              | 351              | 306            | 10             | 316              | 327            | 10             | 337              | 282            | 22              | 304               |
| 3   | 342                                | 13             | 355              | 287            | 9              | 296              | 181            | 10             | 191              | 290            | 9              | 299              | 310            | 9               | 319               |
| 7   | 33                                 | 8              | 41               | 103            | 7              | 110              | 299            | 10             | 337              |                |                |                  |                |                 |                   |
| 8   | 68                                 | 8              | 76               | 103            | 15             | 118              |                | 38             |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 10  | 54                                 | 17             | 71               |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| <b>M C<sub>2</sub></b>                            |                                    |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 1   | 101                                | 5              | 106              | 119            | 5              | 124              | 128            | 8              | 136              | 310            | 18             | 328              | 282            | 22              | 304               |
| 2   | 104                                | 12             | 116              | 305            | 5              | 310              |                |                |                  |                |                |                  | 282            | 18              | 347               |
| 3   | 104                                | 8              | 112              |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  | 329            | 18              |                   |
| 5   | 2                                  | 5              | 7                |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 6   | 220                                | 29             | 249              | 277            | 16             | 293              | 297            | 6              | 303              | 310            | 18             | 328              | 282            | 22              | 304               |
| 7   | 42                                 | 9              | 51               | 211            | 14             | 2255             | 273            | 17             | 290              | 230            | 26             | 256              | 282            | 18              | 347               |
| 8   | 46                                 | 10             | 76               | 209            | 48             | 157              | 188            | 28             | 216              | 290            | 26             | 316              | 282            | 18              | 347               |
| 9   | 98                                 | 26             | 124              | 157            | 41             | 198              | 249            | 21             | 270              | 290            | 26             | 316              | 282            | 18              | 347               |
| 10  | 146                                | 20             | 166              | 268            | 21             | 289              |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| <b>M C<sub>3</sub></b>                            |                                    |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 4   | 78                                 | 10             | 88               | 57             | 12             | 69               | 270            | 10             | 280              | 294            | 12             | 306              | 282            | 22              | 304               |
| 5   | 90                                 | 12             | 102              | 294            | 12             | 306              |                |                |                  |                |                |                  | 306            | 18              |                   |
| 6   | 48                                 | 9              | 57               | 254            | 52             | 306              |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 7   | 35                                 | 13             | 48               |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 8   | 270                                | 10             | 280              |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 9   | 184                                | 63             | 247              |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 10  | 300                                | 23             | 323              |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| <b>M C<sub>4</sub></b>                            |                                    |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 1   | 79                                 | 11             | 90               | 84             | 9              | 93               | 97             | 5              | 102              |                |                |                  |                |                 |                   |
| 2   | 65                                 | 9              | 74               |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |
| 5   | 37                                 | 6              | 43               |                |                |                  |                |                |                  |                |                |                  |                |                 |                   |

defecte s-au constatat la îmbinarea Oțel-Al MC<sub>4</sub> (figura 5.7,d). Încălzirea neuniformă a materialului din cauza grosimii mari a componentelor, face să apară în zona centrală a îmbinării un număr mai mare de defecte decât în zona exterioară (figura 5.7, b,c). Pe măsura creșterii razei îmbinării bimetal crește viteza relativă la sudare, temperatura realizată prin frecare este mai ridicată iar procesul de evacuare a oxizilor în bavură este intens, astfel încât stratul superficial rezultă fără defecte sau are un număr redus de impurități (figura 5.7, a). Cumulând defectele din cele patru îmbinări Oțel-Al examinate prin metoda colorării, se observă în straturile 1...4. 14 defecte față de 39 în straturile 7...10, crescând concomitent și măsura arcului de cerc circumscris de defect în valori medii, de la 28° la respectiv 197° (tabela 5.10).

#### 5.1.5.-Controlul cu radiații al îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare

Controlul cu radiații s-a fost aplicat pentru examinarea calității componentei din AlSi5Fe înaintea sudării prin frecare cu componenta din OI37. Tijele anodice pentru DPAl...6 se obțin prin turnare, trebuie să îndeplinească condițiile de calitate prevăzute în standarde [144, 146, 147] și să conțină defecte admisibile. Defectele de turnare se clasifică în șapte grupe, iar în cadrul acestora pe categorii [145]. După o altă clasificare [123] sînt stabilite șapte categorii de bază, iar identificarea se face prin litere de la A pînă la G, astfel:

- A - excreșcențe metalice;
- B - goluri (cavități);
- C - discontinuități;
- D - defecte de suprafață;
- E - piese turnate incomplet;
- F - dimensiuni și configurație necorespunzătoare;
- G - incluziuni și defecte de structură.

Problema defectelor de turnare este cu atât mai importantă la îmbinările Oțel-Al, unde prezența acestor defecte în componenta din Al modifică rezistența și comportarea în exploatarea a sudurii bimetal realizată prin frecare.

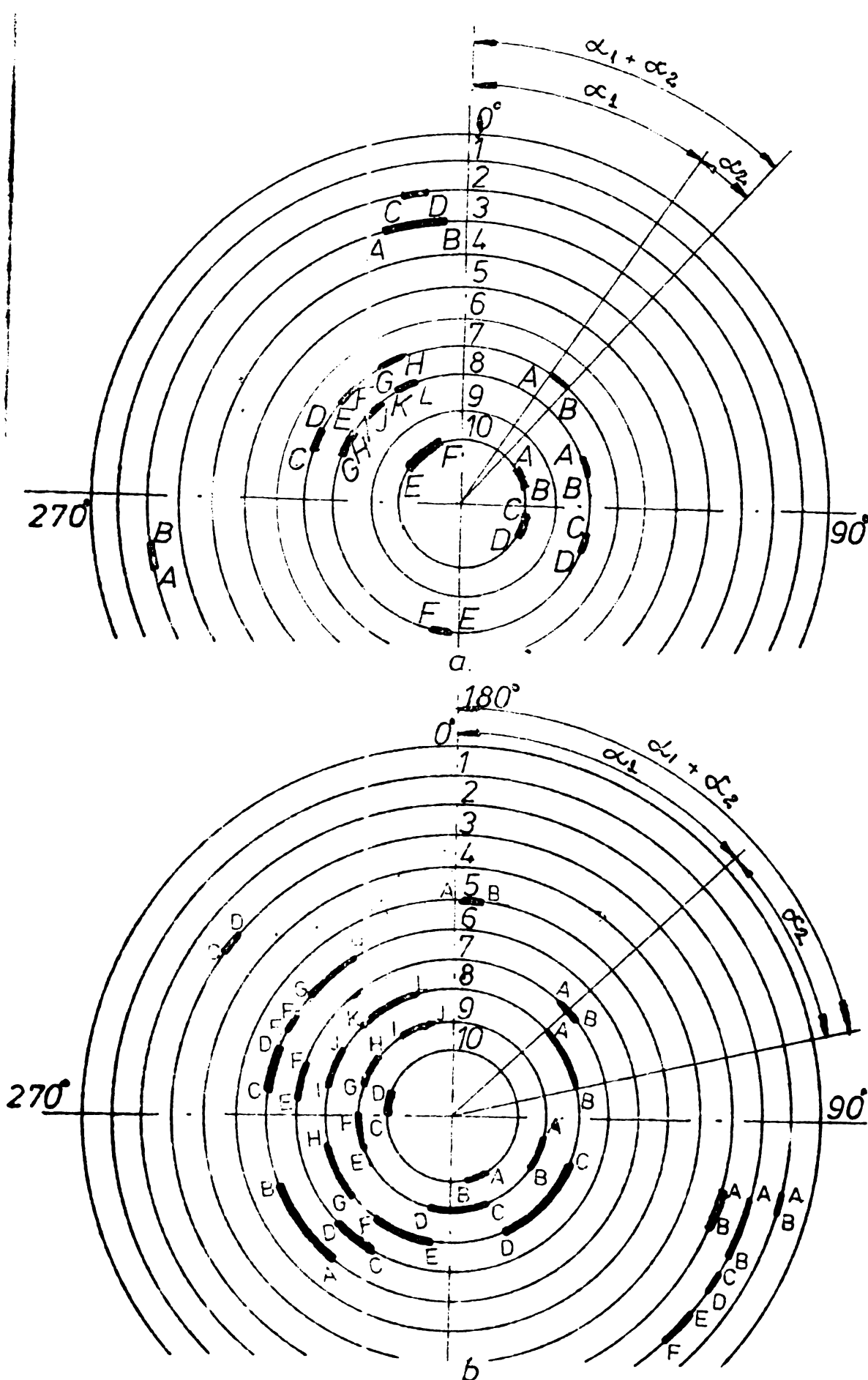


Fig.5.7.-Diagrama de distribuție a defectelor în suduri Oțel-Al realizate prin încrecare: a) îmbinarea bimetal MC<sub>1</sub>, b) îmbinarea bimetal MC<sub>2</sub>,

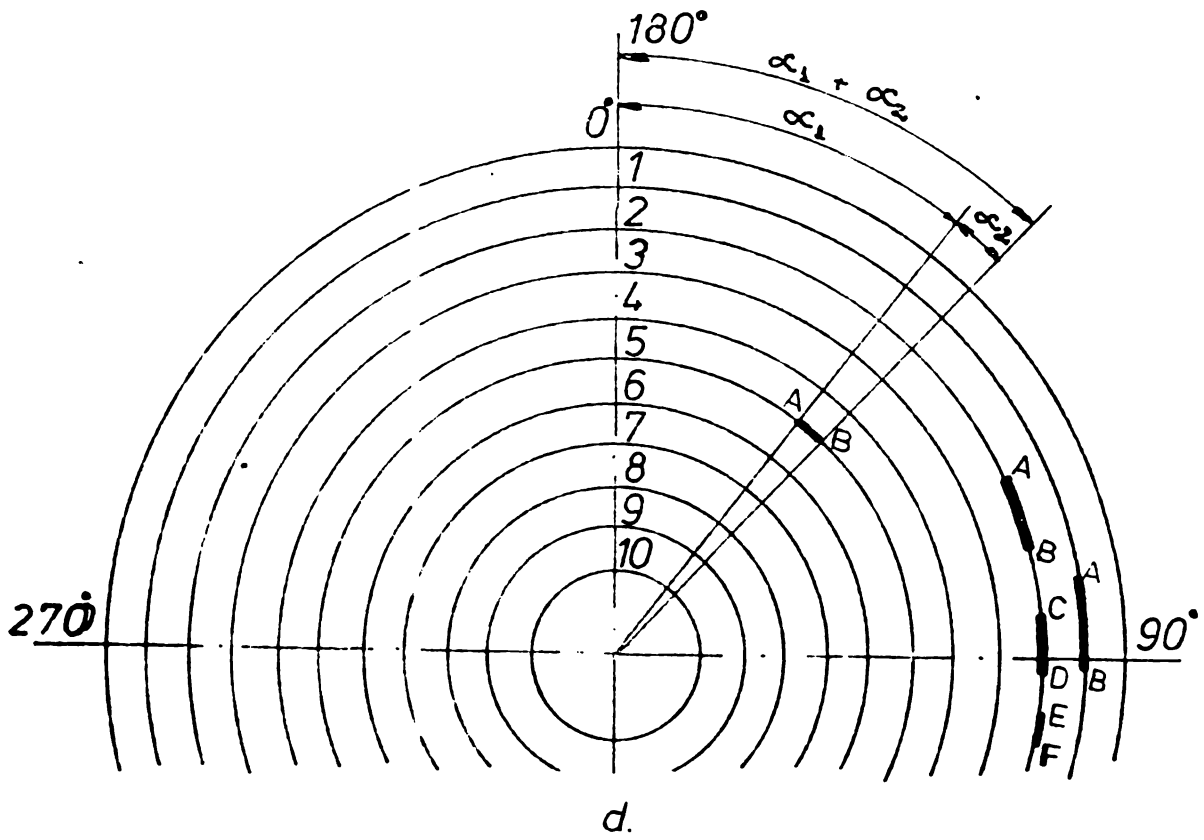
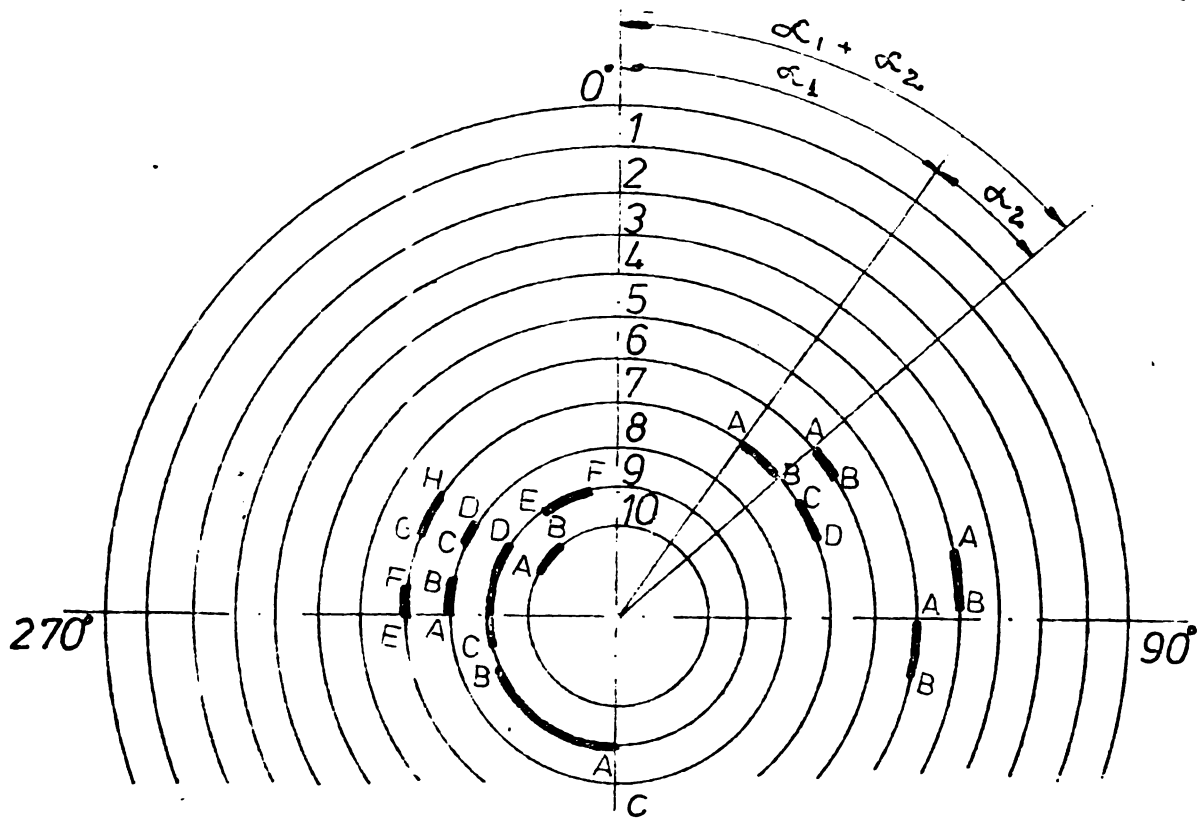


Fig.5.7.: c) ȩbinare bimetal MC<sub>3</sub>, d) ȩbinare bimetal MC<sub>4</sub>

TABELA 5.10

Numărul (a) și unghiul cumulat (b) al defectelor din sudurile Oțel-Al examinate prin metoda colorării

| Nr.stra-<br>tului | Indicativul îmbinărilor bimetal |    |                 |     |                 |     |                 |    | Total |     |
|-------------------|---------------------------------|----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|----|-------|-----|
|                   | MC <sub>1</sub>                 |    | MC <sub>2</sub> |     | MC <sub>3</sub> |     | MC <sub>4</sub> |    |       |     |
|                   | a                               | b  | a               | b   | a               | b   | a               | b  | a     | b   |
| 1                 | -                               | -  | 1               | 5   | -               | -   | 1               | 11 | 2     | 16  |
| 2                 | 2                               | 10 | 3               | 25  | -               | -   | 3               | 23 | 8     | 58  |
| 3                 | 1                               | 13 | 2               | 9   | -               | -   | -               | -  | 3     | 22  |
| 4                 | -                               | -  | -               | -   | 1               | 10  | -               | -  | 1     | 10  |
| 5                 | -                               | -  | 1               | 5   | 1               | 12  | 1               | 6  | 3     | 23  |
| 6                 | -                               | -  | 4               | 69  | 1               | 9   | -               | -  | 5     | 78  |
| 7                 | 4                               | 37 | 3               | 40  | 4               | 47  | -               | -  | 11    | 124 |
| 8                 | 6                               | 54 | 6               | 185 | 2               | 22  | -               | -  | 14    | 261 |
| 9                 | -                               | -  | 5               | 132 | 3               | 134 | -               | -  | 8     | 266 |
| 10                | 3                               | 70 | 2               | 41  | 1               | 23  | -               | -  | 6     | 136 |

S-au confecționat indicatori de calitate a imaginii radiografice din sârme de Al (figura 5.8). În acest scop s-au

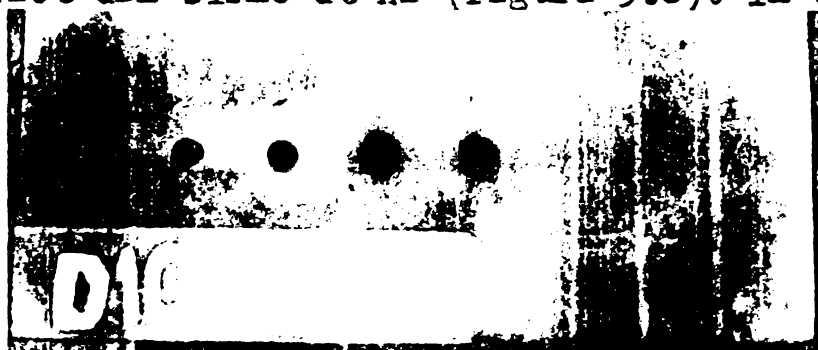


Fig.5.8.-Indicator de calitate a imaginii cu sârme din Al

folosit 19 sârme din Al cu diametre diferite dinno,1 în 0,1 mm, de la 0,2 pînă la 2,0 mm [7]. În urma controlului efectuat și a interpretării unui număr de 450 radiografii, a rezultat că defectele frecvent întâlnite sînt din categoriile B și G. A fost necesară stabilirea unor criterii pentru aprecierea calității componentei din AlSi5Fe în funcție de natura și mărimea defectelor, întrucît<sup>nu</sup> sînt cunoscute din literatura de specialitate normative tehnice pentru admiterea sau respingerea aliajelor turnate din Al, de la lucrări de sudare, în baza controlului radiografic. S-au considerat cinci cifre de gravitate după natură și trei cifre, după mărimea defectului (tabelă 5.11) [9, 127].

Componentele fără defecte (figura 5.9, 5.23) și cu pori izolați (figura 5.7, 5.17) au reprezentat 15% din totalul expunerilor. Defectele cu ponderea cea mai mare (45%) sînt pori uniform distribuiți, etit din grupele G31

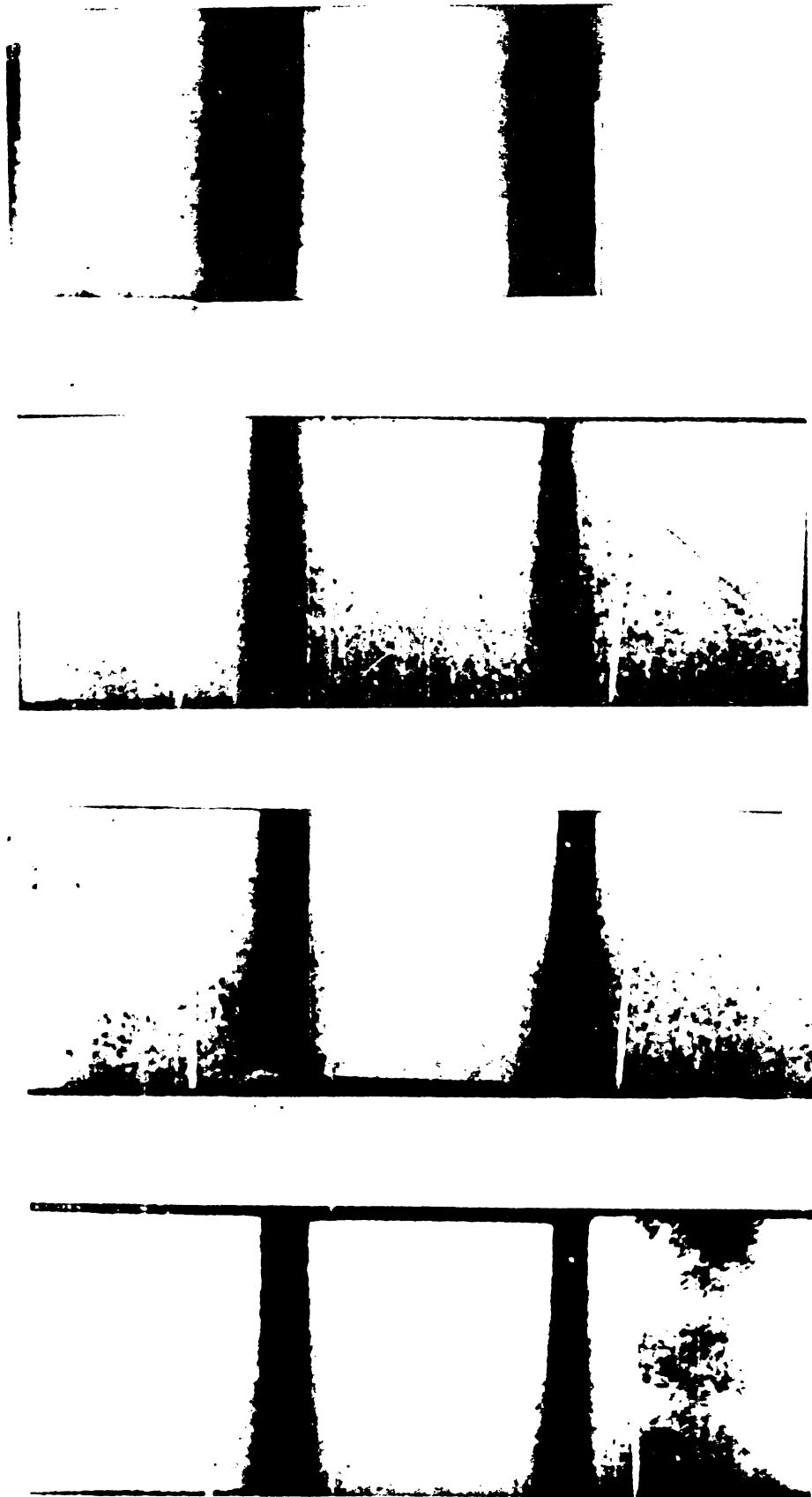


Fig.5.9.-Radiografiile unor componente din ATSi5Fe,  $\delta$ -60 mm.

(figura 5.9, 32, 38) și G32 (figura 5.9, 8, 29) admise pentru sudare cît și din grupa G33 (figura 5.9, 26, 27).

T A B E L A 5.11

Criteria de admitere la sudarea prin frecare a aliajului ATSi5Fe în baza rezultatelor controlului radiografic

| Natura defectului        | Simbol după tumare | Cifra de gravitate | Cifra de profunzime | Simbol radiografic   | Admise pentru sudare | Respinge de la sudare |
|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Fără defecte             | -                  | 1                  | -                   | 1                    | 1                    | -                     |
| Pori izolați             | B                  | 2                  | 1<br>2<br>3         | G 21<br>G 22<br>G 23 | G 21<br>G 22<br>G 23 | -<br>-<br>-           |
| Pori uniform distribuiți | B                  | 3                  | 1<br>2<br>3         | G 31<br>G 32<br>G 33 | G 31<br>G 32         | -<br>-<br>G 33        |
| Incluziuni de zgură      | G                  | 4                  | 1<br>2<br>3         | G 41<br>G 42<br>G 43 | G 41                 | -<br>G 42<br>G 43     |
| Alte defecte             | AC                 | 5                  | -                   | AC 5                 | -                    | AC 5                  |

Prin grupele G42 (figura 5.9, 39) și G43 (figura 5.9, 24), incluziunile de zgură constituie cauza principală a respingerii componentelor din ATSi5Fe de la sudarea prin frecare și reprezintă cca 30% din totalul defectelor de tumare constatate. Defectele de suprafață (D), piese turnate incomplet (E), dimensiuni și configurație necorespunzătoare (F) nu apar în aceste criterii (tabela 5.11), ele fiind depistate prin controlul vizual efectuat înaintea examinării nedistructive cu radiații a componentelor din ATSi5Fe [2,4].

Controlul final cu radiații X s-a aplicat pe sudura bimetal după realizarea prin frecare a îmbinărilor Oțel-Al. La o expunere s-au controlat trei îmbinări bimetal, astfel, celor trei imagini care apar pe materialul fotosensibil le corespunde un singur indicator de calitate a imaginii radiografice (figura 5.10). Controlul nedistructiv final prezintă următoarele particularități:



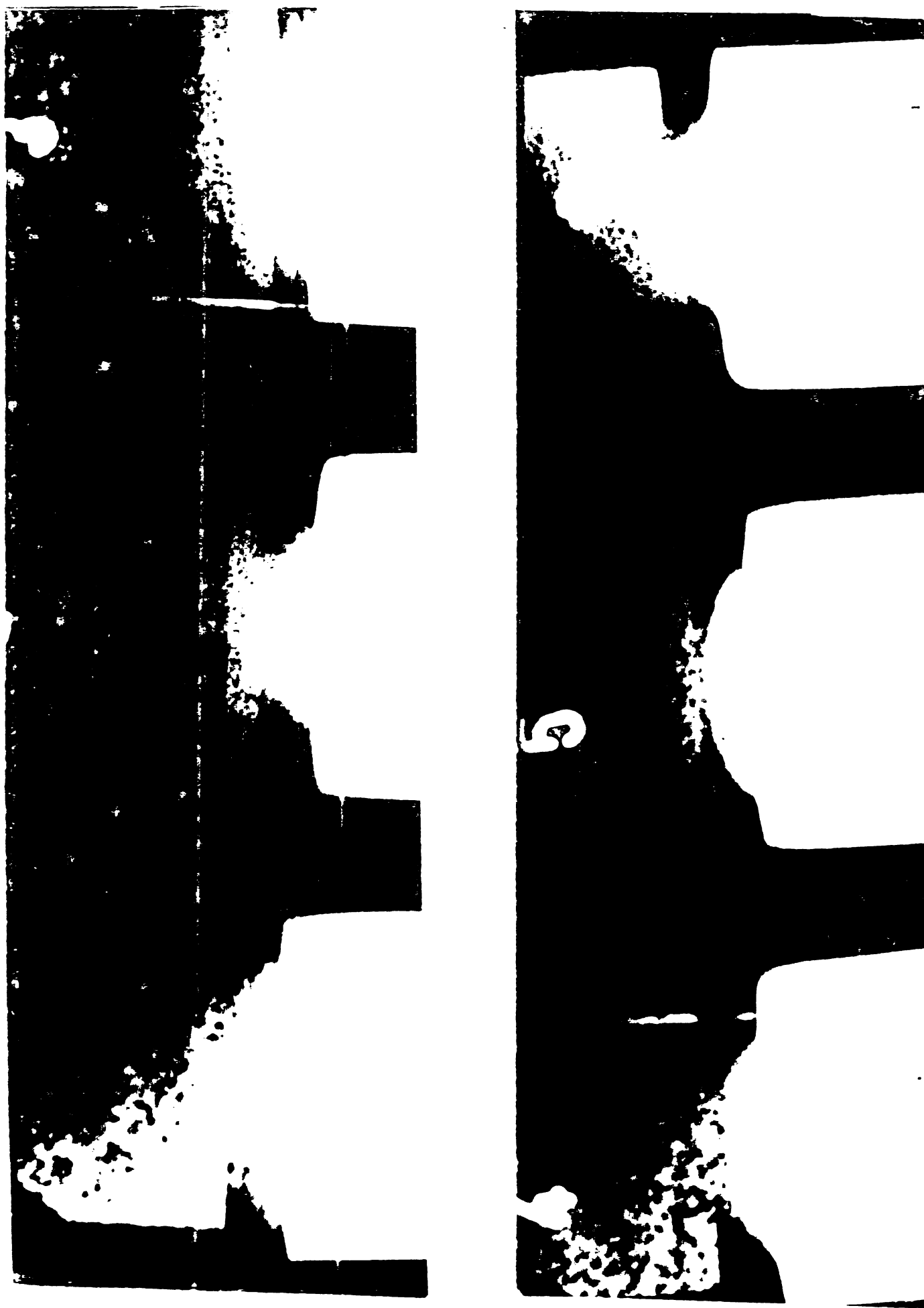


Fig.5.10.-Radiografiile unor îmbinări Oțel-Al sudate prin  
frezare; ●)Radiografiile îmbinărilor de metal 1, 2, 3, 4, 5, 6  
 $\sigma$ . 60 mm.

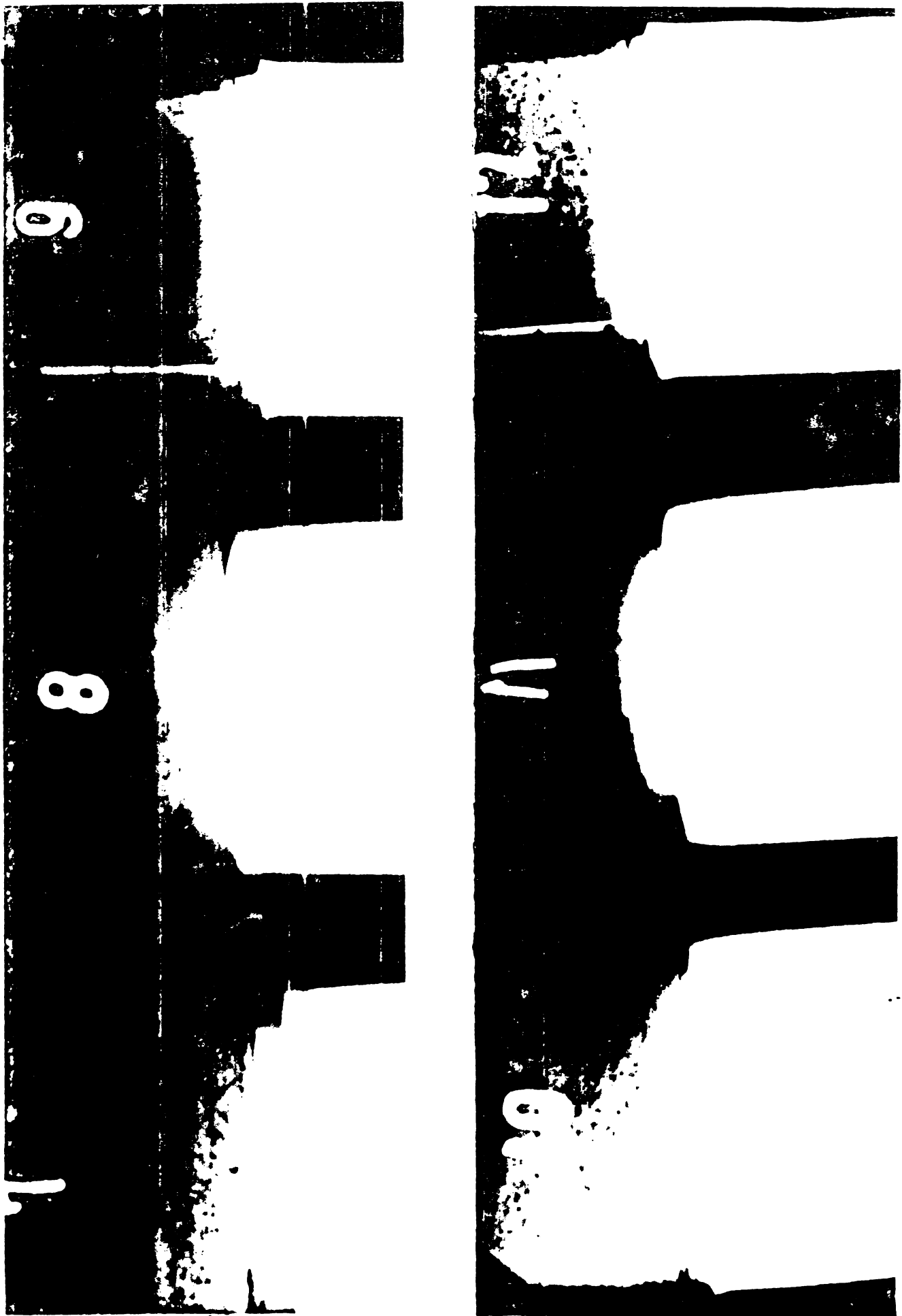


Fig.5.10.- b) radiografiile îmbinărilor bimetale 7, 8, 9  
10, 11, 12  $\sigma = 60 \text{ mm}$ .

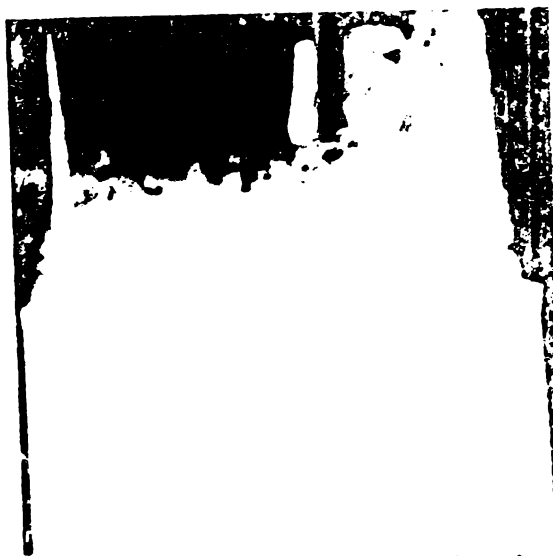
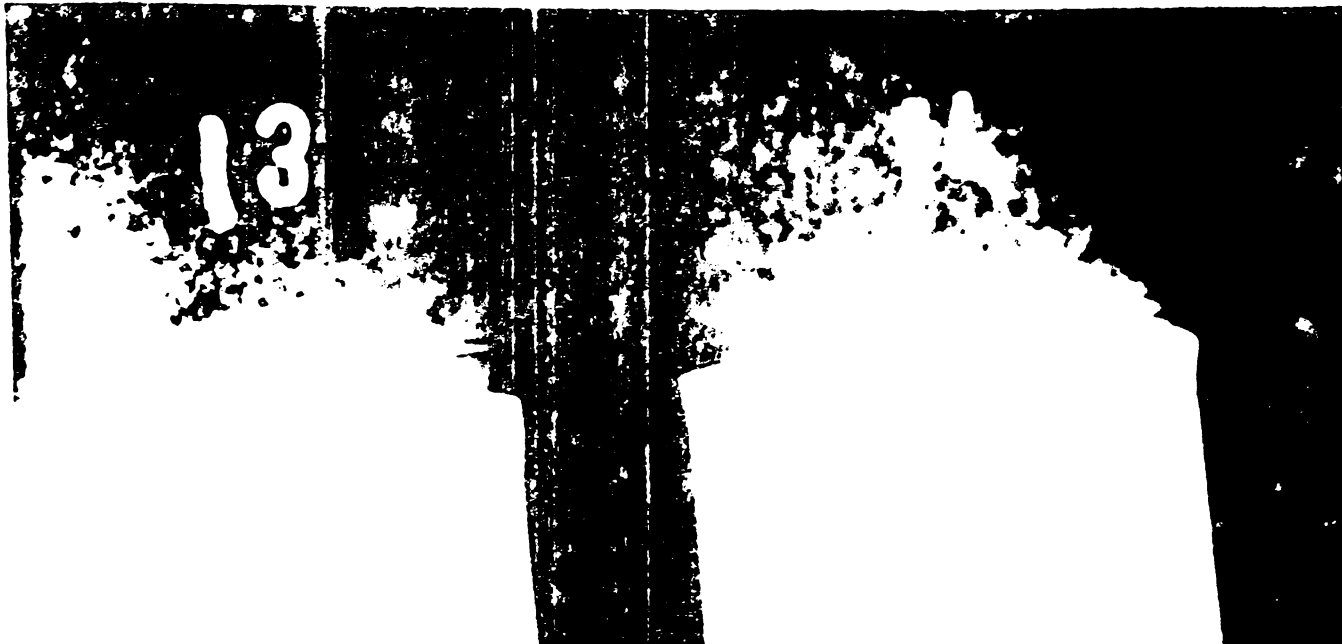


Fig. 5.10, c) Radiografiile îmbinărilor bimetale 13, 14, 15,  $\delta = 60$  mm.

- cercetarea calității unor îmbinări sudate de tip bimetale;
- expunerea la radiații a unor materiale cu grosimi mari (60 mm);
- efectuarea controlului pe îmbinări sudate având componentele de secțiuni diferite: pătrată (Al), respectiv rotundă (Oțel).

Radiografia 8 (figura 5.10) prezintă partea de Al fără defecte, iar îmbinările 2, 3, 6, 10, 12 (figura 5.10) arată situație frecvent întâlnită, cu pori mărunți uniform distribuiți în toată masa Al. Radiografiile 1, 4, 5, 7 (figura 5.10) pun în evidență pori mari și incluziuni de zgură, iar 9, 13, 14, 15 (figura 5.10) prezintă ca defecte de turnare goluri și incluziuni nemetalice grosolane. Sudura bimetalei Oțel-Al rezultă fără defecte datorită procesului de sudare (figura 5.10, 2, 4, 5), cu discontinuități locale între componente (figura 5.8, 8) sau creștături sub bavură, (figura 5.10, 7, 13, 14).

În concluzie, problemele deosebite care au fost abordate în cadrul cercetării, privind controlul cu radiații al îmbinărilor bimetale sudate prin frecare, sînt următoarele:

- confecționarea din sîrme de Al a unor indicatoare de calitate a imaginii radiografice;
- aplicarea controlului nedistructiv în faza de debitare a componentei din Al pentru depistarea defectelor de turnare;

- stabilirea unor criterii de admitere a aliajului ATSi5Fe pentru sudarea prin frecare, în baza interpretării imaginii radiografice;
- efectuarea controlului nedistructiv al îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare.

Aliajul ATSi5Fe s-a folosit la lucrări de sudare prin frecare în funcție de rezultatele controlului radiografic, în timp ce admiterea sau respingerea îmbinărilor Oțel-Al s-a făcut în baza controlului cu raze X combinat cu alte metode de control.

#### 5.1.6.-Cercetarea metalografică a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare

În prezent, se consideră că cercetarea metalografică a îmbinării este suficientă pentru aprecierea calității unui lot de piese sudate prin frecare [19, 22]. La acest procedeu de sudare, datorită deformațiilor plastice uniforme, structura îmbinării este superioară ca omogenitate îmbinărilor realizate prin procedee electrice sau cu fascicul de electroni. În urma realizării sudurilor prin frecare, Al nu ajunge până la punctul de fuziune și procesele de difuzie, din acest motiv, nu sînt activate. Metalul se încălzește în volume



Fig.5.11.Macrostructura îmbinării bimetal "M" realizată prin frecare cu mașina de sudat MSF-40 [129]

mici și se răcește repede, ceea ce întrerupe procesul de difuzie și apoi prin refulare, în urma deformației plastice a metalului, elementele intermetalice formate se îndepărtează în baură, analiza metalografică fiind un criteriu valabil pentru aprecierea calității îmbinării.

Cu mașina de sudat prin frecare MSF-40 s-a realizat

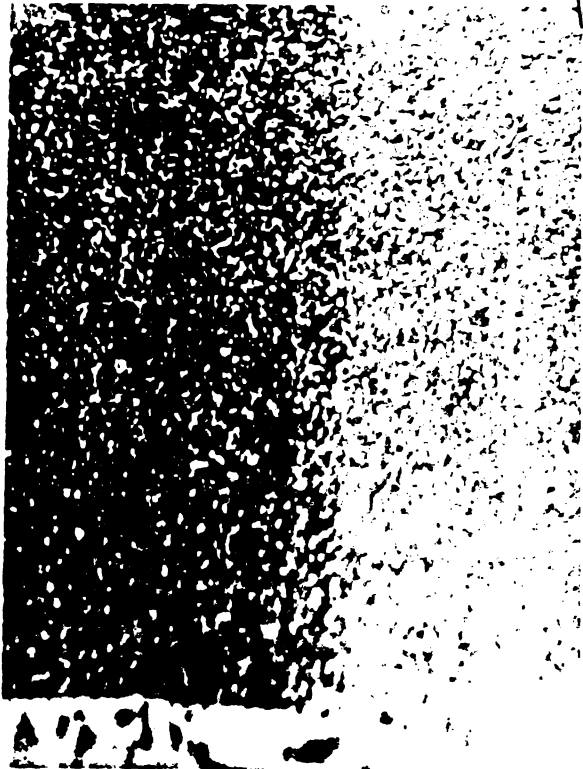
o îmbinare Oțel-Al, din care s-a prelevat epruveta M<sub>1</sub> pentru analiză metalografică. Pregătirea epruvetei și atacul chimic corespunzător s-au executat conform STAS 4203-80, iar analiza metalografică în concordanță cu STAS 10952,2-78. Nu s-au constatat defecte în îmbinarea bimetal examinată macroscopic,



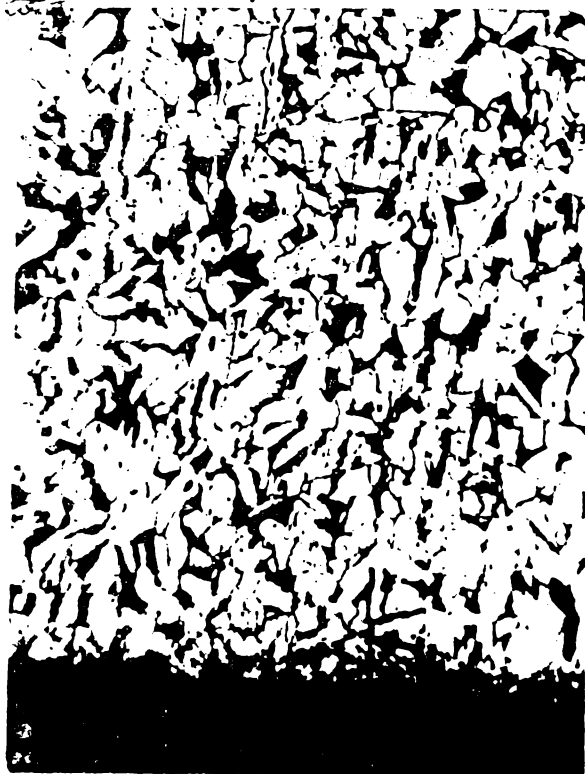
NaOH 10%, 500 x  
a)



NaOH 10%, 500 x  
c)

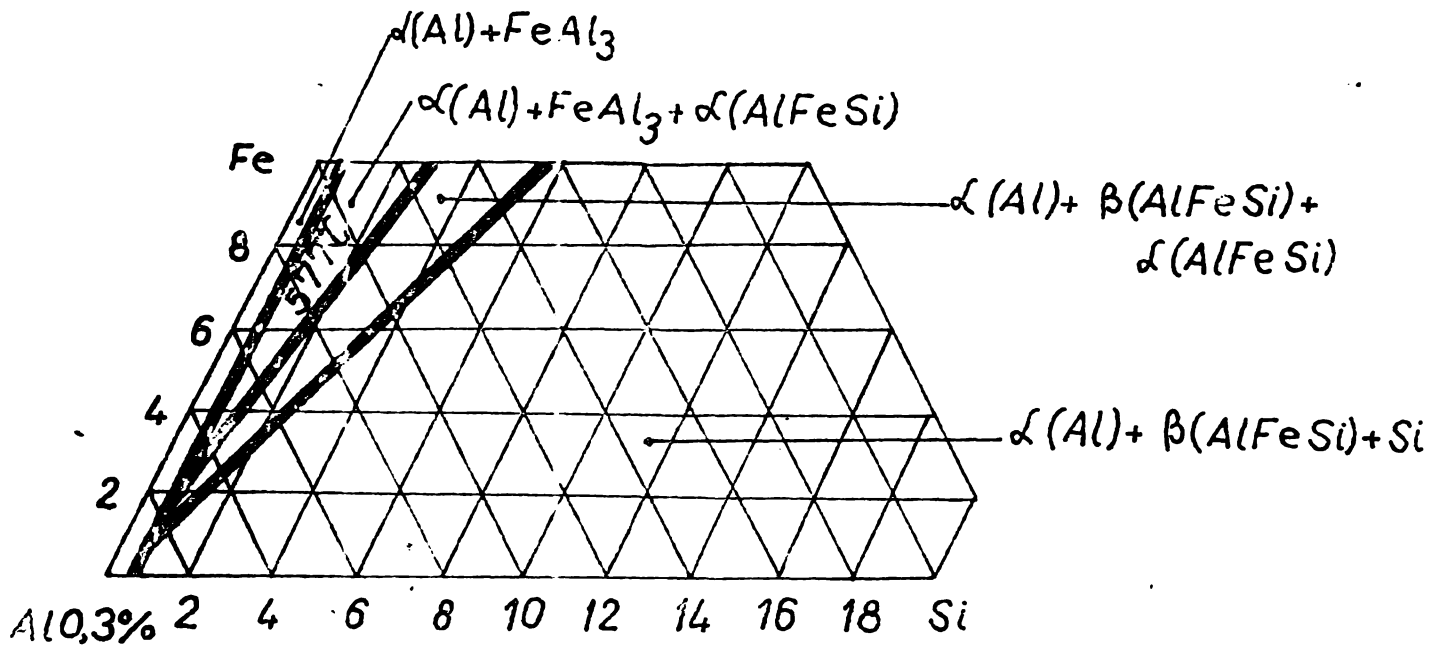


Nital 2%, 100 x  
b)

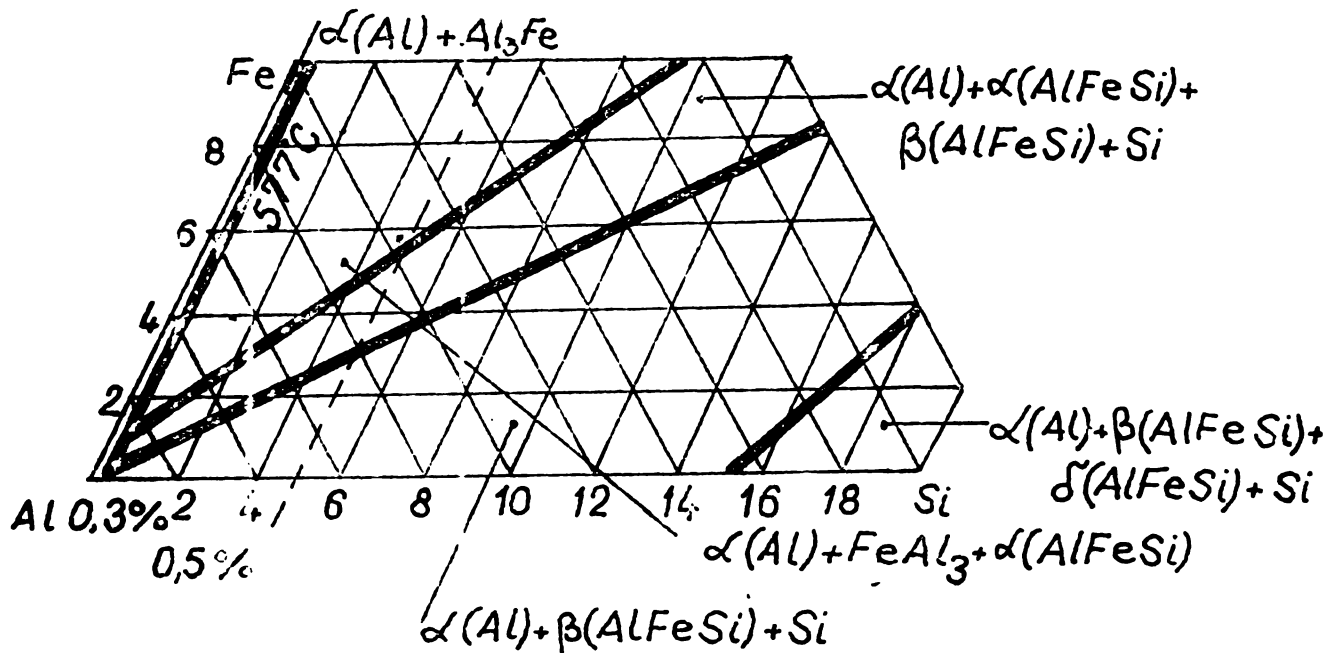


Nital 2%, 100 x  
d)

Fig.5.12.-Microstructura ambinării bimetale  $M_1$  realizată prin frecare cu mașină de sudat MSF40: a) MB, Al; b) ZIT, Al; c) MB, Oțel; d) ZIT, Oțel [129].



a)



b)

Fig.5.13.-Diagramele temare Al si Fe: a) repartiția fazelor solide în starea de echilibru a aliajelor din Al; b) repartiția fazelor solide la aliajele din Al în afară de echilibru [ 124 ] .

(figura 5.11) după atac chimic (NaOH 10%). Cercetarea microscopică a componentei din ATSi5Fe în zone neselectate de procesul de sudare prin frecare pune în evidență o soluție solidă bogată în Al, cu cristale poliedrice grobe de Si și formații aciculare (figura 5.12,a). ZIT are o soluție solidă bogată în Al, cu cristale poliedrice de Si finisate (figura 5.12,b). În aliajele de Al cu Si prezența Fe este favorabilă producerii compusului ternar Al Si Fe (figura 5.13). După conținutul de Si și Fe pot apărea fazele solide (Al Si Fe), (Al Si Fe) sau (Al Si Fe), care sînt dure și fragile.

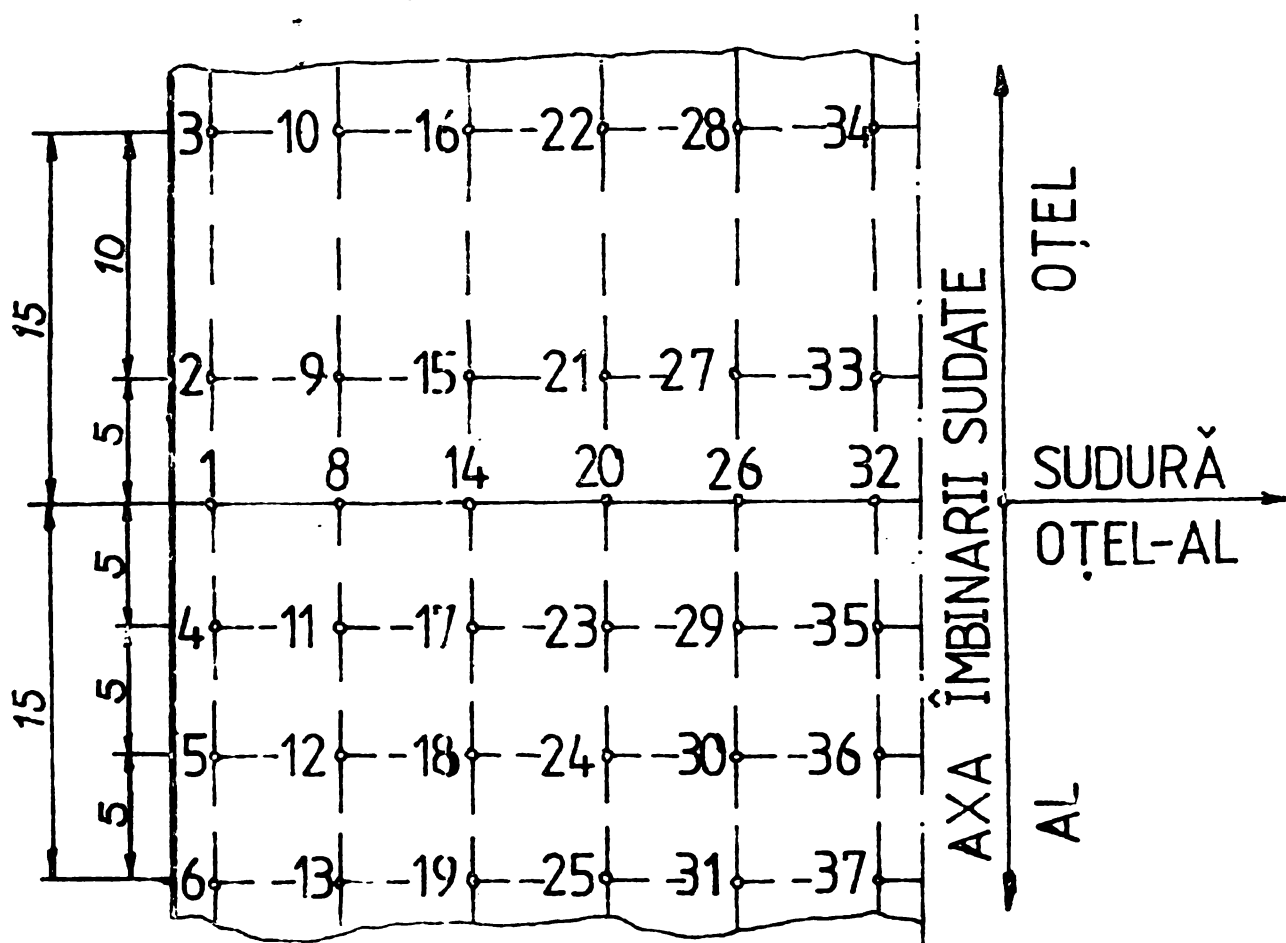


Fig.5.14.--Locul de efectuare și marcarea microstructurilor la îmbinarea bimetale "M<sub>2</sub>" realizată prin frecare cu mașina de sudat ZTs-10

La examinarea microscopică a componentei din aliaj ATSi5Fe nu s-a constatat în structură prezența compusului ternar AlSiFe, deci îmbinarea Oțel-Al sudată prin frecare pentru DPA,5,6 nu este fragilizată. Examinările microscopice pe Al au fost făcute cu reactivi (NaOH 10%, 500x). Cercetarea microstructurală pe componenta din oțel a îmbinării bimetale arată o structură normală ferito-perlitică atât pentru MB





MF, Nital 2%, 100 x  
a)



MF, Nital 2%, 100 x  
b)



MF, Nital 2%, 100 x  
c)



MF, Nital 2%, 100 x  
d)



MF, Nital 2%, 100 x  
e)

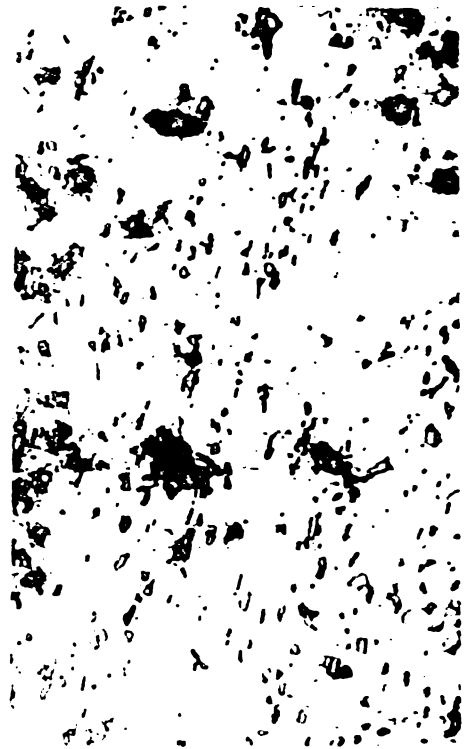
Fig.5.15.-Microstructura sudurii Oțel-Al E<sub>2</sub> realizată prin frezare cu mașina de sudat ZTA-10; a) micro 1; b) micro 8; c) micro 14; d) micro 20; e) micro 26

(figura 5.12,c) cît și pentru ZIT (figura 5.12,d). Proporția constituenților este 25/27 (STAS 7626-79) iar mărimea grăunțelului real 7 (STAS 5490-71). Examinarea nu a pus în evidență structura Widmannstätten (STAS7626-79) sau defecte (STAS 7084/1-80). Reactiv utilizat (Nital 2%, loex).

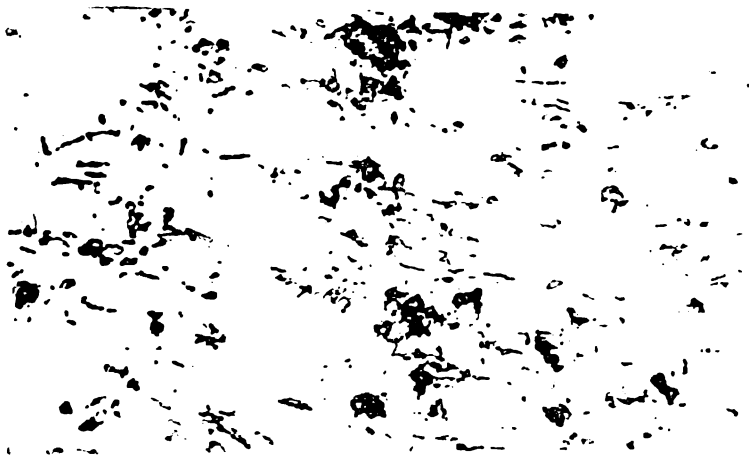
Epruveta  $M_2$  a fost obținută dintr-o îmbinare Oțel-Al sudată prin frecare cu mașina ZTA-10. Examinarea microstructurală s-a făcut pe linii de control paralele cu planul de îmbinare (figura 5.14) [11]. Din microstructura sudurii Oțel-Al (figura 5.15) se observă repartiția uniformă a Si în masa de bază sub formă globulară foarte fină sau ușor alungită, cu orientare după circumferința mișcării de rotație a componentei din oțel la sudarea prin frecare. Se constată **deformații** puternice ale grăunților de ferită (figura 5.15,8), modificarea formei perlitei (figura 5.15,14) ajungînd la rupere sub efectul procesului de sudare (figura 5.15,20), sau pătrunderea perlitei, în unele cazuri sub formă de așchii, în masa de bază de Al (figura 5.15,1). La 5 mm de sudura Oțel-Al cresc dimensiunile formațiilor de Si din componenta de ATSi5Fe, predomină forma alungită față de cea globulară și se accentuează orientarea în șiruri a Si, după mișcarea de rotație la sudare (figura 5.16). Creșterea temperaturii în timpul procesului de sudare acționează ca un factor favorabil pentru activizarea reacțiilor de producere a fazei  $FeAl_3$  aflază în cantități cu mult mai mari, atît la 5 mm (figura 5.16) cît și la 10 mm (figura 5.17) de sudura Oțel-Al, decît în MB neafectat termic de procesul de sudare (figura 5.18). Faza  $FeAl_3$  se prezintă sub formă de poliedre mari, izolate, delimitate de colțuri rotunjite sau ascuțite precum și sub formă de globule fine. Vîrfurile ascuțite constituie amorse de fisuri. La 10 mm distanță de sudura Oțel-Al (figura 5.17) se mai observă că Si trece de la forma globulară sau alungită la cea sciculară, în pachete, apropiindu-se de forma și repartizarea caracteristică în MB neinfluențat termic. La aliajul ATSi5Fe se constată forma sciculară a Si (figura 5.18) și dispunerea sa preferențială la marginea grăunților. Repartizarea Si este uniformă



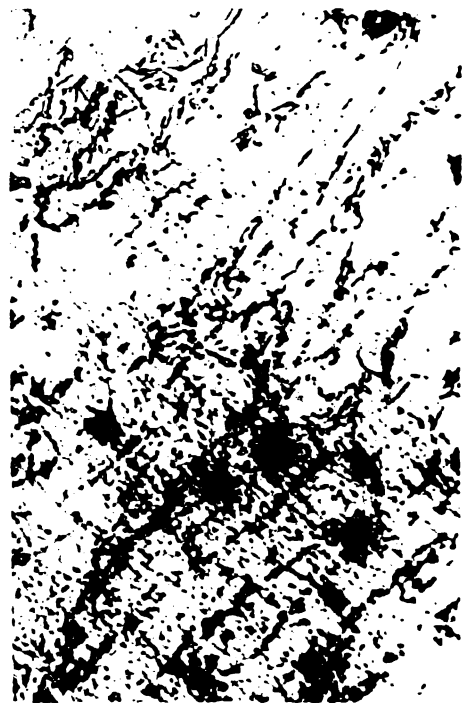
HP, 100 x  
a)



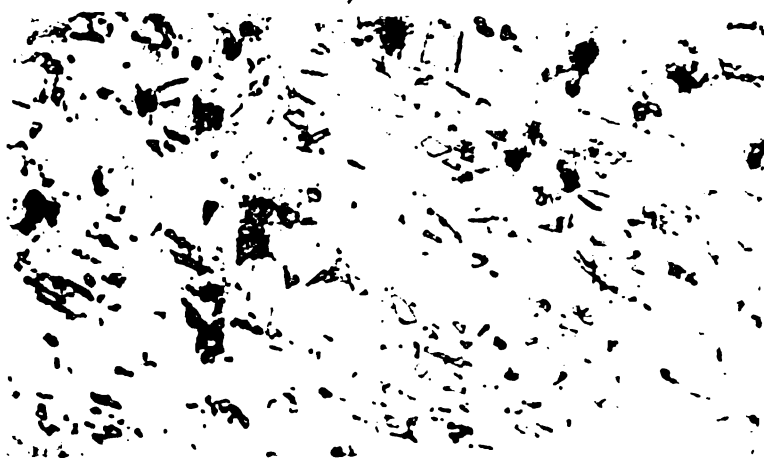
HP, 100 x  
d)



HP, 100 x  
b)

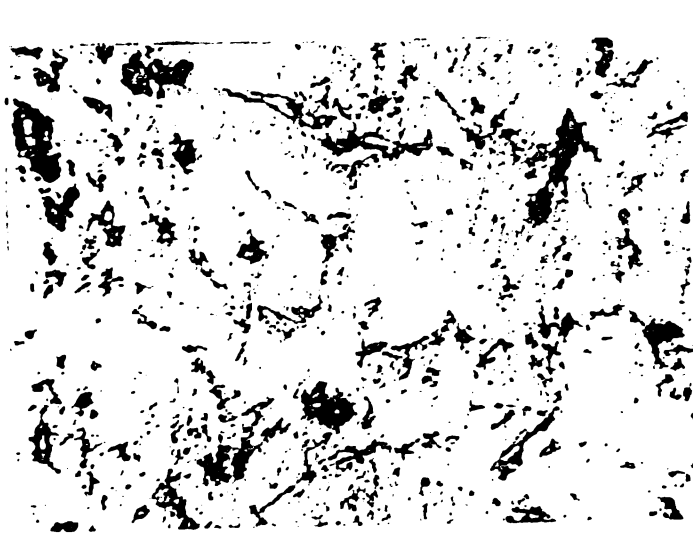


HP, 100 x  
e)



HP, 100 x  
c)

Fig.5.16.--Microstructure componentei  $\gamma_2$  din Al la 5 mm de sudare prin frecare Otel-Al: a) micro 4; b) micro 11; c) micro 17; d) micro 23; e) micro 29.



HF, 100 x  
a)



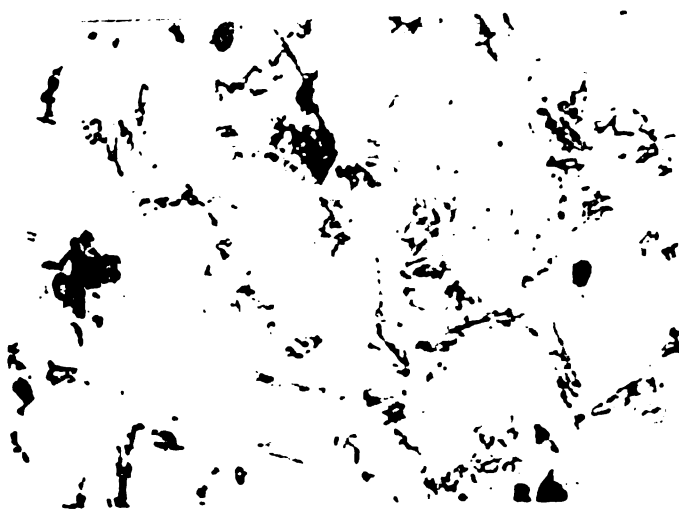
HF, 100 x  
d)



HF, 100 x  
b)

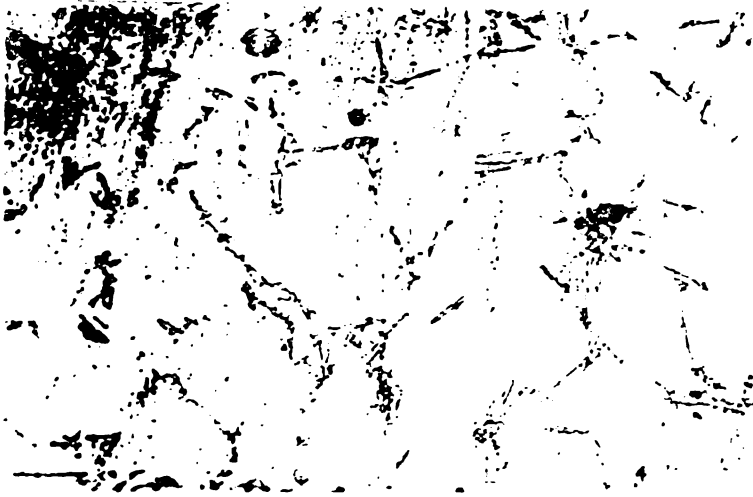


HF, 100 x  
e)



HF, 100 x  
c)

Fig.5.17.-Microstructura componentei M<sub>2</sub> din Al la 10 mm de sudura prin frecare Oțel-Al: a) micro 5; b) micro 12; c) micro 18; d) micro 24; e) micro 30 .



HF, 100 x  
a)



HF, 100 x  
b)



HF, 100 x  
c)



HF, 100 x  
d)



HF, 100 x  
e)

Fig.5.18.-microstructura componentei  $M_2$  din Al 1a 15 mm de sudura prin frecare C45-Al: a) micro 6; b) micro 13; c) micro 19; d) micro 25; e) micro 31 .

în masă de bază, cu unele tendințe de aglomerare în plăci. Compusul  $FeAl_3$  este dispus izolat, are mărimi reduse și o formă celulară iar distribuția sa este neuniformă. Examinările microscopice de Al au fost făcute pe epruvete  $M_2$  cu reactivi (HF loox). Pe componenta din oțel a îmbinării bimetal  $M_2$  sudată prin frecare s-au efectuat 12 microstructuri (figura 5.14), care confirmă constatările desprinse din analiza microscopică a componentei din oțel a îmbinării bimetal  $M_1$ .

În concluzie, s-au cercetat metalografic îmbinări Oțel-Al realizate cu mașini de sudat prin frecare tip MSP-40 și ZTA-10. Nu s-a constatat în structură compusul temer  $AlSiFe$ , astfel încât îmbinările bimetal pentru DPA 4,5,6, nu sînt fragilizate în urma procesului de sudare prin frecare. Efectele termice și mecanice determină la sudare modificări în structură, care se observă în componenta din Al a îmbinării pînă la 10...12 mm de sudură Oțel-Al. Forma aciculară este specifică pentru și considerat în MB dar se modifică la o formă globulară, gradul de fărîmițare fiind maxim în planul de îmbinare unde forțele de frecare sînt cele mai mari. Sub acțiunea acestor forțe se deformează grăunții de ferită ai oțelului, de asemenea, perlita aflată în stare plastică se deformează, în unele cazuri pînă la stadiul de rupere. Cercetările metalografice efectuate pe îmbinarea bimetal  $M_2$  au pus în evidență numeroase defecte, ca geluri și incluziuni produse din cauza limitei de putere a instalației, care nu permite realizarea compactității îmbinării și intensificarea procesului de trecere în bavură a impurităților. Rezultă că mașina de sudat ZTA-10 nu corespunde pentru sudarea prin frecare a îmbinărilor Oțel-Al de grosimi mari (60 mm). Analiza metalografică a îmbinării bimetal  $M_1$  nu a pus în evidență defecte, mașina de sudat prin frecare MSP-40 asigurînd condițiile de calitate pentru execuția îmbinărilor Oțel-Al de grosimi mari (60...88 mm) ale DPA 4,5,6.

## 5.2.-Controlul calității îmbinărilor Al-Al

### 5.2.1.-Controlul calității îmbinărilor Al-Al ale dispozitivului port-anod DPA 3

După realizarea a două dispozitive port-anod DPA 3, s-au debitat probele pentru controlul calității îmbinărilor Al-Al sudate prin procedeul MIG (figura 5,19,d). În urma



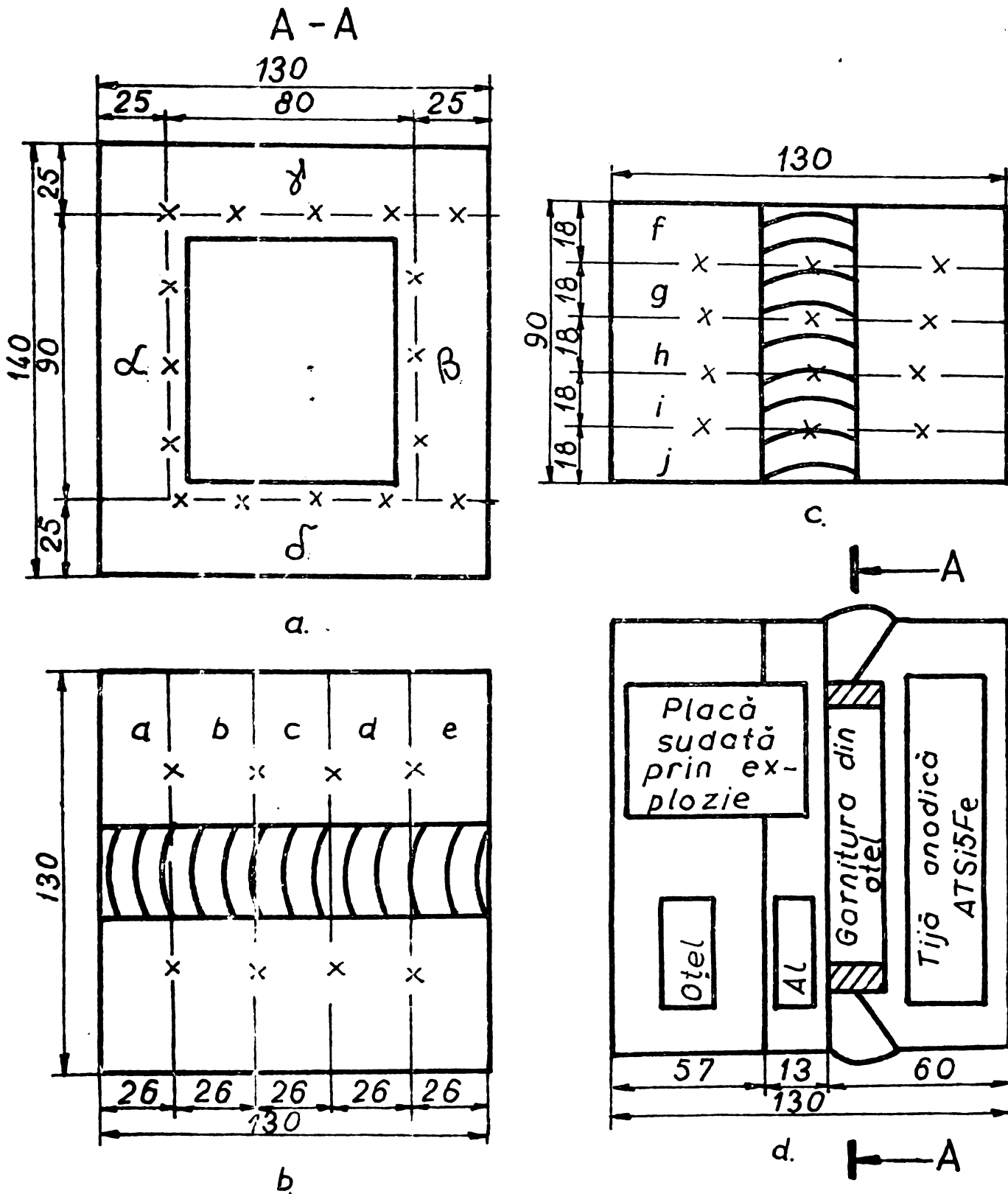


Fig.5.19.-Pregătirea controlului calității îmbinărilor Al-Al pentru DPA3: a) debitarea eşantioanelor; b) debitarea epruvetelor din eşantioanele  $\gamma$  și  $\delta$ ; c) debitarea epruvetelor din eşantioanele  $\alpha$  și  $\beta$ ; d) probă obținută după sudarea MIG



țaieturii celor două probe cu ferestrăul mecanic s-au obținut eşantioanele  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$  și  $\delta_1, \delta_2$  (figura 5.19, a). Din  $\alpha_1$  și  $\beta_1$  s-au debitat îmbinările f, g, h, i, j (figura 5.19, c) iar din  $\alpha_2$  și  $\beta_2, k, l, m, n, o$ , respectiv p, r, s, t, u. Epruvetele pentru încercarea la tracțiune (figura 5.20, a) s-au prelevat dinspre suprafața cusăturii îmbinărilor f...o, în cazul eşantioanelor  $\alpha_1, \alpha_2$  (figura 5.21, a) și dinspre rădăcina îmbinărilor care provin din  $\beta_1, \beta_2$  (figura 5.21, b).

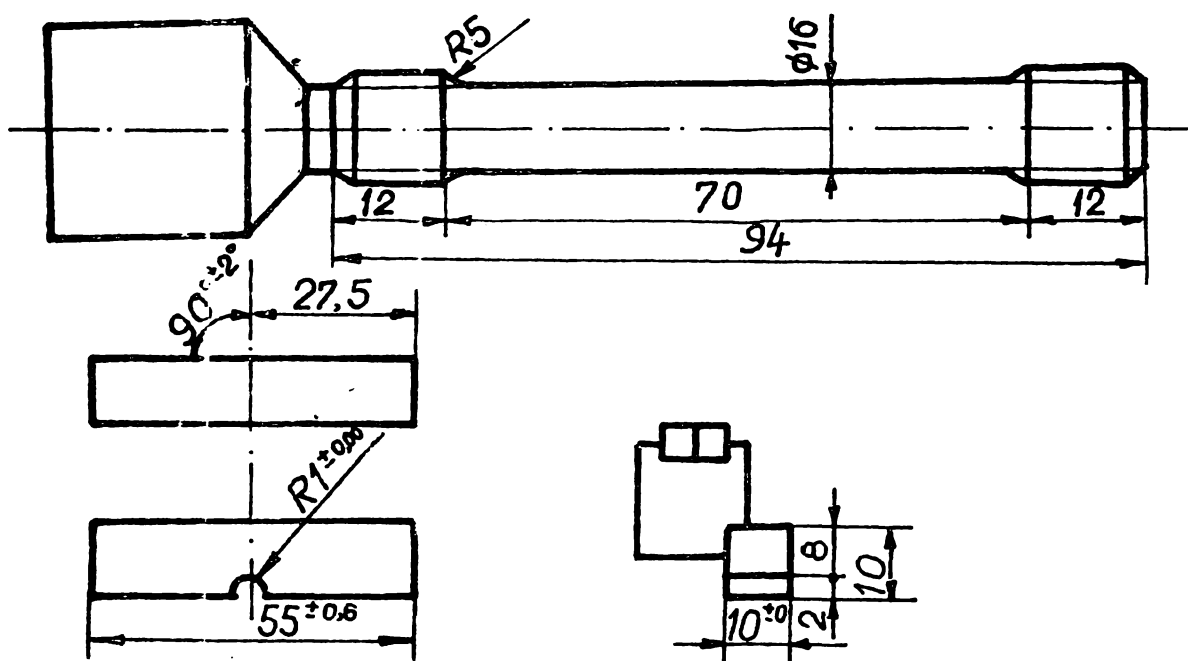


Fig.5.20.--Epruvete pentru încercări mecanice: a) încercarea la rupere la tracțiune; b) încercarea la încovoiere prin șoc (reziliență)

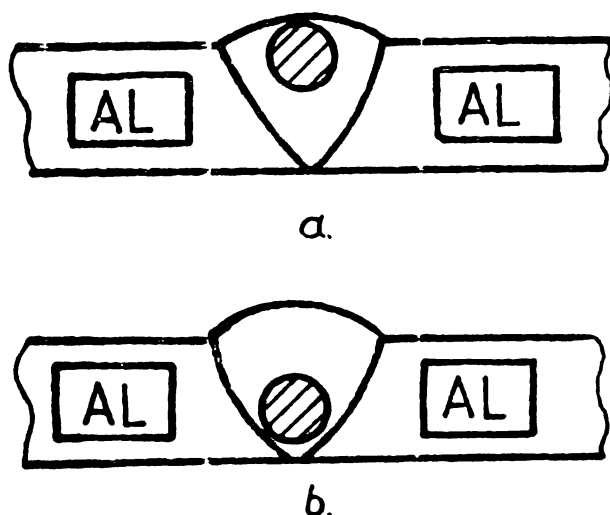


Fig.5.21.--Prelevarea epruvetelor din eşantioanele  $\alpha$  și  $\beta$ : a) prelevarea la suprafața cusăturii ( $\alpha$ ) b) prelevare la rădăcina cusăturii ( $\beta$ )

Încercările îmbinărilor Al-Al ale DPA 3, sudate prin procedeul MIG (tabela 5.12), sînt următoarele:

- încercarea la rupere la tracțiune efectuată la temperatură normală și după încălzire în regim termic de scurtă durată,
- reziliența în metalul depus,
- măsurarea durității HB/5/62,5 a îmbinării sudate.

Incercări mecanice ale îmbinărilor Al-Al pentru DPA3

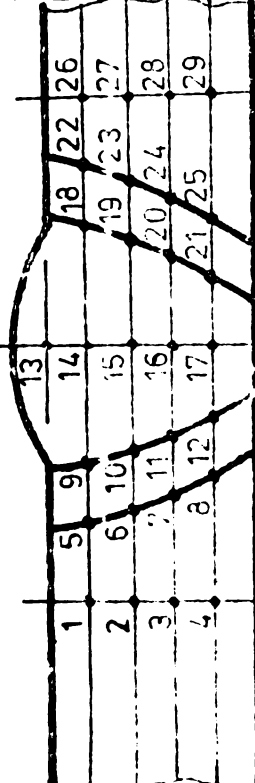
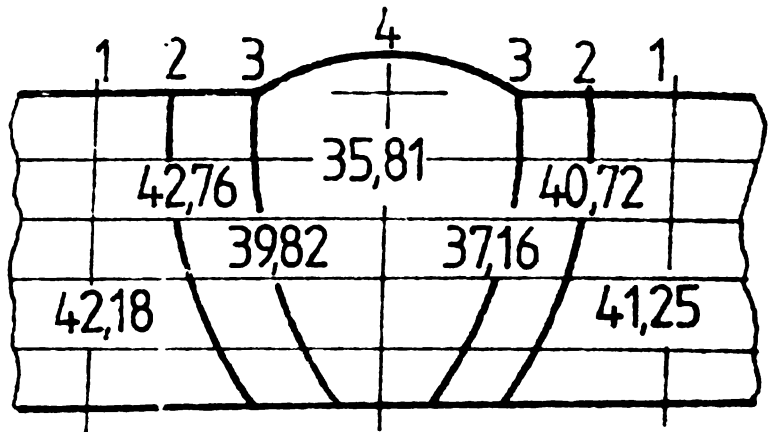
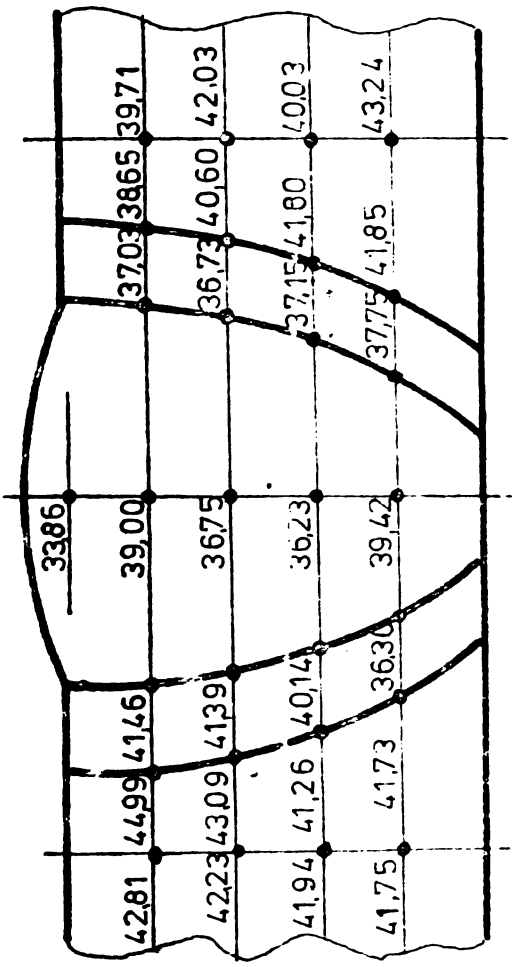
| Nr. Incercarea efectuata                                 | Enrivate utilizate și rezultatele obtinute   |                 |                         |      |      |      |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|--|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0  | 1  |                 |                         |      |      |      |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1.-Incercarea la rupere la tracțiune a îmbinărilor Al-Al | <p>Indicati-vul epruvetei</p> <p>Tensiunea de rupere la <math>T=293K</math> daN/mm<sup>2</sup></p> <p>Tensiunea de rupere la încălzirea în regim de scurtă durată, daN/mm</p> <p>Forma enrivatei: figura 5.20,a</p> <table border="1"> <tr> <td>I:</td> <td>f</td> <td>g</td> <td>h</td> <td>i</td> <td>j</td> <td>f</td> <td>h</td> <td>i</td> <td>i</td> </tr> <tr> <td>R<sub>m</sub>:</td> <td>5,0</td> <td>5,1</td> <td>6,1</td> <td>3,9</td> <td>3,3</td> <td>6,1</td> <td>7,6</td> <td>5,5</td> <td>5,5</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>f</td> <td>g</td> <td>h</td> <td>i</td> <td>j</td> <td>f</td> <td>g</td> <td>h</td> <td>j</td> </tr> <tr> <td>R<sub>m</sub>:</td> <td>6,2</td> <td>8,1</td> <td>3,1</td> <td>7,3</td> <td>6,8</td> <td>5,8</td> <td>6,6</td> <td>7,1</td> <td>6,4</td> </tr> </table> <p><math>T=473K</math></p> <table border="1"> <tr> <td>I:</td> <td>k</td> <td>l</td> <td>m</td> <td>n</td> </tr> <tr> <td>R<sub>m</sub>:</td> <td>2,6</td> <td>4,7</td> <td>3,4</td> <td>5,5</td> </tr> </table> <p><math>T=633K</math></p> <table border="1"> <tr> <td>I:</td> <td>j</td> <td>t</td> <td>u</td> </tr> <tr> <td>R<sub>m</sub>:</td> <td>1,8</td> <td>1,6</td> <td>1,8</td> </tr> </table>  | I:              | f                       | g    | h    | i    | j    | f    | h    | i   | i   | R <sub>m</sub> : | 5,0 | 5,1 | 6,1 | 3,9 | 3,3 | 6,1 | 7,6 | 5,5 | 5,5  | I:   | f    | g    | h    | i    | j    | f    | g | h    | j    | R <sub>m</sub> : | 6,2  | 8,1  | 3,1  | 7,3  | 6,8  | 5,8 | 6,6  | 7,1  | 6,4  | I:   | k    | l    | m    | n    | R <sub>m</sub> : | 2,6  | 4,7  | 3,4  | 5,5  | I:   | j    | t    | u    | R <sub>m</sub> : | 1,8  | 1,6  | 1,8  |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| I:   | f  | g               | h                       | i    | j    | f    | h    | i    | i    |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| R <sub>m</sub> :   | 5,0  | 5,1             | 6,1                     | 3,9  | 3,3  | 6,1  | 7,6  | 5,5  | 5,5  |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| I:   | f  | g               | h                       | i    | j    | f    | g    | h    | j    |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| R <sub>m</sub> :   | 6,2  | 8,1             | 3,1                     | 7,3  | 6,8  | 5,8  | 6,6  | 7,1  | 6,4  |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| I:   | k  | l               | m                       | n    |      |      |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| R <sub>m</sub> :   | 2,6  | 4,7             | 3,4                     | 5,5  |      |      |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| I:   | j  | t               | u                       |      |      |      |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| R <sub>m</sub> :   | 1,8  | 1,6             | 1,8                     |      |      |      |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2.-Incercarea de rezistență a metal depus                | <p>Indicativ epruvetă</p> <p>Energia de rupere</p> <p>Forma enrivatei: figura 5.20,b</p> <table border="1"> <tr> <td>I:</td> <td>o</td> <td>p</td> <td>r</td> <td>a</td> <td>b</td> <td>c</td> </tr> <tr> <td>KCU:</td> <td>1,3</td> <td>0,8</td> <td>0,5</td> <td>1,0</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>I:</td> <td>d</td> <td>o</td> <td>a</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>KCU:</td> <td>0,8</td> <td>0,7</td> <td>0,6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>   | I:              | o                       | p    | r    | a    | b    | c    | KCU: | 1,3 | 0,8 | 0,5              | 1,0 | 0,6 | 0,8 | I:  | d   | o   | a   |     |      |      | KCU: | 0,8  | 0,7  | 0,6  |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| I:   | o  | p               | r                       | a    | b    | c    |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| KCU:   | 1,3  | 0,8             | 0,5                     | 1,0  | 0,6  | 0,8  |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| I:   | d  | o               | a                       |      |      |      |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| KCU:   | 0,8  | 0,7             | 0,6                     |      |      |      |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3.-Măsurarea duriții în îmbinarea sudată                 |  <p>Schemă de impresiuni</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="655 1285 746 1474">Nr. impresiunii</th> <th colspan="8" data-bbox="873 1323 1374 1373">Indicativul epruvetelor</th> </tr> <tr> <th></th> <th>a</th> <th>b</th> <th>c</th> <th>d</th> <th>d</th> <th>e</th> <th>a</th> <th>e</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>37,6</td><td>44,8</td><td>43,5</td><td>36,5</td><td>39,7</td><td>38,6</td><td>43,5</td><td>58,3</td></tr> <tr><td>2</td><td>43,5</td><td>38,6</td><td>44,2</td><td>31,7</td><td>52,7</td><td>42,2</td><td>46,3</td><td>38,6</td></tr> <tr><td>3</td><td>41,0</td><td>46,3</td><td>44,2</td><td>34,6</td><td>44,8</td><td>39,7</td><td>46,3</td><td>38,6</td></tr> <tr><td>4</td><td>44,8</td><td>43,5</td><td>42,2</td><td>37,7</td><td>44,8</td><td>44,8</td><td>37,6</td><td>38,6</td></tr> <tr><td>5</td><td>39,7</td><td>53,7</td><td>39,7</td><td>39,7</td><td>42,2</td><td>43,5</td><td>39,7</td><td>62,7</td></tr> <tr><td>6</td><td>37,6</td><td>54,4</td><td>37,6</td><td>41,0</td><td>44,8</td><td>43,5</td><td>41,0</td><td>44,8</td></tr> <tr><td>7</td><td>39,7</td><td>52,7</td><td>37,6</td><td>39,6</td><td>44,8</td><td>33,7</td><td>41,0</td><td>41,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>44,8</td><td>47,8</td><td>44,6</td><td>41,0</td><td>43,5</td><td>37,6</td><td>43,5</td><td>41,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>49,3</td><td>54,4</td><td>30,2</td><td>34,6</td><td>38,6</td><td>44,8</td><td>42,2</td><td>37,6</td></tr> <tr><td>10</td><td>39,7</td><td>58,3</td><td>31,1</td><td>37,6</td><td>49,3</td><td>41,0</td><td>38,6</td><td>35,5</td></tr> <tr><td>11</td><td>39,7</td><td>41,0</td><td>46,3</td><td>38,6</td><td>49,3</td><td>39,7</td><td>31,9</td><td>34,6</td></tr> <tr><td>12</td><td>39,7</td><td>33,7</td><td>30,2</td><td>38,6</td><td>49,3</td><td>39,7</td><td>39,7</td><td>35,5</td></tr> <tr><td>13</td><td>46,3</td><td>50,9</td><td>37,6</td><td>35,5</td><td>32,8</td><td>34,6</td><td>34,6</td><td>38,6</td></tr> <tr><td>14</td><td>46,3</td><td>49,3</td><td>28,6</td><td>35,5</td><td>35,5</td><td>35,5</td><td>36,5</td><td>44,8</td></tr> <tr><td>15</td><td>42,2</td><td>46,3</td><td>37,6</td><td>28,1</td><td>28,1</td><td>36,5</td><td>39,7</td><td>35,5</td></tr> <tr><td>16</td><td>42,2</td><td>42,2</td><td>29,5</td><td>31,9</td><td>38,6</td><td>30,2</td><td>39,7</td><td>35,5</td></tr> <tr><td>17</td><td>37,6</td><td>41,0</td><td>30,2</td><td>34,8</td><td>47,8</td><td>37,6</td><td>50,9</td><td>35,5</td></tr> </tbody> </table> | Nr. impresiunii | Indicativul epruvetelor |      |      |      |      |      |      |     |     | a                | b   | c   | d   | d   | e   | a   | e   | 1   | 37,6 | 44,8 | 43,5 | 36,5 | 39,7 | 38,6 | 43,5 | 58,3 | 2 | 43,5 | 38,6 | 44,2             | 31,7 | 52,7 | 42,2 | 46,3 | 38,6 | 3   | 41,0 | 46,3 | 44,2 | 34,6 | 44,8 | 39,7 | 46,3 | 38,6 | 4                | 44,8 | 43,5 | 42,2 | 37,7 | 44,8 | 44,8 | 37,6 | 38,6 | 5                | 39,7 | 53,7 | 39,7 | 39,7 | 42,2 | 43,5 | 39,7 | 62,7 | 6 | 37,6 | 54,4 | 37,6 | 41,0 | 44,8 | 43,5 | 41,0 | 44,8 | 7 | 39,7 | 52,7 | 37,6 | 39,6 | 44,8 | 33,7 | 41,0 | 41,0 | 8 | 44,8 | 47,8 | 44,6 | 41,0 | 43,5 | 37,6 | 43,5 | 41,0 | 9 | 49,3 | 54,4 | 30,2 | 34,6 | 38,6 | 44,8 | 42,2 | 37,6 | 10 | 39,7 | 58,3 | 31,1 | 37,6 | 49,3 | 41,0 | 38,6 | 35,5 | 11 | 39,7 | 41,0 | 46,3 | 38,6 | 49,3 | 39,7 | 31,9 | 34,6 | 12 | 39,7 | 33,7 | 30,2 | 38,6 | 49,3 | 39,7 | 39,7 | 35,5 | 13 | 46,3 | 50,9 | 37,6 | 35,5 | 32,8 | 34,6 | 34,6 | 38,6 | 14 | 46,3 | 49,3 | 28,6 | 35,5 | 35,5 | 35,5 | 36,5 | 44,8 | 15 | 42,2 | 46,3 | 37,6 | 28,1 | 28,1 | 36,5 | 39,7 | 35,5 | 16 | 42,2 | 42,2 | 29,5 | 31,9 | 38,6 | 30,2 | 39,7 | 35,5 | 17 | 37,6 | 41,0 | 30,2 | 34,8 | 47,8 | 37,6 | 50,9 | 35,5 |
| Nr. impresiunii  | Indicativul epruvetelor  |                 |                         |      |      |      |      |      |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
|  | a  | b               | c                       | d    | d    | e    | a    | e    |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1  | 37,6   | 44,8            | 43,5                    | 36,5 | 39,7 | 38,6 | 43,5 | 58,3 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2  | 43,5   | 38,6            | 44,2                    | 31,7 | 52,7 | 42,2 | 46,3 | 38,6 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 3  | 41,0   | 46,3            | 44,2                    | 34,6 | 44,8 | 39,7 | 46,3 | 38,6 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 4  | 44,8   | 43,5            | 42,2                    | 37,7 | 44,8 | 44,8 | 37,6 | 38,6 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 5  | 39,7   | 53,7            | 39,7                    | 39,7 | 42,2 | 43,5 | 39,7 | 62,7 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 6  | 37,6   | 54,4            | 37,6                    | 41,0 | 44,8 | 43,5 | 41,0 | 44,8 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 7  | 39,7   | 52,7            | 37,6                    | 39,6 | 44,8 | 33,7 | 41,0 | 41,0 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 8  | 44,8   | 47,8            | 44,6                    | 41,0 | 43,5 | 37,6 | 43,5 | 41,0 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 9  | 49,3   | 54,4            | 30,2                    | 34,6 | 38,6 | 44,8 | 42,2 | 37,6 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 10   | 39,7   | 58,3            | 31,1                    | 37,6 | 49,3 | 41,0 | 38,6 | 35,5 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 11   | 39,7   | 41,0            | 46,3                    | 38,6 | 49,3 | 39,7 | 31,9 | 34,6 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 12   | 39,7   | 33,7            | 30,2                    | 38,6 | 49,3 | 39,7 | 39,7 | 35,5 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 13   | 46,3   | 50,9            | 37,6                    | 35,5 | 32,8 | 34,6 | 34,6 | 38,6 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 14   | 46,3   | 49,3            | 28,6                    | 35,5 | 35,5 | 35,5 | 36,5 | 44,8 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 15   | 42,2   | 46,3            | 37,6                    | 28,1 | 28,1 | 36,5 | 39,7 | 35,5 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 16   | 42,2   | 42,2            | 29,5                    | 31,9 | 38,6 | 30,2 | 39,7 | 35,5 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 17   | 37,6   | 41,0            | 30,2                    | 34,8 | 47,8 | 37,6 | 50,9 | 35,5 |      |     |     |                  |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |                  |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |

TABELA 5.12  
(continuare)

| 0 | 1 | 2 |    |      |      |      |      |      |      |      |     |
|---|---|---|----|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|   |   |   | 18 | 44,2 | 34,6 | 41,0 | 31,1 | 35,5 | 34,0 | 35,5 | 39, |
|   |   |   | 19 | 43,5 | 39,7 | 34,6 | 33,7 | 35,5 | 37,6 | 34,6 | 34, |
|   |   |   | 20 | 37,6 | 42,5 | 34,6 | 36,5 | 34,5 | 42,2 | 33,7 | 35, |
|   |   |   | 21 | 33,7 | 44,8 | 26,1 | 31,1 | 42,2 | 23,6 | 58,3 | 42  |
|   |   |   | 22 | 36,5 | 43,7 | 43,5 | 35,5 | 30,2 | 41,0 | 41,0 | 47, |
|   |   |   | 23 | 34,6 | 47,8 | 35,5 | 36,5 | 42,2 | 39,7 | 46,3 | 42, |
|   |   |   | 24 | 46,3 | 50,9 | 35,5 | 37,6 | 34,6 | 39,7 | 46,3 | 43, |
|   |   |   | 25 | 44,8 | 47,8 | 36,5 | 37,6 | 41,0 | 38,6 | 46,3 | 42, |
|   |   |   | 26 | 31,9 | 43,5 | 36,5 | 36,5 | 41,0 | 41,0 | 46,3 | 41, |
|   |   |   | 27 | 44,8 | 33,7 | 44,8 | 38,6 | 44,8 | 41,0 | 42,2 | 46  |
|   |   |   | 28 | 41,0 | 47,8 | 35,5 | 34,6 | 34,6 | 42,2 | 41,0 | 43  |
|   |   |   | 29 | 46,3 | 43,5 | 42,2 | 32,8 | 49,3 | 44,8 | 44,8 | 42  |





a )



c)

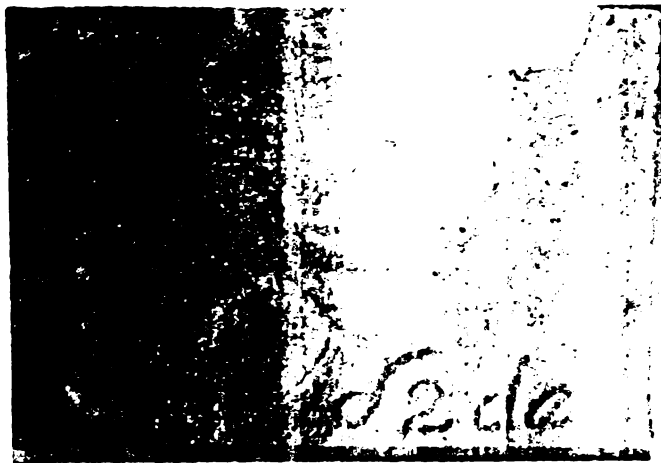


b)

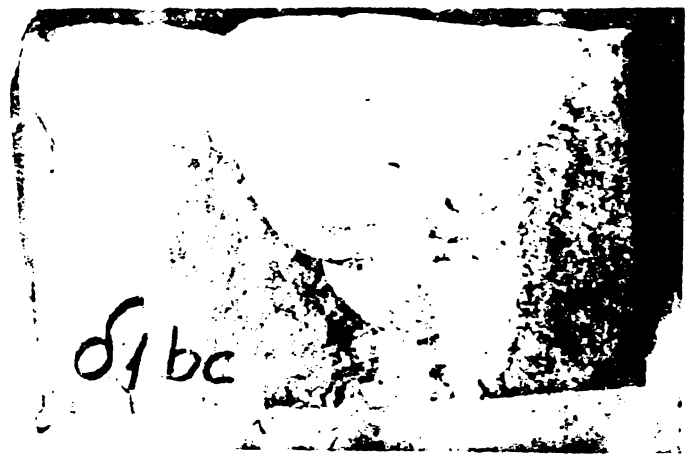
Fig. 522. Eșantioane utilizate la cercetarea  
îmbinărilor Al - Al ale D P A 3 :

- a) eșantioane  $\gamma^b$ ; b) eșantioane  $\gamma^c$ ;  
c) eșantioane  $\gamma^d$ ;

INSTITUTUL DE RESEARCH  
SI INVESTIȚII



a)



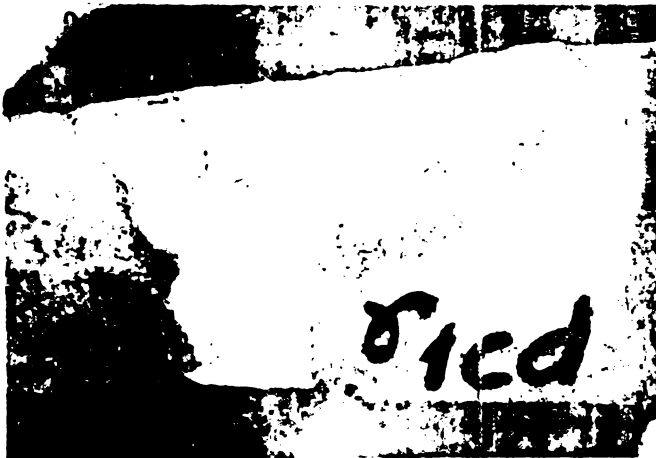
d)



b)



e)

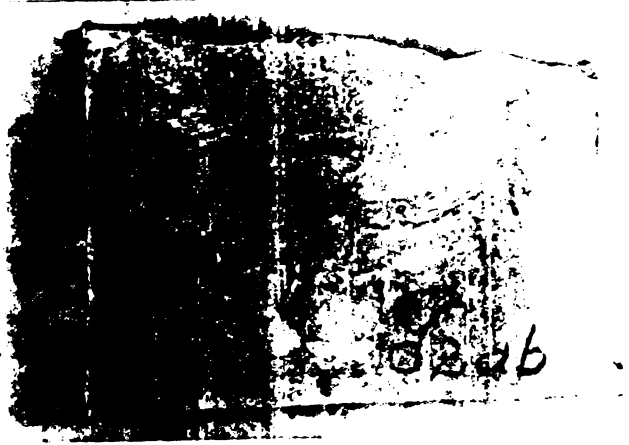


c)



f)

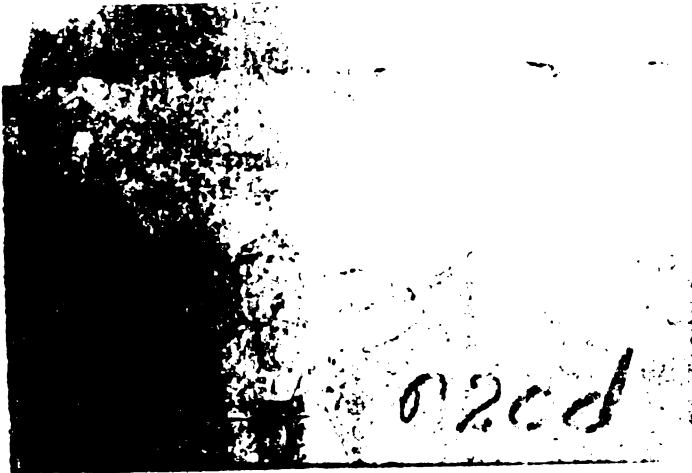
Fig. 5.23. Macrostructurile unor imbinari Al-Al ale DPA 3 sudate prin procedeul MIG. Indicativul epruvete lor a)  $\sigma_{2de}$ ; b)  $\gamma_{2bc}$ ; c)  $\gamma_{1cd}$ ; d)  $\sigma_{1bc}$ ; e)  $\sigma_{1cd}$ ; f)  $\gamma_{2ab}$ .



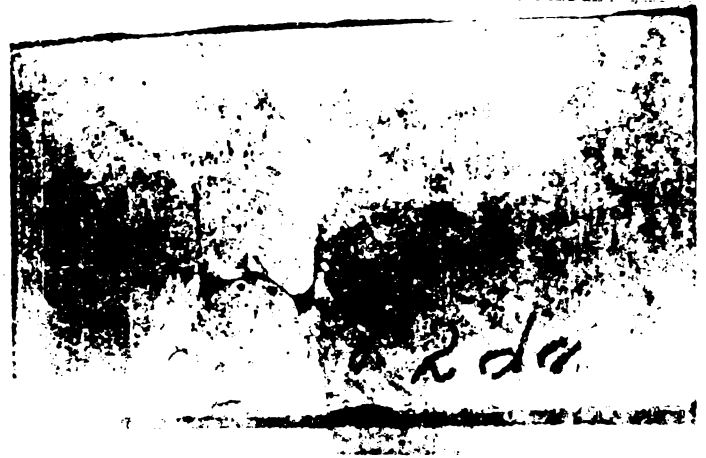
g)



i)



h)



j)

Fig.5.23- g)  $\mathcal{J}_2 ab$  , h)  $\gamma_2 cd$  ,  
i)  $\gamma_1 de$  , j)  $\gamma_2 de$



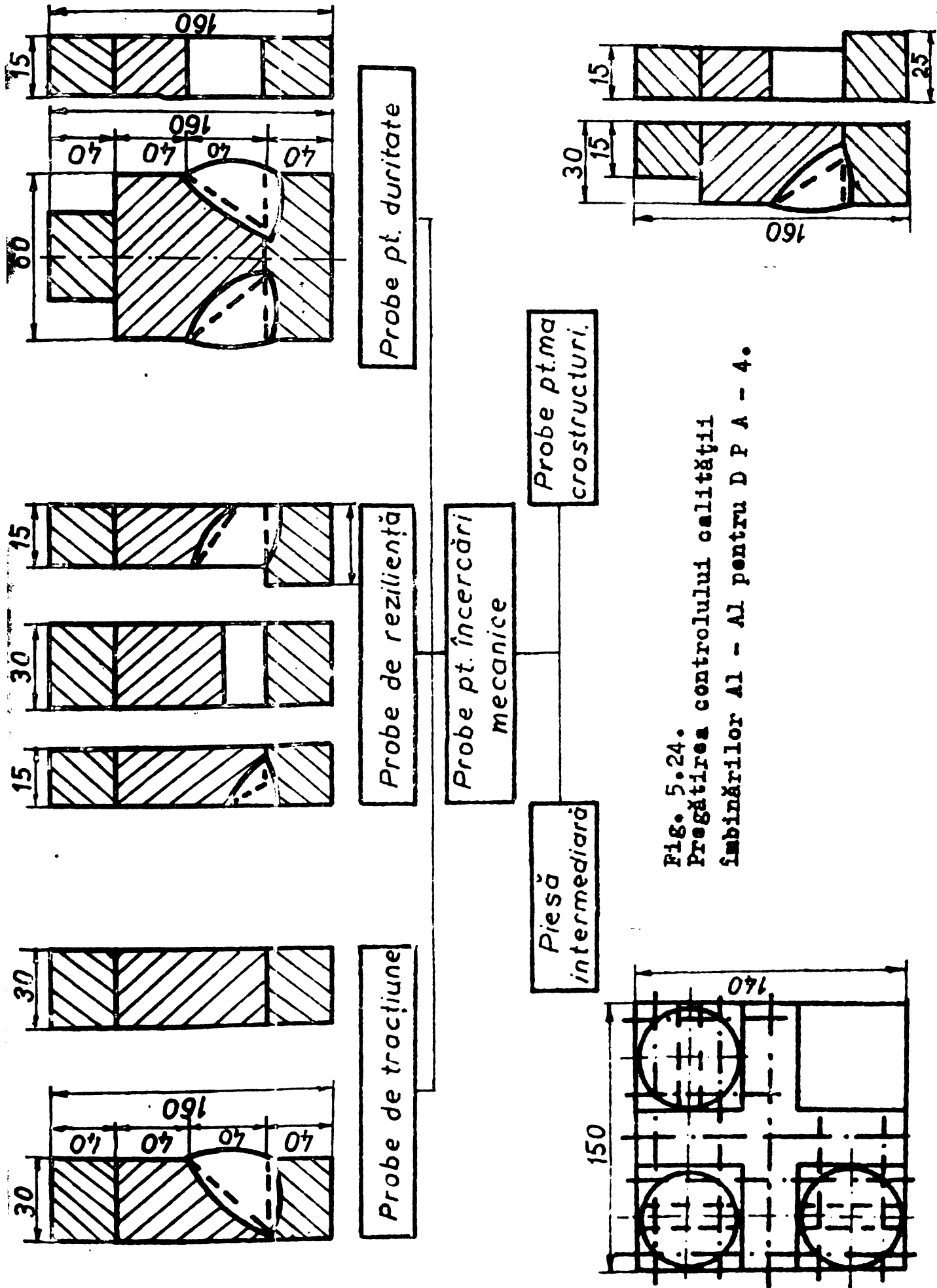


Fig. 5.24. Pregătirea controlului calității îmbinărilor Al - Al pentru D P A - 4.

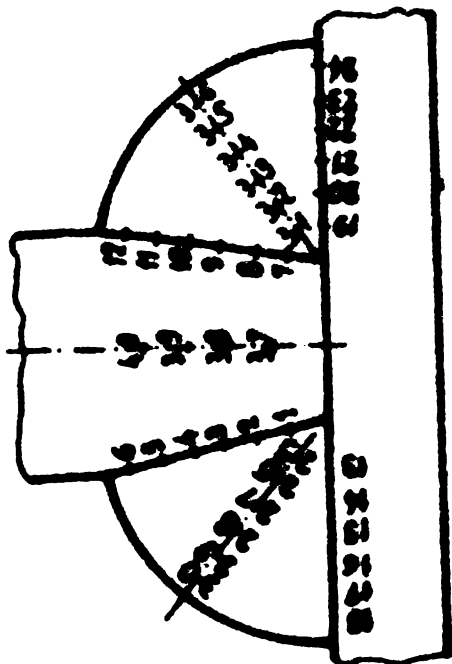


Tabela 5.13. Incercări mecanice ale îmbinărilor Al-Al pentru D P A 4  
Epruvete utilizate și rezultate obținute

| Nr. Incercarea<br>crt efectuată | 2          | 3  | Epruvete utilizate |            | Data de comparație                        |                              |
|---------------------------------|------------|----|--------------------|------------|---|------------------------------|
|                                 |            |    | Forma              | Indicativ  | Rm-daN/mm <sup>2</sup> în îmbinarea Al-Al | Rm-daN/mm <sup>2</sup> în MB |
| 1                               | Fig.5.20,a | T1 | 3,8                | 8,9...10,8 |   |                              |
|                                 |            | T2 | 3,4                |            |   |                              |
|                                 |            | T3 | 3,2                |            |   |                              |
|                                 |            | T4 | 3,8                |            |   |                              |
| 2                               | Fig.5.20,2 | R1 | 1,35               |            |   |                              |
|                                 |            | R2 | 0,8                | 0,2        |   |                              |
|                                 |            | R3 | 0,5                |            |   |                              |

| Locul<br>impre-<br>siunii | Duritatea HB 2,5/31,25 |      |      |      |         |
|---------------------------|------------------------|------|------|------|---------|
|                           | DI                     | D2   | D3   | D    | HB med. |
| a                         | b                      | c    | d    | e    |         |
| 1                         | 46,3                   | 43,5 | 43,5 | 43,5 | 44,43   |
| 2                         | 38,6                   | 54,5 | 54,5 | 42,2 | 45,07   |
| 3                         | 39,7                   | 41,0 | 41,0 | 42,2 | 40,97   |
| 4                         | 41,0                   | 35,5 | 35,5 | 42,0 | 42,23   |
| 5                         | 41,0                   | 43,5 | 43,5 | 37,6 | 40,70   |
| 6                         | 41,0                   | 44,8 | 44,8 | 42,2 | 42,67   |
| 7                         | 46,3                   | 62,7 | 62,7 | 42,2 | 50,40   |
| 8                         | 42,2                   | 43,5 | 43,5 | 43,5 | 43,07   |
| 9                         | 33,7                   | 47,8 | 47,8 | 32,8 | 38,10   |
| 10                        | 42,2                   | 46,3 | 46,3 | 41,0 | 43,17   |
| 11                        | 43,5                   | 44,8 | 44,8 | 41,0 | 43,10   |
| 12                        | 43,5                   | 49,3 | 49,3 | 51,0 | 47,93   |
| 13                        | 42,5                   | 52,7 | 52,7 | 41,0 | 45,73   |
| 14                        | 42,2                   | 47,8 | 47,8 | 41,0 | 43,67   |

Cercetarea Schema de impresiuni  
duritatii



Valoarea medie a durității  
în punctele de impresiune

| a  | b    | c    | d    | e     |
|----|------|------|------|-------|
| 15 | 42,2 | 46,3 | 44,8 | 44,56 |
| 16 | 43,5 | 46,3 | 44,8 | 44,87 |
| 17 | 33,7 | 49,3 | 42,2 | 40,73 |
| 18 | 42,2 | 46,3 | 42,2 | 43,56 |
| 19 | 42,2 | 44,8 | 44,8 | 43,93 |
| 20 | 52,7 | 49,3 | 42,2 | 48,07 |
| 21 | 41,0 | 56,3 | 43,5 | 46,93 |
| 22 | 43,5 | 49,3 | 41,0 | 44,60 |
| 23 | 47,8 | 49,3 | 42,2 | 46,43 |
| 24 | 37,6 | 46,3 | 42,2 | 42,03 |
| 25 | 42,2 | 47,8 | 38,6 | 42,87 |
| 26 | 54,4 | 47,8 | 51,0 | 47,73 |
| 27 | 41,0 | 47,8 | 49,3 | 46,03 |
| 28 | 43,5 | 46,3 | 44,8 | 44,87 |
| 29 | 46,3 | 46,3 | 36,5 | 43,03 |
| 30 | 49,3 | 49,3 | 49,3 | 49,30 |
| 31 | 37,6 | 49,3 | 43,5 | 43,47 |
| 32 | 46,3 | 46,3 | 43,5 | 45,37 |
| 33 | 37,6 | 46,3 | 43,5 | 42,47 |
| 34 | 43,5 | 36,3 | 43,5 | 41,10 |
| 35 | 42,2 | 46,3 | 42,2 | 43,57 |

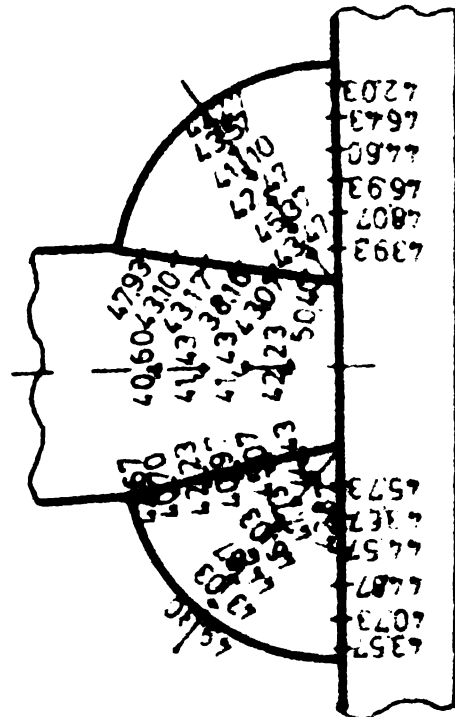


TABELA 5.13.

(continuare)

| a  | b    | c    | d    | e     |
|----|------|------|------|-------|
| 36 | 41,0 | 41,0 | 44,0 | 42,27 |
| 37 | 43,5 | 42,2 | 41,0 | 42,23 |
| 38 | 43,5 | 42,2 | 38,6 | 41,43 |
| 39 | 43,5 | 42,2 | 38,6 | 41,43 |
| 40 | 41,0 | 42,2 | 38,6 | 40,60 |

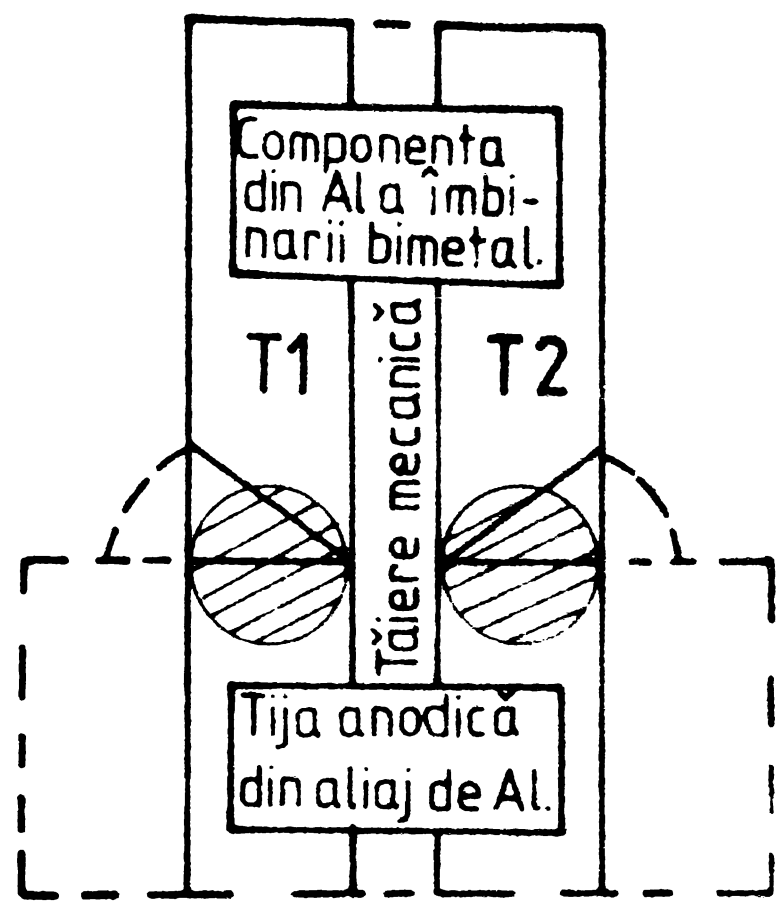
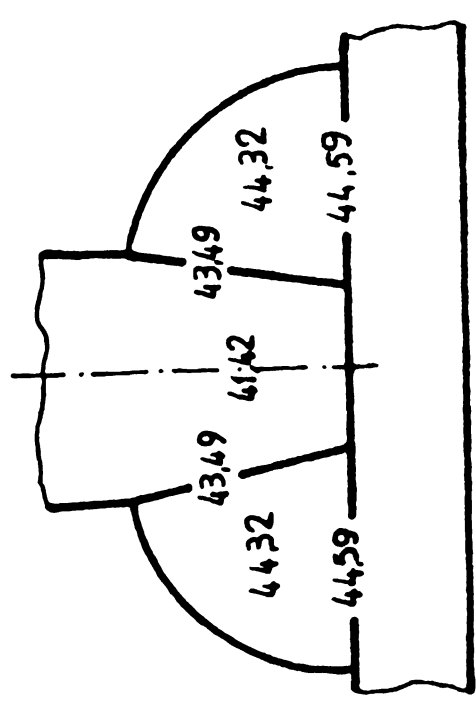
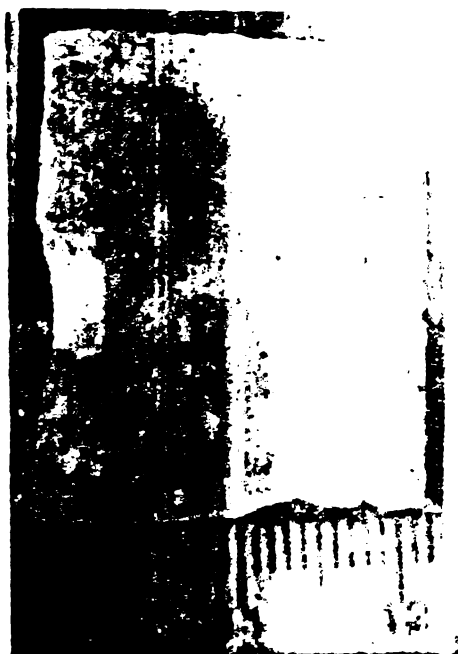


Figura 5.25. Poziția epruvetelor pentru încercare la tracțiune în îmbinarea Al-Al



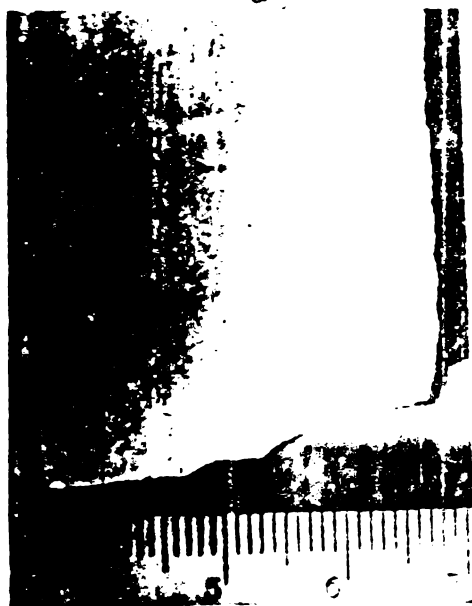
Valoarea medie a dimensiunii  
în mm, CIT și în cusătură



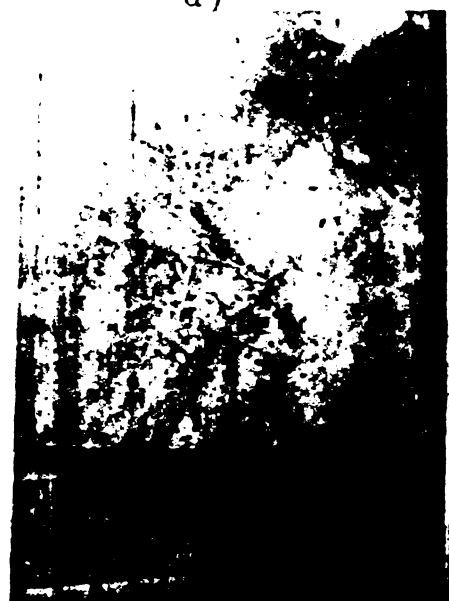
a)



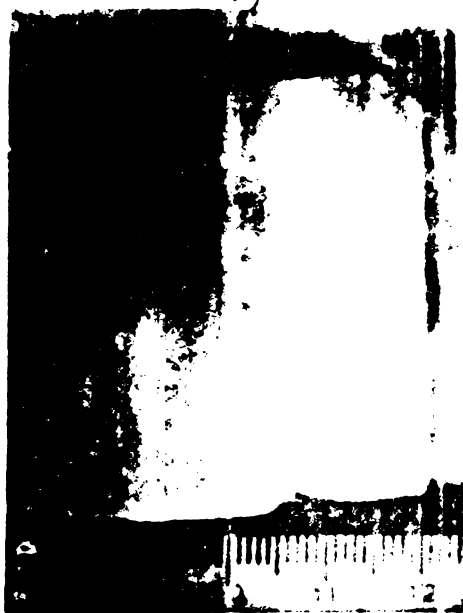
d)



b)



e)



c)



f)

Fig.5.26.-Macrostructurile unor îmbinări Al-Al ale DP44 sudate prin procedeele MIG. Indicativul epruvetelor: a)  $\delta_1$  ; b)  $\delta_2$  ; c)  $\delta_3$  ; d)  $\delta_4$  ; e)  $\delta_5$  ; f)  $\delta_6$

Având în vedere că valoarea medie obținută la încercarea de rupere la tracțiune la temperatură normală, este  $5,77 \text{ daN/mm}^2$  pentru îmbinarea sudată și  $8,9 \text{ daN/mm}^2$  pentru MB, rezultă că rezistența îmbinării Al-Al reprezintă 64,8% din rezistența aliajului ATSi5Fe, prelevarea epruvetei fiind făcută la rădăcina cusăturii.  $R_m = 5,77 \text{ daN/mm}^2$  reprezintă de asemenea, 67% din valoarea similară a îmbinării OL 37 - ATSi5Fe sudată prin frecare ( $R_m = 8,6 \text{ daN/mm}^2$ , tabela 5.13). În schimb rezistența la rupere la tracțiune a îmbinării bimetal este 78% din cea a îmbinării Al-Al la 473 K, după încălzirea în regim de scurtă durată (OL37-ATSi5Fe:  $R_m = 3,16 \text{ daN/mm}^2$ , tabela 5.1 și Al-Al  $R_m = 4,07 \text{ daN/mm}^2$ , tabela 5.12). O dată cu creșterea temperaturii, rezistența la rupere a celor două tipuri de îmbinări se apropie ca valoare, diferența constatată la 633 K fiind nesemnificativă (OL37-ATSi5Fe:  $R_m = 1,75 \text{ daN/mm}^2$ , Al-Al:  $R_m = 1,76 \text{ daN/mm}^2$ ). Reziliența metalului depus este de patru ori mai mare decât a tijeii din aliaj ATSi5Fe, îmbinarea sudată de tip Al-Al a DPA 3 având o plasticitate superioară. Pe baza încercărilor de duritate, s-au confirmat valori ale durității sensibile egale în cusătură și MB la sudarea prin procedeul MIG a îmbinărilor Al-Al ale DPA 3,

Studiul macrostructural s-a efectuat pentru constatarea modului de formare a cusăturii pe grosimea de îmbinare a componentelor din Al ale DPA 3. Astfel, s-a constatat că în toate cazurile cercetate garnitura din oțel a contribuit la formarea corectă a rădăcinii, îmbinările Al-Al rezultând compacte și fără defecte specifice sudurilor care nu au rădăcina susținută pe garnituri (figura 5.22). Se observă decuparea din tija anodică în care s-a introdus garnitura de oțel, se constată suduri fără defecte sau cu defecte izolate precum și, în unele cazuri (figura 5,22,c), defecte mari de turnare în MB. Indicațiul epruvetei pentru analiza macrostructurală este alcătuit din patru simboluri: indicațiul eșantionului, numărul probei, litera îmbinării debitate din eșantion și simbolul suprafeței care se examinează macrostructural. Astfel, prin indicațiul  $\mathfrak{J}_2$  d e s-a considerat: eșantionul  $\mathfrak{J}$  (figura 5.19,a),

proba 2 (figura 5.19,d), îmbinarea d (figura 5.19,b), suprafața examinată fiind spre îmbinarea e. Porii fini grupați (figura 5.23, a, b) și incluziunile nemetalice izolate (figura 5.23,c) sînt defecte care apar frecvent în îmbinările Al-Al sudate prin procedeul MIG pentru DPA 3. Colțurile ascuțite ale incluziunilor reprezintă amorse din care se propagă fisuri (figura 5.23,d,e). Fisurile apar la rădăcina cusăturii unde MB este rece și cînd viteza de sudare este mare (figura 5.21,f,g), ele nefiind constatate în straturile superioare preîncălzite de căldura introdusă în piesă la efectuarea straturilor precedente. Datorită grosimii mari a cusăturii și conducerii necorespunzătoare a arcului electric în timpul sudării, se constată în îmbinare defecte de nepătrundere (figura 5.23,h,i,j).

În concluzie, controlul calității îmbinărilor Al-Al ale DPA 3, s-a efectuat prin încercări mecanice și analiză macrostructurală. La temperatura normală, rezistența la rupere la tracțiune a îmbinării Al-Al reprezintă 67% din rezistența la rupere a îmbinării 0137-ATSi5Fe sudată prin frecare și 64,8% din rezistența la rupere a aliajului ATSi5Fe. După încălzirea în regim de scurtă durată la  $4/3$ , rezistența la rupere la tracțiune a îmbinării bimetal este 78% din cea a îmbinării Al-Al, însă cu creșterea temperaturii valorile se apropie astfel încît la 633K diferența constatată între rezistența la rupere a celor două tipuri de îmbinări este nesemnificativă ( $\sigma, \sigma_{lda} / \text{mm}^2$ ), încercarea de reziliență arată plasticitatea superioară a metalului deșus față de MB, iar încercarea de duritate pune în evidență valori de duritate apropiate în îmbinarea sudată. Analiza macrostructurală arată că sudura este realizată pe toată grosimea componentelor iar rădăcina este corect formată în toate cazurile cercetate, ca urmare a susținerii ei cu gemitură din oțel. De asemenea, pe baza analizei macroscopice s-au constatat defectele tipice care apar în îmbinările Al-Al sudate prin procedeul MIG pentru DPA3.

#### 5.2.2.-Controlul calității îmbinărilor Al-Al ale dispozitivului port-anel DPA4

După realizarea unui dispozitiv port-anel DPA4, s-a debi-  
tat o probă pentru controlul calității îmbinărilor Al-Al sudate  
prin procedeul MIG (figura 5.24). În urma tăierii probei la



ferestrău s-au obținut eșantioanele  $\alpha, \beta, \gamma$ , pentru încercări mecanice și  $\delta$  pentru cercetarea macrostructurală. Încercările efectuate pentru aprecierea calității îmbinărilor sudate Al-Al ale DPA4 (tabela 5.13) au fost următoarele:

- încercarea la rupere la tracțiune a îmbinării sudate;
- încercarea de reziliență a metalului depus;
- măsurări de duritate HB 2,5/31,25 pe îmbinarea sudată.

Tinând cont de locul prelevării epruvetelor pentru încercarea la tracțiune (figura 5.25), rezistența la rupere a unei îmbinări Al-Al  $R_{m1,2}$  rezultă prin însumarea valorilor  $R_{m1}$ ,  $R_{m2}$  obținute după ruperea la tracțiune a epruvetelor T1 și T2, care provin din aceeași îmbinare. Astfel:  $R_{m1,2} = R_{m1} + R_{m2}$  iar cu valorile obținute experimental (tabela 5.13), avem:

$R_{m1,2} = 3,8 + 3,4 = 7,2 \text{ daN/mm}^2$  și  $R_{m3,4} = 3,8 + 3,2 = 7,0 \text{ daN/mm}^2$ , valoarea medie fiind  $R_{m \text{ med}} = 7,1 \text{ daN/mm}^2$ .

Rezultă că rezistența la rupere la tracțiune a îmbinării Al-Al pentru DPA4 reprezintă 79,7% din rezistența la rupere a aliajului AlSi5Fe, față de 64,8% cât s-a constatat în cazul DPA3. Reziliența în metalul depus indică o plasticitate superioară față de cea a MB (tabela 5.13): de patru ori atât la DPA4 cât și la DPA3. Măsurările de duritate arată valoarea cea mai ridicată în ZIT (50,40 HB). În comparația cu stratul de acoperire (49,30 HB) dispunerea durităților este echilibrată, fără valori maxime și minime pronunțate (maxim 50,40 HB, minim 40,70 HB). Duritatea măsurată pe axa cusăturii (41,10...49,30 HB) și în MB (40,60...42,23 HB) prezintă valori apropiate (tabela 5.13). Analiza macrostructurală prezintă o trecere fără defecte de la cusătură la MB iar ZIT este restrinsă (figura 5.26). Se constată defecte izolate în componentele de sudură și un defect de curgere a metalului topit (figura 5.26, b). Nu sînt puse în evidență incluziuni de zgură și fisuri în cusătură sudată.

În concluzie, controlul calității îmbinărilor Al-Al ale DPA4 s-a efectuat prin încercări statice la tracțiune, încercări de reziliență, măsurări de duritate și prin analiză macroscopică. Rezistența la rupere a îmbinării Al-Al reprezintă 79,7% din rezistența la rupere a MB față de 64,8% cât s-a constatat în cazul DPA3, ceea ce reflectă condițiile tehnologice superioare existente la execuția îmbinărilor Al-Al prin procedeul MIG a dispozitivelor port-moza prevăzute cu îmbinări



Oțel-Al sudate prin frecare. fiind utilizate materiale de oțel și MB similare, încercarea de reziliență a metalului depus dă aceleași rezultate la sudarea MIG a DPA3 și DPA4, plasticitatea cusăturii fiind superioară față de cea a MB. Duritatea îmbinării Al-Al nu este influențată de procesul de sudare, valorile obținute în MB, ZIT și cusătură fiind apropiate. Analiza microscopică arată că îmbinarea sudată Al-Al pentru DPA4 rezultă fără defecțe ca: fisuri, lipsă de pătrundere sau incluziuni de zgură, din cauza accesului ușor al capului de sudare la rădăcină, lungimii reduse a cusăturii și a numărului mic de straturi.

#### 5.2.3.-Controlul calității îmbinărilor Al-Al ale dispozitivului port-anod DPA5

Îmbinările de tip Al-Al pentru DPA5 se controlează la asamblarea tetrapiedului Oțel-Al cu tije din aliaj de Al, în timpul sudării cit și în final, ca dimensiuni și aspect exterior. În faza de asamblare s-au verificat elementele rostului și existența punctelor de prindere pe fiecare lungime de sudat. În timpul sudării s-a controlat respectarea parametrilor tehnologici și a ordinii de sudare, încălzirea componentelor în timpul sudării și limitarea temperaturii sudurilor Oțel-Al la cel mult 473K. Pentru măsurarea temperaturii s-a folosit o trusă Febel Castell Thermochrom, cu posibilități de măsurare în intervalul 338 la 943K. Controlul final al îmbinării sudate s-a făcut vizual și s-au admis suduri cu trecere lină spre MB, fără creștături, cu lățime uniformă pe toată lungimea. Nu s-au constatat fisuri, iar craterale nesudate și creștăturile s-au completat cu sudură [84].

## 6.-INCERCARILE ELECTRICE ALE IMBINARILOR

### OTEL-LUMINIU

În prezent, procedeul utilizat pentru obținerea Al la scară industrială, este procedeul electrolitic. Electroliza aluminei are loc în cuve cu anodi precopți, care sînt susținuți de dispozitive port-anod DPAl,2. parcurse de curentul anodic,  $I_a \approx 5000$  A. Intensitatea de lucru pe cuvă este 62-66 kA la tensiunea de reglaj de 3,9 V [131]. Pentru punerea în exploatare a unei cuve se aduce recipientul cu baie lichidă lângă cuvă, în poziția de basculare, după care cadrul anodic se ridică prin impulsuri scurte pînă cînd tensiunea ajunge la 4,5 V. Se basculează recipientul, iar după acoperirea catodului cu electrolit se ridică din nou cadrul metalic pînă cînd tensiunea cuvei ajunge la 20 V. După 120 ore tensiunea scade la 3,9 V, care este tensiunea de lucru (figura 6.1).

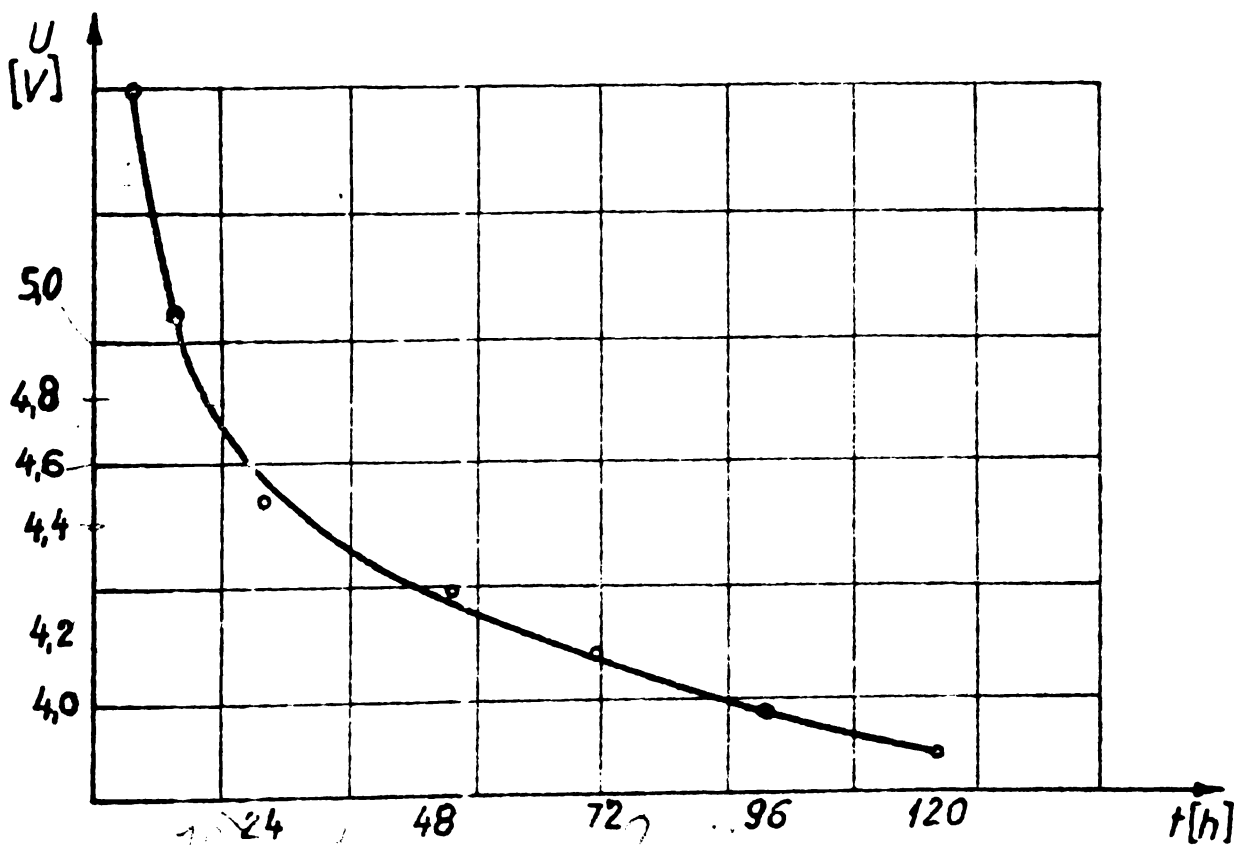


Fig.6.1.-Variația tensiunii cuvei în primele cinci zile

Durate unui ciclu de utilizare (26...28 zile), curentul anodic și tensiunea de lucru definesc condițiile de exploatare ale DPAl...6. Curentul nominal produce prin efect Joule-Lenz

încălzirea îmbinărilor sudate, fiind necesară cercetarea la stabilitate termică a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare ale DPA4,5,6. Pentru cunoașterea particularităților procesului termic se necesită determinarea constantelor de timp ale încălzirii componentelor, stabilirea parametrilor de stare și câmpului termic, reprezentarea curbelor de încălzire ale ME și sudurilor Oțel-Al. În paralel cu realizarea DPA4,5,6, se impun comparații cu DPA1 utilizate în metalurgia Al. În acest scop, după solicitarea în condiții echivalente a DPA1 și DPA4,5,6, este necesară cercetarea comportării la curent a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare și a îmbinărilor cu placă bimetal sudată prin explozie, precum și măsurarea căderilor de tensiune între punctele caracteristice a acestor îmbinări.

O solicitare electrică importantă a DPA1...6. este efectul anodic, care se produce atunci când concentrația în alumina din electrolit scade sub 1%. La producerea efectului anodic tensiunea cuvei crește de la 3,9 V la cca 30 V. În situația normală, cuve trebuie să aibe un efect anodic la fiecare 24 ore. La cuvele cu efecte anodice multiple, efectele anodice apar de cel puțin trei ori pe zi. Consecințele sînt următoarele:

- scăderea intensității curentului la toate cuvele, în timpul efectului anodic la una din cuve;
- consum suplimentar de anodi;
- consum suplimentar de energie electrică.

În condițiile producerii frecvente a efectului anodic, încercările electrice ale DPA4,5,6. trebuie să cuprindă și cercetarea dinamică la șocuri de curent a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare.

#### 6.1.-Încercări la stabilitatea termică

##### 6.1.1.-efectuarea încercărilor

S-au încercat la stabilitate termică (figura 6.2), îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare cu diametrul de 18 mm, componenta de oțel fiind executată respectiv din OL37 și OLC15. Valoarea curentului nominal a fost de 300 A, rezultînd densitatea de curent de  $1,18 \text{ A/mm}^2$  în îmbinările bimetal. La diferite intervale ale timpului de trecere a curentului, s-a înregistrat temperatura, concomitent în sudura Oțel-Al și în zona adia-

TABELA 6.1

Datele experimentale ale cercetării la stabilitate termică a îmbinărilor OL37 ATSi5Fe sudate prin frecare,  $I_N=300$  A,  $d_0=18$  mm,  $j=1,18$  A/mm<sup>2</sup>

| Nr. crt. | In-<br>di-<br>ca-<br>tiv<br>im-<br>bi-<br>nări<br>bi-<br>metal | Tim-<br>pul | TEMPERATURA - K |        |      |                       |      |                             |     |
|----------|--|-------------|-----------------|--------|------|-----------------------|------|-----------------------------|-----|
|          |  |             | Imbinare sudată |        |      | Bornele de alimentare |      | Mediu ambi-<br>ant<br>t med |     |
|          |  |             | Al              | Sudură | Otel | al                    | Otel |                             |     |
| 1        | 2  | 3           | 4               | 5      | 6    | 7                     | 8    | 9                           |     |
| 1        | 6.3  | 0           | 287             | 287    | 287  | 287                   | 287  | 287                         | 287 |
|          |  | 35          | 333             | 340    | 371  | 328                   | 366  | 287                         |     |
|          |  | 60          | 328             | 337    | 358  | 323                   | 353  | 287                         |     |
|          |  | 90          | 323             | 332    | 353  | 321                   | 352  | 287                         |     |
|          |  | 120         | 323             | 332    | 353  | 321                   | 350  | 287                         |     |
|          |  | 150         | 323             | 332    | 352  | 321                   | 348  | 287                         |     |
| 2        | 6.5  | 0           | 290             | 290    | 290  | 290                   | 290  | 290                         | 290 |
|          |  | 45          | 319             | 326    | 343  | 316                   | 339  | 290                         |     |
|          |  | 75          | 329             | 335    | 353  | 323                   | 352  | 290                         |     |
|          |  | 105         | 330             | 337    | 355  | 325                   | 352  | 290                         |     |
|          |  | 135         | 335             | 338    | 357  | 326                   | 353  | 290                         |     |
|          |  | 165         | 335             | 338    | 357  | 326                   | 353  | 290                         |     |
|          |  | 195         | 335             | 338    | 357  | 326                   | 353  | 290                         |     |
| 3        | 6.13   | 0           | 287             | 287    | 287  | 287                   | 287  | 287                         | 287 |
|          |  | 20          | 328             | 336    | 348  | 323                   | 339  | 287                         |     |
|          |  | 50          | 323             | 330    | 340  | 316                   | 335  | 287                         |     |
|          |  | 80          | 323             | 330    | 338  | 318                   | 332  | 287                         |     |
|          |  | 110         | 323             | 330    | 338  | 318                   | 331  | 287                         |     |
| 4        | 6.14   | 0           | 286             | 286    | 286  | 286                   | 286  | 286                         | 286 |
|          |  | 60          | 324             | 329    | 343  | 318                   | 343  | 286                         |     |
|          |  | 120         | 328             | 337    | 353  | 323                   | 348  | 286                         |     |
|          |  | 180         | 327             | 335    | 351  | 323                   | 345  | 286                         |     |
|          |  | 240         | 327             | 335    | 351  | 323                   | 344  | 286                         |     |
| 5        | 6.17   | 0           | 291             | 291    | 291  | 291                   | 291  | 291                         | 291 |
|          |  | 45          | 328             | 333    | 350  | 323                   | 346  | 291                         |     |
|          |  | 105         | 329             | 334    | 350  | 323                   | 347  | 291                         |     |
| 6        | 6.19   | 0           | 290             | 290    | 290  | 290                   | 290  | 290                         | 290 |
|          |  | 30          | 313             | 318    | 329  | 304                   | 325  | 290                         |     |
|          |  | 60          | 315             | 327    | 342  | 313                   | 338  | 290                         |     |
|          |  | 120         | 322             | 333    | 346  | 321                   | 343  | 290,5                       |     |
|          |  | 150         | 325             | 334    | 350  | 324                   | 347  | 290,5                       |     |
|          |  | 180         | 328             | 334    | 350  | 325                   | 347  | 290,5                       |     |
|          |  | 210         | 328             | 334    | 350  | 325                   | 347  | 290,5                       |     |
|          |  | 240         | 328             | 334    | 350  | 325                   | 347  | 290,5                       |     |

T A B E L A 6.1 (continuare)

| 1 | 2    | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9     |
|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 6 | 6.19 | 180 | 328 | 334 | 350 | 325 | 347 | 290,5 |
|   |      | 210 | 328 | 334 | 350 | 325 | 347 | 290,5 |
|   |      | 240 | 328 | 334 | 350 | 325 | 347 | 290,5 |
| 7 | 6.23 | 0   | 287 | 287 | 287 | 287 | 287 | 287   |
|   |      | 20  | 320 | 324 | 342 | 318 | 338 | 287   |
|   |      | 50  | 323 | 328 | 341 | 317 | 337 | 287   |
|   |      | 80  | 323 | 338 | 341 | 317 | 336 | 287   |
| 8 | 6.62 | 0   | 300 | 301 | 304 | 298 | 303 | 289   |
|   |      | 75  | 320 | 321 | 333 | 298 | 303 | 290   |
|   |      | 105 | 325 | 331 | 340 | 315 | 328 | 290   |
|   |      | 135 | 327 | 331 | 348 | 335 | 319 | 291   |
|   |      | 165 | 328 | 335 | 349 | 323 | 347 | 291   |
|   |      | 195 | 329 | 335 | 350 | 325 | 347 | 291   |
|   |      | 225 | 329 | 335 | 350 | 325 | 347 | 291   |

T A B E L A 6.2

Datele experimentale ale cercetării la stabilitate termică a îmbinărilor OLC 15-AT<sub>2</sub>15Fe sudate prin frecare,  $I_n=300$  A,  $d_0=18$  mm,  $j=1,18$  A/mm<sup>2</sup>

| Nr. crt. | Indi-<br>ca-<br>tiv<br>bar-<br>bime-<br>tal | Timpu-<br>l<br>min | T E M P E R A T U R A |        |      |                            |      |                                      |
|----------|---|--------------------|-----------------------|--------|------|----------------------------|------|--------------------------------------|
|          |   |                    | Imbinare sudată       |        |      | Bornele de ali-<br>mentare |      | Mediu<br>ambiant<br>t <sub>med</sub> |
|          |   |                    | Al                    | Sudura | Otel | Al                         | Otel |                                      |
| 1        | 1.3   | 0                  | 284                   | 284    | 284  | 284                        | 284  | 284                                  |
|          |   | 40                 | 313                   | 318    | 323  | 310                        | 318  | 284,4                                |
|          |   | 70                 | 315                   | 322    | 325  | 312                        | 321  | 284,4                                |
|          |   | 100                | 315                   | 321    | 325  | 312                        | 320  | 284,5                                |
| 2        | 1.24  | 0                  | 284                   | 284    | 284  | 284                        | 284  | 284                                  |
|          |   | 30                 | 313                   | 317    | 320  | 309                        | 318  | 284                                  |
|          |   | 60                 | 317                   | 321    | 326  | 312                        | 321  | 284,5                                |
|          |   | 90                 | 317                   | 322    | 327  | 314                        | 324  | 284,5                                |
|          |   | 120                | 318                   | 322    | 327  | 314,8                      | 324  | 284,5                                |
| 3        | 1.31  | 0                  | 286                   | 286    | 286  | 286                        | 286  | 286                                  |
|          |   | 30                 | 318                   | 322    | 328  | 314                        | 323  | 286                                  |
|          |   | 60                 | 319                   | 323    | 328  | 315                        | 324  | 286                                  |
|          |   | 90                 | 319                   | 323    | 328  | 315                        | 324  | 286                                  |
| 4        | 1.35  | 0                  | 284                   | 284    | 284  | 284                        | 284  | 284                                  |
|          |   | 30                 | 323                   | 332    | 338  | 331                        | 333  | 284                                  |
|          |   | 60                 | 320                   | 329    | 334  | 317                        | 329  | 284                                  |
|          |   | 90                 | 320                   | 328    | 332  | 317                        | 328  | 284                                  |
|          |   | 120                | 319                   | 327    | 331  | 316                        | 327  | 285                                  |
|          |   | 150                | 319                   | 326    | 331  | 316                        | 327  | 285,5                                |
|          |   | 180                | 319                   | 326    | 331  | 316                        | 327  | 285,5                                |

cente ale componentelor îmbinării sudate (tabela 6.1, 6.2).

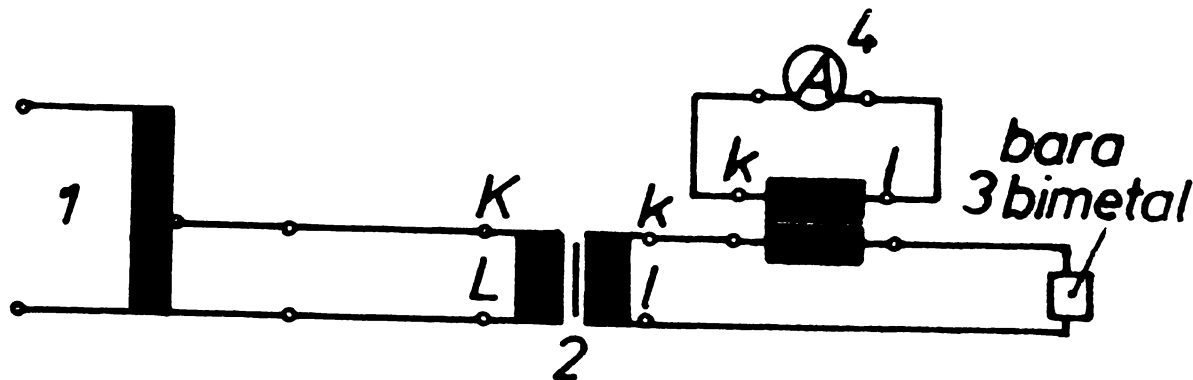


Fig.6.2.-Schema electrică pentru cercetarea la stabilitate termică a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecere: 1-auto-transformator reglabil 380/0...380 V, 40 A; 2-transformator, 380 V, I (0...1500)A; 3-transformator de curent 1500/5; 4-ampermetru [124]

De asemenea, s-a controlat temperatura mediului ambiant precum și a bornelor de alimentare, pentru măsurări fiind utilizat un termometru electronic tip Therm 2112. Incercarea la stabilitate termică s-a încheiat atunci când s-a constatat că trecerea în continuare a curentului nu mai produce modificarea semnificativă a stării termice din îmbinarea sudată.

#### 6.1.2.-Prelucrarea datelor experimentale

Normalitatea repartiției datelor experimentale s-a verificat cu testul S-W (Shapiro-Wilk), elaborat pentru eșantionare de volum mic ( $3 \leq n \leq 50$ ) [28, 51]. Se notează valorile stabilizate ale temperaturii componentei din Al a îmbinărilor bimetal (tabela 6.1). Astfel, indicativul îmbinărilor, simbolul și valorile temperaturilor sînt următoarele:

|          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 6.3      | 6.13     | 6.23     | 6.14     | 6.19     | 6.62     | 6.17     | 6.5      |
| $\tau_1$ | $\tau_2$ | $\tau_3$ | $\tau_4$ | $\tau_5$ | $\tau_6$ | $\tau_7$ | $\tau_8$ |
| 323      | 323      | 323      | 327      | 328      | 329      | 329      | 335      |

Se calculează expresia:

$$b = a_8 (\tau_8 - \tau_1) + a_7 (\tau_7 - \tau_2) + a_6 (\tau_6 - \tau_3) + a_5 (\tau_5 - \tau_4),$$

a fiind coeficient care se extrage din tabele.

Valoarea testului este;

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \tau)^2}, \quad (6.1)$$



iar pentru exemplul considerat rezultă:  $W_{Al} = 1,994$ .

În mod similar se calculează valoarea testului S-W pentru sudura prin frecare și componenta din oțel a îmbinărilor bimetal, atât în combinația de materiale OL37-ATSi5Fe cât și OLC15-ATSi5Fe (tabela 6.3). Întrucât valorile critice  $W_{n\alpha}$  ale testului sînt mai mici decît fiecare din valorile calculate  $W$ , se acceptă ideea normalității datelor experimentale, nivelul de încredere fiind  $\alpha$  (tabela 6.3).

Îmbinările bimetal parcursese de curent se încălzesc datorită efectului Joule Lenz, încălzirea fiind diferența dintre temperatura conductorului și temperatura mediului ambiant.

$$\theta = \theta - \theta_{med} \quad (6.2)$$

O parte din căldura dezvoltată se înmagazinează în masa conductorului și contribuie la creșterea temperaturii acestuia, iar o altă parte este degajată în mediul înconjurător. Rezultă următoarea ecuație a bilanțului energiilor:

$$RI^2 dt = m c \frac{d\theta}{dt} + \alpha_r S_r \theta dt, \quad (6.3)$$

unde,  $m$  este masa conductorului în kg;  $c$  - căldura specifică, în J/kgK;  $S_r$  - suprafața de răcire, în  $m^2$ ;  $\alpha_r$  - coeficientul de transmitere a căldurii către mediul exterior, în  $J/m^2.kS$ .

T A B E L A 6.3

Valorile testului S-W pentru verificarea normalității temperaturilor de stabilizare termică a îmbinărilor Oțel-Al

| Parametrul testului | OL37-ATSi5Fe                                    |        |       | OLC15-ATSi5Fe |        |       |
|---------------------|---|--------|-------|---------------|--------|-------|
|                     | Oțel  | Sudură | Al    | Oțel          | Sudură | Al    |
| $W$                 | 1,3678  | 1,772  | 1,994 | 1,244         | 1,226  | 1,110 |
|                     | <u>Nivelul de încredere <math>\alpha</math></u> |        |       |               |        |       |
| $W_n$               |   | 0,90   | 0,95  | 0,98          | 0,99   | ..    |
|                     | 4   | 0,987  | 0,992 | 0,996         | 0,997  |       |
|                     | 8   | 0,972  | 0,978 | 0,984         | 0,987  |       |

Din relația (6.3) se obține următoarea ecuație diferențială a încălzirii:

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{1}{T} = \frac{RI^2}{mc} \quad (6.4)$$

unde,

$$T = \frac{m \cdot c}{\alpha_r \cdot S_r} \quad (6.5)$$



este constanta de timp a încălzirii, măsurată în secunde. Încălzirea conductorului ajunge la valoarea maximă în momentul când întreaga energie calorică dezvoltată se degajă în mediul exterior:

$$\theta_{max} = \frac{RI^2}{\alpha_r \cdot S_r} \quad (6.6)$$

de unde se deduce:

$$\alpha_r = \frac{RI^2}{S_r(\theta_{max} - \theta_0)} \quad (6.7)$$

Pe baza datelor de material ale îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare (tabela 6.4) se stabilesc coeficienții de transmitere a căldurii către mediul exterior și se calculează, cu relația (6.5), constantele de timp ale încălzirii componentelor îmbinărilor bimetal (tabela 6.5).

TABELA 6.4.

Constante fizice de material și mărimi caracteristice ale îmbinărilor Oțel-Al

| Nr. crt | Mărimi de calcul                                     | Componentele îmbinărilor bimetal |                          |
|---------|--|----------------------------------|--------------------------|
|         |  | Al                               | Oțel                     |
| 1.      | Lungimea L<br>m                                      | 0,120                            | 0,155                    |
| 2.      | Diametrul $\phi$<br>m                                | 0,018                            | 0,018                    |
| 3.      | Sectiunea S<br>m <sup>2</sup>                        | 0,254 · 10 <sup>-3</sup>         | 0,254 · 10 <sup>-3</sup> |
| 4.      | Suprafata de răcire S <sub>r</sub><br>m <sup>2</sup> | 6,782 · 10 <sup>-3</sup>         | 8,760 · 10 <sup>-3</sup> |
| 5.      | Masa m<br>kg   | 0,08                             | 0,311                    |
| 6.      | Densitatea $\rho$<br>kg/mc                           | 2600                             | 7900                     |
| 7.      | Căldura specifică c<br>J/kg grad K                   | 796                              | 460                      |
| 8.      | Rezistivitatea $\rho$<br>$\Omega$ m                  | 28 · 10 <sup>-9</sup>            | 98 · 10 <sup>-9</sup>    |
| 9.      | Rezistența electrică R<br>$\Omega$                   | 0,012 · 10 <sup>-3</sup>         | 0,061 · 10 <sup>-3</sup> |

Soluția ecuației diferențiale (6.4) devine [23]:

$$\theta = \theta_{\max} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + \theta_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (6.8)$$

Curbele de încălzire ale componentelor îmbinărilor bimetale sudate prin frecare (figura 6.3, 6.4) se obțin prin reprezentarea variației în timp a încălzirii conductorului, conform funcției exponențiale (6.8). Relația (6.8) se scrie sub forma:

$$\theta = \theta_{\max} - \frac{\theta_{\max} - \theta_0}{e^{\frac{t}{T}}} \quad (6.9)$$

$\theta_{\max}$  și  $\theta_0$  rezultă din expresia (6.2) cu valorile  $\zeta$  din tabelele 6.1 și 6.2. Coordonatele punctelor pentru reprezentarea grafică a curbelor de încălzire se stabilesc dând diferite valori variabilei  $t$  și calculând cu relația (6.9) ordonatele  $\theta$  corespunzătoare (tabela 6.6), constanta de timp a încălzirii  $T$  fiind cunoscută (tabela 6.5). În vederea simplificării calculelor,  $t$  s-a ales multiplu de  $T$ . Forma curbelor de încălzire pentru sudură (figura 6.5) se obține prin reprezentarea funcției:

$$\theta_s = \frac{a}{\frac{t}{T} + b} \quad (6.10)$$

TABELA 6.5

Constantele de timp ale încălzirii componentelor Oțel-Al

| Nr. crt. | Indicativul îmbinărilor bimetale | Componentele îmbinării bimetale |                              |       |                         |                              |       |
|----------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|-------------------------|------------------------------|-------|
|          |                                  | Al                              |                              |       | Oțel                    |                              |       |
|          |                                  | $\zeta - \zeta_0$               | $\frac{\alpha r_1}{\lambda}$ | $T_1$ | $\zeta - \zeta_0$       | $\frac{\alpha r_2}{\lambda}$ | $T_2$ |
|          | K                                | $\frac{m^2 Ks}{m^2 Ks}$         | min                          | K     | $\frac{m^2 Ks}{m^2 Ks}$ | min                          |       |
| 1.       | 2.                               | 3.                              | 4.                           | 5.    | 6.                      | 7.                           | 8.    |
| 1.       | 6.3                              | 36                              | 4,423                        | 39,8  | 65                      | 9,641                        | 28,2  |
| 2.       | 6.5                              | 44,5                            | 3,578                        | 49,2  | 66,5                    | 9,424                        | 28,8  |
| 3.       | 6.13                             | 36                              | 4,423                        | 39,8  | 51                      | 12,288                       | 22,1  |
| 4.       | 6.14                             | 41                              | 3,884                        | 45,3  | 56                      | 9,641                        | 28,2  |
| 5.       | 6.17                             | 38                              | 4,190                        | 42,0  | 59                      | 10,622                       | 25,6  |
| 6.       | 6.19                             | 37,5                            | 4,246                        | 41,4  | 59,5                    | 10,532                       | 25,8  |
| 7.       | 6.23                             | 36                              | 4,423                        | 39,8  | 54                      | 11,605                       | 23,4  |
| 8.       | 6.62                             | 27                              | 5,897                        | 29,8  | 44                      | 14,243                       | 19,1  |
| 9.       | 1,3                              | 30,5                            | 5,221                        | 33,7  | 40,5                    | 15,474                       | 17,5  |
| 10.      | 1,24                             | 33,5                            | 4,753                        | 37,0  | 42,5                    | 14,746                       | 18,4  |
| 11.      | 1.31                             | 33                              | 4,825                        | 36,5  | 42                      | 14,921                       | 18,2  |
| 12.      | 1.35                             | 33,2                            | 4,796                        | 36,7  | 45,2                    | 13,365                       | 19,6  |

T A B E L A 6.6

Perechile de valori  $\theta$ ,  $t$  pentru reprezentarea grafică a curbelor de încălzire ale componentelor îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare.

| Indicatiune îmbinător | Marimi de calcul |      |                |      |                         |      | Marimile variabile | Componentele îmbinătorilor bimetal    |       |
|-----------------------|------------------|------|----------------|------|-------------------------|------|--------------------|---------------------------------------|-------|
|                       | $\theta_0$       |      | $\theta_{max}$ |      | $\theta_{max} \theta_0$ |      |                    | Al                                    | Oțel  |
|                       | Al               | Oțel | Al             | Oțel | Al                      | Oțel |                    | Valorile variabilelor $T$ și $\theta$ |       |
| 1                     | 2                | 3    | 4              | 5    | 6                       | 7    | 8                  | 9                                     | 10    |
| 6.3                   | .                | .    | 36             | 65   | 36                      | 65   | T                  | 39,8                                  | 28,2  |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_1$         | 22,72                                 | 41,01 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | 2T                 | 79,6                                  | 56,4  |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_2$         | 31,1                                  | 56,14 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | 3T                 | 119,4                                 | 84,6  |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_3$         | 34,19                                 | 61,73 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | 4T                 | 159,2                                 | 112,8 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_4$         | 35,33                                 | 63,79 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | 5T                 | 199                                   | 141   |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_5$         | 35,75                                 | 64,56 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | 6T                 | 238,8                                 | 169,2 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_6$         | 35,91                                 | 64,84 |
| 6.5                   | .                | .    | 45             | 67   | 45                      | 67   | T                  | 49,2                                  | 28,8  |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_1$         | 28,8                                  | 41,96 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | 2T                 | 98,4                                  | 57,6  |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_2$         | 38,44                                 | 57,44 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | 3T                 | 147,6                                 | 86,4  |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_3$         | 42,26                                 | 63,16 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | 4T                 | 190,8                                 | 115,2 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_4$         | 43,67                                 | 65,27 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | 5T                 | 246,7                                 | 144   |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_5$         | 44,2                                  | 66,04 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | 6T                 | 295,2                                 | 172,8 |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_6$         | 44,39                                 | 66,33 |
| 6.13                  | .                | .    | 36             | 51   | 36                      | 51   | T                  | 39,8                                  | 22,1  |
|                       |                  |      |                |      |                         |      | $\theta_1$         | 22,72                                 | 33,18 |

(continuare) T A B E L A 6.6

| 1    | 2  | 3  | 4    | 5    | 6    | 7    | 8              | 9      | 10    |
|------|----|----|------|------|------|------|----------------|--------|-------|
|      |    |    |      |      |      |      | 2T             | 79,6   | 44,2  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>2</sub> | 31,1   | 44,05 |
|      |    |    |      |      |      |      | 3T             | 119,4  | 66,3  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>3</sub> | 34,19  | 48,44 |
|      |    |    |      |      |      |      | 4T             | 159,2  | 88,4  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>4</sub> | 35,33  | 50,05 |
|      |    |    |      |      |      |      | 5T             | 199    | 110,5 |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>5</sub> | 35,75  | 50,65 |
|      |    |    |      |      |      |      | 6T             | 238,8  | 132,6 |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>6</sub> | 35,91  | 50,87 |
| 6.14 | 0  | 0  | 41   | 55   | 41   | 65   | T              | 45,3   | 28,2  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>1</sub> | 25,87  | 48,01 |
|      |    |    |      |      |      |      | 2T             | 90,6   | 56,4  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>2</sub> | 35,41  | 56,14 |
|      |    |    |      |      |      |      | 3T             | 135    | 84,6  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>3</sub> | 38,84  | 61,73 |
|      |    |    |      |      |      |      | 4T             | 181,2  | 112,8 |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>4</sub> | 40,24  | 63,79 |
|      |    |    |      |      |      |      | 5T             | 226,5  | 141   |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>5</sub> | 40,86  | 64,78 |
|      |    |    |      |      |      |      | 6T             | 271,8  | 169,2 |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>6</sub> | 40,95  | 64,92 |
| 6.19 | 0  | 0  | 37,5 | 59,5 | 37,5 | 59,5 | T              | 41,4   | 25,8  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>1</sub> | 23,66  | 37,54 |
|      |    |    |      |      |      |      | 2T             | 82,8   | 51,6  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>2</sub> | 32,39  | 51,39 |
|      |    |    |      |      |      |      | 3T             | 124,2  | 77,4  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>3</sub> | 35,61  | 56,51 |
|      |    |    |      |      |      |      | 4T             | 165,6  | 103,2 |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>4</sub> | 36,8   | 58,4  |
|      |    |    |      |      |      |      | 5T             | 207    | 129   |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>5</sub> | 37,24  | 59,02 |
|      |    |    |      |      |      |      | 6T             | 248,04 | 154,8 |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>6</sub> | 37,41  | 59,35 |
| 6.62 | 11 | 15 | 38   | 59   | 27   | 44   | T              | 29,8   | 19,1  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>1</sub> | 28,03  | 42,76 |
|      |    |    |      |      |      |      | 2T             | 59,6   | 28,2  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>2</sub> | 34,32  | 53    |
|      |    |    |      |      |      |      | 3T             | 89,4   | 57,3  |
|      |    |    |      |      |      |      | θ <sub>3</sub> | 36,64  | 56    |
|      |    |    |      |      |      |      | 4T             | 119,2  | 76,4  |

(continuare) T A B E L A 6,6

| 1    | 2 | 3 | 4    | 5    | 6    | 7    | 8              | 9     | 10    |
|------|---|---|------|------|------|------|----------------|-------|-------|
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>4</sub> | 37,49 | 58,19 |
|      |   |   |      |      |      |      | 5T             | 149   | 95,5  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>5</sub> | 37,81 | 58,69 |
|      |   |   |      |      |      |      | 6T             | 178,8 | 114,6 |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>6</sub> | 37,93 | 58,89 |
| 1.24 | 0 | 0 | 33,5 | 42,5 | 33,5 | 42,5 | T              | 37    | 18,2  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>1</sub> | 22,4  | 26,3  |
|      |   |   |      |      |      |      | 2T             | 74    | 36,4  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>2</sub> | 31,7  | 42    |
|      |   |   |      |      |      |      | 3T             | 111   | 54,6  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>3</sub> | 32,5  | 57,3  |
|      |   |   |      |      |      |      | 4T             | 148   | 72,8  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>4</sub> | 33    | 74    |
|      |   |   |      |      |      |      | 5T             | 185   | 74,5  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>5</sub> | 34,2  | 74,5  |
| 1.35 | 0 | 0 | 33,5 | 45,5 | 33,5 | 45,5 | T              | 37,5  | 19,2  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>1</sub> | 21,2  | 28,5  |
|      |   |   |      |      |      |      | 2T             | 75    | 39,4  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>2</sub> | 28,3  | 39,4  |
|      |   |   |      |      |      |      | 3T             | 112,5 | 57,6  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>3</sub> | 32,1  | 42,7  |
|      |   |   |      |      |      |      | 4T             | 150   | 76,8  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>4</sub> | 32,5  | 44,1  |
|      |   |   |      |      |      |      | 5T             | 187,5 | 96,0  |
|      |   |   |      |      |      |      | ⊖ <sub>5</sub> | 33    | 45    |

Sistemul ecuațiilor normale pentru determinarea parametrilor  $a$  și  $b$  [56] este următorul:

$$\sum \frac{1}{\theta_i} = \frac{1}{a} \sum \frac{1}{t_i} + n \cdot \frac{b}{a} \quad (6.11)$$

$$\sum \frac{1}{\theta_i t_i} = \frac{1}{a} \sum \frac{1}{t_i^2} + \frac{b}{a} \sum \frac{1}{t_i} \quad (6.12)$$

Prin rezolvarea acestui sistem, în care  $t_i$  este timpul între două măsurări consecutive a temperaturii la încercarea de stabilitate termică (tabela 6.1) și  $\theta_i$  încălzirea corespunzătoare a sudurii, stabilită cu relația (6.2), rezultă parametri  $a$  și  $b$  ai funcției  $\theta(t)$  (tabela 6.7). Coordonatele punctelor pentru reprezentarea grafică a curbelor de încălzire ale sudurilor Oțel-Al (figura 6.5), se stabilesc din diferite valori variabilei  $t$  și calculând încălzirea  $\theta$  cu expresia (6.10), (tabela 6.8). Derivata ecuației exponențiale (6.8) este:

$$\theta' = \frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_{\max} - \theta_0}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (6.13)$$

și derivata ecuației (6.10):

$$\theta'_s = \frac{d\theta_s}{dt} = \frac{a}{(1+bt)^2} \quad (6.14)$$

$\theta'$  și  $\theta'_s$  fiind viteza de încălzire a componentelor, respectiv, a sudurii Oțel-Al (tabela 6.9) la încercarea la stabilitate termică a îmbinărilor bimetale.

### 6.1.3.-Interpretarea rezultatelor

Normalitatea repartiției datelor experimentale la încercarea de stabilitate termică a îmbinărilor Oțel-Al s-a verificat cu testul S-W. Pe baza rezultatelor obținute (tabela 6.3) se accentuează ideea normalității, nivelul de încredere al concluziei fiind  $\alpha = 0,99$ .

S-au stabilit constantele de timp  $T_1$  și  $T_2$  ale încălzirii componentelor din Oțel-Al sudate prin frecare (tabela 6.5) și s-a reprezentat grafic ecuația exponențială (6.8), obținându-se curbele de încălzire ale metalului de bază (figura 6.3, 6.4). Graficul curbelor de încălzire ale sudurilor Oțel-Al s-a obținut din reprezentarea funcției  $\theta'_s = \theta'_s(t)$  de formă cunoscută (figura 6.5). În acest scop, s-au calculat parametrii ecuației corespunzătoare acestei funcții (6.11 și 6.12), pe baza datelor obținute experimental (tabela 6.1, 6.2).

**T A B E L A 6.7**

**Parametri funcției  $\Theta(t)$  de încălzire a sudurilor Oțel-A1 la încercarea de stabilitate termică**

| Nr. Indica-<br>ort. tivul<br>suduri-<br>lor | Valoriile $\Theta_1, t_1$ stabilite experimental |            |       |            |       |            |       |            |       |            |       |            |       |            |            |           |  |  | Valoriile parametrilor |  |  |
|---|--|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|------------|-----------|--|--|------------------------|--|--|
|   | $t_1$  | $\Theta_1$ | $t_2$ | $\Theta_2$ | $t_3$ | $\Theta_3$ | $t_4$ | $\Theta_4$ | $t_5$ | $\Theta_5$ | $t_6$ | $\Theta_6$ | $t_7$ | $\Theta_7$ | a          | b         |  |  |                        |  |  |
| 1   | 3  | 4          | 5     | 6          | 7     | 8          | 9     | 10         | 11    | 12         | 13    | 14         | 15    | 16         | 17         | 18        |  |  |                        |  |  |
| 1   | 35   | 53         | 60    | 50         | 90    | 45         | 120   | 45         | 150   | 45         |       |            |       |            | -5,721745  | -0,135036 |  |  |                        |  |  |
| 2   | 45   | 36         | 75    | 45         | 105   | 47         | 135   | 48         | 165   | 48         | 195   | 48         |       |            | 2,559836   | 0,046610  |  |  |                        |  |  |
| 3   | 20   | 49         | 50    | 43         | 80    | 43         | 110   | 43         |       |            |       |            |       |            | -13,252680 | -0,321656 |  |  |                        |  |  |
| 4   | 60   | 43         | 120   | 51         | 180   | 49         | 240   | 49         |       |            |       |            |       |            | 4,261048   | 0,080459  |  |  |                        |  |  |
| 5   | 30   | 28         | 60    | 37         | 90    | 39         | 120   | 42,5       | 150   | 43,5       | 180   | 43,5       | 240   | 43,5       | 2,881116   | 0,068095  |  |  |                        |  |  |
| 6   | 75   | 35         | 105   | 41         | 135   | 41         | 165   | 44         | 195   | 44         | 225   | 44         |       |            | 1,654610   | 0,032540  |  |  |                        |  |  |
| 7   | 40   | 33,6       | 70    | 37,6       | 100   | 36,5       |       |            |       |            |       |            |       |            | 1,206605   | 0,026205  |  |  |                        |  |  |
| 8   | 30   | 33         | 60    | 36,5       | 90    | 37,5       | 120   | 37,5       |       |            |       |            |       |            | 2,243874   | 0,047008  |  |  |                        |  |  |
| 9   | 30   | 36         | 60    | 37         | 90    | 37         |       |            |       |            |       |            |       |            | 1,003725   | 0,044031  |  |  |                        |  |  |
| 10  | 30   | 48         | 60    | 45         | 90    | 44         | 120   | 42         | 150   | 40,5       | 180   | 40,5       |       |            | 1,587742   | 0,067629  |  |  |                        |  |  |



T A B E L A 6.8

Perechile de valori  $\theta_i, t_i$  pentru reprezentarea grafică a curbelor de încălzire ale sudurilor  
Cțel-A1

| Nr. Indica-<br>crt. Căminul<br>sudurii | $\frac{a}{b}$ | $\theta_{max}$ | $t_1$ | $\theta_{s1}$ | $t_2$ | $\theta_{s2}$ | $t_3$ | $\theta_{s3}$ | $t_4$ | $\theta_{s4}$ | $t_5$ | $\theta_{s5}$ | $t_6$ | $\theta_{s6}$ | $t_7$ | $\theta_{s7}$ | $t_8$ | $\theta_{s8}$ |
|--|---------------|----------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|
| 1.-                                    | 3             | 45             | 10    | 16,33         | 25    | 60,2          | 30    | 56,2          | 50    | 43,7          | 75    | 47            | 100   | 45,7          | 125   | 45,2          | 19    | 20            |
| 2.-                                    | 3             | 48             | 10    | 17,4          | 25    | 29,5          | 50    | 38,4          | 75    | 43,7          | 100   | 45,2          | 101   | 45,3          | 125   | 46,8          |       |               |
| 3.-                                    | 3             | 43             | 10    | 59,8          | 25    | 47            | 30    | 46            | 50    | 43,5          | 75    | 42,9          | 100   | 42,5          | 125   | 42,1          |       |               |
| 4.-                                    | 3             | 49             | 10    | 23,6          | 25    | 30,3          | 30    | 35,3          | 50    | 42,4          | 75    | 45,4          | 100   | 47,1          | 125   | 48,1          |       |               |
| 5.-                                    | 3             | 43,5           | 10    | 17,3          | 25    | 27,5          | 30    | 29,4          | 75    | 37,2          | 76    | 37,3          | 100   | 38,9          | 101   | 39            |       |               |
| 6.-                                    | 3             | 44             | 10    | 19,9          | 20    | 24,8          | 30    | 28            | 50    | 32,1          | 75    | 35,1          | 100   | 36,8          | 125   | 38,1          |       |               |
| 7.-                                    | 3             | 46,04          | 25    | 18,2          | 50    | 26,1          | 75    | 30,5          | 100   | 33,3          | 125   | 35,2          | 500   | 42,7          | 5000  | 45,7          | 10000 | 45,8          |
| 8.-                                    | 3             | 47,73          | 25    | 25,8          | 50    | 33,4          | 75    | 37,1          | 100   | 39,3          | 125   | 40,7          | 500   | 45,7          | 5000  | 47,5          | 10000 | 47,6          |
| 9.-                                    | 3             | 37             | 25    | 11,9          | 50    | 15,6          | 75    | 17,4          | 100   | 18,5          | 125   | 19,2          | 500   | 21,8          | 5000  | 22,6          | 10000 | 22,7          |
| 10.-                                   | 3             | 40,5           | 25    | 14,7          | 50    | 18,1          | 75    | 19,6          | 100   | 20,4          | 125   | 20,9          | 500   | 22,8          | 5000  | 23,4          | 10000 | 23,4          |

T A B E L A 6.9

Viteza de încălzire a unor îmbinări Oțel-Al la încercarea la stabilitate termică

| Nr. Indica-<br>ort.tiv | $T_1$<br>min | $T_2$<br>min | Viteza de încălzire $\theta'$ la timp $t$ k/min |                          |                             |                                      |       |       |       |
|------------------------|--------------|--------------|---|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
|                        |              |              | $t = T_1$<br>Al                                 | $t = T_2$<br>sudură Oțel | $t = \frac{1}{4} T_1$<br>Al | $t = \frac{1}{4} T_2$<br>sudură Oțel |       |       |       |
| 1.                     | 6.5          | 49,2         | 28,8  | 0,337                    | 0,236                       | 0,858                                | 1,171 | 2,028 | 2,980 |
| 2.                     | 6.14         | 45,3         | 28,2  | 0,333                    | 0,197                       | 0,850                                | 1,160 | 2,916 | 2,955 |
| 3.                     | 6.19         | 41,4         | 25,8  | 0,333                    | 0,225                       | 0,850                                | 1,160 | 2,150 | 2,957 |
| 4.                     | 6.62         | 29,8         | 19,1  | 0,334                    | 0,426                       | 0,833                                | 1,161 | 1,429 | 2,948 |
| 5.                     | 6.3          | 33,7         | 17,5  | 0,333                    | 0,340                       | 0,646                                | 1,160 | 1,667 | 2,234 |
| 6.                     | 1.24         | 37,0         | 18,4  | 0,234                    | 0,299                       | 0,852                                | 1,113 | 1,801 | 2,960 |
| 7.                     | 1.31         | 36,5         | 18,2  | 0,333                    | 0,147                       | 0,851                                | 1,158 | 0,817 | 2,959 |
| 8.                     | 1.35         | 36,7         | 19,6  | 0,236                    | 0,130                       | 0,850                                | 0,820 | 1,166 | 2,956 |
| 9.                     | 6.17         | 42,0         | 25,6  | 0,332                    | -                           | 0,850                                | 1,158 | -     | 2,902 |
| 10.                    | 6,23         | 39,8         | 23,4  | 0,333                    | -                           | 0,851                                | 1,158 | -     | 2,955 |

Constanta de timp  $T_3$  a încălzirii sudurilor executate prin frecare s-a determinat pe cale grafică (figura 6.6). Componenta din oțel a îmbinărilor bimetal se încălzește cel mai mult sub efectul termic al curentului electric ( $\theta_g = 67K$ , figura 6.3, c, 6.4, b).

Încălzirile  $\theta_1$  a componentei din Al și  $\theta_s$  a sudurii, au valori apropiate atât la limita superioară ( $\theta_1 = 45K$ , figura 6.3, c și 6.4, a - și  $\theta_s = 49 K$ , figura 6.3, d și 6.6), cât și la limita inferioară a intervalului datelor experimentale ( $\theta_1 = 33,2K$ , figura 6.3, f; 6.4, a - și  $\theta_s = 37,5 K$ , figura 6.3, e, 6.6). Nivelul cel mai redus al încălzirii se constată la îmbinările bimetal cu componenta din OLO15, în acest caz  $\theta_{max} = 45,5K$  (tabela 6.6) fiind cu 22,5K mai mic decât  $\theta_{max} = 67K$  la îmbinările OLO37-ATS15Fe. Coeficientul unghiular al curbelor de încălzire are valorile maxime pentru oțel ( $\alpha_2 = 66^\circ 40'$ , figura 6.3, c), minime pentru Al ( $\alpha_1 = 42^\circ 50'$ , figura 6.3, a) și intermediare pentru sudură ( $\alpha_3 = 56^\circ$ , figura 6.3, d). Valoarea coeficientului unghiular se modifică însă foarte puțin pentru același material, diferența între  $\alpha_{max}$  și  $\alpha_{min}$  fiind de  $1^\circ$  la curbele de încălzire ale Al, de  $2^\circ 30'$  la oțel (figura 6.4) și respectiv  $6^\circ 10'$  la sudura bimetal (figura 6.6).

Vitezele de încălzire  $\theta$  ale îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare (tabela 6.9) s-au obținut prin derivarea ecuației exponențiale a încălzirii (6.8) și a funcției (6.10). În prima

T A B E L A 6.10

Datele experimentale ale încercării dinamice la șocuri de curent a îmbinărilor bimetale Oțel-Al sudate prin frecare  
 $I_n = 1000 \text{ A}$ ;  $\phi = 18 \text{ mm}$ ;  $j = 3,93 \text{ A/mm}^2$ .

| Nr. crt. | Indica-<br>tivul<br>îmbi-<br>nărilor<br>bimetal | Tim-<br>nul<br>min | T E M P E R A T U R A - K |        |      |                  |      | Media<br>ambient<br>$\bar{z}_{med}$ |
|----------|---|--------------------|---------------------------|--------|------|------------------|------|-------------------------------------|
|          |   |                    | Imbinare sudată           |        |      | Borne alimentare |      |                                     |
|          |   |                    | Al                        | Sudură | Oțel | Al               | Oțel |                                     |
| 1        | 6.20  | 0                  | 395                       | 440    | 553  | 370              | 485  | 284,8                               |
|          |   | 10                 | 439                       | 488    | 648  | 415              | 568  | 284,8                               |
|          |   | 15                 | 473                       | 528    | 703  | 448              | 623  | 284,8                               |
|          |   | 30                 | 518                       | 573    | 773  | 483              | 673  | 284,8                               |
| 2        | 6.16  | 0                  | 372                       | 403    | 473  | 357              | 473  | 284,8                               |
|          |   | 6                  | 428                       | 449    | 577  | 403              | 588  | 284,8                               |
|          |   | 16                 | 515                       | 549    | 573  | 478              | 701  | 284,8                               |
|          |   | 20                 | 531                       | 563    | 753  | 495              | 733  | 284,8                               |
|          |   | 24                 | 553                       | 593    | 773  | 523              | 738  | 284,8                               |
| 3        | 6.12  | 0                  | 466                       | 498    | 611  | 423              | 521  | 284,8                               |
|          |   | 7                  | 515                       | 573    | 683  | 483              | 590  | 285                                 |
|          |   | 13                 | 561                       | 593    | 743  | 523              | 533  | 285                                 |
|          |   | 19                 | 575                       | 614    | 773  | 542              | 670  | 285                                 |
| 4        | 6.15  | 0                  | 435                       | 478    | 593  | 411              | 523  | 285                                 |
|          |   | 5                  | 483                       | 548    | 713  | 453              | 650  | 285                                 |
|          |   | 9                  | 503                       | 573    | 773  | 473              | 693  | 285                                 |
| 5        | 1.36  | 0                  | 325                       | 353    | 383  | 311              | 337  | 284,2                               |
|          |   | 5                  | 382                       | 343    | 471  | 371              | 401  | 284,2                               |
|          |   | 10                 | 418                       | 477    | 503  | 400              | 438  | 284,2                               |
|          |   | 15                 | 450                       | 508    | 568  | 434              | 488  | 284,2                               |
|          |   | 20                 | 477                       | 540    | 607  | 456              | 523  | 284,3                               |
|          |   | 25                 | 488                       | 543    | 630  | 470              | 540  | 284,3                               |
|          |   | 30                 | 503                       | 573    | 658  | 483              | 563  | 284,3                               |
|          |   | 35                 | 517                       | 583    | 683  | 493              | 597  | 284,3                               |
|          |   | 40                 | 543                       | 603    | 723  | 513              | 653  | 284,3                               |
|          |   | 45                 | 543                       | 603    | 738  | 523              | 663  | 284,3                               |
|          |   | 50                 | 558                       | 613    | 753  | 527              | 688  | 284,3                               |
| 6        | 1.21  | 0                  | 285                       | 285    | 285  | 285              | 285  | 285                                 |
|          |   | 10                 | 463                       | 509    | 538  | 436              | 473  | 285                                 |
|          |   | 15                 | 520                       | 573    | 608  | 488              | 544  | 285                                 |
|          |   | 55                 | 563                       | 603    | 708  | 528              | 646  | 285                                 |
|          |   | 63                 | 585                       | 641    | 753  | 548              | 688  | 285                                 |
|          |   | 80                 | 588                       | 641    | 760  | 549              | 698  | 285,5                               |

fază a încercării la stabilitate termică ( $t=1/4 T$ ) vitezele de încălzire sînt mari ( $\theta_1^i=1,1$  și  $\theta_2^i=2,9$  K/min) apoi se reduc, pe măsură ce crește durata de trecere a curentului electric prin îmbinarea sudată ( $\theta_1^i=0,3$  și  $\theta_2^i=0,8$  K/min la  $t=T$ , tabela 6.9). Se remarcă uniformitatea procesului de încălzire a componentelor sub efectul curentului electric, din 12 determinări experimentale de cîte 10 ori s-au înregistrat valorile  $\theta_1^i=0,33$  K/min pentru Al și  $\theta_2^i=0,85$  K/min pentru Oțel. Viteza de încălzire a sudurii Oțel-Al variază însă în limite largi, de la  $\theta_2^i=0,8$  la 2,9 K/min. Această situație se explică prin faptul că, în etapa nestabilizată, o supraîncălzire locală a unei componente se echilibrează termic în masa îmbinării bimetal prin transfer în cealaltă componentă, modificînd starea de încălzire din planul sudurii.

În concluzie, s-a cercetat comportarea la stabilitate termică a îmbinărilor Oțel-Al marcate de curentul nominal  $I_n=300$  A, mărimile determinate experimental fiind timpul de trecere al curentului și modificarea temperaturii prin efect Joule-Lenz în MB și sudura bimetal. Normalitatea repartiției celor 462 date provenite din măsurători s-a verificat cu testul Chapiro-Wilk. S-au calculat constantele de timp ale încălzirii componentelor, s-au definit pe cale analitică și grafică parametri de stare și cîmpul termic și s-au reprezentat curbele de încălzire ale îmbinărilor bimetal la încercarea de stabilitate termică. Pe această bază se apreciază că DPA4,5,6 corespund, din punctul de vedere al conducerii curentului electric, pentru a fi utilizate în procesul de fabricație electrochimică a Al, densitatea de curent în condiții de exploatare fiind  $j=0,44$  A/mm<sup>2</sup> față de  $j=1,18$  A/mm<sup>2</sup>, cît s-a utilizat la încercările electrice de stabilitate termică.

#### 6.2.-Încercări dinamice la șocuri de curent

S-au încercat dinamic la șocuri de curent (figura 6.2) îmbinări Oțel-Al sudate prin frecare cu diametrul de 18 mm, componenta de oțel fiind executată respectiv din OL37, OL42, OL52 și OL15. La încercările efectuate fără ruperea probelor s-au utilizat îmbinări OL37-ATS15Fe și OL15-ATS15Fe, curentul nominal a fost de 1000 A iar densitatea de curent  $j=3,93$  A/mm<sup>2</sup> (tabela 6.10).

Din distribuția valorilor vitezei de creștere a temperaturii (tabela 6.11) se constată că, pînă la 350 K metalele fiind relativ reci, între componente are loc un important schimb de căldură prin sudura Oțel-Al ( $\beta'_3 = 16$  K/min) astfel încît ele se echilibrează termic, viteza de încălzire fiind egală ( $\beta'_1 = \beta'_2 \approx 12$  K/min).

T A B E L A 6.11

Viteza de creștere  $\beta'$  a temperaturii îmbinărilor Oțel-Al în timpul încercării dinamice la șocuri de curenți  $\phi = 18$  mm,  $I_n = 1000$  A,  $j = 3,93$  A/mm<sup>2</sup>.

| Nr. crt. | Partea din îmbinare | $\beta' - \text{K/min}$ |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|---------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|          |                     | 350                     | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 750 |
| 1.       | Al                  | 11,8                    | -   | 5,4 | 4,6 | 4,3 | 1,6 | -   | -   |
| 2.       | Oțel                | -                       | 12  | -   | -   | -   | 8   | -   | 6,3 |
| 3.       | Sudură              | 16                      | -   | 7,6 | 4,8 | 4,5 | -   | 1,3 | -   |

Peste 350 K se micșorează intensitatea efectului de răcire a oțelului din îmbinarea bimetal prin componenta de Al, viteza de încălzire păstrîndu-se comparativ la valori ridicate ( $\beta'_2 = 8$  K/min față de  $\beta'_1 = 4,3$  K/min). Concomitent cu reducerea căldurii de transfer prin sudura Oțel-Al se micșorează și viteza sa de încălzire  $\beta'_3$ , de la 16 K/min la 4,5 K/min (tabela 6.11). Procesul de încălzire a îmbinărilor bimetal tinde să se stabilizeze termic, viteza de încălzire fiind descrescătoare în timp pentru MB și sudura Oțel-Al, la același curenți nominal.

Pentru cercetarea comportării îmbinărilor sudate prin frecare la rupere sub efectul curenților electrici, s-a provocat distrugerea cu șocuri de curenți a acestor îmbinări. În acest scop, s-au efectuat 21 încercări la curenții nominal de 3000, 4000, 5000 A și densitatea de curenți respectiv 11,79 - 15,72 - 19,65 A/mm<sup>2</sup>, măsurîndu-se durata de trecere a curenților pînă la ruperea îmbinării (tabela 6.12). În timpul încercării, observarea comportării îmbinărilor bimetal la șocuri de curenți se limitează la modificările ce apar în componenta din oțel, întrucît creșterea temperaturii pe toată durata încercării nu produce efecte vizibile cu ochiul liber în componenta din Al. Succesiunea fazelor pînă la ruperea termică a îmbinărilor bimetal este următoarea:

T A B E L A 6.12

Datele experimentale ale încercărilor de rupere la șocuri de curent a îmbinărilor bimetal sudate prin frecare,  $\phi=18$  mm.

| Nr.Indicativul crt | Indicativul îmbinării bimetal | Componenta din oțel | Curentul nominal A | Densitatea de curent A/mm <sup>2</sup> | Timpu pînă la rupere s |
|--------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|--|------------------------|
| 0                  | 1                             | 2                   | 3                  | 4                                      | 5                      |
| 1                  | 6.17                          | OL 37               | 3.000              | 11,79                                  | 82                     |
| 2                  | 6.23                          |                     |                    |  | 85                     |
| 3                  | 1.31                          | OL 15               |                    |  | 94                     |
| 4                  | 5.25                          | OL 52               |                    |  | 90                     |
| 5                  | 5.34                          |                     |                    |  | 94                     |
| 6                  | 6.13                          | OL 37               | 4.000              | 15.72                                  | 55                     |
| 7                  | 6.20                          |                     |                    |  | 39                     |
| 8                  | 6.5                           |                     |                    |  | 30                     |
| 9                  | 6.16                          |                     |                    |  | 40                     |
| 10                 | 6.15                          |                     |                    |  | 33                     |
| 11                 | 2.2                           | OL42                |                    |  | 35                     |
| 12                 | 2.16                          | OL42                |                    |  | 45                     |
| 13                 | 2.32                          |                     |                    |  | 43                     |
| 14                 | 2.34                          |                     |                    |  | 55                     |
| 15                 | 5.13                          | OL52                |                    |  | 40                     |
| 16                 | 1.3                           | OL 15               |                    |  | 47                     |
| 17                 | 1.35                          |                     |                    |  | 35                     |
| 18                 | 1.24                          |                     |                    |  | 35                     |
| 19                 | 1.28                          |                     |                    |  | 35                     |
| 20                 | 6.14                          | OL 37               | 5.000              | 19,65                                  | 45                     |
| 21                 | 5.24                          | OL 52               |                    |  | 25                     |



-**extinderea** unei nuante de albastru închis pe toată lungimea componentei din oțel;

-**conturarea** nucleului cu temperatura cea mai ridicată într-un punct aflat la jumătatea acestei lungimi;

-**deschiderea** la culoare către roșu aprins a nucleului central și păstrarea culorii inițiale la capetele componentei din oțel, pe porțiuni de câte 20 mm, ceea ce dovedește că sudura Oțel-Al și clema de contact în circuitul electric sînt "puncte reci", prin care se pierde o parte din căldura produsă în componenta din oțel prin efect Joule-Lenz;

-**porțiunea** centrală își modifică culoarea ajungînd, în trepte, de la alb mat la alb strălucitor și în ultima fază la incandescență;

-**în** cazurile cercetate (tabela 6.12), componenta din oțel a ajuns pe toată lungimea la alb strălucitor sau la incandescență și numai după aceea s-a produs desprinderea sudurii și topirea zonei adiacente din Al.

Examinînd aspectul îmbinărilor Oțel-Al după încercarea dinamică la șocuri de curenți (figura 6.7) se observă ruperea componentelor din oțel la aceeași distanță de capătul liber, care corespunde cu zona adiacentă clemei de prindere în circuitul electric. Aceasta înseamnă că există o porțiune în care intensitatea producerii căldurii prin efect Joule-Lenz este maximă și o porțiune în care răcirea este maximă din cauza pierderilor de căldură prin borna de alimentare, în zona de contact a celor două porțiuni producîndu-se o neomogenitate a câmpului termic, care fragilizează materialul și provoacă ruperea componentei din oțel. Intensitatea proceselor termice ce apar la șocuri de curenți este atît de mare încît poate determina topirea completă a părții de oțel din îmbinarea bimetale sudată prin frecare (figura 6.7,c). Concomitent cu sollicitarea termică, sudura Oțel-Al este sollicitată mecanic, deformația oțelului care este încastrat în clema de prindere introducînd tensiuni importante în sudura bimetale și contribuind la ruperea acesteia. S-a constatat că bavura îndepărtată după sudarea prin frecare se manifestă ca un agent de răcire, atenuînd efectul termic al curentului în sudura Oțel-Al.



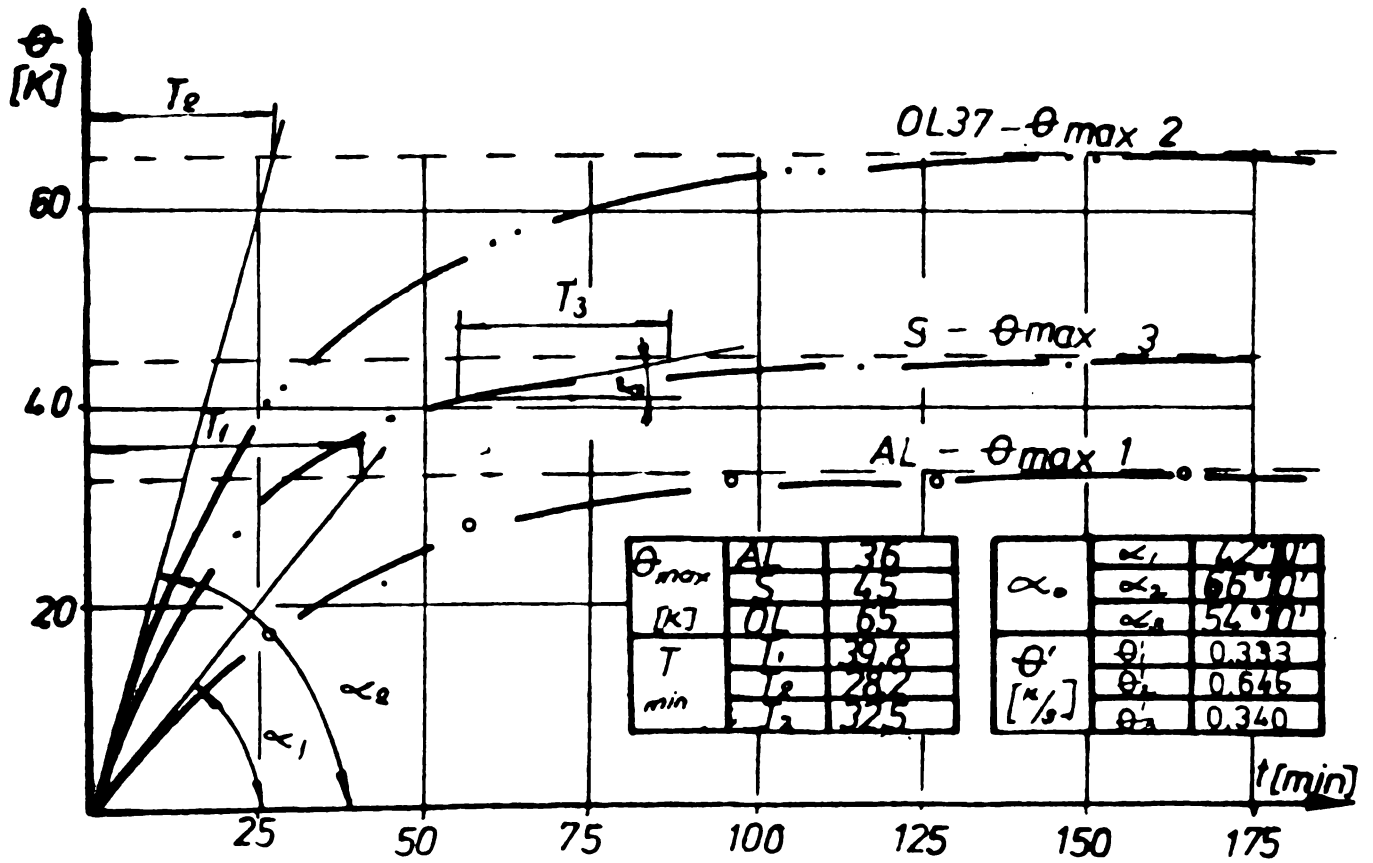
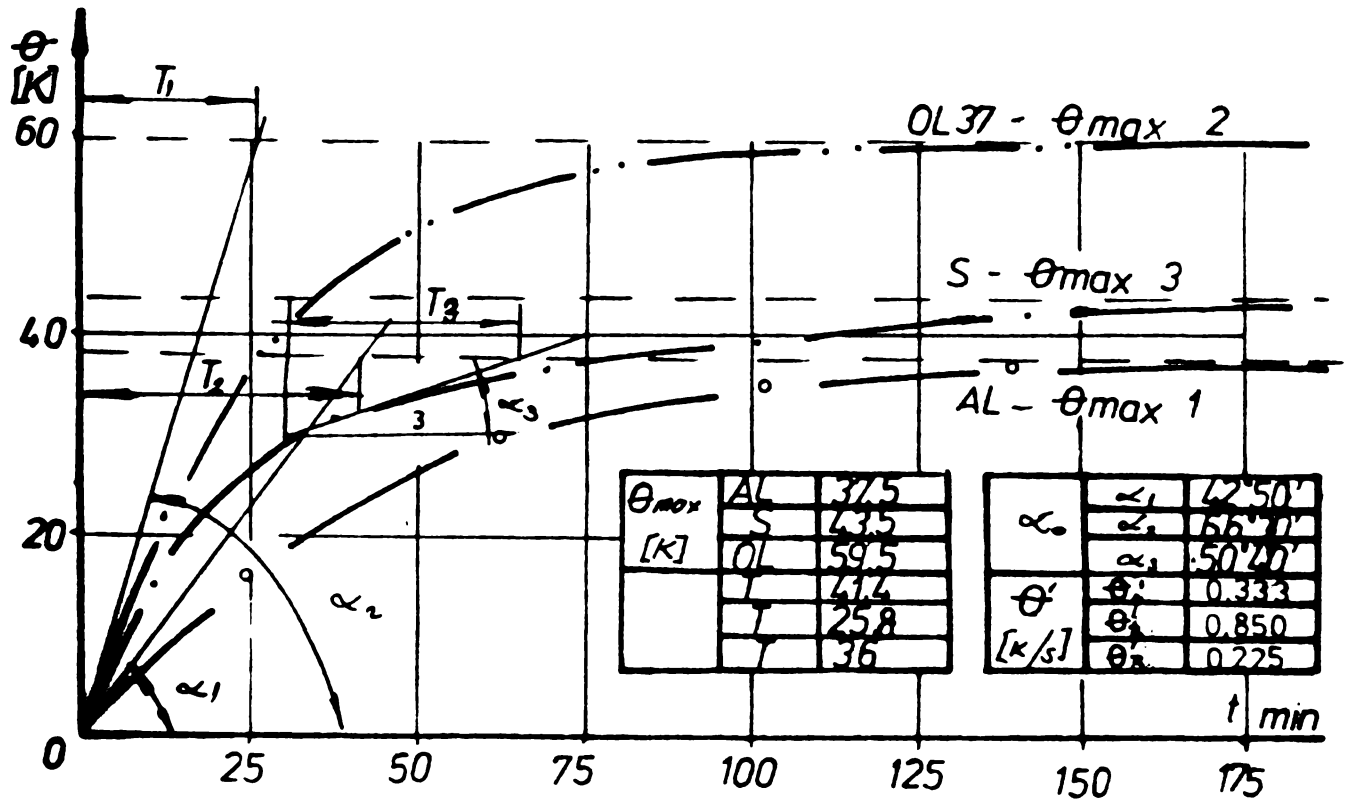


Fig.6.3. Curbele de incalzire la incercarea de stabilitate termica a imbinarilor Otel-Al sudate prin frecare,  $I_n = 300 \text{ A}$ ,  $j = 1,18 \text{ A/mm}^2$ : a - imbinarea bimetal 6.19; b - imbinarea bimetal 6.3.

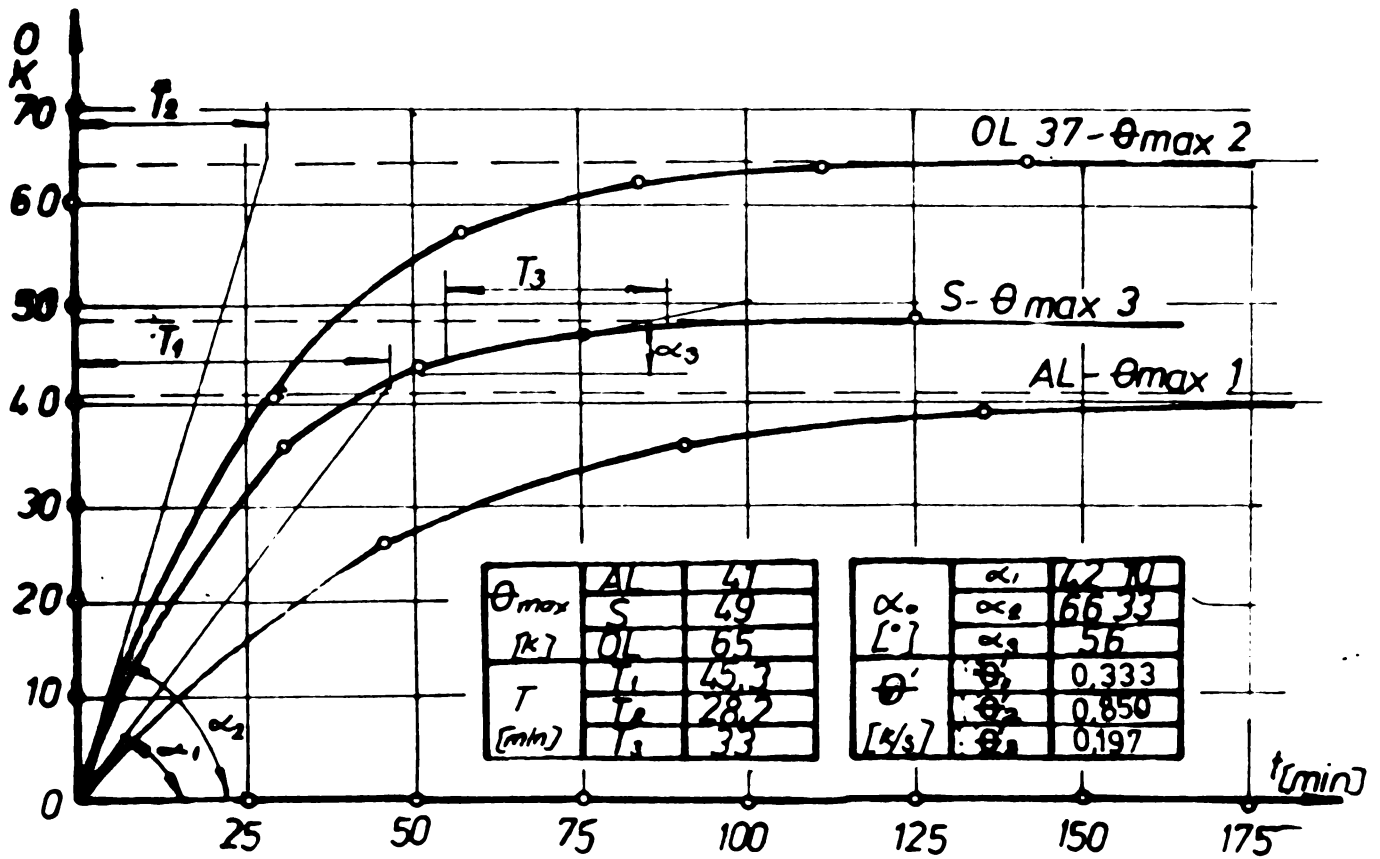
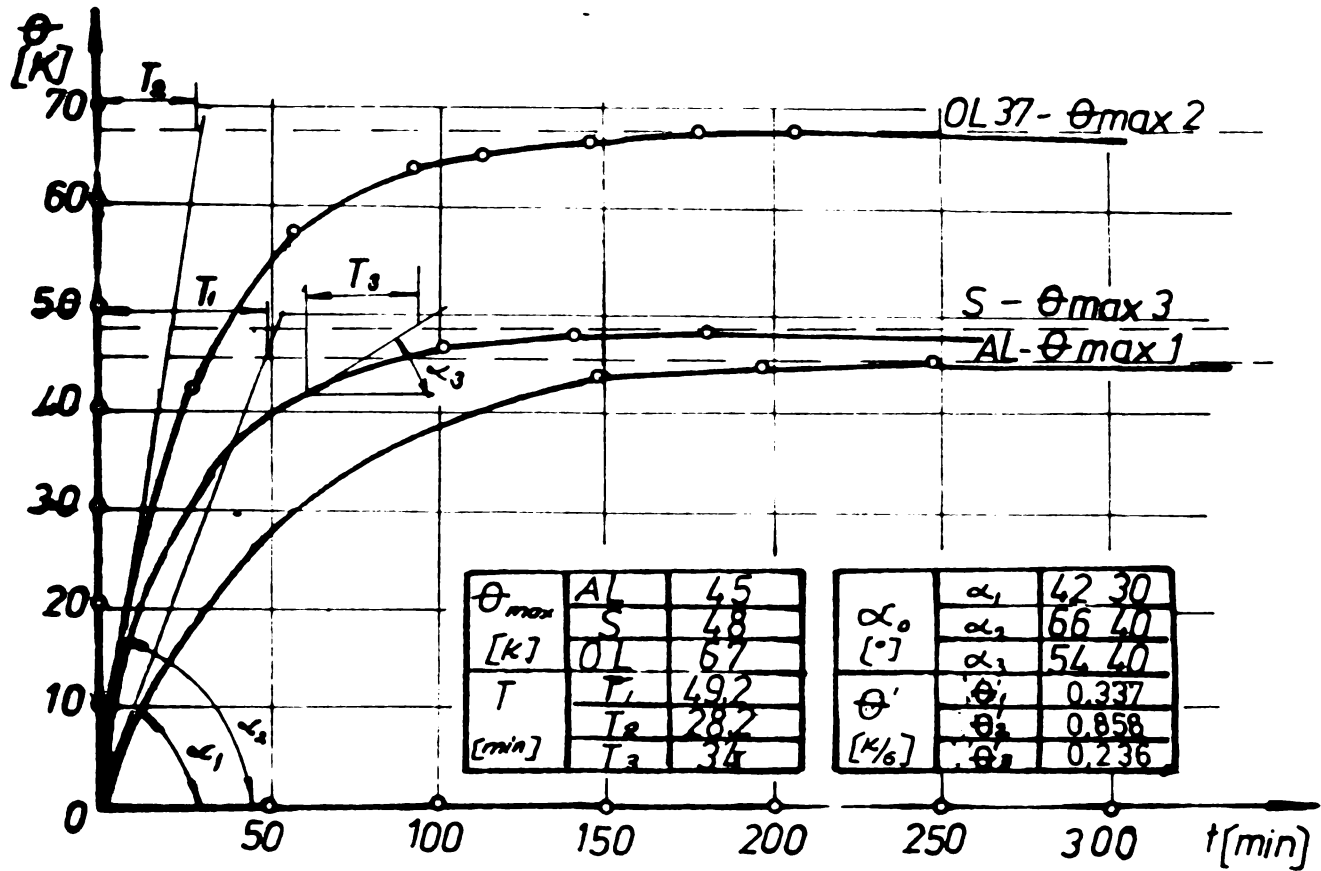


Fig.6.3.: c - îmbinarea bimetal 6.5; d - îmbinarea bimetal 6.14.

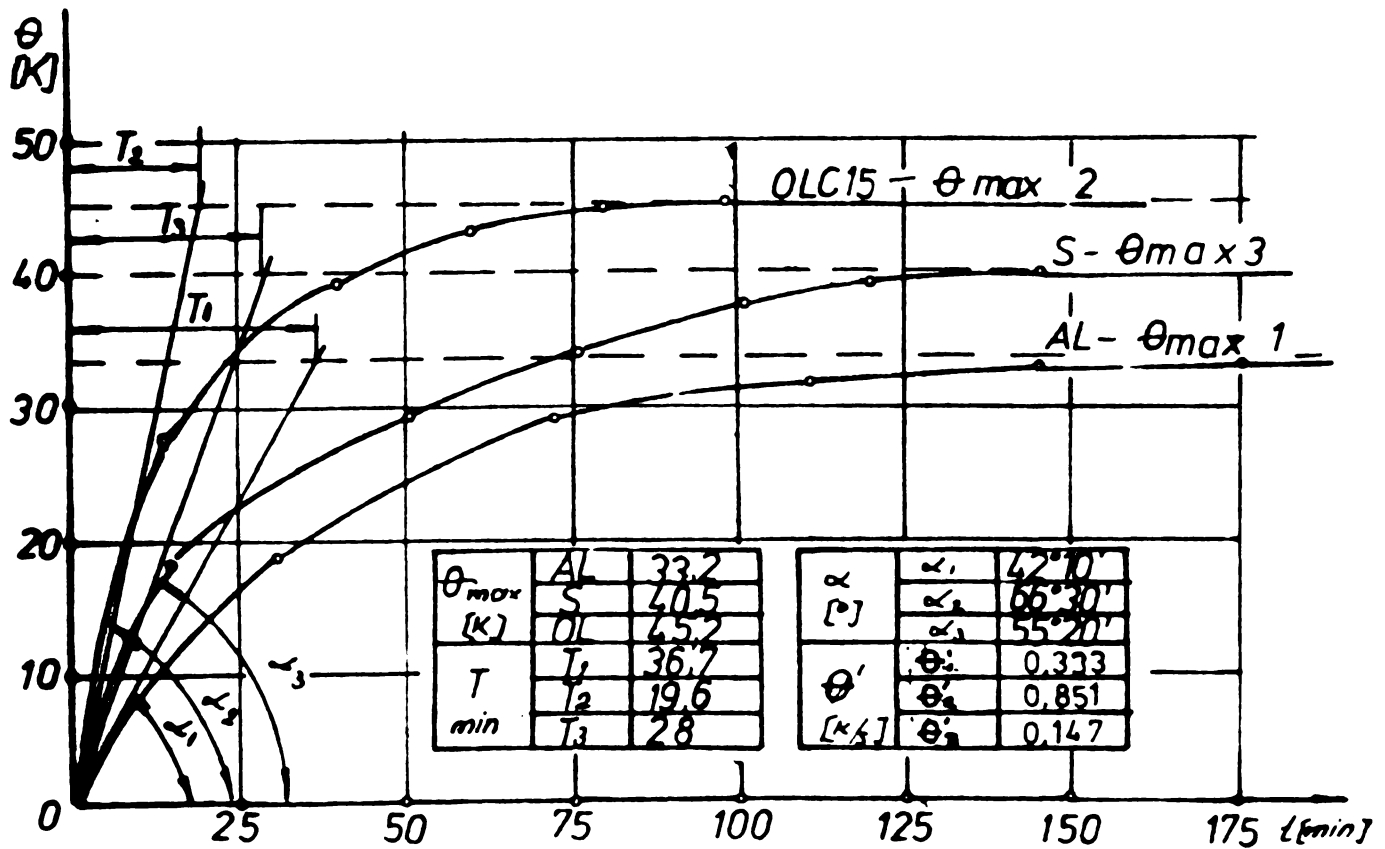
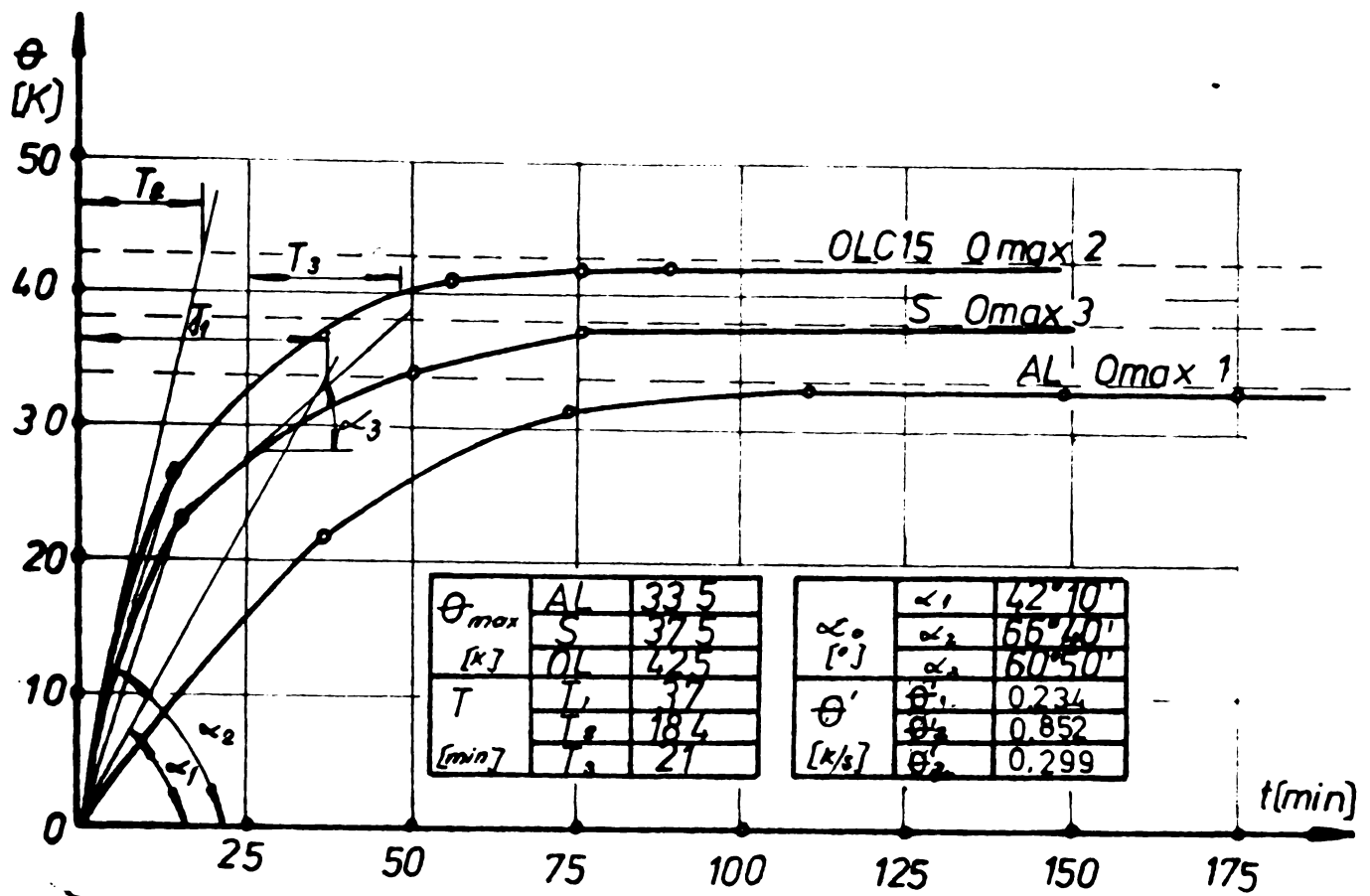


Fig.6.3.-e) îmbinarea bimetal 2.24; f) îmbinarea bimetal 1.35

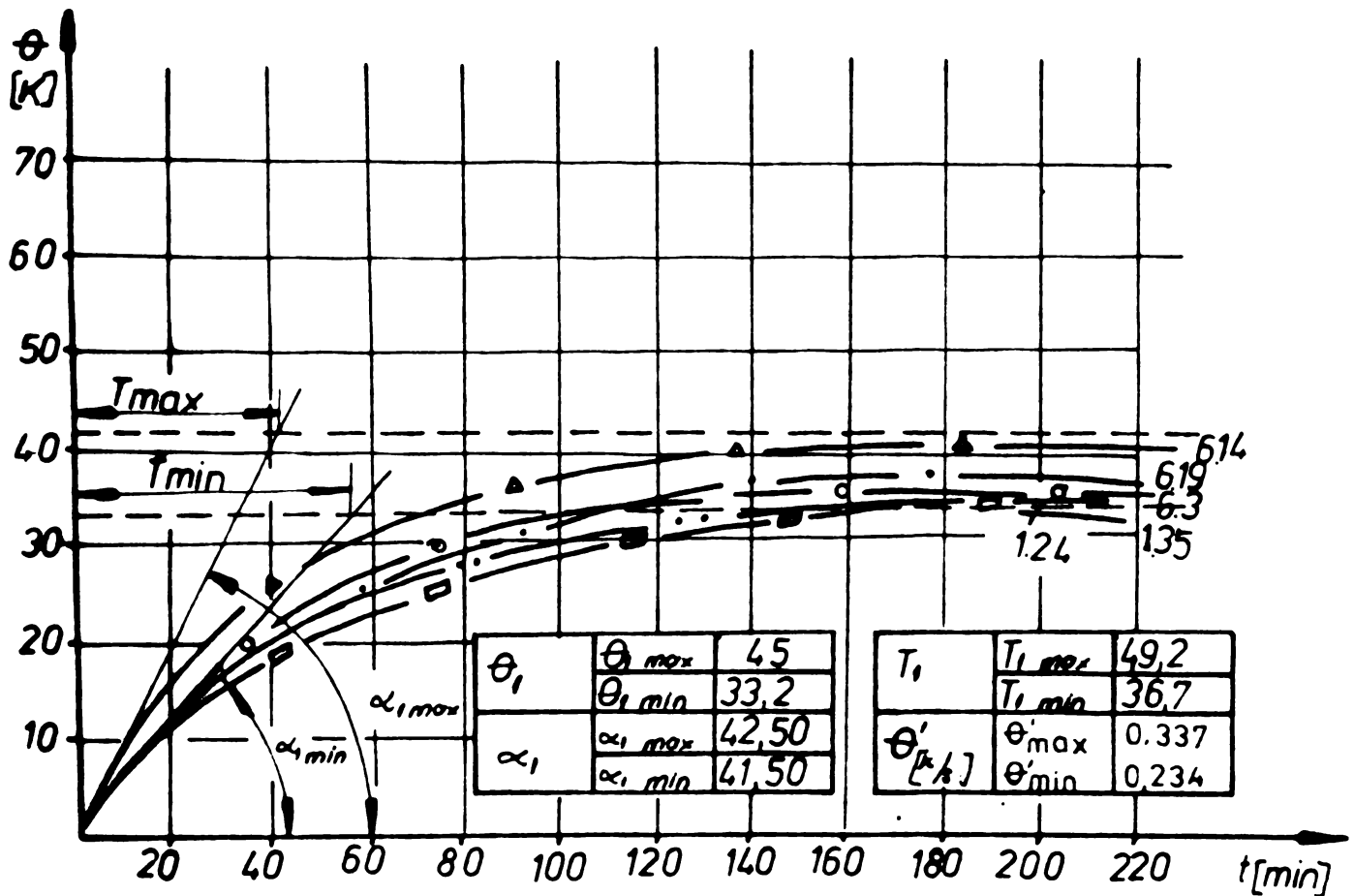
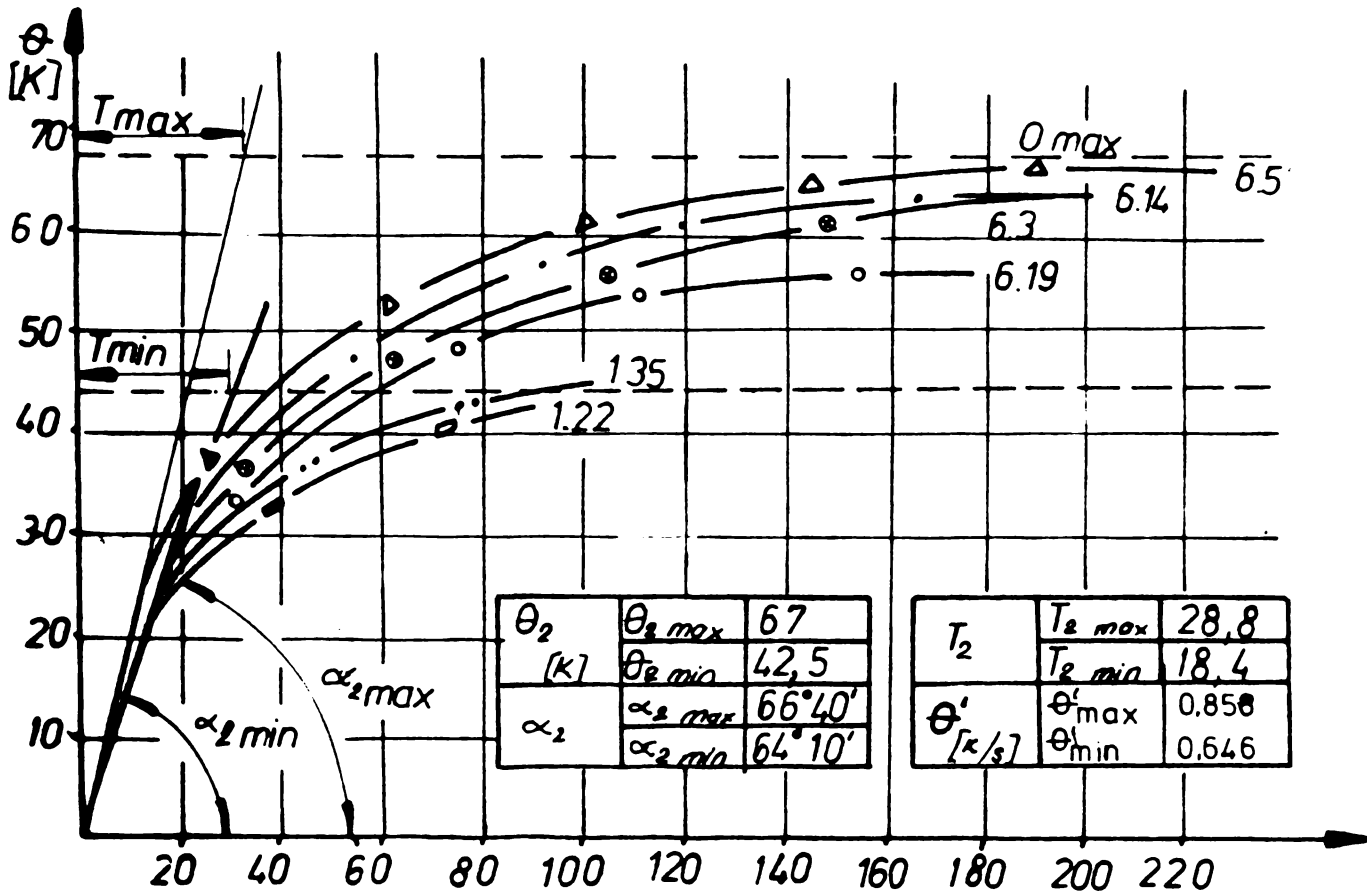


Fig.6.4. Curbele de incalzire la incercare de stabilitate termica a componentelor din Otel-Al sudate prin frecare,  $I_D = 300 \text{ A}$ ,  $j = 1,164/\text{mm}^2$ : a - curbele componentei din oțel a îmbinărilor bi-metal; b - curbele componentei din Al a îmbinărilor bi-metal.

După încercarea dinamică la șocuri de curent s-a urmărit obținerea pe cale analitică a diagramei  $t=f(I)$ , care să concorde cu datele provenite din experiment. În vederea stabilirii corelației între durata  $t$ , de trecere a curentului până la ruperea îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare și curentul nominal  $I_n$ , s-a utilizat următoarea relație:

$$t = \frac{a}{I_n^2} \quad (6.15)$$

Parametrul  $a$ , s-a determinat din expresia [30]:

$$\sum \log I_i \log t_i = 2 \sum \log t_i + \log a \sum \log t_i \quad (6.16)$$

La stabilirea perechilor de valori  $t_i, I_i$  s-au considerat rezultatele cuprinse în tabelele 6.1, 6.2, 6.10, 6.12. În urma efectuării calculelor se obține  $a = 661 \cdot 10^6$  și relația (6.15) devine:

$$t = \frac{661 \cdot 10^6}{I^2} \quad (6.17)$$

iar după reprezentarea grafică (figura 6.8) se constată concordanța datelor experimentale cu funcția analitică.

În concluzie, îmbinările Oțel-Al sudate prin frecare au fost cercetate dinamic la șocuri de curent, utilizând în acest scop valori ale curentului nominal de 1000, 3000, 4000 și 5000 A. Prin efectuarea încercărilor s-a urmărit comportarea îmbinărilor binetal la densități de curent ( $3,93 \text{ A/mm}^2$ ) de 8, 9 ori mai mari față de cele utilizate în condițiile de exploatare ale DPA4,5,6 ( $0,44 \text{ A/mm}^2$ ), precum și modul în care se produce ruperea îmbinărilor sudate prin frecare sub acțiunea curentului electric la densități mari ( $11,79-15,72-19,65 \text{ A/mm}^2$ ), în acest sens fiind executate 252 măsurători. S-a constatat experimental că, în faza inițială, viteza de încălzire prin efect Joule Lenz este anormală în MB și sudură.

La creșterea duratei de trecere a curentului prin îmbinarea binetal, viteza de încălzire în Al și sudură se reduce substanțial față de valoarea existentă în oțel, astfel, în intervalul 500...600 K ea este de 5 ori mai mică. Din această situație rezultă următoarele:

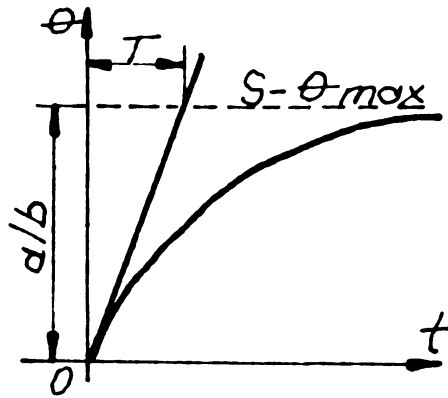


Fig. 6.5. Grafioul funcției  $f-\theta (t)$

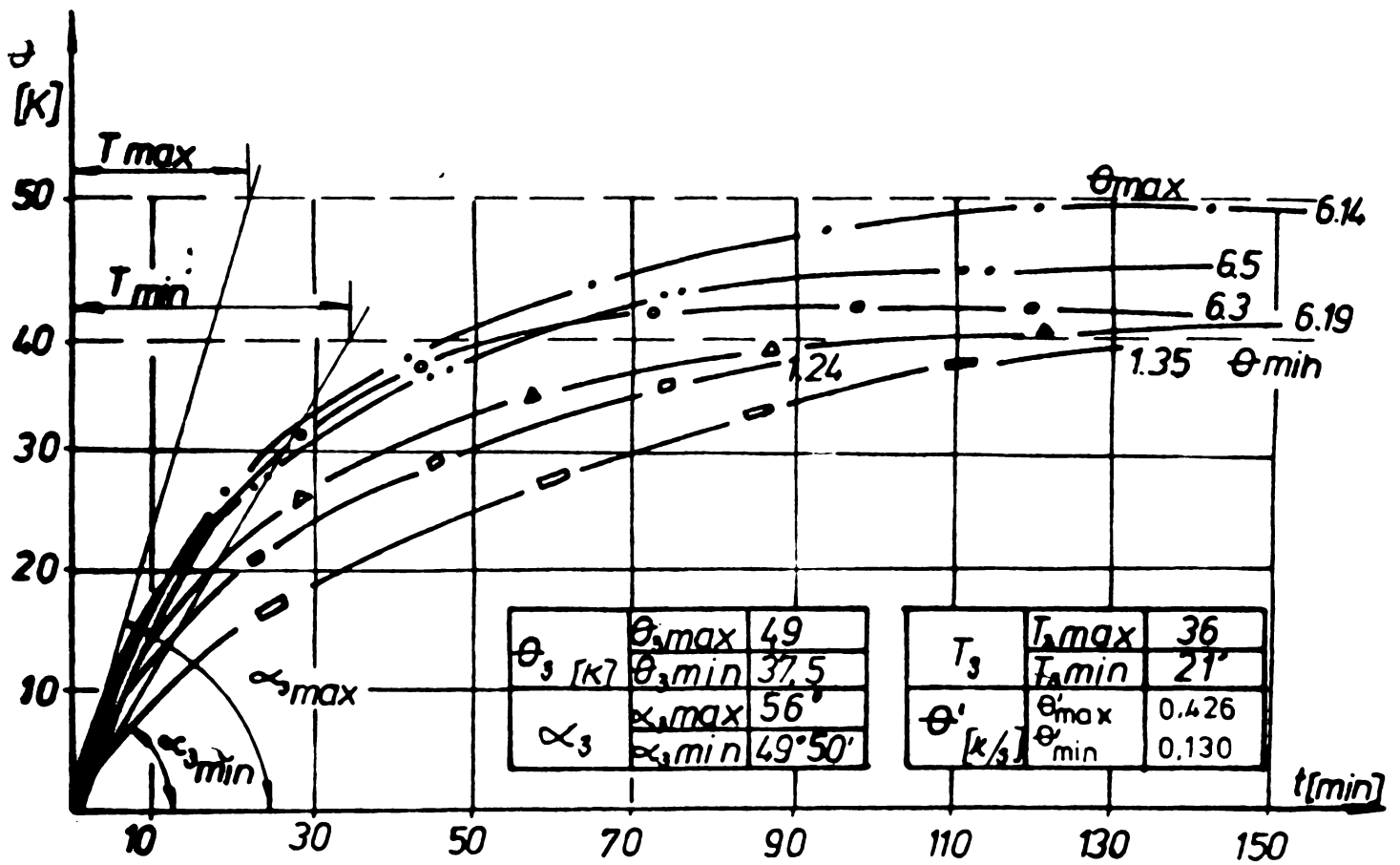
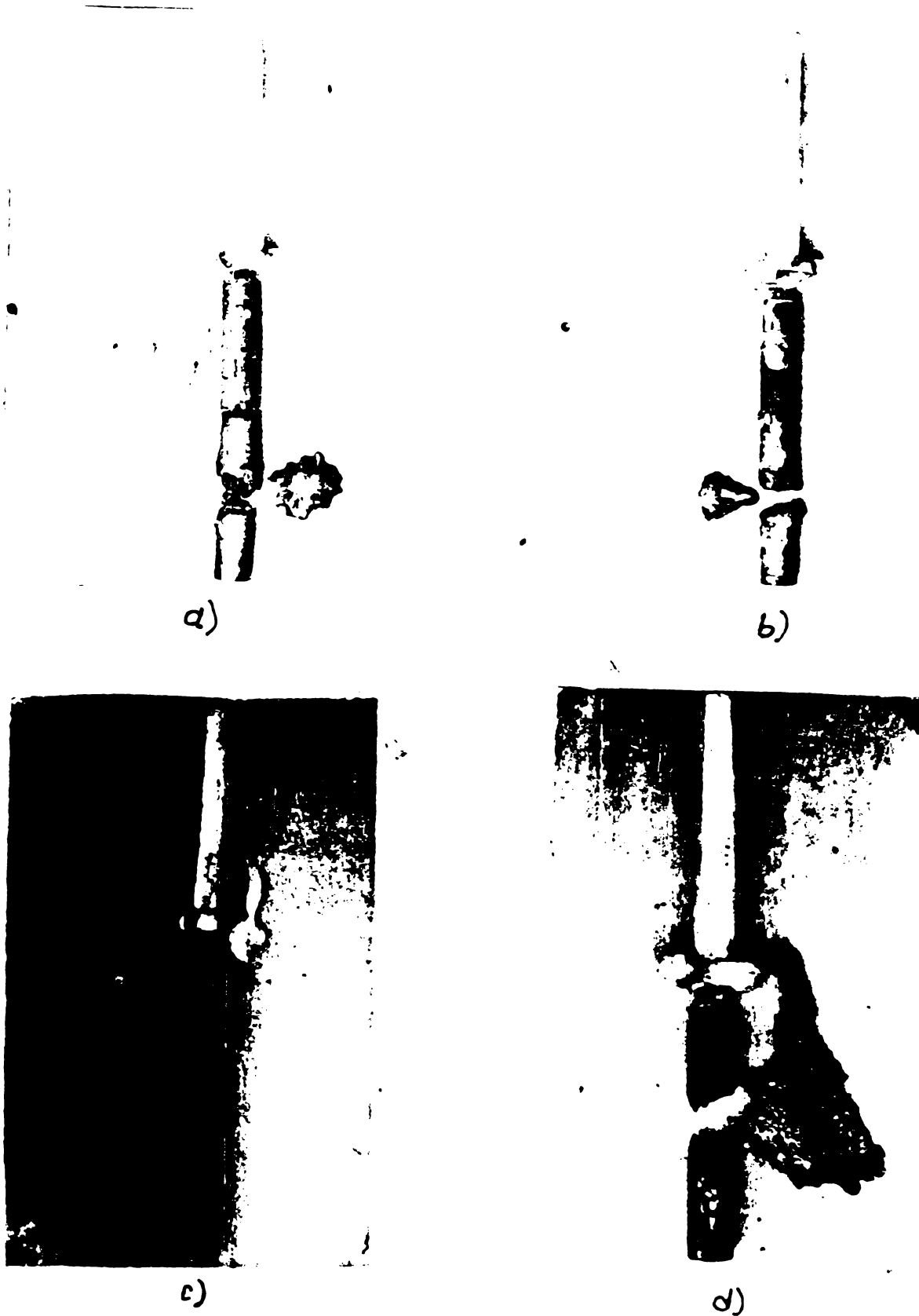
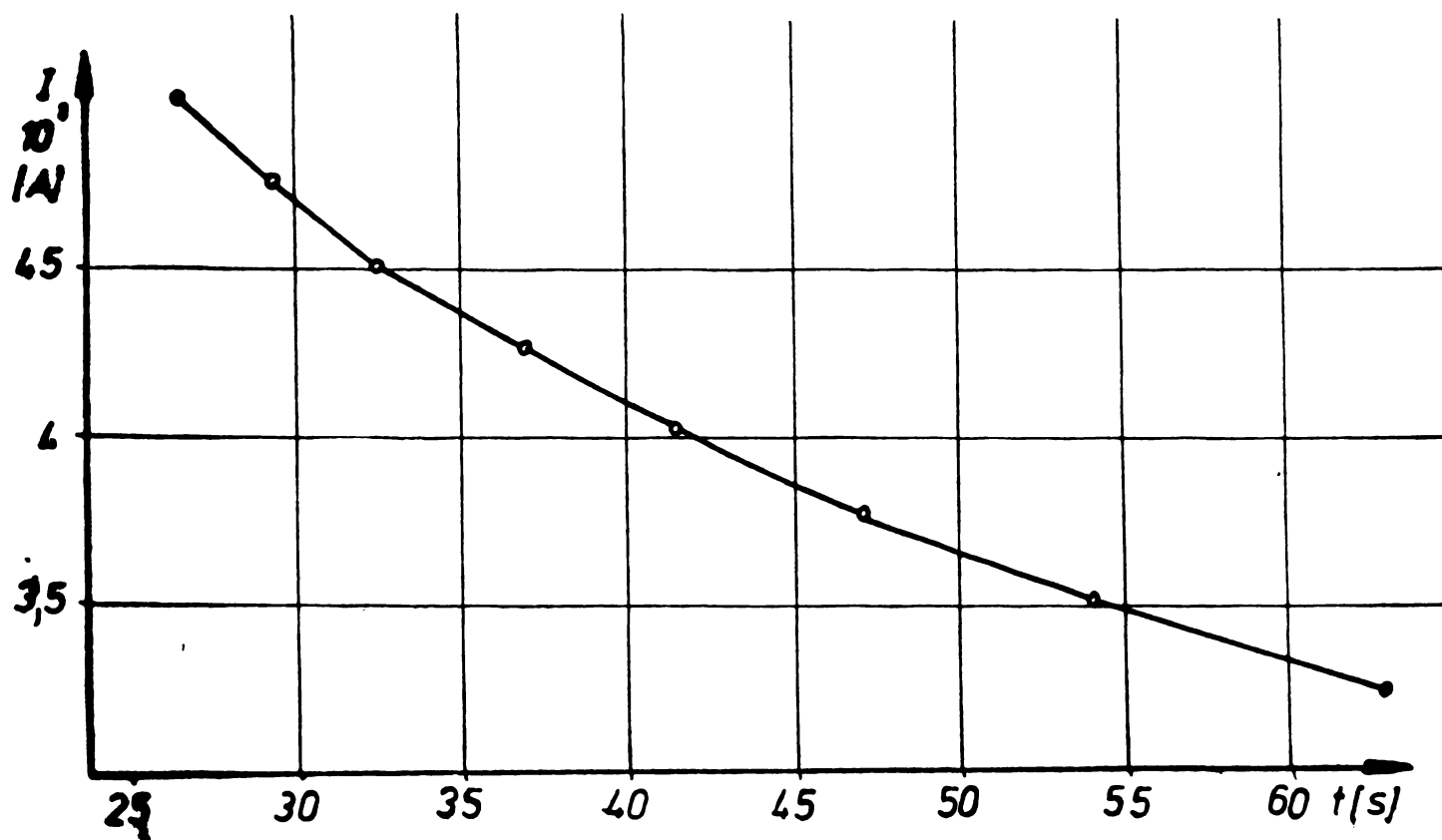


Fig.6.6. Curbele de încălzire ale sudurilor Oțel - Al la încercarea de stabilitate termică a îmbinărilor bimetal,  $I_n = 300 \text{ A}$   $j = 1,18 \text{ A/mm}^2$ .



**Fig.6.7.-Aspectul îmbinărilor Oțel-Al după ruperea la securi de curent: a) OL37 - ATSi5Fe,  $I_n=5000$  A; b) OL37 - ATSi5Fe,  $I_n=4000$  A; c) OL015<sup>n</sup> - ATSi5Fe,  $I_n=3000$  A; d) OL37 - ATSi5Fe,  $I_n=3000$  A.**





**Fig.6.8.-Graficul funcției analitice  $t=f(I)$  de rupere a îmbinărilor Oțel-Al prin șocuri de curent**

-procesul de stabilizare termică este mai scurt la Al și sudură, fiind practic încheiat la 700 K;

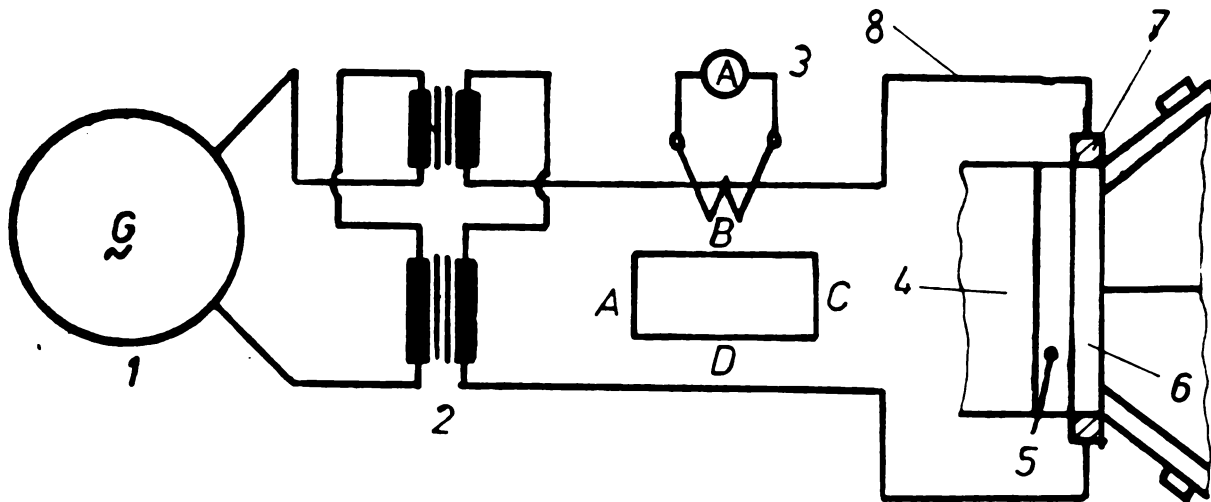
-producerea căldurii prin efect Joule Lenz în oțel este mai intensă decât transferul de căldură prin sușura bimetal în Al; astfel încât cele două componente nu se echilibrează termic;

-viteza ridicată de creștere a temperaturii (8 K/min la temperaturi mai mari de 600 K) conduce la supraîncălziri în oțel care pot determina topirea materialului dacă continuă acțiunea curentului electric.

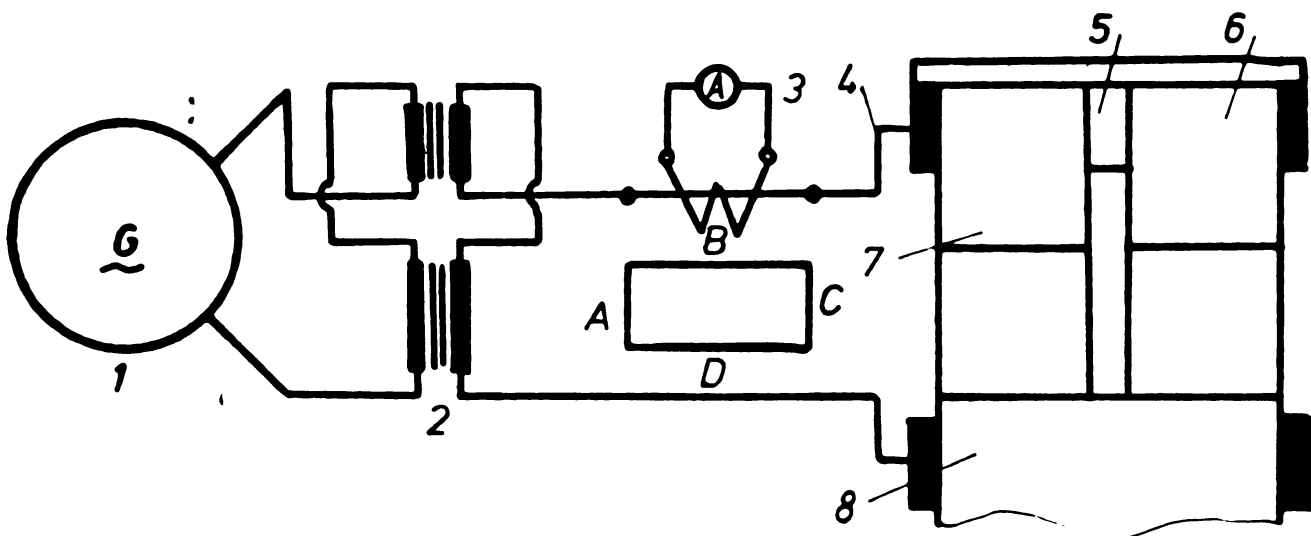
S-a provocat distrugerea îmbinărilor Oțel-Al cu șocuri de curent, s-a analizat succesiunea fazelor pînă la ruperea termică și s-a examinat aspectul îmbinării după producerea rupe-rii. S-a constatat că ruperea sub acțiunea curentului a sudurii bimetal realizată prin frecare s-a produs concomitent cu ruperea, simplă sau multiplă, a componentei din oțel, urmare a neomogenității cîmpului termic care produce vîrfuri de temperatură, acestea topind materialul pe toată grosimea.

### 6.3.-Incerări electrice ale dispozitivelor port-anod DPA1 și DPA4

S-au executat dispozitivele port-anod DPA1, DPA4 și s-au încercat electric, pentru a cerceta îmbinările O<sup>+</sup>el-Al sudate prin frecare ale DPA4 în comparație cu îmbinarea O<sup>+</sup>el-Al realizată la DPA1, cu o placă bimetal sudată prin explozie. Dispozitivele port-anod DPA1...6 sînt parcurse de curentul anodic  $I_a$  al cuvei de electroliză. DPA1, avînd o îmbinare O<sup>+</sup>el-Al sudată prin explozie, a fost încercat o singură dată la curentul nominal  $I_n = 5000 \text{ A}$  egală cu valoarea curentului anodic  $I_a$  (figura 6.9). DPA4, avînd patru îmbinări O<sup>+</sup>el-Al sudate prin frecare, a fost supus la două încercări: la prima s-au cercetat două îmbinări care au format două căi de curent în circuitul electric parcurs de curentul  $I_a/2 = 2500 \text{ A}$ , iar la a doua încercare s-au cercetat următoarele două îmbinări bimetal, la aceeași valoare a curentului (figura 6.10). S-a măsurat temperatura componentelor și a sudurilor la diferite intervale de timp, s-a controlat temperatura mediului ambiant precum și a bornelor de alimentare, pe baza datelor experimentale apreciindu-se stabilitatea termică a DPA1,4 (tabela 6.13, 6.14). Pentru aceste măsurări s-a utilizat un termometru electronic THERM 2112. S-au măsurat căderile de tensiune (tabela 6.15) între punctele caracteristice ale îmbinărilor O<sup>+</sup>el-Al, în acest scop fiind folosit un voltmetru electronic. Temperatura și căderile de tensiune s-au determinat raportîndu-se la aceleași puncte de măsurare (figura 6.12). Punctele caracteristice au fost stabilite considerînd că sudura prin frecare a DPA4 și sudura prin explozie a DPA1 se află, în cuva de electroliză, în același plan orizontal. Lungimea componentelor din oțel fiind aceeași, la îmbinările bimetal ale DPA1,4 s-a luat ca bază pentru efectuarea măsurătorilor planul punctelor 1,2,3,4,5 (figura 6.12), prin care, la DPA1,4 se realizează îmbinarea tijei anodice din ATSi5Fe cu tetrapodul din oțel. Diferența de execuție între DPA1,4, constă din schimbarea procedurii de sudare a îmbinărilor bimetal și din lungimea componentei de Al, diferită la cele două dispozitive port-anod. Astfel, punctele 7 (figura 6.12) din tija anodică aparțin unui plan orizontal egal depărtat de planul sudurilor O<sup>+</sup>el-Al și reprezintă, de asemenea, puncte caracteristice ale DPA1,4.



**Fig.6.9.-**Inercarea electrică a DPA1: 1-generator sincron tip G.S.A.M., 390 kVA, 400 V, 563 A; 2-transformator monofazat 400/20, 10000 A; 3-transformator curent 10000/5 A; 4-tijă din ABB15Fe; 5-componenta din Al a plăcii sudate prin explozie; 6-componenta din oțel a plăcii bimetal; 7-bare de contact din cupru; 8-bare din Al [125]



**Fig.6.10.-**Inercarea electrică a DPA4; 1-generator sincron tip G.S.A.M., 390 kVA, 400 V, 563 A; 2-transformator monofazat 400/20 1000 A; 3-transformator curent 10000/5 A; 4-bară din Al; 5-bare de contact din cupru; 6-componenta din oțel a îmbinării bimetal sudată prin frecare; 7-componenta din Al a îmbinării; 8-tijă din ABB15Fe [125]

Valorile temperaturilor de stabilizare termică a DPA1,4 s-au comparat pe baza datelor obținute experimental (tabela 6.13, 6.14). S-a constatat (figura 6.11) că DPA4 asigură condiții mai bune de răcire și o temperatură de exploatare mai coborâtă a îmbinărilor Oțel-Al față de DPA1.

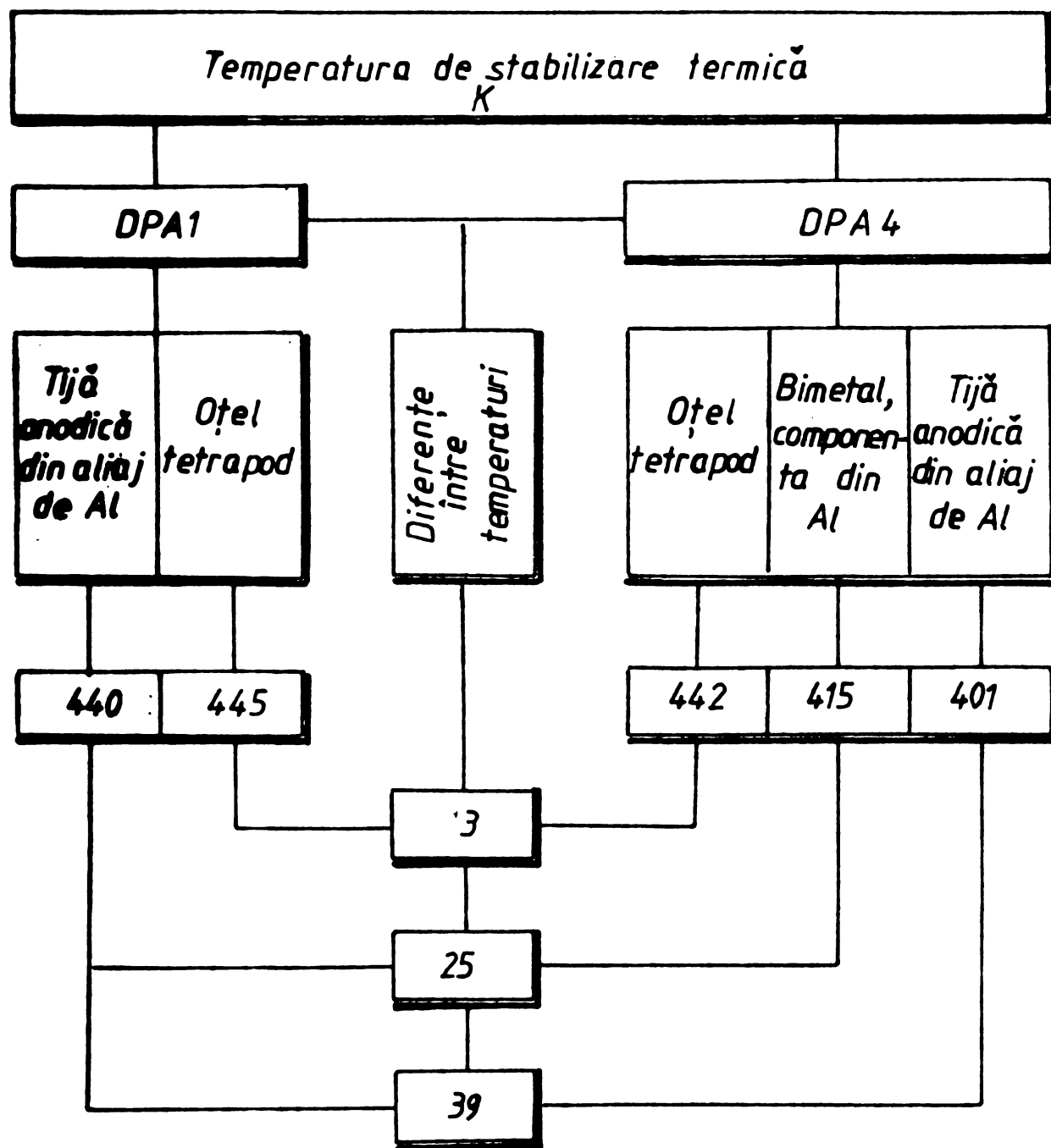


Fig.6.11.-Date comparative privind încălzirea DPA1,4 prin efect Joule Lenz

Explicatia constă în faptul că placa sudată prin explozie se îmbină cu tija din aliaj de Al a DPA1 printr-o cusătură MIG executată din trei straturi, față de 12 câte se utilizează la sudurile de tip Al-Al ale DPA4. Astfel, în secțiunea redusă densitatea de curent fiind mai mare, încălzirea prin efect Joule-Lenz este mai puternică.

T A B E L A 6.13

Datele experimentale ale cercetării electrice a DPA1,  $I_n=5000$  A.

| Nr. crt. | Timpul | Latura plăcii bimetale | Temperatura în punctele de măsurare, °K |        |      |                     |      |                  |     |
|----------|--------|------------------------|---|--------|------|---------------------|------|------------------|-----|
|          |        |                        | Al                                      | Sudură | Oțel | Borne de alimentare |      | T <sub>med</sub> |     |
|          |        |                        |   |        |      | Al                  | Oțel |                  |     |
| 1        | 2      | 3                      | 4                                       | 5      | 6    | 7                   | 8    | 9                |     |
| 1.       | 0      |                        | 293                                     | 293    | 293  | 293                 | 293  | 293              | 293 |
| 2.       | 90     | A                      | 403                                     | 403    | 428  | 348                 | 371  | 293              |     |
| 3.       | 120    | A                      | 428                                     | 436    | 438  | 383                 | 403  | 293              |     |
|          |        | B                      | 428                                     | 436    | 448  |                     |      |                  |     |
|          |        | C                      | 428                                     | 435    | -    |                     |      |                  |     |
|          |        | D                      | 423                                     | 437    | 448  |                     |      |                  |     |
| 4.       | 150    | A                      | 433                                     | 433    | 440  | 393                 | 409  | 293              |     |
|          |        | B                      | 438                                     | 439    | 450  |                     |      |                  |     |
|          |        | C                      | 430                                     | 418    | -    |                     |      |                  |     |
|          |        | D                      | 433                                     | 432    | 437  |                     |      |                  |     |
| 5.       | 165    | A                      | 433                                     | 436    | 440  | 388                 | 410  | 293              |     |
|          |        | B                      | 440                                     | 441    | 455  |                     |      |                  |     |
|          |        | C                      | 430                                     | 437    | -    |                     |      |                  |     |
|          |        | D                      | 437                                     | 441    | 448  |                     |      |                  |     |

Căderile de tensiune în îmbinările Oțel-Al ale DPA1,4 (tabela 6.15) antrenează pierderi de energie electrică, la DPA4 reprezentând numai 19% comparativ cu DPA1 (tabela 6.16).

T A B E L A 6.14

Datele experimentale ale cercetării electrice a DPA4,  $I_n=2500$  A prin câte două îmbinări bimetale Oțel-Al sudate prin frecare

| Nr. crt. | Timpul | Îmbinările Oțel-Al | Temperatura în punctele de măsurare °K (figura 6.12) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|--------|--------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|          |        |                    | 1  | 2   | 18  | 19  | 3   | 4   | 14  | 15  | 7   |
|          |        |                    |  |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1.       | 0      | 1-2                | 348  | 378 | 336 | 323 | -   | -   | 335 | 338 | 331 |
| 2.       | 15     |                    | 371  | 402 | 373 | 358 | -   | -   | 353 | 362 | 353 |
| 3.       | 45     |                    | 379  | 404 | 383 | 371 | -   | -   | 364 | 370 | 363 |
| 4.       | 75     |                    | 383  | 413 | 393 | 378 | -   | -   | 375 | 385 | 378 |
| 5.       | 85     |                    | 385  | 415 | 395 | 380 | -   | -   | 375 | 386 | 382 |
| 6.       | 0      | 3-4                | -  | -   | 398 | 391 | 413 | 423 | 383 | 388 | 370 |
| 7.       | 45     |                    | -  | -   | 408 | 405 | 428 | 428 | 398 | 403 | 380 |
| 8.       | 60     |                    | -  | -   | 415 | 408 | 435 | 442 | 400 | 407 | 398 |
| 9.       | 105    |                    | -  | -   | 415 | 412 | 436 | 442 | 403 | 408 | 401 |

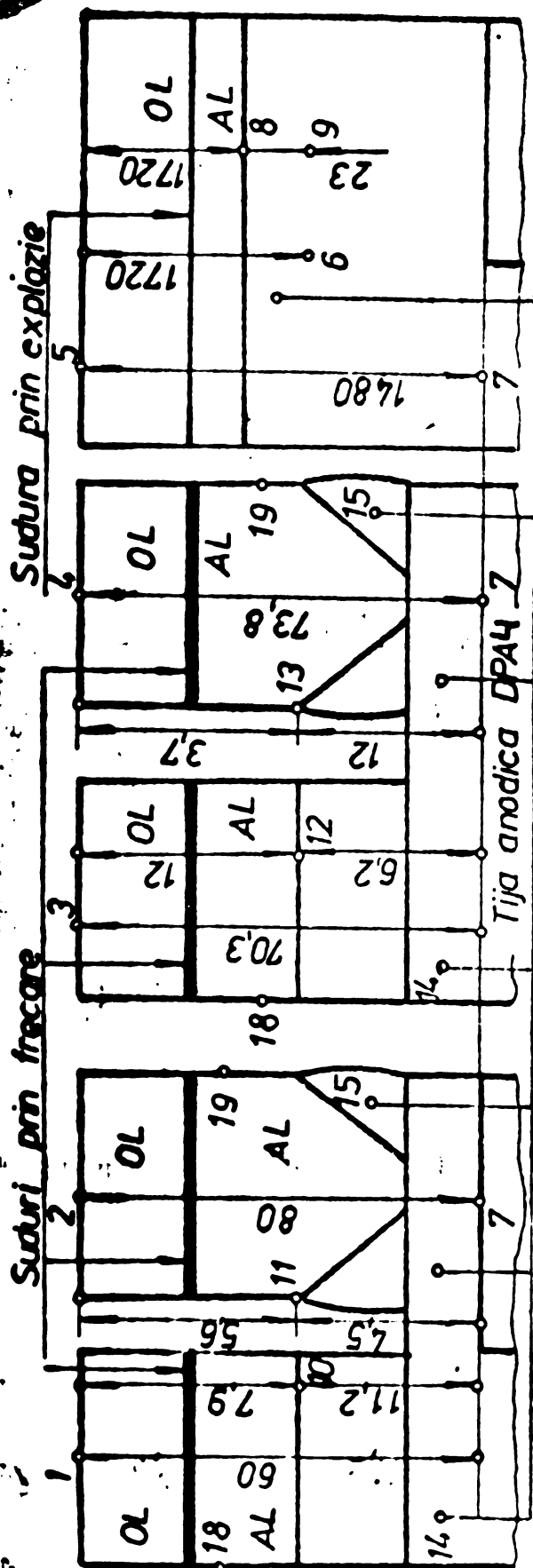


Fig. 6.12.-Punctele de măsurare și valorile căderilor de tensiune pe îmbinările sudate ale DPA1 și DPA4

TABELA 6.15

Căderile de tensiune pe îmbinările sudate ale DPA5,1.

| Dispozitivul port-anod  | DPA 4 |      |      |     |      |     |      |      |      |     |     |     |  |
|-------------------------|-------|------|------|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|--|
| Punctele de măsurare :  | 1     | 2    | 3    | 4   | 1    | 2   | 3    | 4    | 10   | 11  | 12  | 13  |  |
| (figura 6.12)           | 5-7   | 5-6  | 5-8  | 8-9 | 7    | 7   | 7    | 7    | 10   | 11  | 12  | 13  |  |
| Căderile de tensiune mV | 1480  | 1720 | 1720 | 2.3 | 60   | 80  | 70.3 | 73.8 | 7.9  | 5.6 | 12  | 3.7 |  |
|                         |       |      |      |     | 11.2 | 7.9 | 73.8 | 7.9  | 11.2 | 4.5 | 6.2 | 6.2 |  |

Pierderi de putere și energie electrică în fabricurile Oțel - Al ale D P A 1,4

S A B B L A 6,16

Pro. Mărimile electrice considerate

D P A 1 D P A 4

ext.

| 1. | Δ U<br>V | Punctele de<br>măsurare<br>fig.6.1e | 5<br>7 | 1<br>7 | 2<br>7 | 3<br>7 | 4<br>7 |
|----|----------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|    |          | Partiale                            | 1,48   | 0,06   | 0,08   | 0,0703 | 0,0738 |
|    |          | T o t a l                           | 1,48   |        | 0,2841 |        |        |

Pierderi de putere electrică  
Δ P  
KW

Δ P = Δ U · I  
I = 5000 A

1,420

Pierderi de ener-

Δ W = Δ P · t

t: durata unui ciclu de utilizare în cuva de electroliză  
t = 624 h

3. Δ W  
KWh

4617,6

886,08

In exprmare procentuală 100 %

19 %



## 7.-ORGANIZAREA PRODUCTIEI DE SERIE A DISPOZITIVULUI PORT-ANOD

Dezvoltarea mereu crescândă a cantității și complexității structurilor sudate a creat necesitatea concentrării fabricației în întreprinderi, secții sau sectoare separate ca unități industriale distincte. Această necesitate rezultă din următoarele considerente:

- prin centralizarea fabricației ansamblelor sudate se ajunge la o mai bună utilizare a spațiilor și utilajelor;
- prin natura lor, lucrările de sudare sînt o sursă de nocivități și degajări de gaze încărcate cu suspensii metalice care sînt foarte dăunătoare la o serie de lucrări;
- locurile de lucru unde se execută ansamblele sudate trebuie să fie dotate cu instalații specifice și utilaje auxiliare necesare proceselor tehnologice ale sudării, care nu se justifică în hale cu altă destinație.

### 7.1.-Incadrarea execuției DPA 4,5,6 în criteriile de organizare a fabricației de structuri sudate

Organizarea producției dispozitivului port-anod vizează proiectarea unui atelier de producție cu capacitatea de 12.000 DPA 4,5,6/an. După caracterul producției există trei tipuri de organizare a fabricației: unicate sau serie mică, de serie și producție de masă. DPA 4,5,6 se încadrează în grupa de greutate 0,1...0,5 tone și la capacitatea de 12.000 bucăți/an rezultă că atelierul proiectat este de producție serie (tabela 7.1). În alegerea tipului de organizare a fabricației se ține cont că ansamblele sudate pot fi divizate [81]:

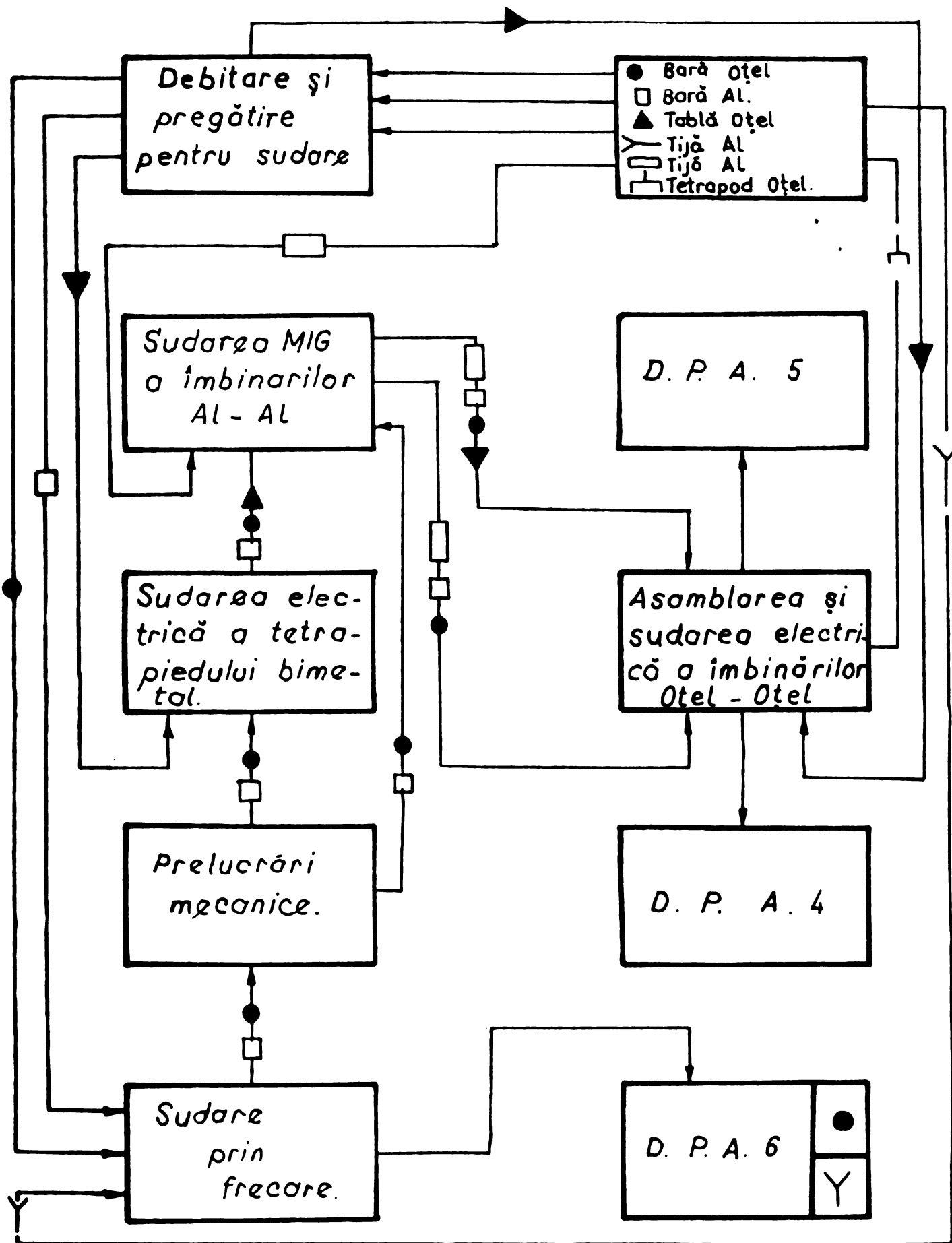


Fig.7.1.-Operații tehnologice în fabricația DP 4,5,6

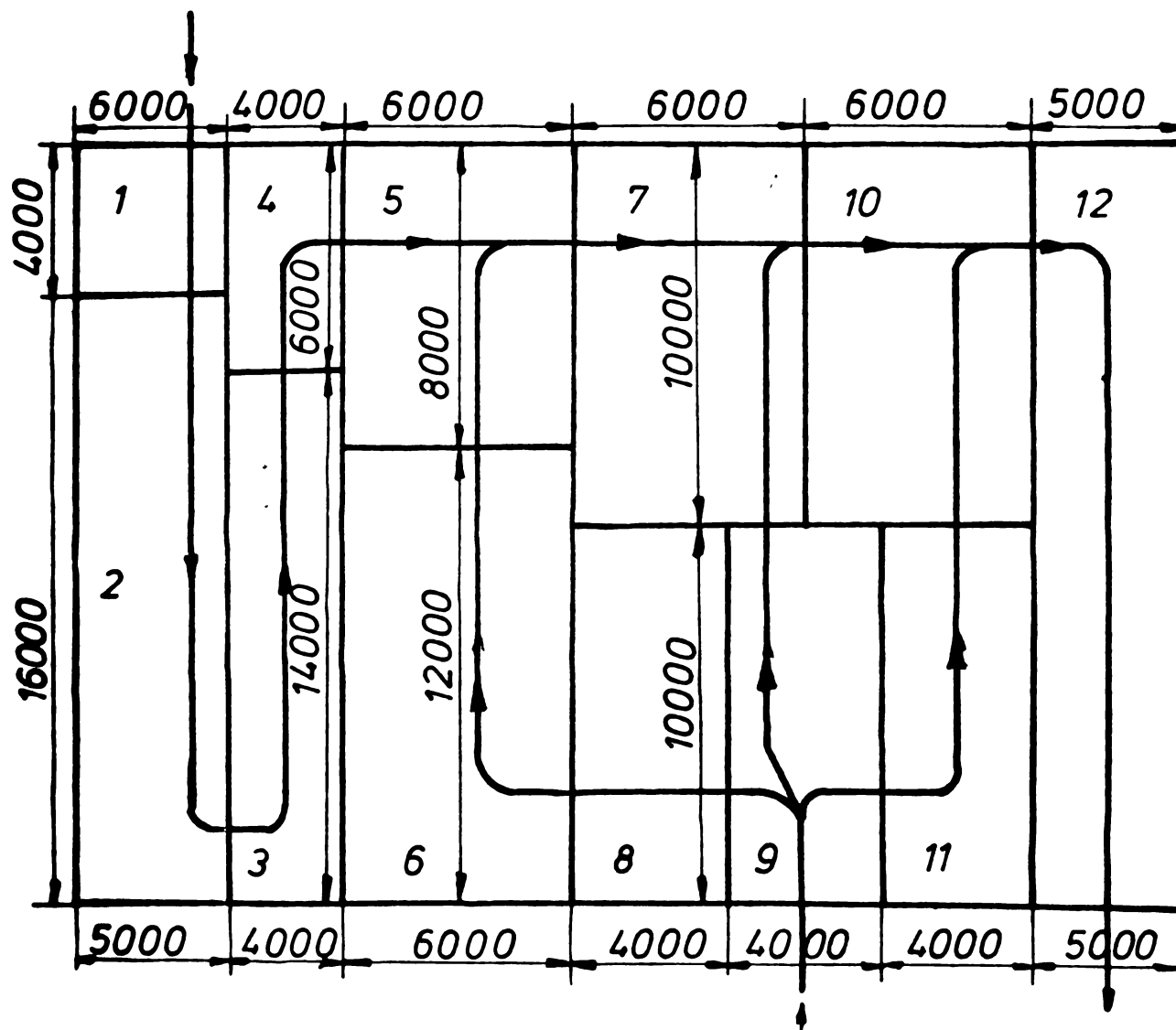


Fig.7.2.-Fluxul tehnologic în atelierul de fabricație a  
DPA 4,5,6;  
1-bare oțel și bare Al; 2-tăiere mecanică; 3-strungire;  
4-sudare prin frecare; 5-asamblare bimetal; 6-frezare și  
găurire; 7-sudare MIG; 8-tăiere cu oxigen; 9-table din  
oțel și tije din aliaj de Al; 10-asamblare generală;  
11-tetranzi din oțel; 12-produse finite .

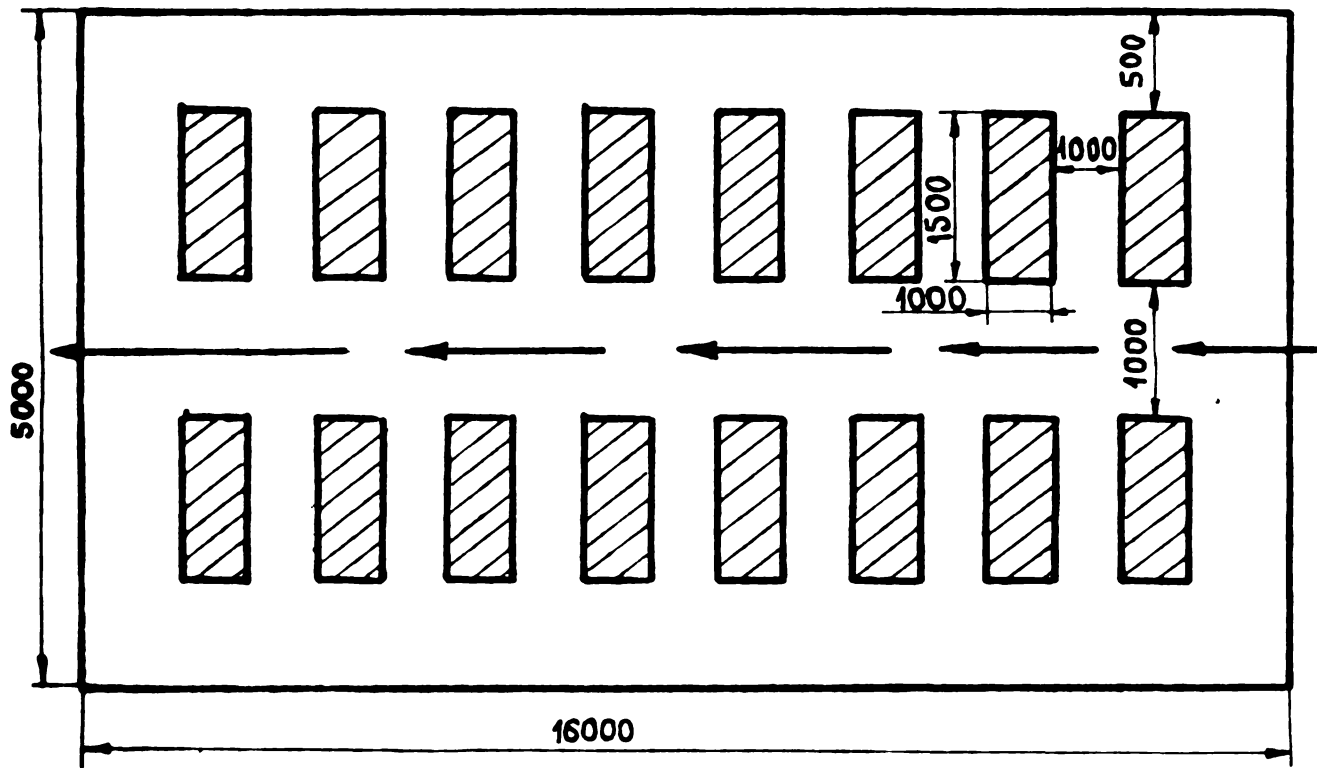


Fig.7.3.-Amplasarea fierăstraelor alternative în fluxul tehnologic al sectorului 2.

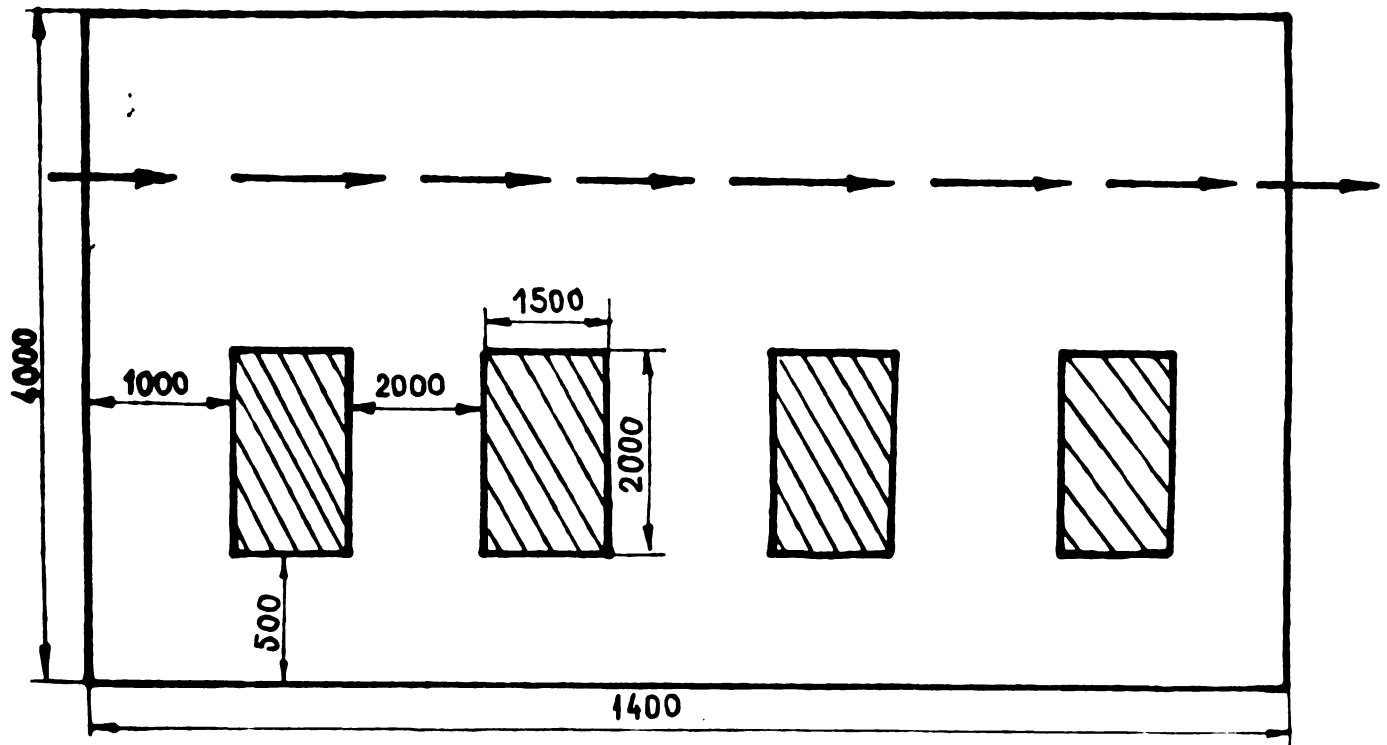


Fig.7.4.-Amplasarea strungurilor in fluxul tehnologic al sectorului 3.

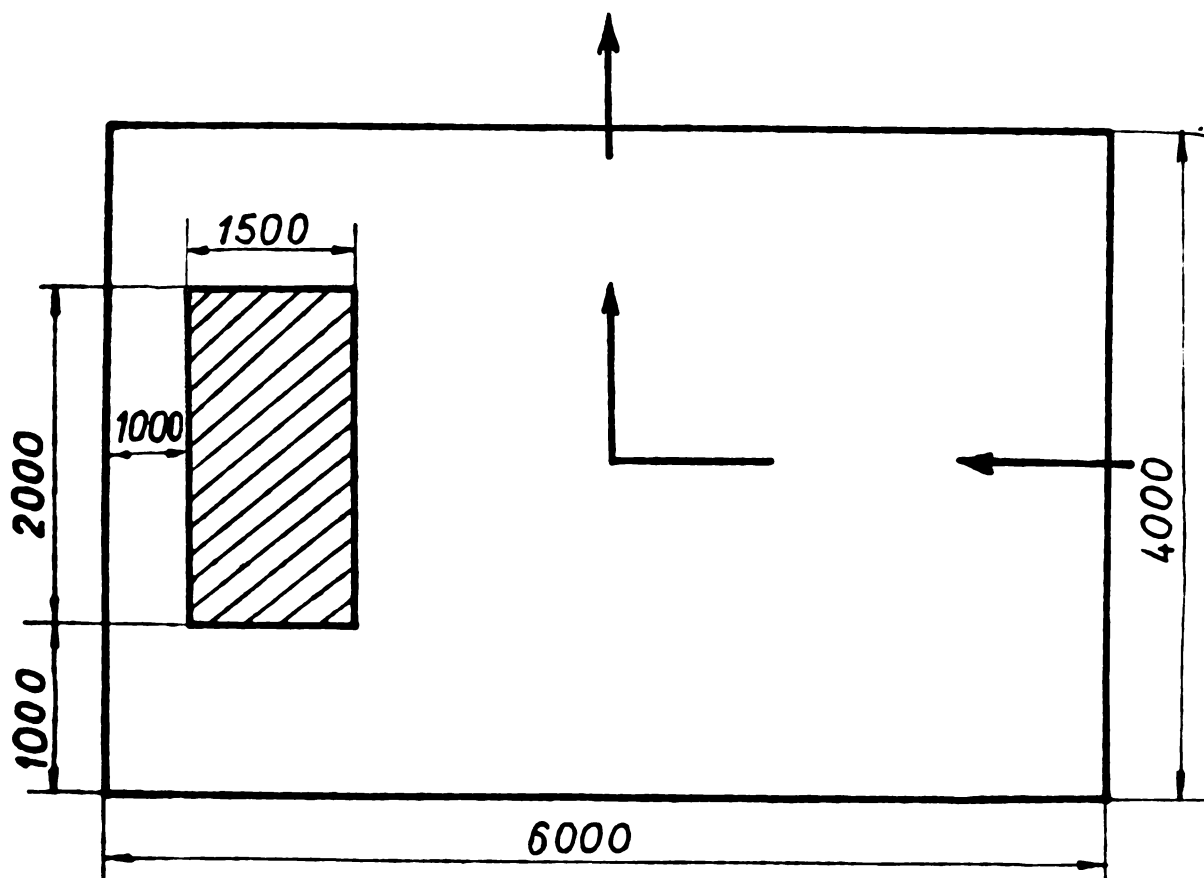


Fig.7.5.-Amplasarea mașinii de sudat prin frecare în fluxul tehnologic al sectorului 4.

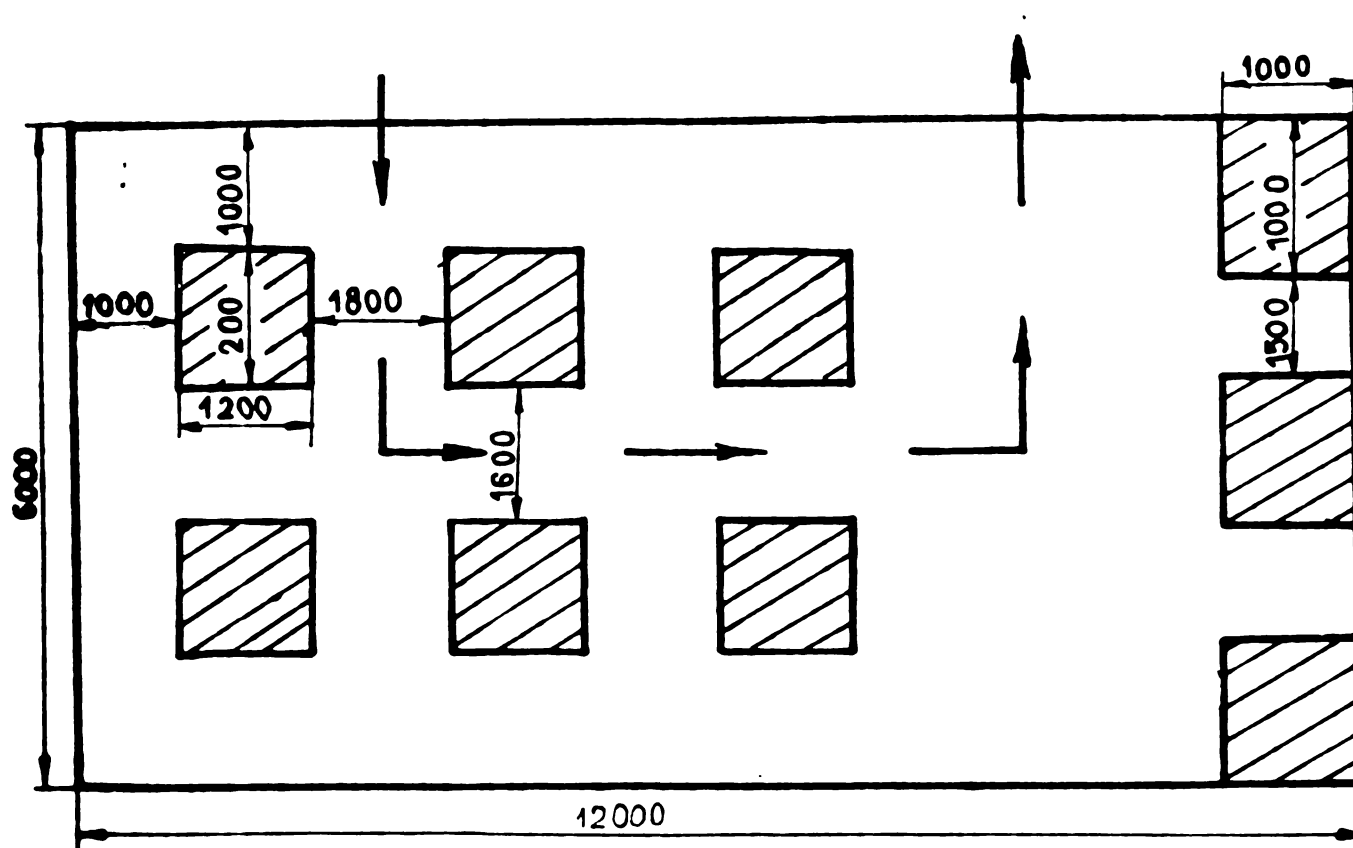


Fig.7.6.-Amplasarea frezelor și mașinilor de găurit în fluxul tehnologic al sectorului 6.

T A B E L A 7.1Programul de fabricație anual a structurilor sudate [82]

| Ansamble<br>sudate<br>(t) | T i p u r i de f a b r i c a ț i e |                  |            |                  |
|---------------------------|------------------------------------|------------------|------------|------------------|
|                           | serie mică                         | serie<br>pînă la | serie mare | m a s a<br>peste |
| sub 0,1                   | 2.000                              | 100.000          | 200.000    | 200.000          |
| 0,1...0,5                 | 500                                | 50.000           | 70.000     | 70.000           |
| 0,5...1,0                 | 300                                | 5.000            | 50.000     | 50.000           |
| 1,0...5,0                 | 200                                | 3.500            | 25.000     | 25.000           |
| 5,0...25,0                | 100                                | 2.000            | 10.000     | 10.000           |

-după gabarit, în ansamble normale și de gabarit mare;

-după greutate, în ansamble ușoare transportabile cu conveere și ansamble grele netransportabile cu conveere;

-după gradul de răspundere, în ansamble de mică răspundere (control periodic) și de mare răspundere, la care controlul integral al cusăturilor este strict necesar.

Potrivit acestor criterii, dispozitivele port-anod sînt ansamble sudate cu gabarit normal, transportabile în conveere de mare răspundere în procesul de fabricație electrochimică a Al. După procesul tehnologic operațiile predominante sînt cele de prelucrări mecanice în cadrul pregătirii pentru sudare și respectiv de sudare, utilizîndu-se în acest scop sudarea prin frecare, sudarea MIG și sudarea cu arc electric.

### 7.2.-Dimensionarea atelierului de fabricație a

#### DPA 4,5,6

Analiza comparativă a procesului tehnologic al DPA 4,5,6 arată că cel mai scurt ciclu de fabricație îl are DPA 6, care rezultă direct din sudarea prin frecare

TABELA 7.2

Stabilirea numărului și a suprafeței utilajelor utilizate în fabricația DPA 4,5,6 [135...139]

| Nr. crt.                           | Operații în flux și nr. piese/operație                                      | Norma de timp de operație | Total consum manoperă | Utilaje  |                     |                                      |
|------------------------------------|---|---------------------------|-----------------------|----------|---------------------|--------------------------------------|
|                                    |   |                           |                       | nr. buc. | tipul utilajului    | suprafața utilajului mm <sup>2</sup> |
| 1                                  | 2   | 3                         | 4                     | 5        | 6                   | 7                                    |
| <b>Tăiere mecanică:</b>            |   |                           |                       |          |                     |                                      |
|                                    | -pt. 48.000 bare de oțel OL37 de $\phi 60$ mm                               | 0,58                      | 27.840                |          |                     |                                      |
| 1.                                 | secțiune patrată cu latura 60 mm  | 0,16                      | 7.680                 |          |                     |                                      |
|                                    | -pt. 48.000 bare de oțel OL37 de $\phi 30$ mm                               | 0,52                      | 24.960                | 16       | FA300               | 1000 x 1500                          |
|                                    | -pt. 48.000 bare Al cu secțiunea patrată cu latura de 60 mm (a doua tăiere) | 0,16                      | <u>7.680</u>          |          |                     |                                      |
|                                    |   |                           | 68.160                |          |                     |                                      |
| <b>Tăiere manuală cu oxigen:</b>   |   |                           |                       |          |                     |                                      |
|                                    | -12000 plăci de oțel OL37 cu grosimea 10 mm                                 | 0,072                     | 518,4                 |          | Generator acetilena | 500x700                              |
| 2.                                 | OL37 cu grosimea 15 mm  | 0,079                     | 568,8                 | 1        | SG 500x700          |                                      |
|                                    | -12000 plăci de oțel OL37 cu grosimea 20 mm                                 | 0,088                     | 633,6                 |          | tub O <sub>2</sub>  |                                      |
|                                    | -12000 plăci de oțel OL37 cu grosimea 30 mm                                 | 0,104                     | <u>748,8</u>          |          |                     |                                      |
|                                    |   |                           | 2505,6                |          |                     |                                      |
| <b>Tăiere mecanizată cu oxigen</b> |   |                           |                       |          |                     |                                      |
|                                    | -12000 plăci de oțel OL37 cu grosimea 10 mm                                 | 0,034                     | 410,4                 |          | Insta-latie         | 3000x2000                            |
| 3.                                 | -12000 plăci de oțel OL37 cu grosimea 15 mm                                 | 0,038                     | 460,8                 | 1        | de tăiat auto-mat   |                                      |
|                                    | -12000 plăci de oțel OL37 cu grosimea 20 mm                                 | 0,042                     | 511,2                 |          |                     |                                      |
|                                    | -12000 plăci de oțel OL37 cu grosimea 30 mm                                 | 0,049                     | <u>597,6</u>          |          |                     |                                      |
|                                    |   |                           | 1980                  |          |                     |                                      |



T A B E L A 7.2 (continuare)

| 1  | 2  | 3           | 4                           | 5 | 6                          | 7              |
|----|--|-------------|-----------------------------|---|----------------------------|----------------|
| 4. | Găurire mecanică   |             |                             |   |                            |                |
|    | -4 găuri $\phi 62 \times 12000$<br>plăci oțel OL37<br>de 10 mm   | 0,13        | 1560                        |   | Mași-<br>na de             | 1000 x<br>1000 |
|    | -4 găuri $\phi 62 \times 12000$<br>plăci oțel OL37<br>de 15 mm   | 0,17        | 2040                        | 5 | gău-<br>rit<br>tip<br>G 13 |                |
|    | -4 găuri $\phi 62 \times 12000$<br>plăci oțel OL37<br>de 20 mm   | 0,20        | 2400                        |   |                            |                |
|    | -4 găuri $\phi 62 \times 12000$<br>plăci oțel OL37<br>de 30 mm   | <u>0,24</u> | <u>2880</u><br><u>8880</u>  |   |                            |                |
| 5. | Găurire prin tăiere cu<br>oxigen:  |             |                             |   |                            |                |
|    | -4 găuri $\phi 62 \times 12000$<br>plăci oțel OL37<br>10 mm  | 0,064       | 768                         |   |                            |                |
|    | -4 găuri $\phi 62 \times 12000$<br>plăci oțel OL37<br>15 mm  | 0,071       | 852                         |   |                            |                |
|    | -4 găuri $\phi 62 \times 12000$<br>plăci oțel OL 37<br>20 mm   | 0,080       | 960                         | 1 | SG                         | 500 x<br>700   |
|    | -4 găuri $\phi 62 \times 12000$<br>plăci oțel OL37<br>30 mm  | 0,093       | <u>1116</u><br><u>3696</u>  |   |                            |                |
| 6. | Pregătire pentru<br>sudare prin strungire:   |             |                             |   |                            |                |
|    | -conicitate suprafață<br>frontală 48000<br>bare OL37 $\phi 60 = 4$<br>-15 mm lungime la o<br>extremitate rotind<br>$\phi 60$ 48000 bare Al<br>(patrat 60) $L_t = 720$ ml | 0,05        | 2400                        |   |                            | 2000x<br>1500  |
|    | -130 mm lungime 48000<br>bare OL 37 de la<br>$\phi 60$ la $\phi 30$ $L_t = 6240$ ml  | 0,06        | 2880                        | 4 | SN<br>320-750              |                |
|    |  | 0,24        | <u>1520</u><br><u>16800</u> |   |                            |                |
| 7. | Pregătire pentru sudare<br>prin frezare:   |             |                             |   |                            |                |
|    | -90 mm lungime pe două<br>laturi pt. 48000 bare<br>Al de la 60 la 40<br>$L_t = 4320$ ml  | 0,033       | 15840                       |   |                            |                |
|    | -8x12 mm lungime pt.<br>48000 bare Al (frezare<br>pt. prindere în bacuri)<br>$L_t = 3840$ ml   | 0,10        | 4800                        | 6 | FUS                        | 1000x<br>1200  |

T A B E L A 7.2 (continuare)

| 1   | 2   | 3                                  | 4                    | 5 | 6  | 7              |
|-----|---|------------------------------------|----------------------|---|--|----------------|
| 7.  | -frezare plană 12000 bare bimetale suprafața de Al $S_r = 7,7 \times 10^5 \text{ mm}^2$ (rectificare) | 0,10<br>frezare<br>0,06<br>rectif. | 1920                 |   |  |                |
|     | -frezare plană 12000 plăci oțel OL37 150 x 150 $S_t = 27 \times 10^5 \text{ mm}^2$                    | 0,13<br>frezare<br>0,09<br>rectif. | 2640<br><u>25200</u> |   |  |                |
| 8.  | Sudare prin frecare<br>48000 bare OL37<br>48000 bare Al   | 0,05                               | 2400                 | 1 | ZTA10  | 750 x<br>2000  |
| 9.  | Asamblare și sudare cu electrod metalic<br>48000 bare bimetale +<br>12000 plăci oțel OL37             | 0,60                               | 28800                | 7 | Conver-<br>titor<br>sudare<br>CSC<br>tipCS5        | 2000 x<br>2000 |
| 10. | Sudare MIG pentru<br>12000 bare bimetale +<br>12000 tije Al   | 0,15                               | 1800                 | 1 | VERIO-<br>MIG<br>400-1<br>MESSER<br>GRIES-<br>HAIM | 3000 x<br>3000 |
| 11. | Montaj general pentru<br>12000 tije anodice +<br>12000 tetraozi                                       | 0,60                               | 7200                 | 1 | CSC<br>CS 5  | 2000 x<br>2000 |

a componentei din otel cu tija din aliaj de Al, aplicarea procedeelor de sudare MIG si cu arc electric nefiind necesară (figura 7.1).

Introducerea materialelor în fluxul de fabricație al DPA 4,5,6 se efectuează prin spațiile 1 (4 x 5 m), 9 (4x10 m) și 11 (4 x 10 m) (figura 7.2). Sectorul 2 de tăiere mecanică (5 x 16 m) este prevăzut cu 16 fierăstrae alternative

F.A.300 dispuse pe două rânduri de câte opt cu distanță între ele de 1 m, conform normativelor N.T.S. (figura 7.3).

Sectorul 3 strunguri (4 x 14 m) are patru strunguri S.N. 320-750 așezate pe un rând cu distanța între ele de 2 m, conform N.T.S. și în funcție de necesitățile producției (figura 7.4).

Sectorul 4 sudare prin frecare (4 x 6 m) cuprinde mașina de sudate M.S.F.40 (figura 7.5).

Sectorul 5 asamblare bimetal (6 x 8 m) este înzestrat cu surse de curent continuu tip CS 5 pentru sudarea cu electrod metalic. În vederea asigurării unei ventilații corespunzătoare se procedează astfel:

- în cazul aspirației locale se asigură un debit de aspirație de 70 L/S la 150 mm arc sau 280 L/S la 300 mm arc;
- în cazul în care aspirația gazelor se face cu dispozitive la care nu se poate deplasa gura de aspirație se va asigura un debit de 7-11 m<sup>3</sup>/min și post de sudare, iar în cazul ventilației generale 56 m<sup>3</sup>/min și post de sudare.

Sectorul 6 frezare și găurire (6 x 12 m) este dimensionat în funcție de dimensiunile utilajelor, normele N.T.S. și de necesități tehnologice. Are șase freze F.U.S. și trei mașini de găurit G 13 (figura 7.6).

Sectorul 7 sudare MIG (6 x 10 m) a fost dimensionat pentru instalatia VARIOMIG 400-1 Messer Griesheim. Supradimensionarea sectorului s-a făcut datorită normelor N.T.S., a spațiilor adiacente pentru transport, a spațiilor pentru depozitarea subansamblelor în vederea răcirii, sudarea făcându-se în straturi multiple. Ventilatia se face prin sistemul de la sectorul 5, cu care se învecinează (figura 7.2).

Sectorul 8 tăiere cu oxigen (4 x 10 m) este dotat cu utilaj pentru tăierea manuală și mecanizată a tablelor din oțel, masina automată de tăiere termică cu brat articulată **MATT-A**.

Masina **MATT-A** este echipată cu un arzător **ATOG-A** de tip "joasă presiune" destinat tăierii cu oxigen pe mașini automate a tablelor din oțel cu grosimi 3...300 mm și conținut de carbon sub 0,25%, admitând debitul de oxigen pînă la 3  $\text{daN m}^3/\text{h}$  la respectiv 1  $\text{N m}^3/\text{h}$  și 0,2 bar, pentru acetilenă. Generatorul de acetilenă și tuburile de oxigen se găsesc în spații special amenajate, conform N.T.S.

Sectorul 10 asamblare generală dispozitiv port-anod (6x10 m) este prevăzut cu surse de sudare **CS-5** și se racordează la sistemul de ventilație al sectoarelor 5 și 7.

Dimensionarea atelierului de fabricație a dispozitivului port-anod s-a făcut în funcție de suprafața utilajelor, de necesitatea unor spații pentru personal, transport și depozitarea subansamblelor. Transportul se asigură cu carucioare metalice pe loturi de subansamble.

## 8. CONSIDERAȚII FINALE SI CONTRIBUTII ORIGINALE

Teza de doctorat cuprinde rezultatul studiilor și cercetărilor întreprinse de autor în domeniul aplicării industriale a sudării în metalurgia Al. Studiile și cercetările efectuate constau în optimizarea concepției și execuției dispozitivului port-anod, particularizându-se la sudarea îmbinărilor Oțel-Al. Partea experimentală s-a desfășurat în perioada 1979-1982 pe baza a cinci contracte de cercetare științifică [126,127,128], în valoare totală de 1.550.000 lei, din care 1.050.000 lei s-au folosit în cadrul programului de experimentări pentru aplicarea sudării prin frecare în metalurgia Al.

În baza lucrării elaborate se pot preciza următoarele considerațiuni finale și concluzii în ce privesc contribuțiile originale ale autorului.

### 8.1. Considerațiuni finale

Din analiza problemelor studiate și încercate în cadrul lucrării elaborate au rezultat următoarele considerațiuni finale:

8.1.1. Studiile și cercetările care fac obiectul prezentei teze au scos în evidență posibilitatea și oportunitatea aplicării procedurii de sudare prin frecare în metalurgia Al, obținându-se stabilitatea procesului de sudare a îmbinărilor Oțel-Al, productivitate și consum energetic minim.

8.1.2. Modificările constructive ale dispozitivului port-anod sudat prin frecare, care s-au efectuat față de dispozitivul port-anod sudat prin explozie, nu au creat dificultăți privind debitarea și prelucrările mecanice ale semifabricatelor utilizate.

8.1.3. Controlul nedistructiv cu radiații penetrante al tijei anodice și componentei din Al a îmbinărilor bimetal a pus în evidență defecte specifice pieselor turnate, în special goluri (5.1.5).

8.1.4. Cercetările efectuate pentru determinarea distribuției defectelor în cusătura Oțel-Al sudată prin frecare au arătat, prin examinare cu lichide penetrante, o creștere a numărului și mărimii defectelor dinspre suprafață către axa îmbinării sudate (figura 5.7).

8.1.5. Realizarea unei mașini specializate pentru sudarea directă a tetrapodului din oțel de tija din aliaj de Al este necesară, în vederea trecerii la fabricația de serie a dispozitivului port-anod sudat prin frecare. Conform discuțiilor preliminare, ISIM Timișoara se angajează să proiecteze o asemenea mașină. Parametrii principali ai mașinii de sudat prin frecare propuse, se prezintă în tabela 8.1.

8.1.6. Organizarea fabricației centralizate a dispozitivului port-anod, cu dotări corespunzătoare de scule, dispozitive și mașini pentru prelucrări mecanice ( tabela 7.2), devine necesară odată cu introducerea în producție a mașinii de sudat prin frecare specializate.

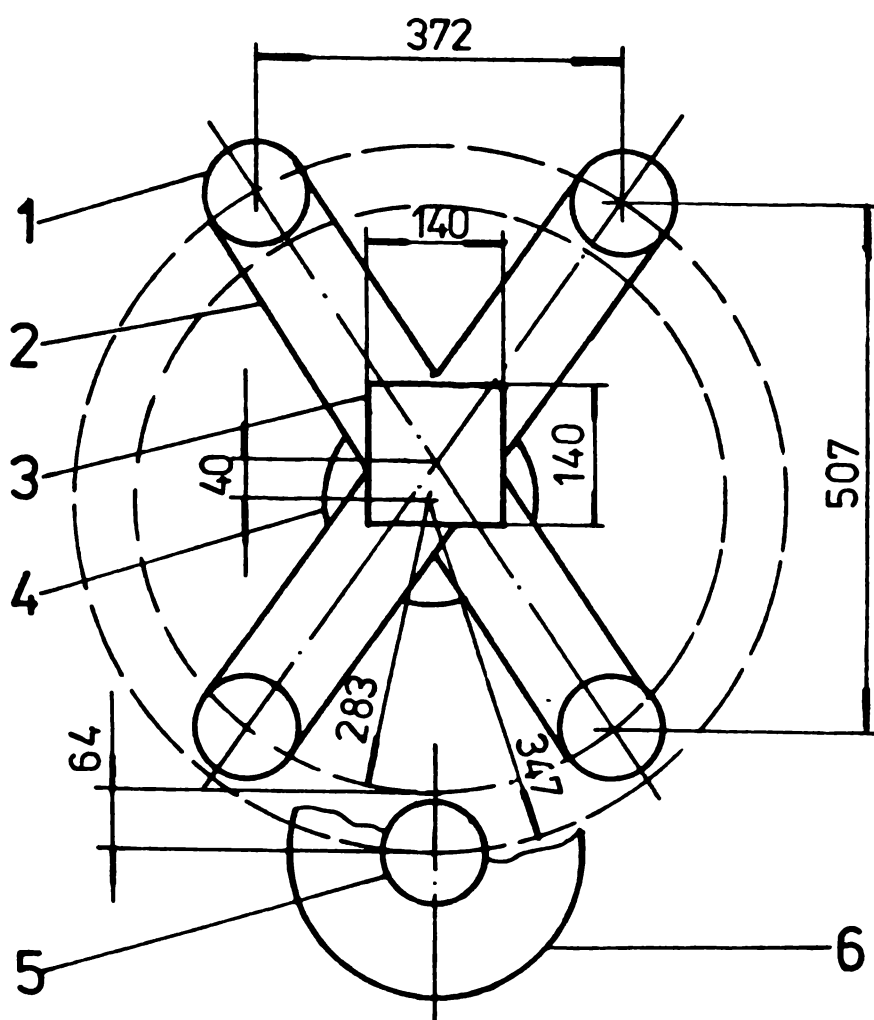


Fig.8.1. Poziția dispozitivului port-anod pe mașina de sudat prin frecare: 1) terminație din Al; 2) ramificație; 3) coloana tijei din Al; 4) dispozitiv de poziționare; 5) componentă din oțel; 6) mandrină hidraulică.

8.1.7. Cercetările întreprinse în prezenta teză se pot extinde la partea catodică a circuitului electric al cuvei. În acest scop se pot stabili soluții privind aplicarea sudării prin frecare pentru înlocuirea plăcii Oțel-Al sudată prin explozie, cu care se îmbină, în prezent, benzile din Al cu tija catodică din oțel (3,4 figura 1.2).

8.1.8. Introducerea pe scară largă în producție a dispozitivului port-anod sudat prin frecare poate aduce importante economii valutare, prin diminuarea importului de plăci bimetale sudate prin explozie (1.2).

Economiile se pot estima la un total de cca. 6...10 milioane lei valută/an.

## 8.2. Contribuții originale

În capitolele 2-3 ale lucrării, care cuprind problemele privind sudarea dispozitivului port-anod, precum și în capitolele 5-6, care conțin date despre controlul calității și încercările electrice ale îmbinărilor Oțel-Al, sînt prezentate o serie de rezultate originale care constituie revendicări tehnico-științifice ale autorului. Dintre acestea se evidențiază:

8.2.1. - Optimizarea tehnologiei de sudare în mediu de gaz protector a dispozitivului port-anod utilizat în metalurgia Al, cu scopul creșterii siguranței în funcționare și a duratei de exploatare (3.2, 3.3.2, 5.2.1).

8.2.2. Concepția, proiectarea și construirea unui dispozitiv port-anod sudat prin frecare, care se obține fără îmbinări sudate Al-Al și Oțel-Oțel comparativ cu dispozitivul port-anod utilizat în prezent. Această realizare formează obiectul unui brevet de invenție [10].

8.2.3. - Optimizarea alegerii materialului pentru îmbinarea Oțel-ATSi5Fe sudată prin frecare. S-au experimentat șapte mărci de oțeluri: OL37, OL42, OL52, OLC15, 25MoCr11, 33MoCr11, 30MoCrNi20. Cercetările au demonstrat că îmbinarea sudată OL37-ATSi5Fe dă rezultatele cele mai bune (2.1, 5.1.1).

8.2.4. Concepția, proiectarea și realizarea unor dispozitive pentru sudarea îmbinărilor Al-Al cu răcirea sudurilor prin frecare în timpul sudării MIG și electrice a dispozitivului port-anod (figurile 3.8, 3.14, 4.2, 4.3).



T A B E L A 8.1

Caracteristici tehnice ale mașinii specializate de sudare prin frecare a dispozitivului port-anod.

| Nr. crt. | Denumirea caracteristicii  | U/M                                | Valoare   |
|----------|--|------------------------------------|---|
| 1        | 2  | 3                                  | 4   |
| 1.       | Secțiunea maximă a componentelor de sudat (OL37 -ATSi5Fe)  | mm <sup>2</sup>                    | 6500  |
| 2.       | Lungimea maximă a componentelor<br>- în mandrină hidraulică<br>- în menghină hidraulică, cu sprijin suplimentar  | mm                                 | 300<br>3000   |
| 3.       | Turația componentei în mișcare de rotație  | $\frac{\text{rot}}{\text{min}}$    | 700<br>1450   |
| 4.       | Forța de frecare maximă  | kN                                 | 300   |
| 5.       | Forța de refulare maximă   |                                    | 450   |
| 6.       | Timpul de frecare  | sec                                | 10...40   |
| 7.       | Timpul de refulare   |                                    | 3...10  |
| 8.       | Cursa maximă a saniei  | mm                                 | 500   |
| 9.       | Dispozitiv de rotire a tijei anodice pentru poziționarea ramificațiilor din Al în dreptul componentei din oțel; distanța între axa de rotație a dispozitivului și axa mandrinei (figura 8.1): - distanța minimă<br>- distanța maximă |                                    | 283<br>347  |
| 10.      | Tensiunea de alimentare  | V                                  | 3 x 380   |
| 11.      | Puterea motorului de antrenare   | kW                                 | 50  |
| 12.      | Productivitatea mașinii la secțiunea maximă a componentelor de sudat   | $\frac{\text{suduri}}{\text{oră}}$ | 24  |
| 13.      | Dimensiuni de gabarit<br>- partea mecanică<br>- panoul hidraulic<br>- dulapul electric de comandă  | mm                                 | 4000 x 2300<br>x 2000<br>1300 x 1400<br>x 1800<br>700 x 500<br>x 1300 |

8.2.5. Elaborarea unor criterii de apreciere a calității componentelor din Al pentru admiterea sau respingerea lor de la sudarea prin frecare a dispozitivului port-anod, pe baza controlului radiografic (tabela 5.11).

8.2.6. Cercetându-se corelația dintre temperatura de exploatare și rezistența la rupere a îmbinărilor Oțel-Al sudate prin frecare, rezultă că intervalul critic s-a obținut pentru un plafon de 1000 ore de funcționare, ceea ce corespunde cu 1,48 cicluri de utilizare în cuvele de electro-liză(5.1.3).

8.2.7. Prin cercetarea microstructurală a îmbinărilor bimetal sudate prin frecare se stabilește că zona influențată termic a componentei din Al este 15...20 mm. Nu se constată prezența unor constituienți fragilizați în îmbinarea Oțel-Al, (figura 5.15...5.18).

8.2.8. Prin concepția constructivă și tehnologia de execuția utilizată, pierderile de energie electrică pe îmbinările Oțel-Al sudate prin frecare reprezintă numai 19% din pierderile existente pe îmbinarea bimetal a dispozitivului port-anod sudat prin explozie, (tabela 6.16).

NOTATII FOLOSITE IN TEXT

- A<sub>5</sub> - alungirea la rupere
- a<sub>p</sub> - coeficient care estimează stabilitatea temperaturii
- C - căldura specifică
- d<sub>n</sub> - diametru nominal
- E - modul de elasticitate
- I<sub>a</sub> - intensitatea curentului anodic
- I<sub>n</sub> - intensitatea curentului nominal
- j - densitatea de curent
- KCU - reziliență
- L - lungimea conductorului
- LL - limita superioară a temperaturii de lucru
- MB - metal de bază
- m - masa conductorului  
- media populației originare
- n - turația motorului  
- numărul valorilor determinate experimental
- P - puterea electrică
- p<sub>f</sub> - presiunea de frecare
- p<sub>r</sub> - presiunea de refulare
- R - rezistența electrică
- R<sub>m</sub> - rezistența la rupere la tracțiune
- R<sub>p</sub> - limita de curgere a materialului
- R<sub>r</sub> - rezistența tehnică de durată
- R<sub>xy</sub> - coeficientul corelației simple de sondaj
- S - secțiunea îmbinării  
- abaterea medie pătratică
- S<sub>r</sub> - suprafața de răcire
- T - constanta de timp a încălzirii
- t - timpul în S, min, h
- t<sub>c</sub> - valoarea de sondaj a testului Student
- t<sub>f</sub> - timp de frecare
- t<sub>r</sub> - timp de refulare
- t<sub>t</sub> - valoarea teoretică a testului student
- U - tensiunea
- UL - limita inferioară a temperaturii de lucru
- V<sub>r</sub> - viteza relativă
- W - valoarea calculată a testului SW
- W<sub>n</sub> - valoarea critică a testului

- w - energie
- $X_f$  - valoarea cea mai frecventă a mărimii măsurate
- $\bar{X}$  - media de sondaj
- ZIT - zona influențată termic
- $\alpha$  - coeficient unghiular al curbei de încălzire
- nivelul de încredere al calculului statistic
- $\alpha_r$  - coeficient de transmitere a căldurii
- $\delta$  - grosimea materialului
- $\epsilon$  - deformația specifică
- $\emptyset$  - diametru
- $\rho$  - densitatea materialului
- rezistivitate
- $\rho_{xy}$  - coeficientul de corelație în populația originală
- $\sigma$  - tensiunea de încovoiere efectivă
- $\sigma_i$  - tensiunea de încovoiere cumulată
- $T$  - temperatura
- $T_{med}$  - temperatura mediului ambiant
- $\sigma'$  - viteza de creștere a temperaturii
- $\Delta l_a$  - scurtarea axială
- $\theta$  - încălzirea conductorului electric
- $\theta'$  - viteza de încălzire

PRESCURTARI FOLOSITE IN TEXT

- Al - aliaj cu bază de aluminiu ATSi5Fe
- MIG- sudare cu arc electric în mediu de gaz inert, cu electrod fuzibil
- Oțel-Al - îmbinare sudată cu componentele OL37-ATSi5Fe.

B I B L I O G R A F I E

- Directivile Congresului al XII-lea al Partidului Comunist Român cu privire la dezvoltarea economico-socială a României în cincinalul 1981-1985 și orientările de perspectivă până în 1990, București, Editura Politică, 1979
- Programul P.C.R. de făurire a societății socialiste multilaterale dezvoltate și înaintare a României spre comunism, București, Editura Politică, 1975
- Programul directivă de cercetare științifică, dezvoltare tehnologică și de introducere a progresului tehnic în perioada 1981-1990 și direcțiile principale până în anul 2000, Editura Politică, 1979
- Ceaușescu Nicolae, Raport la cel de al XII-lea Congres al Partidului Comunist Român, București, Editura Politică, 1979
- Ceaușescu Nicolae, Expunere la Congresul Consiliilor oamenilor muncii din industrie, construcții și transporturi, București, Editura Politică, iunie, 1977
- Ceaușescu Nicolae, Cuvîntare la consfătuirea cu cadrele de conducere din industrie, construcții, transporturi și agricultură, București, Editura Politică, martie 1979
- Ceaușescu Nicolae, Cuvîntare la Plenara comună a CC al PCR și Consiliului suprem al dezvoltării economice și sociale a României, București, Editura Politică, iulie 1979
  
- 1.-Antonescu, I., Boarnă, C., Doboșan, C., Stoianovici, P., **Sudarea prin presiune**, Editura Tehnică, București, 1969
- 2.-Anțilă, V., **Posibilități, probleme actuale și perspective în controlul nedistructiv cu radiații penetrante**, A VI-a sesiune de comunicări tehnico-științifice, Meșița 1971
- 3.-Anțilă, V., **Tendințe actuale în dezvoltarea controlului nedistructiv aplicat la structuri sudate**, Sesiunea de lucrări tehnico-științifice, Sibiu, 1972

- 4.-Anțilă, V., Probleme actuale în domeniul dotării unităților nucleare cu surse de radiații penetrante, Consfătuirea tehnico-științifică cu tema "Aplicarea procedeelor eficiente de sudare în construcția de nave", Constanța, 18-20 octombrie 1973
- 5.-Anțilă, V., Procede de sudare a aluminiului și a aliajelor sale, Referat în cadrul pregătirii de doctorand, 1977
- 6.-Anțilă, V., Defectele îmbinărilor sudate din aluminiu, Referat în cadrul pregătirii de doctorand, 1978
- 7.-Anțilă, V., Sensibilitatea imaginii radiografice, Referat în cadrul pregătirii de doctorand, 1978
- 8.-Anțilă, V., Efectul încastrării barelor asupra rezistenței îmbinărilor bimetal, Sesiunea de comunicări științifice, I.S.R., 1982
- 9.-Anțilă, V., Brici, I., Frecvența apariției defectelor în îmbinări sudate, Sesiunea Națională a Cercurilor științifice studențești, Baia Mare, 1975
- 10.-Anțilă V., Economu, V., Negoitescu, S., Procede de sudare a tije anodice, Brevet de invenție nr.70000 - 1982
- 11.-Anțilă, V., Iorga, S., Contribuții la cercetarea metalografică a îmbinărilor aluminiu-oțel sudate prin frecare, Buletin științific studențesc, București, 1980
- 12.-Anțilă, V., Negoitescu, St., Controlul calității îmbinărilor și ansamblelor sudate pentru echipamente metalurgice, Consfătuirea tehnico-științifică cu tema "Probleme de sudură la construcția echipamentelor metalurgice, Resița, 18 octombrie, 1974
- 13.-Anțilă, V., Negoitescu St., Controlul sudurilor și construcțiilor sudate, Curs Lito IPTVTimișoara, 1978
- 14.-Anțilă, V., Organizarea controlului defectoscopic nedistructiv la fabricarea structurilor sudate, Sesiunea de comunicări tehnico-științifice, Întreprinderea Independența Sibiu, 16 mai, 1973
- 15.A., Anțilă V., și alții, Optimizarea tehnologiei de sudare a îmbinării dintre placa bimetal sudată prin explozie și tija anodică, Protocol contract de cercetare științifică, beneficiar Întreprinderea de Aluminiu, Jlatina, nr.335  
16.06.1979

- 15.-**Antila, V., și alții, Sudarea și controlul îmbinărilor Al-Al în construcții de nave, Protocol contract de cercetare științifică, beneficiar Șantierul Naval Drobeta Turnu Severin**
- 16.-**Antilă, V., și alții, Cercetări privind aplicarea sudării prin frecare la îmbinările bimetale de tip Al-Fe pentru dispozitivul port-anod, Protocol**
- 17.-**Antilă, V., și alții, Extinderea procedurii de sudare prin frecare a tijelor cu dispozitivul de prindere a anozilor aluminiu-fier, Protocol contract de cercetare științifică beneficiar Întreprinderea de Aluminiu, Slatina, nr.144 8.08.1981**
- 18.-**Antilă, V., în colectiv, Tehnologia sudării cu flacăra de gaze și procedee conexe, IPTVTimișoara, 1980**
- 19.-**Araky, I., Skinada, K., Quality assurance on the friction welding processes, Dvs Berichte 28, Annual assembly, 1973**
- 20.-**Astrop, A.W., Thompson, Double ended friction welder for axle cases, In Machinery and production Engineering, 17.12.1969**
- 21.-**Behramann H., Glockenturm aus aluminium, Aluminium, 43, 1967, 113, 179-185**
- 22.-**Boarnă, C., Dehelean, D., Arjoca, I., Procedee neconvenționale de sudare, Editura Facla, Timișoara, 1980**
- 23.-**Bogoevici, N., Electrotehnică și măsurări electrice, Editura didactică și pedagogică, București, 1979**
- 24.-**Breazu, M., Streza, I., Variante moderne de sudare MIG și MAG, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, vol.12, 1972**
- 25.-**Calderale, P.M., Sinteza cercetărilor asupra sudării prin frecare, Revista Italiana della saldatura, nr.5, 1970**
- 26.-**Chalvet, M., Le soudage par friction, In Ingeieurs et techniciens, nr.237, 1969**
- 27.-**Ciocîrdia, C., Ungureanu, I., Bazele cercetării experimentale în tehnologia construcțiilor de mașini, Editura didactică și pedagogică, București, 1979**
- 28.-**Ciucu, G., ș.a., Statistica matematică și cercetări operaționale, Editura didactică și pedagogică, București, 1974**



- 29.-Claydon, D.E.W., Chrustie, C.A.J., Galliers, J.R.,  
Masinelle MIG - Senkrechtschiessen von Aluminium,  
Aluminium 43, 1967
- 30.-Constantinescu, I., Golumbanici, D., Militaru, C., Prelu-  
crarea datelor experimentale cu calculatoare numerice,  
Editura Tehnică, București, 1980
- 31.-Cozma, I., Realizări și aplicații ale sudării în mediu de  
gaze protectoare la Uzina UPRUC Răgăraș, CNIT, MCI, Cursuri  
de perfecționare în domeniul sudării, vol.12, 1972
- 32.-Cranfield, J., Newpipe welding technique could save time and  
money, In Oil gaz international, vol.10, nr.2, 1970
- 33.-Daus, J., Teilautomatische MIG-Impuls - Schweißelange  
ZIS - Informationsblatt M496-72-Halle
- 34.-Drews, P., Meyer, B., Schidt, J., Development and applica-  
tion of a computer system for friction welding, Doc.IIS-IIW  
III-581-78
- 35.-Duffin, F., Bahrani, S.S., Advances in welding processe,  
The Welding Institute, England, 1974
- 36.-Echim, I., Rezultate obținute la sudarea aluminiului în  
mediu protector de argon, Comunicările celei de a V-a  
conferințe de sudură, Timișoara, 1965
- 37.-Ellis, C.R.G., Needham, J.C., Quality control in friction  
welding, Doc IIS-IIW, III, 460-72
- 38.-Ellis, C.G., Friction welding at BWRA, IIS-Varșovia, 1968
- 39.-Endter, H., Fachkunder für Schweisser, Bd.I.12, Auf Berlin VEB  
Verlag Technik, 1975
- 40.-Friedrich, K., Nimz, H., MIG - Kehlnaht schweissen an Al  
Legierungen in "S" Position, ZIS Informationsblatt M 526  
73, Halle
- 41.-Galan, P., Entwicklung und Stand des Reibschweissens, in  
Schweisstechnik, Heft 6, 1970
- 42.-Galle, K.V., Friction welding, simple, clean and accurate  
in The engineer, 20.11.1969
- 43.-Ganowski, F.N., Practical consideration for friction  
welding, Welding Engineer, 5, 1973
- 44.-Ghizdavu, V., Construcția mașinilor de sudat prin frecare,  
Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, CNIT, MICM  
vol.12, 1972

- 45.-Ghizdavu, V., Sudarea prin frecare a unor metale, Buletinul Academiei Militare Generale, nr.4, 1964
- 46.-Ghizdavu, V., Unele rezultate obținute la sudarea prin frecare, Comunicările celei de a V-a conferințe de sudură și încercări de metale, Timișoara, 1965
- 47.-Gilde, W., colectiv, Erhöhung der Dauerfestigkeit von stark gerosteten Blechen durch Plastüberzüge und Einsatzmöglichkeiten von Plastsehaum, Schweisstechnik, 14, nr.6, 1964
- 48.-Gîdea, S., Protopopescu, M., Aliaje neferoase, Editura Tehnică, București, 1965
- 49.-Haug, A., Freitragender geschweisster Grossraumkeaselswagen aus Aluminium für chemische Ladegüter, Schweissen, 19, 1967, Heft 9, S420-S423
- 50.-Iakusina, M.G., Compararea cîtorva metode de apreciere a rezistenței tehnologice a aliajelor din aluminiu la sudare, Sudura, nr.8, 1962
- 51.-Iliescu, D.V., Vodă, V.Gh., Statistică și toleranțe, Editura Tehnică, București, 1977
- 52.-Isnas, C., ș.a., Cercetări experimentale privind existența efectului Sommerfeld la rectificare, Buletinul Institutului politehnic, București, tom 30, nr.1., 1976
- 53.-Ivancenco, Al., Considerații cu privire la unele tendințe noi în proiectarea ansamblurilor sudate, Construcția de mașini, 20, 1968, nr.9
- 54.-Kiesche, M., Einstellwerte für das MIG Impulsschweissen von Al 99,5, ZIS, Informationsblatt M 415-69, Halle
- 55.-Kleacikin, Ia.L., Sudarea metalelor și aliajelor neferoase, Editura Tehnică, București, 1966
- 56.-Kolker, I.D., Matematiseski analiz tocinostii mehanicescoi abrabotki detalei, Izdatelistva Tehnica, 1976
- 57.-Kunis, M.I., Korabler, A.I., Instalație pentru sudarea prin frecare construita dintr-un strung, Traducere din limba rusă, Sudura, nr.12, 1958
- 58.-Lucas, W., Effect of friction pressure, forge pressure and weld time on joint strength and microstructure of mild steel friction welds, Metal construction on British Welding Journal 8, 1975
- 59.-Mandaus, I., Voboril, I., Svaroveni trenim, Strojirenska vyroba, 9, nr.1, 1959

- 60.-Mantel, W., Die MIG schweissung von Aluminium legierungen, Rev.Aluminium, RFG, nr.9, 1964
- 61.-Mantel, W., Metalurgische probleme des schweissen von aluminium und seinem legierungen, Rev.Aluminium, RFG, nr.3, 1969
- 62.-Matting, A., Des Schweissen der leichmetalle und seine Randgebiete, Düsseldorf. Deutscher Verlag, für schweiss technik (DVS) GmbH, 1959
- 63.-Mihoc, Gh., Urseanu, V., Sondaje și estimatii statistice, Editura Tehnică, București, 1977
- 64.-Mikloși, C., Sudarea metalelor, Editura Tehnică, București, 1965
- 65.-Moineagu, C., s.a., Statistica, Editura științifică și enciclopedică, București, 1976
- 66.-Müller, W., MIG, Schweissen mit impuls moduliertem Gleichstrom, Schweisstechnik, 8, 1969
- 67.-Năcolăscu, A., Cauță, T., Procedee moderne de sudare și metalizare, CDPT al MIM, București, 1972
- 68.-Niculescu, T.D., Preda, I., Construcții metalice din aluminiu Editura Tehnică, București, 1966
- 69.-Nikolaev, G.A., Svarka V, Masinostroenie, vol.1, Moscva, 1978
- 70.-Okerblom, N.O., Constructivo - tehnologhicescoe proiectirovaniie svarnîh constructii, Moscva, Ed.Masinostroenie, 1964
- 71.-Okerblom, N.O.,Necotorie sobrojenica o perspektivah razvitia svarnîh constructii. Avtomaticescaia svarka, nr.4, 1965
- 72.-Oliver, H.P.H., Ziemann, G.G., Bauten mit aluminium auf der Expo 1967 in Montreal, Aluminium 43 (1967), H.2, S.131,132
- 73.-Paton, B.E., Tehnologia svarki metalov i splavov plavleniem Ed.Maşinostroenie, Moscva, 1975
- 74.-Paton, B.E., Tehnologia elektroceskoi svarki plavleniem, Maşghiz, Moscva, 1973
- 75.-Pliva, L., Tehnicky stav a hospodarsky význam svarovani trenim, Zvaranie XVIII, nr.7, 1969
- 76.-Pop, G., Sudarea cu arc electric în mediu de argon a pieselor din Al și din aliajele sale, IDT, București, 1962
- 77.-Popovici, Vl., s.a., Lucrări de laborator la Tehnologia sudării electrice, LITO IPT. 1967

- 78.-Popovici, Vl., Tendințe noi în construcția surmelor și utilajelor pentru sudare electrică, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, vol.I, 1970
- 79.-Popovici, Vl., Tendințe noi în construcția utilajelor de sudare sub strat de flux, mediu de gaze protectoare și în baie de zgură, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, vol.I, 1970
- 80.-Popovici, Vl., Sudarea în mediu de gaze protectoare, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, vol.5, 1971
- 81.-Popovici Vl., Scheme de organizare și tendințe noi în construcția secțiilor de structuri sudate, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, vol.11, 1971
- 82.-Popovici, Vl., Organizarea și dotarea fabricilor și secțiilor de structuri sudate, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, vol.11, 1971
- 83.-Popovici, Vl., Procedee moderne de sudare, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, București, vol.12, 1972
- 84.-Popovici, Vl., Anțilă, V., Tehnici de control a calității ansamblurilor sudate pentru echipamente metalurgice, Resita; 1978
- 85.-Popovici, Vl., Ivancenco, Al., Utilajele sudării electrice, EDP, București, 1968
- 86.-Popovici, Vl., Negoitescu, St., Popovici, C., Considerațiuni privind sursele de sudare în mediu de gaze protectoare, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, vol. 5, 1971
- 87.-Popovici, Vl., Sălăgean, Tr., Automatizarea proceselor tehnologice ale sudării, EDP București, 1965
- 88.-Popovici, Vl., Sălăgean, T., Negoitescu, Str., Mecanizarea și automatizarea proceselor de sudare, IPTVT, Timișoara, 1975
- 89.-Primke, K., Fachkunde für Schweisser, Band 3 Aluminium schweissen, VEB Verlag Technik, Berlin, 1976
- 90.-Razdui, F.I., Sitalov, V.P., Spособ съединения алюминия со сталью, Svarocinoe proizvodstvo, nr.7, 1962

- 91.-**Rikalin, N.N.**, Rascioti luvlevi protosov pri svarke, Mashiz, Moscva, 1973
- 92.-**Rumsiski, L.Z.**, Prelucrarea matematica a datelor experimentale, Editura Tehnică, Bucuresti, 1974
- 93.-**Sălăgean, T.**, Fenomene fizice si metalurgice la sudarea oțelurilor cu arcul electric, Editura Academiei RSR, Bucuresti, 1963
- 94.-**Sălăgean, T.**, Energia liniară si secțiunea cusăturii ca factori ce controleaza procesele termice la sudarea cu arc electric, Studii si cercetari metalurgice, nr.2, Bucuresti, 1973
- 95.-**Sălăgean, T.**, Tehnologie sudării cuprului, nichelului, metalelor active si refractare, Editura ODPT, 2, 1974
- 96.-**Sălăgean, T.**, Sudarea cu arcul electric, Editura Facla, Timisoara, 1977
- 97.-**Schaefer, R.**, Reibschweissen von Kunststoffen, Schweißen und Schneiden, 22, Heft 2, 1970
- 98.-**Schaefer, R.**, Reinschweissen von Metallen, Industrienzeiger 89, Heft 10, 1967
- 99.-**Scorobetiu, L.**, Sudarea electrică în mediu de protecție cu amestec de gaze, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, vol.12, 1972
- 100.-**Seferian, D.**, Metalurgia sudării, Centrul de documentare si publicații tehnice al industriei metalurgice, Bucuresti, 1971
- 101.-**Seregi, C.**, Neure Beispiele aus dem Metall Ingenieurbau in Ungarn, Aluminium 43, 167, Heft 5, 5300
- 102.-**Sontea, S.**, Cercetarea factorilor metalurgici si tehnologici care influentează sudarea unor aliaje de aluminiu de înaltă rezistență de tip AlZnMg, Teză de doctorat, 1969
- 103.-**Sontea, S.**, Electrozi pentru sudarea aluminiului si cuprului, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, 1973
- 104.-**Sontea, S.**, Probleme tehnologice la sudarea oțelurilor, metalelor si aliajelor neferoase în argon, CNIT, MEI, Cursuri de perfecționare în domeniul sudării, vol.5, 1971
- 105.-**Sontea, S.**, Studiul sudabilității țevilor din aliaje de Al de tipul AlMg5, Centrul de cercetari al Intreprinderii Electroputere Craiova, 1968

- 106.-Taylor, E., s.a., Friction welding of SAP, Welding and metal fabrication, 11, 1962
- 107.-Tiron, M., Prelucrarea statistica si informationala a datelor de masurare, Bucuresti, Editura tehnica, 1977
- 108.-Tirziu, V., Utilajul si tehnologia sudarii prin frecare, CNIT, MEI, Cursuri de perfectionare in domeniul sudarii, vol.12, 1972
- 109.-Tkacev, V.N., s.a., Svarka v uglekistom gaze provolnoi Sv 0,8 pokrutoi aliuminiev im splavom, Svarocinoe proizvodstvo, nr.3, 1972
- 110.-Trusculescu, M., Studiul metalelor, EDP, Bucuresti, 1977
- 111.-Tschatschlowski, T.A., Lachozwancki, I.G., Das sicken von Blechelementen in aluminium Konstruktionen zur Vermeidung der Vorformungen aus dem Schweissvorgang Svarocinoe Proizvodstvo, 12, 1966, Heft 12, S.35-37
- 112.-Valea, I., Electrozi si fluxuri de sudare, Editura Tehnica Bucuresti, 1971
- 113.-Vavilov, A.F., Voinov, B.P., Svarka treniem Masinostroenie, Moscva, 1964
- 114.-Vill, V.I., Svarka metallov treniem, Masinostroenie, Leningrad, 1970
- 115.-Vizkelety, K., Aluminium Dickbleschweissung mit Hochstrombogen ohne Nahtvorbereitung, MIZ MITT., 9, 1967, Heft 5, S 743-761
- 116.-Voinov, V.P., Boldirev, R.N., Impulsive friction welding The present state of applications of electron beam welding and friction welding, Public colloquium, IIW, 1973
- 117.-Wanschkuhn, F., Aliaje de aluminu in special AlZnMg pentru constructii sudate, Rev.Metal.nr.3, 1965
- 118.-Wanschkuhn, F., Aluminium Legierungen insbesondere der Gattung AlZnMg 1 für Schweisskonstruktionen, Metall. nr.3-19, 1965
- 119.-Zarecinski, A.V., Koleciko, A.A., Kompleksno mehанизirovannoe proizvodstva scarnih ram jeleznodorojnhtistern Svarocinoe proizvodstvo, nr.1. 1972
- 120.- x x x Aluminium Taschenbuch 12.D.15 Aufl. Herausgeber Aluminium Zentrale, e.v., Düsseldorf, Aluminium Verlag GmbH 1963/1974



- 121.- x x x L'Aluminium, Tome 1, Production - Propriétés  
Alliages Fabrication des demi produits, Fabrications  
annexes par les Ingénieur du Groupe Dechiney, Ed.  
Byrolles, Paris, 1964
- 122.- x x x Aluminium Wauschkuhr Liegesungen insbesondere  
der Gattung AlZnMg 1 für Schweiss, Konstruktionen Metall  
nr.3, 19, 1965
- 123.- x x x Atlas internațional al defectelor de turnare,  
Editura Tehnică, Bucuresti, 1977
- 124.- x x x CCSIT Electronutere Craiova, Laborator de mare  
putere, Informare tehnică, nr.520082, 6.06.1980
- 125.- x x x CCSIT, Electronutere Craiova, Laborator de mare  
putere, Informare tehnică, nr.520085, 14.06.1980
- 126, A.- x x x Contract de cercetare științifică, Beneficiar,  
Intreprinderea de Aluminiu Slatina, 1979
- 126, B.- x x x Contract de cercetare științifică, Beneficiar  
Santierul Naval Drobeta Turnu Severin, 1979
- 127.- x x x Contract de cercetare științifică, Beneficiar  
Intreprinderea de Aluminiu Slatina, 1980
- 128, A.- x x x Contract de cercetare științifică, Beneficiar  
Intreprinderea de Aluminiu Slatina, 1981
- 128, B.- x x x Contract de cercetare științifică, Beneficiar  
Intreprinderea de Aluminiu Slatina, 1982
- 129.- x x x Institutul de sudură și încercări de metale,  
Sudarea prin frecare a aluminiului, aliajelor de aluminiu  
cu OL37, nr.1763 și nr.1781, Timisoara, 1981
- 130.- x x x Institutul de sudură și încercări de materiale,  
Rezultatele încercării la flauaj a îmbinărilor oțel-aluminiu  
Timisoara, Buletin nr.1366, 10.02.1981
- 131.- x x x Instrucțiuni tehnologice pentru fabricarea  
electrolitică a aluminiului, I.Al.Slatina, 4790, 1974
- 132.- x x x Le soudage par friction, Soudage, nr.62, 1966  
și nr.64, 1967
- 133.- x x x Masini de sudare prin micro fricțiune. British  
Welding Journal, 1970
- 134.- x x x New friction welding developments, Welding  
and metal fabrication, nr.3, 1969



- 135.- x x x Normativ tehnic de timp pentru lucrari de sudare electrica, oxidacetilenica si taiere cu flacara oxidacetilenica, MICM, 1975
- 136.- x x x Normativ tehnic grupat pe timpi de munca la prelucrări la maşini de şurit, MICM, 1975
- 137.- x x x Normativ tehnic la regimuri de aşchiere si timpi auxiliari la strunjirea metalelor, MICM, 1975
- 138.- x x x Normativ tehnic pentru debitarea materialelor la ferăstrau circular şi alternativ, MICM, 1975
- 139.- x x x Normative tehnice de regimuri de aşchiere si timpi auxiliari la frezare, MICM, 1975
- 140.- x x x Simpozionul international de sudare prin frezare, Tokyo, 1968, Doc.IIS-IIW, III 375-69
- 141.- x x x **SISTEMA** echipamentelor de sudare, taiere si lipire din RSR
- 142.- x x x Soudure des Clads, Pechiney, Paris, 21.12.1970
- 143.- x x x Stapellauf der Queen Elisabeth, Aluminium 43, 1967 Heft 10, S 640
- 144.- x x x STAS 201/1 - 71 Aliaje de aluminiu turnate în piese
- 145.- x x x STAS 782-64, Defectele pieselor turnate; Clasificare şi terminologie
- 146.- x x x STAS 4600-75 Turnarea metalelor. Terminologie
- 147.- x x x STAS 6287-67, Piese turnate din metale şi aliaje neferoase. Abateri limită şi adausuri de prelucrare
- 148.- x x x STAS 7122-72, Statistica matematică. Prezentarea si prelucrarea datelor experimentale si de observaţie
- 149.- x x x ~~Stat~~ Statzbare strassenbrücken aus vorgefertigten Aluminiumbauteilen in Japan, Aluminium 43, 1967, Heft 5, S 304
- 150.- x x x Welding Engineer, SUA, 52, nr.1, ianuar 1967
- 151.- x x x Welding handbook, Editurs, AWS, New York, 1975
- 152.- x x x Wer schweist Hört auf uns, Universal tiefpunkt, schweiss material GmbH
- 153.- Ionescu, N., Sudarea prin explozie cu aplicaţii în industria construcţiilor de maşini şi industria de aluminiu, Teză de doctorat, 1978
- 154.- Philinchuk, W.. Welding Forming and cutting with explosive, ASTM, Paper, nr.350, vol.61, Book 1 of 24 mai 1961



| 1      | 2   | 3 | 4    | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11    |
|--------|-----|---|------|---|---|---|---|---|----|-------|
| OLC-15 | 13  |   | 4000 |   |   |   |   |   |    | 47"   |
|        | 125 |   | 4000 |   |   |   |   |   |    | 35"   |
|        | 124 |   | 4000 |   |   |   |   |   |    | 35"   |
|        | 128 |   | 4000 |   |   |   |   |   |    | 35"   |
| OLC-42 | 22  |   | 4000 |   |   |   |   |   |    | 35"   |
|        | 216 |   | 4000 |   |   |   |   |   |    | 45"   |
|        | 232 |   | 4000 |   |   |   |   |   |    | 43"   |
|        | 234 |   | 4000 |   |   |   |   |   |    | 55"   |
| OLC-15 | 131 |   | 2000 |   |   |   |   |   |    | 1'34" |

Utilajul folosit a fost următorul :

- Transformator tip EPOS 15/380 - 2II ( 380/0-380 V )
- Transformator curenți intensi (0-380)V ( 0-1500 V)
- Transformator curenți măsură 1500 /5 A
- Generator tip G S A M 390 kVA , 400 V, 563 A
- Transformatori coborâtori 400 /20V I = 10.000 A
- Transformator curenți măsură 10.000 /5A
- Ampermetru clasă 0,2

OBS: La electrozii OL-37 cu nr. 613;614;617;623 și OLC-15 nr. 131  
13 , 124, 125a ; OL-42 cu nr. 22 ;216; 232; 234 s-au observat următoarele :

În toate cazurile pe toată lungimea pînă în planul îmbinării a ajuns la alb strălucitor sau la incandescență , în timpul următor a avut loc o încălzire puternică a zonei sudate și a celei adiacente din aluminiu , după care s-a produs ruperea.

În momentul ruperii s-a desprins îmbinarea sudată și s-a topit capătul barei din aluminiu în porțiunea adiacentă.

Încălzirea oțelului nu s-a făcut uniform în unele cazuri constatîndu-se pe lungimea componentei topirea oțelului de bază pe toată secțiunea în același timp cu îmbinarea sudată ( proba la 3000 A ( OLC -15 ) și 4000 A ( OL-37)

La ruperea îmbinării contribuie deformarea puternică a oțelului care introduce tensiuni suplimentare foarte mari în îmbinarea sudată. La electrozii cu bavură, la locul de sudură, se topește înainte oțelul și apoi se desface sudura. La electrozii fără bavură se desface întotdeauna sudura.

LABORUL DE METALURIE  
Ing. O. Marin  
IN METALURIE

RES. PROBA,  
Ing. Arăutu C-tin  
Ina. Istrate M. 4011V

INFORMARE TEHNICA

In zilele de 5-6 iunie 1980 s-au executat incercări pentru verificarea din punct de vedere termic a dispozitivului port-anod cu plăcuță bimetal, a dispozitivului port-anod prevăzut cu bare bimetal de tip Al-Fe sudate prin frecare și a 4 electrozi din Cu-Zn.

La cele două dispozitive s-au măsurat și căderile de tensiune :

Prescripții de incercare, conform indicațiilor date de Institutul de Subingineri Reșița prin tov. Șef Incercări ing. Valeriu Anghilă care a participat la probe pe toată durata probei. Măsurarea temperaturilor s-a făcut cu termometru electronic SMM 2112.

Rezultatele acestor incercări este următorul :

1.- Dispozitivul port - anod cu plăcuță bimetal Al-Fe.

Dispozitivul a fost parcurs de curent astfel:

- La cure : 9,00 = 5000A
- 9,30 = 7500A
- 10,50 = 5000A , valoare care s-a menținut constantă

pe tot timpul probei . Temperatura maximă pe suprafețele A, B, C, A° ) conform fig. 1 ) au fost :

Tabl.1.  
Borne alimentare

|    | AL  | Sd  | OL  | OL  | Al  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| A  | 160 | 163 | 167 | 120 | 137 |
| B  | 165 | 164 | 182 | -   | -   |
| C  | 157 | 164 | 200 | -   | -   |
| A° | 164 | 168 | 175 | 180 | 150 |

Iar căderile de tensiune între punctele indicate în fig. 2 au fost :

Tab.2

|                     |          |
|---------------------|----------|
| Borne alimentare    | = 314 mV |
| A <sup>0</sup> - OL | = 1,72 V |
| A <sup>0</sup> + Sd | = 2,3 mV |
| Sd + OL             | = 1,72 V |

2.- Dispozitivul port-anod cu bare bimetal Al-Fe sudate prin frecare.

Dispozitivul a fost parcurs de curent, în 2 etape prin câte 2 bare bimetal ,iar punctele de măsurare a temperaturii și a căderilor de tensiune sînt indicate în fig. 3.

I încălzire = 2500 A

Bare 1 - 2

| Cea de măsurare a temperaturii °C | Punctele de măsurare |     |     |     |    |    |     |     |     |
|-----------------------------------|----------------------|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|
|                                   | 1                    | 2   | 3'  | 4'  | 3  | 4  | 5   | 6   | 7   |
| 9,45                              | 75                   | 105 | 63  | 50  | -  | -  | 62  | 65  | 58  |
| 10,00                             | 98                   | 129 | 100 | 85  | -  | -  | 80  | 89  | 60  |
| 10,30                             | 106                  | 131 | 110 | 98  | -  | -  | 91  | 97  | 90  |
| 11,00                             | 110                  | 140 | 120 | 105 | -  | -  | 102 | 112 | 105 |
| 11,10                             | 112                  | 142 | 122 | 107 | 90 | 90 | 102 | 113 | 109 |

Bare 3 - 4

|       |   |   |     |     |     |     |     |     |     |
|-------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 11,45 | - | - | 125 | 118 | 140 | 150 | 110 | 115 | 97  |
| 12,30 | - | - | 135 | 132 | 145 | 155 | 125 | 130 | 107 |
| 12,45 | - | - | 142 | 135 | 162 | 169 | 127 | 134 | 125 |
| 13,30 | - | - | 142 | 139 | 163 | 169 | 130 | 135 | 128 |

În câștile de tensiune ( mV ) au fost

Tab.4

|       | 2-3'  | 1-4'  | 3-7'  | 4-7'   | 1-7    | 2-7    |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 11,10 | 5,6mV | 7,9mV | 6,2mV | 11,2mV | 60 mV  | 80 mV  |
|       | 4-3'  | 3-4'  | 3'-7  | 4'-7   | 3-7    | 4-7    |
| 13,30 | 3,7mV | 12mV  | 4,5mV | 12mV   | 70,3mV | 73,8mV |

Tab.5

| Material | Nr. electrod | Val. curentului trecut prin electrod (A) | Timpul de topire (minute) |   |
|----------|--------------|--|---------------------------|---|
|          | 1            | 2  | 3                         | 4 |
| OB-92    | 525          | 3000                                     | 1'30"                     |   |
|          | 534          | 3000                                     | 1'34"                     |   |
|          | 513          | 4000                                     | 0,40"                     |   |
|          | 524          | 5000                                     | 0,25"                     |   |

ING. I.M.P.

Ing. O. Barincea

INGOCHIT,

Ing. Arnăutu C.

Ing. Istăte H.

Pag. 5  
Tab. 5  
Desen 3  
Exemplare 4

SUDAREA PRIN FRECARĂ A ALUMINIULUI,  
ALIAJELOR DE ALUMINIU CU OȘELI

Lucrarea reprezintă obiectul comenzilor nr. 575 și nr. 01762 a Institutului politehnic "Traian Vuia" înregistrate la ISIM Timișoara cu nr. 1763 și nr. 1781.

1. Considerații teoretice privind sudarea aluminului și a aliajelor sale cu diverse oțeluri

La sudarea aluminului și aliajelor sale cu diverse mărci de oțeluri unele rezultate s-au obținut utilizând sudarea la rece.

Sudarea prin alte procedee la temperaturi ridicate nu a dat rezultate satisfăcătoare datorită apariției unui fenomen de difuzie reactivă.

Acesta constă dintr-un proces de difuzie în urma căruia se formează legături chimice ale componentelor aluminului și fierului, formând o serie de astfel de legături, compuși intermetalici cu fragilitate mare. De obicei acest fenomen cuprinde toată zona sudurii și cu cât stratul de compuși intermetalici este mai gros cu atât îmbinarea este mai fragilă. S-a stabilit astfel că numai la straturi suficient de subțiri  $\leq 3 \mu$  m de compuși intermetalici îmbinarea nu se fragilizează.

De aceea toate formele de sudare prin topire pentru îmbinările aluminului <sup>cu</sup> diverse oțeluri sînt inutilizabile.

Spre deosebire de acestea sudarea prin frecare datorită specificului ei s-a dovedit a fi unul din procedeele cele mai favorabile. În urma realizării sudurilor prin frecare, aluminul nu ajunge pînă la topire și procesele de difuzie din acest motiv nu sînt activate; metalul se încălzește în volum nu prea

mari și se răcește repede, ceea ce întrerupe procesul de difuzie și apoi prin refulare în urma deformației plastice a metalului compuşii intermetalici se îndepărtează în bavură.

Experimental s-a stabilit că durata ciclului de sudare trebuie să fie destul de mare pentru a asigura încălzirea oțelului, pentru a permite formarea în cantități suficiente a nodurilor de prindere și pentru a asigura distrugerea și evacuarea peliculelor de oxid din îmbinare.

Pentru realizarea unor suduri de bună calitate a aluminului cu un oțel, suprafața frontală a componentei din oțel trebuie să fie strict perpendiculară pe axa de rotație (în cazul unui joc care depășește 0,2 mm scade brusc calitatea îmbinării sudate). De asemenea suprafața frontală a componentei din aluminiu trebuie curățată înainte de sudare de grăsimi și de alte pelicule de absorbție cu ajutorul unei perii rotative din oțel cum de altfel se procedează în mod obișnuit înainte de sudarea la rece a aluminului.

Sudurile realizate supuse încercărilor la tracțiune statică au o rezistență comparabilă cu a materialului de bază, respectiv cu aluminul. Examinările macro-microscopice au evidențiat existența unei zone de aluminiu presate cu grosimea pînă la 0,1 mm adiacente la îmbinare.

Cercetările efectuate au arătat, de asemenea posibilitatea sudării prin frecare a aluminului și a aliajelor sale cu oțeluri aliate în special cu oțeluri inoxidabile. La sudarea unor asemenea componente pot fi utilizate și regimurile dure caracterizate de presiuni specifice mai ridicate asociate cu timpi de sudare mai scurți deoarece în acest caz procesele de difuzie sînt încetinite.

Este important de subliniat că îmbinarea aluminului cu oțel, realizată utilizînd sudarea prin frecare și nefragilă poate deveni fragilă în cazul încălzirii ulterioare a piesei sudate. O asemenea încălzire pînă la temperaturi, care depășesc unele valori critice, activează procesele de difuzie în zona îmbinării,



În urma măsurătorilor de duritate rezultă că valorile durităților determinate sînt cuprinse între 111 și 211 HB pentru OL37 respectiv între 44,1 și 48 HB pentru AISi5Fe.

2.1.3. Aspectul macro- microstructural al materialelor de bază este prezentat în buletinul de examinare nr. 503 din 22.12.19<sup>o</sup>1.

2.1.4. Pregătirea materialelor în vederea sudării pentru sudarea prin frecare componentele de sudat trebuie să respecte următoarele condiții:

- suprafețele frontale ale componentelor de sudat să fie curățite în prealabil cu peria de sîrmă rotativă,

- abaterea de la ~~per~~pendicularitate a suprafețelor frontale să nu depășească 0,2 mm,

Nerespectarea acestor prescripții atrage după sine:

- nerespectarea timpului de frecare (datorită pierderilor de timp pentru ca suprafețele frontale de sudat să devină paralele;

- obținerea unei suduri necorespunzătoare deoarece la astfel de îmbinări oțelul nu se deformează decît foarte puțin comparabil cu aluminiul.

## 2.2. Experimentări de sudare

Experimentările de sudare s-au efectuat pe o mașină de sudat prin frecare LSF-40. Cu această mașină se sudează prin frecare continuă. Viteza de rotație utilizată a fost de 1460 rot/min. Valorile celor 5 parametri de sudare (*presiunea* de frecare, *presiunea* de refulare, timpul de frecare, timpul de frînare și timpul de refulare) s-au ales pornind de la date culese din literatura de specialitate /1/; /2/; /3/; și /4/, luîndu-se în considerare:

- secțiunea componentelor de sudat,
- calitatea metalizajelor,
- performanțele mașinii de sudat.

regimurile de sudare utilizate la experimentări au fost studiate din următoarele puncte de vedere:

- rezistența la tracțiune statică,
- aspectul macro- microstructural.

Inercarea la tracțiune

2.2.1. Condiția de calitate impusă sudurilor prin frecare de beneficiar a fost ca la tracțiune să reziste la o forță de rupere minimă de 100KN. Experimentările de sudare au condus din acest punct de vedere spre regimul de sudare prezentat în tabelul 3. Cu acest regim s-au sudat un număr de 10 piese care au fost apoi pregătite în vederea încercării la tracțiune.

Forma pieselor pentru încercarea la tracțiune, prezentată în figura 5, a fost impusă de forma componentelor de sudat și a fost acceptată de către beneficiar și executant. Rezultatele obținute sînt cuprinse în tabelul 3.

Tabelul 3. Rezultatele încercărilor la tracțiune

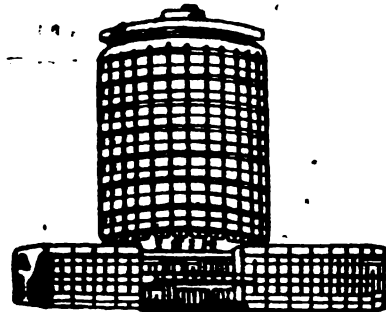
| Materiale       | Regim de sudare           |                            |                       |                       |                        |                     | Rezultatele încercării la tracțiune |             |
|-----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------|
|                 | Presiune de frecare (bar) | Presiune de refulare (bar) | Timp de frecare (sec) | Timp de frinare (sec) | Timp de refulare (sec) | Surlare axială (mm) | $F_{max}$ (N)                       | Locul rupei |
| OL 39-A73; 5 Fe | 30                        | 60                         | 20,48                 | 0,80                  | 1,92                   | 24,6                | 177000                              | sud.        |
|                 |                           |                            |                       |                       |                        | 23,8                | 154000                              | MB          |
|                 |                           |                            |                       |                       |                        | 26,7                | 139000                              | MB          |
|                 |                           |                            |                       |                       |                        | 22,3                | 151000                              | MB          |
|                 |                           |                            |                       |                       |                        | 25,6                | 74000                               | sud.        |
|                 |                           |                            |                       |                       |                        | 25,2                | 131000                              | MB          |
|                 |                           |                            |                       |                       |                        | 23,4                | 108000                              | MB          |
|                 |                           |                            |                       |                       |                        | 24,0                | 137000                              | MB          |
|                 |                           |                            |                       |                       |                        | 23                  | 154000                              | MB          |
|                 |                           |                            |                       |                       |                        | 23,5                | 183000                              | MB          |



M. I. C. M. - D. G. T.

**INSTITUTUL DE SUDURĂ ȘI ÎNCERCĂRI DE MATERIALE  
TIMIȘOARA**

Bv. Mihai Viteazul nr. 30  
Telefon : director i 54 70 cont. șef 1 32 68 centrala 2 47 40  
Telex nr. 43 365 ism r  
Cont la B. N. R. S. R. 30 162 03 01



Referitor :

Scrisoarea nr.

1366/10.7.1981

Către,

Institutul de subingineri - RESITA  
Bv. Lenin nr.1  
Catedra de electrotehnică și sudură

Vă transmitem rezultatele definitive ale încercării la fluaș a îmbinărilor sudate oțel-aluminiu. Rezultatele parțiale ale acestor încercări au fost predate în noiembrie 1980.

În tabelul 1 sînt cuprinse condițiile în care au fost efectuate încercările la fluaș.

Tabelul 1

| Nr. ort. | Tensiunea /MPa/ | Temperatura /K/ | Timpul de rupere /h/ |
|----------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1.       | 80              | 433             | 18,0                 |
| 2.       | 80              | 433             | 8,0                  |
| 3.       | 80              | 413             | 68,0                 |
| 4.       | 80              | 413             | 46,0                 |
| 5.       | 80              | 393             | 251,5                |
| 6.       | 80              | 393             | 205,0                |
| 7.       | 60              | 473             | 17,0                 |
| 8.       | 60              | 473             | 4,0                  |
| 9.       | 60              | 453             | 95,3                 |
| 10.      | 60              | 453             | 78,0                 |
| 11.      | 60              | 433             | 180,2                |
| 12.      | 60              | 433             | 240,2                |
| 13.      | 40              | 473             | 205,5                |
| 14.      | 40              | 473             | 129,0                |
| 15.      | 40              | 453             | 471,0                |
| 16.      | 40              | 453             | 409,0                |
| 17.      | 40              | 433             | 1405,0               |
| 18.      | 40              | 433             | 1745,0               |

În urma preluorării acestor rezultate pe calculatorul electronic FELIX C 256 s-au obținut rezistențele tehnice de durată (tabelul 2).

Tabelul 2

| Nr. ort. | Metoda de extrapolare   | $R_T/5000$ /MPa/ |       |         | $R_T/10.000$ |       |       |
|----------|-------------------------|------------------|-------|---------|--------------|-------|-------|
|          |                         | 403              | 413   | 423 /K/ | 403          | 413   | 423   |
| 1.       | Larson Miller           | 62,15            | 55,89 | 50,26   | 58,86        | 52,86 | 47,47 |
| 2.       | Larson Miller corectată | 51,55            | 49,59 | 42,10   | 47,53        | 42,87 | 38,66 |
| 3.       | Soherby Dorn            | 50,58            | 45,63 | 41,37   | 46,36        | 41,83 | 37,92 |
| 4.       | Manson Sucoop           | 49,02            | 45,31 | 41,37   | 45,39        | 41,45 | 37,85 |

Prin transmiterea rezultatelor de mai sus obligațiile referitoare la încercările care au făcut obiectul comenzii menționate le considerăm îndeplinite.

DIRECTOR,  
prof. Traian Sălăgean  
m.e. al Academiei RSR

SEF LABORATOR,  
dr.ing. Voicu Safta



INTREPRINDEREA DE ALUMINIU  
- S L A T I N A -  
COMUNALĂ - ECONOMIC

AVIZ CTE - I.A.I. SLATINA

Nr. 53 / 16. I 1982

5

OBIECTUL AVIZARII: Extinderea procedurii de sudare prin frecare a tijelor cu dispozitivul de prindere a anozilor aluminiu - fier

BENEFICIAR: Intreprinderea de aluminiu Slatina

RESPONSABIL: Institutul de subingineri Reșița

CONTRACT NR.: 144/1981

COMISIA DE AVIZARE Președinte: ing.Orzață Alex. - director  
Membrii: ing.Bălu Ioan - dir.adj.tehnic prod.  
ing.Slăvescu G. - ing.șef UA  
sing.Cecoc Gh. - șef S 5  
ing.Duță A. - ing.bir.tehnic  
ing.Drăganciu I. - ing.bir.tehnic  
ing. Munteanu E. - ing.bir.tehnic  
sing.Văduva Sanda - bir.tehnic  
Secretar:ing.Economu V. - șef birou tehnic

PREZENTAREA LUCRĂRII

Executantul a elaborat o tehnologie privind extinderea procedurii de sudare prin frecare a tijelor cu dispozitivul de prindere a anozilor, aluminiu-fier.

S-a lucrat pentru sudarea prin frecare aliajul de aluminiu ATSi5Fe și oțelul de marcă OL 37.

Debitarea barelor din aliaj ATSi5Fe s-a executat din tije anodice, utilizate la I.A.I.Slatina. După debitare, barele din aliaj de aluminiu au fost frezate rezultând un pătrat cu latura de 60 mm.

Regimul de sudare prin frecare este caracterizat de următorii parametri:

- viteza de rotație: 1460 rot/min.
- presiunea de frecare: 30 bari
- presiunea de refulare: 60 bari
- timpul de frecare 20,48 secunde
- timpul de frinare 0,80
- timpul de refulare 1,92 sec.

..//..

După asamblarea cu anozii, tijele astfel confecționate au fost introduse în cuvele de electroliză. După un ciclu de funcționare s-au desprins de la sudura prin frecare, în timpul îndepărtării fontei de încastrare.

AVIZ CTE - I.AL.SLATINA

În urma analizei lucrării supuse avizării, Comisiunea tehnică-economică al I.Al.Slatina

" AVIZEAZA FAVORABIL "

studiul de cercetare "Extinderea procedurii de sudare prin frecare a tijelor cu dispozitivul de prindere a anozilor aluminu-fier", cu recomandarea ca în cursul anului 1982 cercetătorul să studieze și să realizeze un nou tip de tije din aliaj ATSi5Fe care la partea inferioară să aibă 4 brațe din același aliaj cu tija, de care să se sudeze prin frecare rondoanele de OL de  $\varnothing$  9 mm care se vor asambla cu anozii.

Se evită în acest fel sudura Al-Al și Fe-Fe care duc la fragilitatea îmbinării prin frecare.

PREȘEDINTE

DIRECTOR  
ing. Orzață Alex.

*[Signature]*

ing. Bălu Ioan ---  
ing. Slăvescu C. ---  
sing. Cocos Gh. ---  
ing. Drăganțiu I. ---  
ing. Duță A. ---  
ing. Munteanu E. ---  
sing. Văduva S. ---

SECRETAR

SEF BIROU TEHNIC,  
ing. Economu V.



CONSILIUL NAȚIONAL PENTRU ȘTIINȚA ȘI TEHNOLOGIE  
 OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI  
 București, str. I. Ghica nr. 5, sector 3  
 Cod 70018, C.P. 52

către,

- M.I.Ch.
- Intreprinderea de aluminiu  
Slatina
- ing. Valeriu Antilă

**HOTĂRÎRE Nr. 12 din 15.01.1982**

Comisia de invenții din sectorul IV examinând documentația necesară brevetării invenției cu titlul: **"Procedeu de sudare a tijei șurubice din aliaj de aluminiu"**

înregistrată la OSIM sub nr. 0000590 la data de 22.01.1980 dosar OSIM nr. 99938

precum și studiul comparativ al invenției.

**HOTĂRĂȘTE:**

a. acordarea brevetului de invenție, nr. 79000, titularului Intreprinderea de aluminiu - Slatina

certificat (e) de inventator, nr. 79000, autorului (lor) ing. Valeriu Antilă, ing. Vladimír Baconu, ing. Stelian Bogăcișcu, ing. Dietrich Mihail, sing. Gheorghe

pentru invenția cu titlul menționat/reformulat.

\* — Invenția este principală/complementară la invenția brevet nr.

cu data de înregistrare

Termenul de valabilitate al brevetului de invenție este 22.01.1980-22.01.1995 cu condiția ca titularul să achite taxele de menținere în vigoare conform Decretului nr. 353/1976

b. Publicarea rezumatului invenției în Buletinul pentru invenții și Mărci;

c. trimiterea spre publicare a descrierii invenției, în vederea eliberării actului de protecție solicitat;

d. ~~publicarea descrierii invenției, în vederea brevetării în țară și în străinătate~~

Față de cele de mai sus, constatându-se că sînt îndeplinite condițiile prevăzute de art. 61, al 1<sup>o</sup> din Legea 62/1974, se scoate de sub regimul „strict secret” invenția cu titlul de mai sus.

Publicarea datelor din descrierea invenției poate face numai după îndeplinirea condițiilor de la litera „b”, sau după caz, litera „d”.

**Titularul are obligația legală să achite taxele de tipărire, publicare și eliberare.**

Hotărîrea poate fi contestată la Comisia pentru soluționarea contestațiilor, privind invențiile din cadrul Oficiului de Stat pentru Invenții și Mărci, în termenul de trei luni de la comunicarea prezentei hotărîri.

PREȘEDINTE,

Numele și prenumele  
ing. Doina Măciocica

semnătura

MEMBRI:

Numele și prenumele  
ing. Livia Popescu

semnătura

\*) Dacă nu este cazul, punctul „d” se va anula.



Expunere de motive:

Studiu/tehnic de examinare s-a bazat pe brevetul francez nr.2411062 publicat la data de 06.07.1979, intitulat "Procedeu de asamblare a pișselor dintr-un aliaj de aluminiu și a pișselor din oțel", cl.int. B 23 K 19/00.

Comparînd soluția conform invenției cu cea prezentată în materialul documentar se constată că prima prezintă elemente de nouitate și progres tehnic.

Revendicările 1 la 3 ale invenției conțin elemente de nouitate și progres tehnic și ca atare se admit.

x

x

x

Față de cele de mai sus se constată că invenția îndeplinește prevederile legale de acordare a brevetului de invenție solicitată.