

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA" TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA

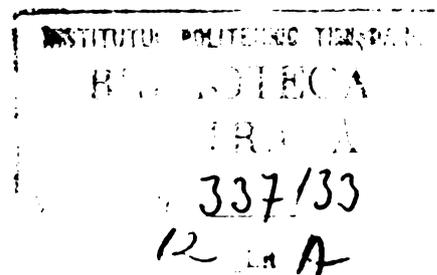
CERCETARI PRIVIND SUDAREA PRIN PRESIUNE LA RECE A IMBINARILOR
DIN BARE SI FOLII DE ALUMINIU SI CUPRU, CU APLICATII IN
CONSTRUCTIA MASINILOR ELECTRICE SI IN INSTALATII ENERGETICE

TEZA DE DOCTORAT

ing. Daniel Both

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

- Timișoara, 1977 -



C U P R I N S

Introducere	5
Prezentarea lucrării	14

Partea I

1. Formarea legăturii sudate prin presiune la rece (diferite ipoteze)	17
1.1. Ipoteza formării legăturii datorită contactului nemijlocit între suprafețele pieselor de îmbinat	17
1.2. Ipoteza formării îmbinării prin difuziune	21
1.3. Ipoteza formării legăturii prin recristalizare	23
1.4. Ipoteza energetică a formării îmbinării sudate la rece	25
2. Stadiul actual al cunoștințelor despre mecanismul deformației plastice (metode de cercetare)	28
2.1. Metoda cercetării câmpului de microdurități	33
2.2. Metoda cercetării prin recristalizare	34
2.3. Metoda cercetării aspectului liniilor de curgere	34
2.4. Metoda de cercetare cu ajutorul rețelelor de coordonate	35

Partea II

3. Mijloacele de deformare plastică folosite la sudarea prin presare la rece	38
3.1. Sudarea cap la cap	38
3.2. Sudarea prin puncte a pieselor suprapuse	41
3.3. Sudarea cu role în cusătură continuă	43
3.4. Sudarea prin predeformare	44
3.5. Sudarea prin deplasare	45

3.6. Sudarea prin falsă nituire	45
4. Parametrii procesului de sudare prin presare la rece	46
4.1. Starea suprafețelor de contact	46
4.2. Temperatura de sudare	48
4.3. Presiunea. Determinarea gradului minim de defor mație	50
4.4. Influența elementelor de adaos asupra sudabili- tății metalelor	53
4.5. Sudarea la rece prin presiune a metalelor dife- rite	54
5. Cercetări privind tehnologia de sudare cap la cap prin deformație plastică la rece	56
5.1. Sudarea cap la cap a barelor de aluminiu și de cupru	57
5.1.1. Sudarea aluminiului cu aluminiu	58
5.1.2. Sudarea aluminiului cu cupru	61
5.2. Influența deformărilor repetate asupra calită- ții îmbinărilor sudate cap la cap	66
5.3. Contribuții privind studiul proceselor intime în formarea unei îmbinări cupru+aluminiu prin deformație plastică la rece	73
5.4. Sudarea cap la cap a conductoarelor instalațiilor electrice interioare și utilajul destinat sudurii în condiții de montaj	69
6. Cercetări privind tehnologia sudării prin puncte la rece	76
6.1. Determinarea diametrului poansonului și a gra- dului optim de deformare	78
6.2. Determinarea formei optime a poansonului	82
6.2.1. Poansoane de formă eliptică	90
6.2.2. Poansoane de formă inelară	97
6.3. Sudarea prin puncte a conductoarelor de alumi- niu suprapuse și în prealabil răsucite	103
6.4. Armarea cu plăci de cupru a bornelor de con- tact din aluminiu	106

Partea III

7. Cercetări privind sudarea prin presare la rece a foliilor de aluminiu și de cupru	108
7.1. Cercetări privind studiul tehnologiei de sudare	109
7.1.1. Parametrii procesului de sudare	109
7.1.2. Forma și numărul poansoanelor folosite la sudare	111
7.1.3. Materiale folosite la încercări	112
7.1.4. Experimentări	113
7.2. Încercările îmbinărilor sudate	117
7.2.1. Încercările mecanice	117
7.2.2. Încercări metalografice	118
7.2.3. Încercări electrice	118
7.2.3.1. Încercările la încălzire	118
7.2.3.2. Verificarea stabilității electrodinamice a îmbinărilor sudate	120
7.3. Concepția și aplicarea în producție a unei instalații de sudare a foliilor de aluminiu și de cupru	122
8. Contribuții privind aplicarea în producție a procedurii de sudare studiat	128
8.1. Dispozitive folosite la sudare	128
8.2. Elaborarea tehnologiei de sudare a îmbinărilor	131
8.2.1. Ordinea operațiilor la executarea unei îmbinări	132
8.2.2. Modul de realizare a îmbinărilor sudate	133
8.3. Încercările îmbinărilor sudate	134
8.3.1. Încercările la tracțiune	134
8.3.2. Examinări macro și microstructurale	136
8.3.3. Control nedistructiv (măsurători electrice	138

- Verificarea îmbinărilor sudate la încălzire	139
- Verificarea stabilității termice și dinamice a îmbinărilor sudate	
8.4. Experimentarea sudării îmbinărilor compuse din profile diferite	140
8.5. Concepția unui flux tehnologic pentru realizarea subansamblelor pentru celule de înaltă tensiune .	142
8.5.1. Organizarea fluxului tehnologic	147
8.5.2. Controlul calității îmbinărilor sudate în procesul de fabricație	148
8.5.2.1. Controlul distructiv	149
8.5.2.2. Controlul nedistructiv	151
- Verificarea prin măsurarea căderii de tensiune	151
9. Concluzii generale și contribuții originale.	157
9.1. Concluzii generale	157
9.2. Contribuții originale	158
9.3. Valorificarea în producție a rezultatelor cercetărilor	160
10. Bibliografie	162
11. Anexe (55 file)	165

INTRODUCERE

În ultimele două decenii, dezvoltarea industriei electrotehnice este caracterizată prin folosirea crescândă a aluminiului. Cuprul fiind un material deficitar, aluminiul îl înlocuiește în multe cazuri datorită greutateii specifice reduse, conductibilității electrice bune, posibilităților de prelucrare ușoare și prețului de cost mai scăzut.

Pentru a ne da seama de cantitatea de cupru care ne este disponibilă, este suficient să examinăm compoziția aproximativă a scoarței Pământului. Dintre metalele de importanță tehnică, numai trei: aluminiul (oxidul de aluminiu Al_2O_3 , cu 14,9%) fierul (oxizii de fier FeO și FeO_4 , cu 6,1%) și magneziul (oxidul de magneziu, cu 3,75%), se găsesc în cantități mai mari, iar cuprul este inclus în restul de 0,6% care cuprinde diferite elemente care nu sînt înșirate nominal.

Extragerea aluminiului se face din bauxită, un hidrat de aluminiu cu impurități. Prin tratamente chimice se micșorează conținutul în impurități ca fier, siliciu, titan și astfel bauxita se transformă în oxid de aluminiu (Al_2O_3). Acesta se dizolvă în criolita topită și se supune electrolizei la temperatura de cca $1100^{\circ}C$, obținându-se aluminiu primar. Printr-o a doua electroliză, executată în condiții speciale, se poate atinge puritatea de 99,99%. Cu cît gradul de puritate este mai mare, cu atît mai mică este rezistența la rupere, însă cu atît mai mare este gradul de plasticitate (indicat de alungire și de contracțiune) și conductibilitatea electrică.

În aluminiul primar industrial rămîne întotdeauna fier și siliciu pe lîngă alte elemente. În tabela 1 este dată com-

poziția chimică a aluminiului electrotehnic (Al 99,5 E). STAS 7607-72.

Tabela 1

Marca aluminiului	Compoziția chimică %								
	Al min.	Impurități, max.						Alte impur.	Total impurități
		Fe	Si	Cu	Zn	Ti			
Al 99,5 E	99,5	0,35	0,10	0,01	0,03	x	0,01	0,5	

x Suma impurităților Ti+Cr+V, nu va depăși 0,02%, iar conținutul fiecăruia nu va depăși 0,01%.

Stările de livrare a aluminiului sînt notate în felul următor: O (recopt), HD (jumătate tare) și HF (tare).

În tabela 2, sînt date informativ proprietățile mecanice ale aluminiului electrotehnic.

Tabela 2

Stări de livrare	Rezist. de rupere la tracțiune da N/mm ²	Alungirea relativă A ₁₀ % min.	Duritatea Brinell HB 10/1000/30 informativ
O	7	30	20
HD	10	15	30
HF	13	4	35

Expus aerului, aluminiul se oxidează. Stratul de oxid (Al₂O₃) este continuu și aderă puternic, protejînd metalul contra oxidării în continuare, ceea ce produce dificultăți la sudare.

Toate țările care dispun de zăcăminte de bauxită, în prezent manifestă interes pentru înființarea sau dezvoltarea ramurii industriale pentru producerea aluminiului. În țara noastră, conform Directivelor Congresului al XI-lea PCR, prin punerea în funcțiune a Uzinei din Tulcea și prin dezvoltarea uzinelor din Oradea și Slatina, producția de aluminiu primar se va ridica în cadrul actualului cincinal la 200.000 t anual.

Oreșterea producției de aluminiu, se încadrează în rit-

mul impetuos de industrializare a țării, pentru desăvîrșirea construcției socialiste, și răspunde legii economice fundamentale a socialismului, de a asigura o creștere continuă a bunăstării materiale și culturale a oamenilor muncii.

Aluminiul și aliajele lui sînt introduse din ce în ce mai mult în locul cuprului, pentru fabricația aparatelor necesare în industria chimică, alimentară, în industria constructoare de mașini, dar mai ales în industria electrotehnică și energetică.

În tehnica modernă, aluminiul ca material de construcție a căpătat o importanță deosebită. Dezvoltarea construcțiilor din aluminiu și de aliaje de aluminiu, este în strînsă legătură și cu progresele realizate în ultimele decenii la sudarea lor la diferite procedee moderne. Astfel o extindere deosebită a îmbinărilor de aluminiu s-a obținut prin progresele procedeelor de sudare în mediu de gaze inerte, folosind electrod de wolfram (WIG), sau electrod fuzibil (MIG). Procedee mai puțin cunoscute de sudare a aluminiului și aliajelor sale, sînt sudarea cu energie înmagazinată în câmp electrostatic, sudarea prin ultrasunete, sudarea prin explozie și sudarea prin presiune la rece.

Una din cauzele care frîna introducerea pe scară largă a aluminiului în industria electrotehnică și energetică, era faptul că la conductoarele de aluminiu nu s-a putut realiza pe cale mecanică un contact electric corespunzător. Aluminiul sub influența presiunii de contact cedează în timp, ceea ce provoacă o slăbire mecanică a legăturii și o creștere a rezistenței electrice de contact (nu rezistă la presiune de contact). Pe de altă parte, aluminiul în contact cu alte metale (cupru, oțel ș.a.) în prezența umidității atmosferice suferă o coroziune pronunțată. Concurența acestor factori a făcut ca la instalațiile electrice realizate cu conductori de aluminiu, deranjamentele

să fie frecvente.

Îmbinările mecanice realizate prin simplă răsucire, sau prin utilizarea unor elemente de legătură, ca șuruburi cu piulițe și rondela elastice ș.a. n-au dat rezultate satisfăcătoare. S-au întâmpinat greutăți și în ceea ce privește racordarea conductoarelor de aluminiu la bornele mașinilor și aparatelor electrice, impune adăugarea la capetele conductoarelor de aluminiu a unor prelungiri de cupru (armarea barelor de aluminiu cu plăci de cupru).

Pentru a înlătura aceste dezavantaje, la conductoarele de secțiune mai mare, îmbinările mecanice s-au înlocuit cu legături realizate prin lipire sau sudare. Astfel, înfășăturile primare din aluminiu ale transformatoarelor electrice s-au îmbinat prin lipire cu cositor. Metoda, pe lângă faptul că este laborioasă, necesită cantități importante de cositor, care este un metal deficitar.

Conductoarele de aluminiu pot fi îmbinate prin topire cu unul din procedeele de sudare menționate mai sus, sau cu flacăra de gaz. Soluția sudării prin topire poate fi aplicată la îmbinarea aluminiului cu aluminiu, sau a cuprului cu cupru. În cazul îmbinării aluminiului cu cuprul, sudarea prin topire nu se poate aplica din cauza diferenței mari dintre temperaturile de topire a celor două metale ($Al-657^{\circ}C$, iar $Cu-1083^{\circ}C$). Înșși sudarea aluminiului prezintă dificultăți din cauza formării în timpul sudării a oxidului de aluminiu (Al_2O_3), care are o temperatură ridicată de topire ($2056^{\circ}C$) și se reduce greu.

Procedeele de îmbinare care elimină dificultățile amintite mai înainte, este sudarea prin deformare plastică la rece cercetată în prezenta lucrare și aplicată în producție de subsemnatul.

Procedeul de sudare la rece constă în a îmbina două metale la o temperatură inferioară temperaturii de recristalizare, în particular la temperatura mediului ambiant, energia de activare necesară formării legăturii metalice pe suprafața de contact dintre piese obținându-se prin deformarea plastică locală a pieselor de îmbinat (fără metal de adaos). Procedeul este o particularizare a sudării în stare solidă. Domeniul său de aplicație se limitează la acele metale sau aliaje, care, în condițiile menționate, prezintă însușiri plastice corespunzătoare pentru a suporta gradul minim de deformare necesar sudării fără distrugeri locale determinate de tensiuni proprii mari.

Procedeul cercetat și aplicat permite realizarea îmbinărilor cu o eficiență economică mai ridicată decât celelalte mijloace de sudare cunoscute pînă în prezent.

Posibilitatea apariției forțelor de coeziune între metale în stare solidă a fost studiată încă în secolul al XVIII de către Coulomb [40], în lucrarea sa „Asupra adeziunii moleculare a metalelor în procesul de frecare” (1785).

Posibilitatea sudării metalelor la temperatura mediului ambiant a fost sugerată încă de mult. Mulți cercetători s-au ocupat de această problemă și au fost publicate mai multe lucrări.

Experiențe concludente de sudare în stare solidă la temperatura mediului ambiant (la rece), au fost făcute pentru prima oară în anul 1911, în laboratoarele profesorului S. Rejtő de la Politehnica din Budapesta [38]. Metalele studiate au fost staniul, plumbul și cuprul. Epruvetele supuse încercării au constatat din cilindri cu un diametru de 38 mm, acționați oblic și ghidați într-un tub de oțel. Sudarea s-a realizat prin aplicarea unei forțe axiale de compresiune de: 50 tf. pentru staniu, 110 tf pentru plumb și 300 tf pentru cupru.

Robert Austin (1896)[38].a făcut experiențe interesante cu tije de plumb, la una din extremitatea căreia a lipit o foiță de aur. După lipire, probele au fost încălzite la diferite temperaturi și s-a putut pune în evidență aurul difuzat în părțile cele mai îndepărtate ale tijei, chiar și la temperatura mediului ambiant. Difuzia depinde pe lângă temperatură și de durata încălzirii.

Idea procesului de difuziune în stare solidă a fost studiată și susținută experimental de Dr C. Mikloși în lucrarea sa de habilitare [32] în anul 1918, Metalele studiate au fost cuprul și argintul. S-a dovedit pe cale metalografică faptul că în stare solidă, prin limitele grăunților, metalele se întrepătrund difuziunea propagându-se în interiorul grăunților.

Nivelul de dezvoltare a cercetărilor referitoare la sudarea prin presare la rece în etapa actuală

Cu toate studiile experimentale valoroase întreprinse în trecut, acestea au rămas fără aplicațiuni practice. Primele propuneri concrete privind folosirea pe scara industrială a procedeului de sudare la rece, au fost făcute abia după cel de al doilea război mondial.

Din datele bibliografice reținem că lucrări de cercetare privind bazele fizice, elaborarea tehnologiei și construcția utilajelor de sudare la rece se efectuează într-o serie de state capitaliste, în particular SUA, Anglia, Japonia, RFG și în țările socialiste URSS, RPP, CSR, RDG, ș.a. În aceste țări există și o producție de utilaje pentru sudare.

Din lucrările de specialitate cu caracter monografic, deosebită în special sudării la rece este cartea lui R.F. Tylecote „Sudarea în fază solidă” editată la Londra în 1968. Cu problemele

sudării la rece se ocupă cercetătorii englezi A. Sowter, T. Bowden, I.E. Hughes ș.a., în RFG W.Hoffmann și I.Ruge.

În țările socialiste situația se prezintă după cum urmează: În URSS se publică lucrări în legătură cu sudarea la rece într-un volum mai mare decât în orice țară din lume. Se cunosc trei monografii consacrate sudării la rece: -S.B. Aimbinder; -I.B. Baranov (trei ediții) și A.P. Semionov (două ediții). În 1961 la Varșovia a fost editată monografia K. Neviadomschi și M. Olșevschi „Sudarea la rece a metalelor”. În revistele de specialitate din țările socialiste au fost publicate multe articole privind cercetările, utilajele și domeniile de aplicabilitate a procedurii de sudare la rece. În RSR, autorul prezentei lucrări, având o activitate îndelungată în acest domeniu, are 14 (patrusprezece) lucrări publicate în diferite reviste de specialitate [6...18 și 46] din țară și străinătate.

Studiul procedurii de sudare la rece, stabilirea domeniilor de aplicare, elaborarea tehnologiei sudării și noilor mașini de sudare are o importanță teoretică și practică mare, permițând cunoașterea particularităților și înțelegerea esenței procesului de sudare la rece. Deasemenea, permite introducerea în industrie a unei tehnici și tehnologii înaintate de sudare, obținându-se astfel un avantaj economic considerabil.

Ținând seama de perspectivele și utilitatea lucrărilor în această direcție, pentru scurtarea duratei studiilor și cunoașterea cercetărilor efectuate în țările membre CAER, începând din anul 1965, ele sînt incluse în planul curent de coordonare a cercetărilor tehnice și științifice importante, prezentînd interes reciproc.

Țara noastră a participat la această acțiune prin activitatea autorului prezentei teze, la început în cadrul CCT al

Bazei din Timișoara a Academiei RSR, apoi la catedra UTS al IPTVT respectiv al MEI cu următoarele două teme:

„Cercetarea deformațiilor plastice ce au loc în procesul de sudare la rece” și

„Aplicarea sudării la rece la fabricarea mașinilor electrice și în instalațiile energetice”

Rezultatele cercetărilor la temele menționate (IV.11.2) au fost susținute la consfăturile anuale de coordonare a specialiștilor care lucrează nemijlocit la această temă. Astfel se amintesc consfăturile: Leningrad (1965); Bratislava (1966); Glivice RPP (1967); Kiev (1968); Varna (1969); Timișoara (1970) și Dresda (1971). Cu ocazia acestor consfătuiri s-a putut lua cunoștință de realizările obținute de celelalte țări membre CAER.

Documentele Congresului al XI-lea al PCR acordă o deosebită atenție promovării progresului tehnic și totodată subliniază că, ministerele și conducerea întreprinderilor împreună cu specialiștii din instituțiile de cercetări științifice și cadrele didactice din învățământul superior au datoria de a-și concentra eforturile asupra introducerii tehnicii noi în procesul de producție.

Astfel, cercetările aplicative ale autorului au fost realizate în colaborare contractuală cu o serie de întreprinderi industriale și instituții de cercetare ca beneficiari. Amintesc: IIS Electro-Mureș din Tg-Mureș (1966),

ICPE Institutul de cercetări și proiectări pentru industria electrotehnică București (1968-1970),

UEPC Uzina Electro-putere Craiova (1973-1975).

În prezent s-a ajuns la rezultate remarcabile cu sudarea la rece a aluminiului și aliajelor sale, cuprului, nichelului, titanului ș.a., precum și metalelor diferite: aluminiu cu cupru, oțel cu cupru, argint cu cupru, oțel cu aluminiu ș.a. Se mărește

continuu sortimentul de metale, imbinate prin sudarea la rece.

Avînd în vedere că sudarea la rece este foarte economică pentru realizarea ei se consumă cu oca 50% mai puțină energie decît la sudarea electrică prin presiune (considerată cea mai economică), în prezent toate țările socialiste precum și cele capitaliste aplică în multe ramuri industriale procesul de sudare prin presare la rece. Ca exemplu amintesc - imbinarea pieselor de aluminiu în industria electrotehnică, la fabricarea mașinilor electrice, a transformatoarelor, la instalații energetice (imbinarea barelor colectoare, a ramificațiilor, armarea barelor de contact din aluminiu cu plăci de cupru) și în industria producătoare de obiecte din tablă de aluminiu.

Avînd în vedere economiile de materiale și de energie electrică care s-ar putea realiza prin aplicarea procedurii de sudare la rece, introducerea acestui procedeu ar trebui să facă parte din preocupările unor ministere și a unor întreprinderi, care prin profilul lor prelucrează metale neferoase, cu atât mai mult cu cît introducerea acestui procedeu în procesul de producție nu reclamă un utilaj costisitor și nici calificare superioară a forței de muncă.

PREZENTAREA LUCRĂRII

Lucrarea este alcătuită din trei părți și conține zece capitole. Ea cuprinde 165 pagini, 141 figuri, 21 tabele, 55 fișe anexe și o listă bibliografică de 50 titluri.

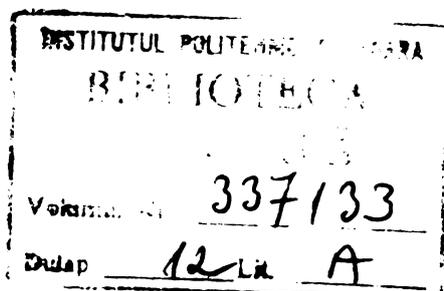
În prima parte a lucrării, care cuprinde capitolele 1 și 2, se sintetizează cunoștințele actuale privind fenomenele fizice care au loc la formarea îmbinărilor sudate prin presiune la rece, se enumără ipotezele care stau la baza procedurii de sudare, precum și metodele de cercetare a desfășurării în timp a procesului de deformare plastică. În această parte a lucrării, sînt prezentate și rezultatele obținute de diferiți cercetători străini în privința realizării unor criterii de apreciere cantitativă a deformărilor plastice la sudare (refulare).

Partea a doua a lucrării, cuprinde capitolele 3, 4, 5 și 6. În capitolul 3, sînt prezentate majoritatea mijloacelor de deformare plastică folosite la sudare. În capitolul 4, se definesc parametrii procesului de sudare, influența elementelor de adaos asupra sudabilității, precum și posibilitatea de îmbinare prin sudare a două metale diferite. Capitolul 5, tratează cercetările privind tehnologia de sudare cap la cap a barelor de aluminiu și de cupru. Aici se amintesc cercetările privind influența deformărilor repetate asupra calității îmbinărilor sudate și sudarea cap la cap a conductoarelor în instalațiile electrice interioare. Pentru utilajul destinat sudării, autorul posedă două Brevete de invenții prezentate în Anexa lucrării. În acest capitol se evidențiază (punctul 5.3) studiul intim al formării unei îmbinări din metale diferite (Cu + Al), la care s-a folosit microsondă electronică de la ICM București. Capitolul 6, cuprinde

cercetările privind tehnologia de sudare prin puncte. S-au determinat: forma, dimensiunile poansonelor, gradul optim de deformare și pasul punctelor sudate. S-a urmărit comportarea la tracțiune a unor îmbinări executate cu mai multe puncte și cu poansoane de formă rotundă și dreptunghiulară. Cercetările privind sudarea cu poansoane de formă eliptică și de formă inelară s-au extins în afara încercărilor mecanice și în cercărilor la vibrații, la urmărirea modificărilor structurale ale materialului dislocat de poanson în jurul și între punctele sudate. Investigațiile s-au făcut prin măsurarea microdurității și printr-un examen macrostructural al spațiului amintit. În afara punctului 5.1, restul de puncte din cap.5 și capitolul 6, reflectă activitatea autorului tezei, parte publicată în cadrul grupei de specializare CAER.

Partea a treia a lucrării cuprinde capitolele 7, 8 și 9, privește aplicarea în producție a rezultatelor cercetărilor complexe efectuate. Exemplele pentru partea aplicativă au fost culese din contractele de cercetare tehnico-științifice conduse de autor. Astfel în capitolul 7, se studiază tehnologia sudării înfășurărilor din folii de aluminiu și de cupru folosite la fabricarea transformatoarelor electrice (contract cu ICPE București). Totodată a fost concepută de autor și executată în laboratoarele catedrei UTS o instalație experimentală de sudat, cu care au fost executate experimentările. Încercările mecanice și structurale au dat rezultate bune. Încercările electrice complexe, folosind probe de forme speciale, cu înregistrări oscilografice, au confirmat calitatea foarte bună a îmbinărilor sudate. În capitolul 8, se prezintă contribuțiile privind sudarea barelor de curent din aluminiu, folosite la instalațiile energetice, (contract cu UEPC Craiova). În prima parte a acestui capitol se urmărește realizarea unui număr de nouă îmbinări tip, iar în a doua parte con-

ceperea unui flux tehnologic pentru realizarea a patru suban-
samble necesare la celule de înaltă tensiune. În acest capitol
se concep și se re proiectează dispozitivele de sudare cu poan-
șoane adecuate și se stabilesc parametrii tehnologiei de sudare,
dispozitivele de tracționare a probelor sudate, precum și studiul
metalografic al punctelor sudate. Probele îmbinărilor tip sudate
sunt încercate electric cu rezultate bune la încălzire, la curenți
nominali și verificare a stabilității termice și dinamice. Tot-
odată se fac propuneri privind executarea îmbinărilor pentru ce-
lule de înaltă tensiune, organizarea fabricației, linia tehnolo-
gică pentru sudare, precum și metode pentru controlul calității
îmbinărilor în procesul de fabricație. Capitolul 9 cuprinde con-
siderațiunile finale ale cercetărilor, iar capitolul 10, biblio-
grafia consultată și contribuțiile originale ale lucrării.



PARTEA I-a

1. FORMAREA LEGĂTURII SUDATE PRIN PRESIUNE LA RECE (DIFERITE IPOTEZE).

Odată cu apariția procesului de sudare la rece, s-a căutat și explicația teoretică a fenomenului coeziunii metalelor prin deformare plastică la temperatura mediului ambiant. Cercetările întreprinse cu acest scop, coincid parțial cu cercetările asupra coeziunii metalelor în general.

În ceea ce privește natura legăturii coezionale ce apar între metale în timpul procesului de sudare la rece, s-au emis mai multe ipoteze, dintre care menționez următoarele:

- ipoteza formării legăturii datorită contactului nemijlocit între suprafețele corpurilor de îmbinat;
- ipoteza formării legăturii prin difuziune;
- ipoteza formării legăturii prin recristalizare;
- ipoteza energetică a coeziunii.

1.1. Ipoteza formării legăturii datorită contactului nemijlocit între suprafețele pieselor de îmbinat.

În general, între două suprafețe metalice în contact într-un mediu care nu reacționează chimic cu aceste metale, la temperatura inferioară pragului de recristalizare, pot să apară două feluri de legături:

aderența - interacțiunea dintre două metale în contact, fără formarea unei legături rezistente și fără dispariția limitei de separație dintre cele două corpuri;

coeziunea - interacțiunea a două metale prin formarea unei legături rezistente. Coeziunea se produce în urma apropierii atomilor de pe suprafețele în contact, la distanțele compa-

rabile cu parametrul rețelei cristaline, prin formarea legăturilor metalice și dispariția limitei de separație dintre corpuri.

Pentru a se analiza modul de formare a legăturii interatomice coezionale la nivel microscopic, se consideră un model biatomic format din doi atomi situați la distanța R [21]. Forța de interacțiune dintre atomi F , într-o deplasare elementară dR , efectuează lucrul mecanic elementar:

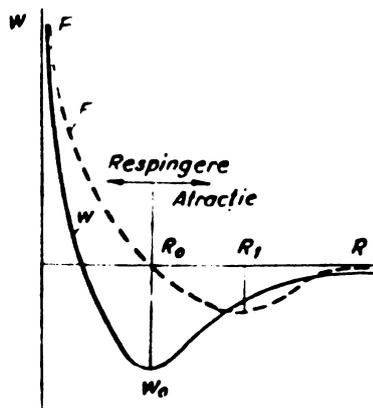
$$dL = F \cdot dR, \quad (1)$$

iar energia potențială W , se micșorează cu

$$dW = - dL = - F dR, \text{ sau } (2)$$

$$F = - \frac{dW}{dR} \quad (2a)$$

Relația diferențială (2a) se prezintă grafic în fig.1.



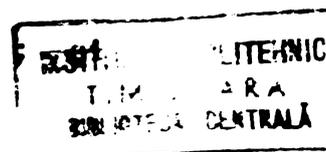
Pentru valori foarte mari ale distanței R , interacțiunea dintre atomi este practic inexistentă, astfel încât energia W și forța F pot fi considerate constante și egale cu zero. Cu scăderea distanței dintre atomi, energia potențială scade, iar $F(R)$ ia valori negative corespunzătoare forțelor de atracție.

Fig.1. Variația energiei W și a forței de interacțiune F pentru un model biatomic.

Pentru $R = R_0$ corespunzător minimumului energiei potențiale $W = W_0$, forța F devine nulă, urmînd ca pentru va-

luri ale distanței $R > R_0$, energia potențială să crească iar forța F să ia valori pozitive corespunzătoare forțelor de respingere. Această variație se poate explica divizînd energia $W(R)$ în doi termeni:

- energia forțelor de atracție de forma: $W = - \frac{a}{R}$



- energia forțelor de respingere de forma: $W_r = - \frac{b}{R^n}$

în care a și b sînt constante pozitive, iar exponenții m și n sînt legați prin inegalitatea $m < n$. Această înseamnă că forțele de respingere variază funcție de R mai rapid decît forțele de atracție, ceea ce face ca pentru distanțe mici, forțele de respingere să depășească în valoare forțele de atracție.

Pentru $R = R_1$, curba energiei $W(R)$ are un punct de inflexiune, iar curba $F(R)$ prezintă un minim care în valoare absolută reprezintă efortul maxim pe care-l poate suporta modelul la deformare. Poziția de echilibru a atomilor corespunde minimului energiei potențiale, fiind determinată de distanța:

$$R_0 = \left(- \frac{nb}{ma} \right)^{\frac{1}{n-m}}$$

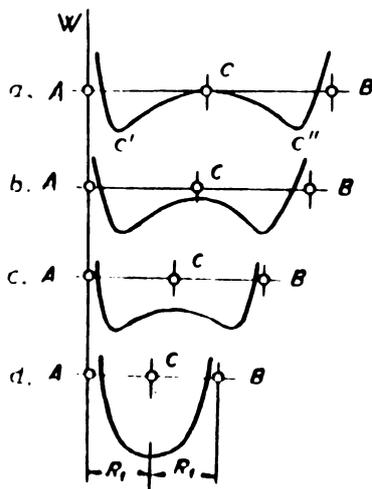


Fig. 2. Model triatomic liniar.

În cele ce urmează se examinează o porțiune microscopică din metalele de sudat și anume, un model triatomic liniar format din câte un atom mărginaș al fiecărui metal A, respectiv B, și un atom C situat între primii doi atomi, așa cum se vede în fig. 2.

Energia potențială a atomului C față de atomii A și B poate fi reprezentată ca în fig. 2a. Poziția

simetrică a atomului C corespunde unui maxim al energiei potențiale, deci echilibrului nestabil. În raport cu atomii vecini A și B, atomul C poate avea două poziții de echilibru stabil C' și C'' corespunzătoare celor două minime ale energiei potențiale, $W(R)$.

Dacă apropiem atomul B de atomul A micșorînd dimensiunile modelului, curba energiei potențiale a atomului C se schimbă treptat după cum se vede în fig. 2.a, b, c și d.

Pentru distanțe mari între atomii A și B, curba $W(R)$ se compune din două ramuri distincte, corespunzătoare interacțiunii dintre A și C, respectiv dintre B și C. Prin apropierea atomilor extremi, curba $W(R)$ prezintă un maxim din ce în ce mai puțin pronunțat care, în cele din urmă dispare, minimele contopindu-se într-unul singur (fig. 2.d). Legătura coezională se produce în momentul în care distanța dintre atomii extremi devine egală cu $2R_1$ distanță care în diagrama forțelor de interacțiune $F(R)$ corespunde maximului forței de atracție. Atomul C în această poziție se află în echilibru, energia sa potențială față de atomii A și B fiind minimă.

Pentru $R = R_0$ corespunzător minimului energiei potențiale $W = W_0$ și $F = 0$; pentru $R > R_0$, W devine pozitivă.

Pentru realizarea unei legături metalice - în cazul sudării prin presiune la temperatura mediului ambiant - se necesită dezvoltarea unei forțe suficient de mari pentru a apropia atomii mărginași ai pieselor în contact la distanțe comparabile cu $2R_1$ și de a mări în continuare numărul atomilor aflați în stare de echilibru.

În cazul rețelelor perfect echilibrate ale monocristalelor aceluiași material, prin apropierea rândurilor de atomi identici orientate, după o anumită limită se produce unirea spontană a celor două piese într-un bloc monolit cu eliberarea energiei superficiale.

În realitate însă fenomenul de coeziune se desfășoară în condiții deosebite față de cele prezentate mai sus. Sudarea are loc într-un mediu oarecare, suprafețele în contact fiind

acoperite de cele mai multe ori cu pelicule de oxid sau de substanțe organice, Metalul prezintă o structură policristalină neechilibrată, are defecte la limitele dintre grăunți. Orientarea rețelelor cristaline în vecinătatea suprafețelor de contact fiind diferite. Metalele sînt departe de a fi pure sau omogene din punct de vedere al proprietăților mecanice.

În cazul contactului dintre metale diferite, interacțiunea atomilor poate avea un caracter mai complex, căci în afara legăturilor metalice se mai pot forma și legături de altă natură ca solubilitate reciprocă, combinații intermetalice ș.a. În aceste condiții, considerentele de mai sus ne înfățișează mecanismul coeziunii intermetalice doar sub aspectul microscopic, elementar al unui proces ideal care nu se desfășoară în realitate.

Încercările lui Semionov [40] asupra procesului de coeziune prin deformare plastică a metalelor prin metoda deformării prin poansoane (metodă descrisă amănunțit la punctul 3.2.), au arătat că pentru grade de deformare sub 50% se creează condiții favorabile contactului direct între porțiunile curate de metal, legătură rezistentă nu se produce decît pentru grade de deformare mai mari de 50%.

1.2. Ipoteza formării îmbinării prin difuziune.

Ipoteza difuzională a coeziunii metalelor este susținută de două grupuri de cercetători și anume: N.F.Laşko, Laşko Avakian [31] și Erdmann - Jesnitzer, W.Dichmann [20].

După părerea lui N.F.Laşko și Laşko-Avakian, mecanismul coeziunii metalelor în stare solidă este difuziunea. Într-adevăr, la sudarea în stare solidă la temperaturi ridicate procesul de difuziune pare să joace un rol important. În cazul sudării la rece, procesul avînd loc la temperatura mediului ambiant, la care vitezele de difuziune și în special de autodifuziune

ne sînt foarte mici, aportul mecanismului difuzional este neglijabil.

Pentru a conferi acestei ipoteze o valabilitate generală, autorii consideră că deși procesul se desfășoară la temperatura camerei, datorită neomogenității deformațiilor plastice, în apropierea limitelor de separație se formează așa numitele pachete de deplasare. După unele calcule, autorii susțin că în interiorul acestor pachete se poate dezvolta o cantitate de căldură suficientă pentru a produce o creștere locală a temperaturii, care să favorizeze apariția unor punți rezistente formate prin difuziunea intensă a metalelor din ambele piese. Exemplele citate de autori se referă la viteze de deformație foarte mari, pe cînd de obicei îmbinarea la temperatura ambiantă se produce la viteze de deformație mici. Pe de altă parte, calculele menite să întărească această ipoteză, s-au efectuat de către autori în ipoteza unui proces local, fără transfer de căldură cu masa metalului înconjurător. Se știe însă că metalele posedă un coeficient de transmitere a căldurii ridicat și în plus, vitezele de deformare moderate favorizează transferul de căldură.

Daoa în cazul sudării la rece coeziunea s-ar produce datorită unui mecanism difuzional, atunci schimbarea vitezei de deformație plastică ar fi influențat sensibil valoarea deformației plastice necesare sudării. La reducerea vitezei de deformare, valoarea gradului minim de deformație necesar sudării ar fi trebuit să crească, fenomen care nu s-a observat experimental.

Pentru a elucidă rolul procesului de difuziune în formarea îmbinărilor sudate la temperatura camerei, Semionov [40] a făcut o experiență simplă. O serie de epruvete din tablă de aluminiu, curățite în prealabil s-au îmbinat prin deformație plastică cu ajutorul unor poansoane simetric orientate,

fiind menținute ulterior sub presiunea maximă timp de 40 ore. Prin compararea acestor probe cu probele din alt lot sudate în mod obișnuit, s-a observat că menținerea timp îndelungat la temperatura camerei nu a influențat mărimea sudurilor obținute.

Această experiență dovedește că sudarea prin deformare plastică la temperatura mediului ambiant este un proces adifuzional. Fenomenul de difuziune poate avea loc numai la temperaturi care întrec pragul de recristalizare, când la formarea îmbinării sudate ia parte și coalescența. La temperaturi superioare celei de recristalizare, difuziunea și recristalizarea sînt două procese care se întrepătrund.

1.3. Ipoteza formării legăturii prin recristalizare.

Conform acestei ipoteze, enunțată de I.M.Parks [35] realizarea unei legături coezionale prin deformare plastică la temperatura mediului ambiant s-ar datora unui mecanism de recristalizare locală a metalului din apropierea suprafețelor de separație. Se știe că temperatura de recristalizare a unui metal scade cu mărirea gradului de deformare plastică anterioară. Pornind de la faptul că datorită pregătirii suprafețelor pe cale mecanică (prin periere), în vecinătatea limitoi de separație rețeaua cristalină a celor două piese este puternic deformată, J.M.Parks a considerat că în zona de contact metalul poate atinge o stare care să permită o recristalizare locală.

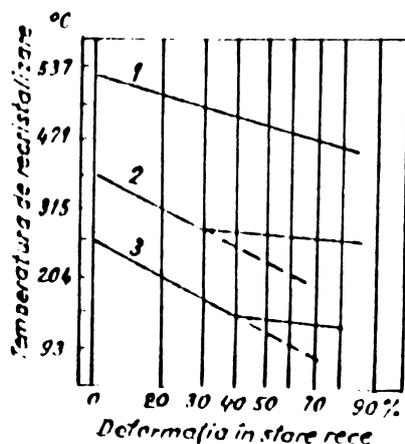


Fig. 3. Variația temperaturii de recristalizare funcție de gradul de deformare [35]; 1-fier; 2-aluminiu; 3-cupru.

Temperatura de recristalizare scade cu mărirea gradului de deformare plastică numai pînă la o anumită limită, în urmă depășirii căreia rămîne aproape neschimbată (fig. 3.). Conform nomenclaturii lui J.M.Parks deformarea limită după care temperatura de recristalizare rămîne practic constantă se numește și "deformare de recristalizare", iar temperatura minimă necesară recristalizării, "punct de recristalizare".

În urma încercărilor efectuate, J.M. Parks a stabilit, că în experiențele sale temperatura la care s-a produs coeziunea coincide aproximativ

ou temperatura minimă de recrystalizare a metalului puternic deformat. Pe baza acestei observații, el a tras concluzia că principalul mecanism al sudurii la rece ar fi recrystalizarea.

După părerea lui J.M.Parks, în cazul sudurii la temperaturi inferioare temperaturii minime necesare recrystalizării metalului puternic deformat (deci și în cazul sudurii la temperatura mediului ambiant), creșterea de temperatură necesară atingerii temperaturii minime de recrystalizare se realizează datorită căldurii degajate în timpul procesului de deformație.

Pe de altă parte J.M.Parks a arătat că pentru acționarea procesului recrystalizării este necesar ca energia totală a rețelei cristaline din vecinătatea suprafeței de separație să atingă o valoare constantă:

$$Q = X + Y$$

unde X fiind energia acumulată în metal în urma deformațiilor plastice, iar Y energia datorită faptului că temperatura metalului depășește temperatura la care are loc deformația. În fig.4. se

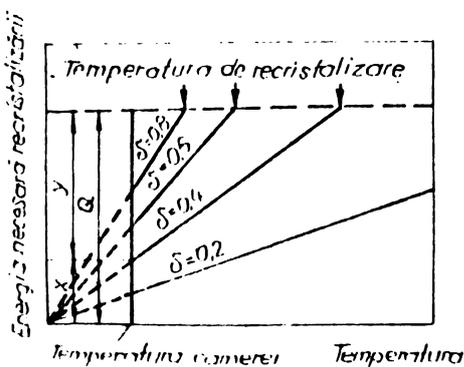


Fig.4. Legătura dintre energia de recrystalizare, gradul de deformație și temperatura de recrystalizare.

prezintă grafic legătura dintre energia de recrystalizare, gradul de deformație și temperatura de recrystalizare. Din acest punct de vedere, teoria lui J.M.Parks interferează parțial cu teoria energetică a coeziunii care se va expune la punctul 1.4.

Dacă părăsim domeniul experiențelor lui J.M.Parks, ipoteza formării îmbinării prin recrystalizare este contrazisă de o serie de fapte, relevate de Semionov în lucrarea sa [40].

În edovăratul sens al cuvintului, recrystalizarea este un

proces de formare și creștere a cristalelor prin schimbarea structurii într-una mai apropiată de starea de echilibru termodinamic a rețelei cristaline. Cercetarea cu raza Roentgen a unor legături obținute la temperatura ambiantă nu a pus în evidență în zona îmbinării nici-o urmă de recristalizare [42], dimpotrivă, în această zonă duritatea metalului și gradul de scruisare (vezi punctele 3.1 și 3.2) sînt maxime.

Experiențele lui Hoffmann W. și Ruge I. [24], care au obținut îmbinări sudate la temperaturi de -150°C , temperaturi la care nu poate fi vorba de o recristalizare, ne conving chiar de contrariul acestei ipoteze.

Dacă în condițiile sudării la rece ipoteza formării legăturii prin recristalizate ar fi valabilă, schimbarea vitezei de deformație care influențează în mod simțitor valoarea deformației minime de recristalizare, ar trebui să modifice sensibil și gradul de deformație minim necesar sudării. Experimental s-a dovedit însă că la temperatura mediului ambiant, într-un interval larg al vitezelor de deformație, deformația minimă necesară sudării rămîne practic constantă.

Cu toate lipsurile pe care le are teoria sa, I.M. Parks are totuși meritul de a fi sesizat latura energetică a mecanismului de formare a îmbinărilor sudate la rece.

1.4. Ipoteză energetică a formării îmbinării sudate la rece.

Ipoteza energetică a coeziunii formulate parțial în lucrările unor cercetători ca J.M.Parks [35], Erdmann-Jesnitzer, W.Wichmann [20], și W.Hoffmann, I.Ruge [24] este tratată pe larg. Conform ipotezei energetice, coeziunea respectiv sudarea la rece a două metale se produce în urma atingerii sau depășirii unui prag energetic al coeziunii care, pentru fiecare metal în parte are o valoare bine determinată.

Pentru formarea unor legături coezionale, este necesar ca cele două metale să formeze o rețea cristalină comună. Existența pragului energetic se datorește faptului că atomii celor două metale aparțin unor rețele cristaline deosebite, diferit orientate în spațiu.

Cu cât starea energetică a metalului de îmbinat este mai apropiată de pragul de coeziune, cu atât sudarea celor două metale se va produce mai ușor, cantitatea de energie necesară activării procesului de coeziune fiind mai mică. Toate metodele de creștere reversibilă a energiei atomilor în comparație cu energia lor minimă apropie metalul de starea energetică necesară realizării coeziunii. Energia minimă pe care o poate avea un atom în rețeaua cristalină corespunde pozițiilor ocupate în nodurile rețelei unui macrocristal ideal. Deformațiile elastice ale rețelei cristaline și scurgerea datorită deformațiilor plastice produse în cursul procesului de sudare, încălzirea metalului, sînt factori care contribuie la mărirea energiei atomilor în rețeaua cristalină.

În cazul metalelor policristaline, din cauza dezorientării statistice a grăunților față de suprafața de contact, pragul energetic de coeziune va avea o valoare medie constantă, cu toate că fiecărui grăunț diferit orientat îi va corespunde o valoare a acestei energii diferită de cea medie. Pe suprafața de separație a celor două metale, va exista un număr oarecare de atomi a căror energie va fi mult superioară celei medii. Încă de la începutul procesului de deformație plastică, acești atomi vor putea atinge pragul energetic al coeziunii, formînd astfel primele legături metalice, primii germeni ai îmbinării sudate. În urma formării legăturii metalice se degajă o cantitate de energie egală cu diferența dintre energia superficială a suprafețelor în contact și energia îmbinărilor realizate. Dacă energia degajată

În acest prim proces este suficientă pentru a activa în continuare și coeziunea atomilor învecinați, cu alte cuvinte dacă primii germeni ai îmbinării găsesc condiții energetice favorabile, procesul de coeziune se dezvoltă cu viteză crescândă, cuprinsînd întreaga suprafață de separație. După comparația făcută de A.P. Semionov [40], desfășurarea procesului de coeziune este asemănătoare unei reacții în lanț.

Ipoteza energetică despre apariția coeziunii datorită depășirii prin salt a unui prag energetic bine stabilit, este confirmată de experiențele lui W.Hoffmann și I.Bage [26], la sudarea în rece cap la cap a unor probe cilindrice de aluminiu (99,5% Al). Rezistențele la rupere a îmbinărilor obținute funcție de gradul de deformare plastică (exprimat ca raportul dintre secțiunea barei și secțiunea inițială) sînt date în fig. 6.

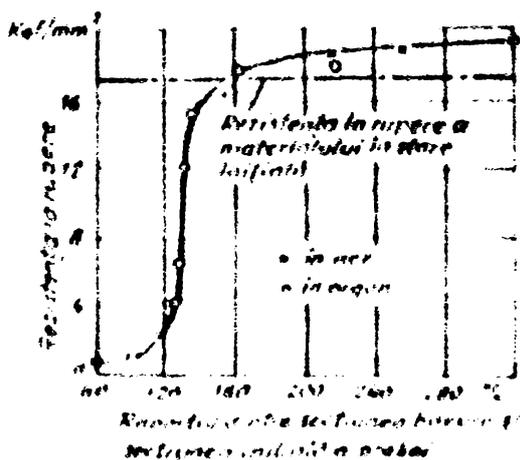


Fig.6. Rezistența îmbinărilor sudate cap la cap funcție de gradul de deformare (Al de 99,5%) [24]. Curățirea suprafețelor în contact cu perle metalice, sudare în aer și în mediu de argon.

Înșă cum se vede, în apropierea unei anumite valori a deformării plastice, rezistența îmbinării prezintă o creștere în salt. Pentru o variație foarte mică a gradului de deformare, deci pentru o creștere neînsemnată a suprafeței de contact, rezistența îmbinării crește brusc, saltușu în acest interval mic de la zero la valoarea rezistenței metalului de bază.

Acest fenomen confirmă că îmbinarea se produce în urma atingerii de către atomi a unei stări energetice bine stabilite și că acest proces în desfășurarea sa, are un caracter de av-

Ipoteza energetică nu exclude difuziunea sau recristalizarea care, în cazul sudării la temperaturi superioare pragului de recristalizare, pentru durate relativ mari de menținere sub presiune pot juca un rol destul de important.

Ipoteza energetică este pînă în prezent cea mai acceptabilă, reușind să explice o serie de fenomene pe care celelalte ipoteze nu le-au putut cuprinde.

2. STADIUL ACTUAL AL CUNOSTINTELOR DESPRE MECANISMUL DEFORMATIEI PLASTICE LA METALE (METODE DE CERCETARE).

Capacitatea de deformare plastică a materialului și mărimea gradului de deformare sînt principalii parametri de care depinde reușita procesului de sudare. Este important să se cunoască condițiile în care apar deformările plastice ale materialului, felul în care decurge procesul de deformare și rezistența pe care o opune materialul în timpul deformării plastice.

Principala caracteristică a deformării plastice a materialului constă în faptul că sub acțiunea forțelor exterioare are loc alunecarea unor formații de atomi în diferite plane și după anumite direcții preferate fără să se producă o slăbire a forțelor de coeziune dintre aceste formații. Pentru a produce o deformare, trebuie învinsă rezistența pe care o opune materialul față de alunecare. Avînd în vedere caracterul anizotrop al acestei rezistențe, rezultă că alunecarea are loc în direcția după care rezistența opusă de material este minimă. O condiție necesară pentru realizarea alunecării este ca tensiunea tangențială într-o anumită direcție a unui plan de alunecare posibil, să fie mai mare decît rezistența față de alunecarea materialului în planul și în direcția considerată.

O altă caracteristică este, că deformația plastică schimbă forma grăuntelui fără să modifice structura lui cristalină. Acest fapt se confirmă experimental prin metoda difracției razelor Roentgen, care arată că deformarea plastică nu modifică aproape deloc parametrii inițiali ai rețelei cristaline [22].

O teorie a plasticității emisă de Saint-Venant, presupune că deformația plastică începe atunci, când tensiunea tangențială maximă atinge pentru materialul respectiv o valoare bine determinată, care rămâne apoi practic constantă în tot decursul procesului de deformație, adică: $\max |\tau_n| = k$ (a)

Starea plastică a corpului poate fi exprimată printr-o relație între tensiunile normale principale:

$$f(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = 0 \quad (b)$$

numită condiție de plasticitate. Din punct de vedere matematic, într-un sistem cartezian de axe, condiția de plasticitate reprezintă o suprafață denumită suprafață limită de plasticitate. Planele în care tensiunile tangențiale ating valoarea maximă, se numesc plane de alunecare și sînt în număr de două. Ele trec printr-una din direcții principale, și sînt egal înclinate față de celelalte două direcții principale. În zona care se află în stare plastică, se pot duce suprafețe care să prezinte proprietatea ca planurile tangente la această suprafață în orice punct al ei să coincidă cu planul respectiv de alunecare. Ele formează două familii ortogonale, numite suprafețe de alunecare (sau ougore).

Valoarea maximă a tensiunii tangențiale $\max(\tau)$ este egală cu

$$|\tau_{\max}| = \sigma_1 - \sigma_3 = k \quad (c)$$

Deși există unele abateri ale datelor experimentale față de datele furnizate de relația (c), condiția constantei tensiunii

tangențiale maxime caracterizează în măsură mulțumitoare condiția de plasticitate a unor materiale, în special a metalelor, care în condiții uzuale au o comportare ductilă, ca aluminiul, cuprul ș.a.

În cazul mai general condiția de plasticitate poate fi scrisă sub forma:

$$\max \left[|\tau_n| - f(\sigma_n) \right] = 0 \quad (a)$$

forma funcției (f) caracterizând proprietățile mecanice ale materialului. Planele în care $|\tau_n| = f(\sigma_n)$ se numesc plane de alunecare.

Condiția de plasticitate se poate reprezenta și într-o diagramă $\sigma_n - \tau_n$. Funcția $|\tau_n| = f(\sigma_n)$ este înfășurătoarea tuturor cercurilor principale mari ale diverselor stări limită și se numește curbă limită (fig.6).

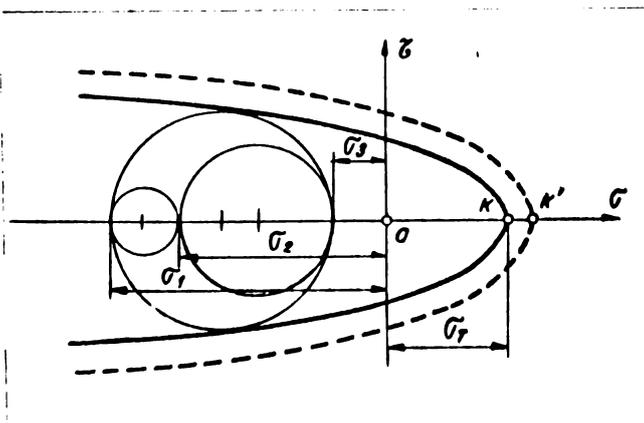


Fig.6. Curbă limită $\tau_n = f(\sigma_n)$.

Curbă limită reprezintă rezistența la alunecare în funcție de efortul normal (σ_n) din planul de alunecare. Segmentul OK reprezintă rezistența la coeziune tehnică (σ_T) a materialului la care acesta se rupe prin smulgere (adică fragil), fiind toate cele trei tensiuni principale egale ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_T$), iar tensiunile tangențiale (τ) sînt nule.

Pe măsura măririi gradului de deformare plastică și a întăririi materialului, rezistența la alunecare crește și odată

cu ea crește și tensiunea normală σ_n la care pentru un anumit τ_n se produce alunecarea. În urma acestui fapt, curba limită se depășește într-o nouă poziție, iar coeziunea tehnică ajunge în k' .

Intărirea este o proprietate inerentă oricărui metal, de care trebuie să se țină seamă în cursul deformațiilor plastice prin intermediul limitei de curgere σ_0 .

Teoria plasticității, care concordă cel mai bine, cu experiența este teoria energetică a plasticității. Aceasta consideră drept criteriu al apariției deformațiilor plastice, invariabilitatea lucrului mecanic specific de formă, analitic ea se exprimă prin relația:

$$(\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2 = 2\sigma_0^2 \quad (e)$$

Această relație scrisă într-o formă mai simplă:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta \sigma_0 \quad (e')$$

În care β este un coeficient ce depinde de (σ_2) , fiind cuprins între 1 și 1,15. În condițiile deformării plastice la rece, valoarea lui (σ_0) din relațiile (e și e') variază în funcție de condițiile în care decurge procesul de deformare, depinzând de o serie de factori, ca gradul de deformare, viteza de deformare ș.a.

Cu cât deformarea plastică este mai avansată, cu atât mai mare va fi rezistența opusă de metal acțiunii forțelor exterioare. Deformarea plastică efectuată în prealabil mărește rezistența la o nouă deformare, majorând valoarea unor caracteristici mecanice ca: rezistența la rupere, limita de curgere, duritatea metalului etc. Datorită epuizării unui anumit număr de plane posibile de alunecare, plasticitatea materialului scade. În fig. 7 este reprezentată variația rezistenței la rupere și alungirii specifice în funcție de gradul de deformare pentru aluminiu și cupru [26].

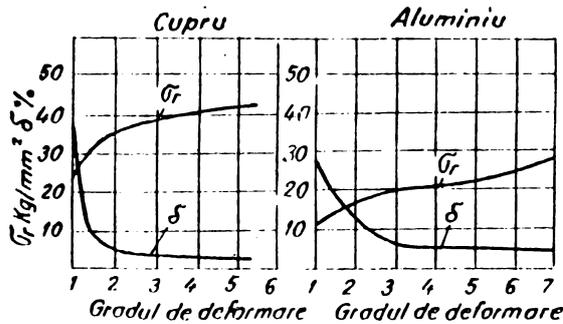


Fig.7. Variația proprietăților mecanice ale aluminiului și cuprului funcție de gradul de deformare plastică [26].

Figura arată că pe măsura creșterii gradului de deformare, rezistența la rupere (σ_r) crește, iar plasticitatea, caracterizată prin alungire la rupere (δ) scade.

În lumina teoriei dislocațiilor, deoarece deformarea plastică se realizează prin mișcarea dislocațiilor și densitatea acestora crește cu gradul de deformare, astăzi se admite unanim că ecruisarea (întărirea) este determinată de frînarea mișcării dislocațiilor de către diferite obstacole sau bariere care se formează în metale chiar în procesul deformării plastice. [22].

Potrivit acestei concepții, dacă unui cristal real i-se aplică o tensiune exterioară egală cu limita de curgere, sursele Frank - Read, existente în cristal emit dislocații. Aceste dislocații nu se deplasează prea mult fiind oprite de bariere (ca intersecția dislocațiilor, aglomerarea lor, intersectarea dislocațiilor elicoidale, ș.a.) a căror apariție este consecința deformării plastice.

Pentru a provoca o deformare plastică din ce în ce mai avansată a metalului, adică a asigura o mișcare continuă a dislocațiilor, trebuie învinsă rezistența opusă de barierele interne, trebuie determinate sursele considerate să emite noi dislocații, sau trebuie activate noi surse, ceea ce se realizează prin creșterea tensiunii aplicate.

În afară de barierele menționate, ecruisarea, întărirea metalelor este influențată și de barierele preexistente ca limi-

te între grăunți, precipitate microscopice ș.a.

Cercetarea în secțiune a repartiției deformațiilor plastice pentru diferite grade de deformații, ne dă o imagine destul de clară asupra desfășurării deformației plastice în cursul întregului proces de îmbinare.

Variația microdurității în secțiunea îmbinării și densitatea diferită a liniilor de curgere pe macrostructura metalului, ne arată, că la un moment dat, deformația plastică nu se dezvoltă în întreg volumul metalului. Pe măsura avansării procesului de sudare, modul de repartiție a deformațiilor plastice se modifică treptat. Metodele care permit studiul repartiției deformațiilor plastice în cursul procesului de sudare la rece sînt:

- metoda cercetării cîmpului de microdurități ;
- metoda cercetării prin reoristalizare ;
- metoda cercetării aspectului liniilor de curgere ;
- metoda cercetării cu ajutorul rețelelor de coordonate ;

În cele ce urmează se vor descrie pe scurt aceste metode:

2.1. Metoda cercetării cîmpului de microdurități, constă în măsurarea microdurității metalului într-o secțiune care cuprinde îmbinarea și trasarea unor curbe de egală microduritate. Se știe că, creșterea microdurității unui metal în urma îmbinării este proporțională cu mărimea deformației plastice care a produs această creștere. Curbele de egală microduritate vor uni deci punctele secțiunii în care materialul a fost supus aceluiași grad de deformație plastică. Se poate afirma, cu suficientă aproximație, că repartiția microdurităților într-o secțiune formează totodată și o repartiție a deformațiilor plastice în secțiunea respectivă. Figura 8. reprezintă aspectul cîmpului de microduritate pentru o îmbinare obținută prin sudarea la rece în capete a unor bare de aluminiu de $10 \times 12 \text{ mm}^2$ secțiune [41] .

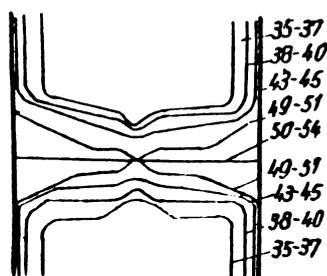


Fig.8. Curbele de egală microdunitate pentru probe de aluminiu de $10 \times 10 \text{ mm}^2$ secțiune [41].

2.2. Metoda cercetării prin recristalizare. Proba întărită după sudare se supune unei recoaceri la o temperatură superioară celei de recristalizare, un timp suficient pentru a permite restabilirea echilibrului structural. Într-o comparație, în zona deformată, a mărimii grăunților formați în urma recristalizării cu mărimea grăunților metalului nedeformat, se poate aprecia atât mărimea deformațiilor plastice într-o anumită porțiune cât și repartiția lor în secțiunea respectivă.

În urma recristalizării, structura părților nedeformate rămâne practic aceeași, porțiunile puternic deformate prezintă o granulație fină, iar zonele puțin deformate dimpotrivă, o structură groasă. Cercetarea repartiției deformațiilor plastice prin metoda recristalizării ne conduce doar la un tablou calitativ al desfășurării în timp a acestor deformații.

2.3. Metoda cercetării aspectului liniilor de curgere, se bazează pe schimbarea macrostructurii materialului în urma deformațiilor plastice. Prin alunecările care au loc în urma deformațiilor, grăunții materialului se fărâmițează și se alungesc, luând direcția eforturilor, respectiv deformațiilor principale. Axele grăunților alungite tot mai pronunțat spre locul de îmbinare sînt perpendiculare pe direcția de acțiune a forței de presare (vezi figura 29).

Orientarea structurii dă naștere așa numitor linii de curgere a materialului, a căror formă și densitate ne dau un in-

diciu calitativ asupra mărimii și gradului de deformație plastică dintr-un anumit domeniu (vezi macrostructurile fig.25,73,105).

Din cauza faptului că în zona îmbinării, materialul, în urma deformațiilor plastice a suferit o întărire, deformația este însoțită întotdeauna de o creștere a durității, ceea ce este oglindit și prin îndesare a liniilor de curgere a materialului (vezi fig.25,58,59).

O metodă care ne oferă o imagine mai clară asupra mecanismului deformației plastice în timpul îmbinării la rece și permite stabilirea repartiției deformațiilor și din punct de vedere cantitativ, este cercetarea cu ajutorul rețelelor de coordonate.

2.4. Metoda de cercetare cu ajutorul rețelelor de coordonate. O descriere amănunțită a acestei metode și a tehnologiei trasării rețelelor de coordonate s-a făcut în lucrarea [40]. În cele ce urmează, autorul va trata sumar modul de desfășurare a deformațiilor plastice în cursul procesului de sudare, stabilit și interpretat cu ajutorul acestei metode.

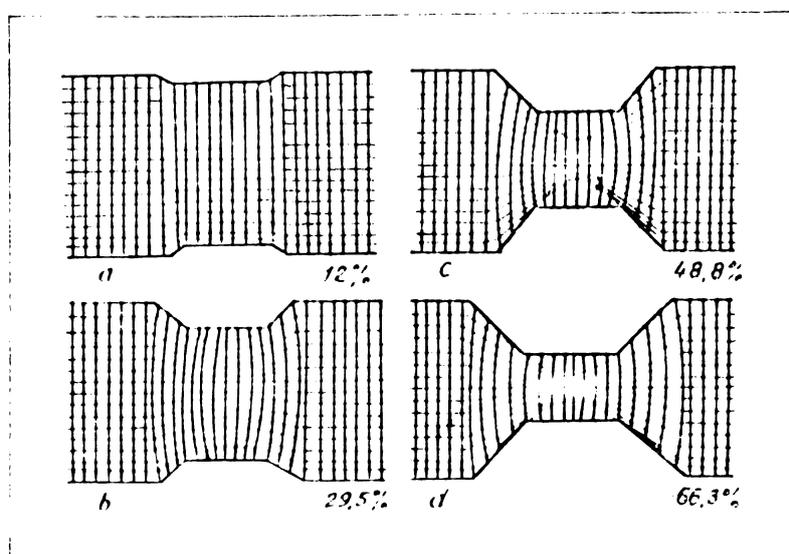


Fig. 9. Fazele procesului de deformație plastică la sudarea la rece prin puncte [40].

În figurile 9a, b, și c, se reproduce pe baza fotografiilor din lucrarea [40] fazele desfășurării în timp a deformațiilor plastice pentru grade de deformație cuprinse între 12 și 66,3% la deformarea aluminiului cu ajutorul a două poansoane opuse (simetric). La începutul procesului de sudare, pentru deformații mici (12%) fig. 9a, apar primele linii de curgere. Aceste linii pornesc de la marginile poansoanelor și avansează în material sub un unghi de 45° față de direcția forței de compresiune. Liniiile se întâlnesc în metal la o adâncime egală cu jumătatea lățimii poansoanelor. Totalitatea liniilor de curgere formează o suprafață riglată numită uneori și „con de deformare.”

Pentru deformații mai mari (fig. 9b și c), rețeaua de coordonate din interiorul liniilor de curgere, respectiv din interiorul conurilor de deformație rămâne neschimbată. Rețeaua corespunzătoare metalului cuprins între conuri este puternic comprimată în direcția deplasării poansoanelor și întinsă în direcția curgerii materialului. Acest aspect al deformării rețelelor de coordonate are următoarea explicație. Datorită forței de frecare dintre material și suprafețele poansoanelor, metalul din interiorul conurilor de deformație se află în stare de compresie triaxială. De aceea, la deformații mai mari, liniile de curgere apar cu mai multă ușurință în afara limitelor conului de deformație. Metalul din interiorul conurilor aflându-se în stare de compresie triaxială nu se deformează în timpul apropierii poansoanelor ci caută să refuleze lateral materialul aflat între cele două conuri. Procesul de deformație în cazul îmbinării prin puncte poate fi asemănat cu introducerea forțată a materialului din interiorul conurilor de deformație în metalul de bază.

După întâlnirea conurilor (fig. 9, d) deformația urmează să se dezvolte după noile linii de curgere, în interiorul conu-

rilor de deformație. Presiunea necesară introducerii personnelor crește foarte mult, deoarece în această fază se deformează metalul aflat în stare de compresie triaxială. Această fază a deformației corespunde aproximativ ramurii finale a diagramei presiune-deformații reprezentată în fig. 46, c.

Modul de desfășurare a procesului de deformație plastică apare clar, respectiv conul de deformație amintit și în cazul su-

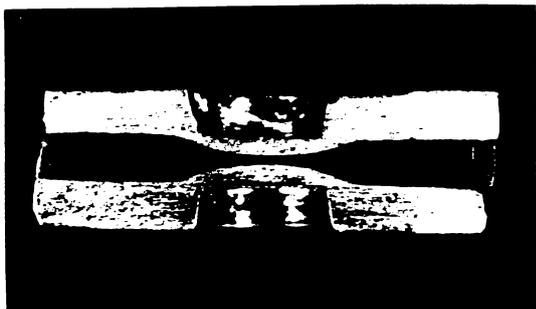


Fig.10. Secțiunea îmbinării prin suprapunere a două table de aluminiu și a unei table de cupru, după întâlnirea conurilor de deformație.

dării unor probe compuse din trei table suprapuse. În figura 10 se arată o secțiune prin două table de aluminiu și o tablă de cupru de 3 mm grosime fiecare, deformată cu ajutorul a două personne, după întâlnirea conurilor de deformație.

Se observă clar, că volumul conurilor de deformație este umplut cu aluminiu. Ieși aluminului este mult mai plastic decât cuprul, datorită stării de compresie triaxială în care se află, deformează și chiar străpunge cuprul mai dur, refulându-l lateral.

PARTEA II-a

3. MIJLOACELE DE DEFORMARE PLASTICA FOLOSITE LA SUDAREA PRIN PRESIUNE LA RECE .

In procesul de sudare la rece se folosesc mai multe metode de deformare plastică, dintre care cele mai importante au fost menționate la începutul lucrării. După modificările de formă produse la locul îmbinării, procedeele de deformare plastică folosite la sudarea la rece se împart în:

a procedee în urma aplicării cărora secțiunea în locul îmbinării se modifică, din această categorie fac parte:

- sudarea în capete (cap la cap);
- sudarea prin puncte;
- Sudarea cu role, în cusătură continuă.

b procedee de deformare în urma aplicării cărora secțiunea în locul îmbinării nu se modifică:

- sudarea cu predeformarea pieselor,
- sudarea prin falsă nituire,
- sudarea prin deplasare.

Procedeele de deformare de la punctul b, vor fi descrise sumar, fără a intra în amănunte de ordin tehnologic, deoarece domeniul de aplicabilitate a procedeeului de sudare este redus.

3.1. Sudarea cap la cap.

Procedeeul a fost descris la începutul acestei lucrări. Pentru a asigura materialului posibilitatea de a se deforma în măsură necesară, fixarea pieselor în făloile dispozitivului de prindere se face astfel, încît să rămînă un capăt liber de lungime l (figura 11,a).

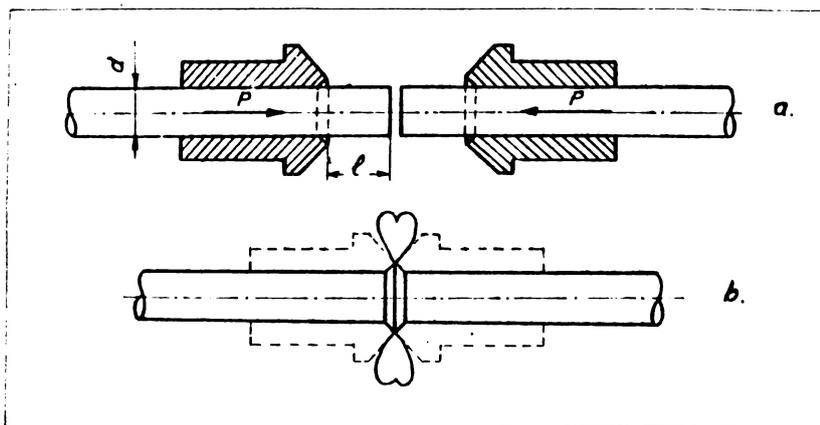


Fig.11. Deformarea pieselor la sudarea la rece cap la cap.

În urma procesului de deformare, la locul îmbinării se formează o bavură, a cărei mărime ne indică gradul mediu de deformare (fig. 11,b).

$$\delta = \frac{A_1 - A_0}{A_0} \cdot 100, \text{ în } \%$$

în care A_1 - mărimea secțiunii bavurii ;

A_0 - mărimea secțiunii pieselor înainte de deformare.

După cum s-a văzut la punctul 2, mărimea gradului de deformare este un factor important în reușita procesului de sudare. De aceea, se pune problema alegerii raportului dintre mărimea capetelor libere și dimensiunile pieselor, astfel încât să se realizeze condiția optimă de deformare. Pentru aceasta trebuie să se cunoască modul de desfășurare în timp a procesului de deformare plastică. Dintre cele patru metode prezentate la punctul 2, Sliozberg a folosit în [41], metoda de cercetare cu ajutorul rețelelor de coordonate.

În figura 12, reproducă după [41], se reprezintă modul de deformare a rețelei de coordonate în cazul sudării cap la cap. În secțiune se remarcă două domenii simetrice, aproximativ conice, în care rețeaua de coordonate a rămas aproape neschimbată. În cursul procesului de deformare plastică, materialul cuprins în aceste do-

menii s-a aflat în stare de compresie triaxială.

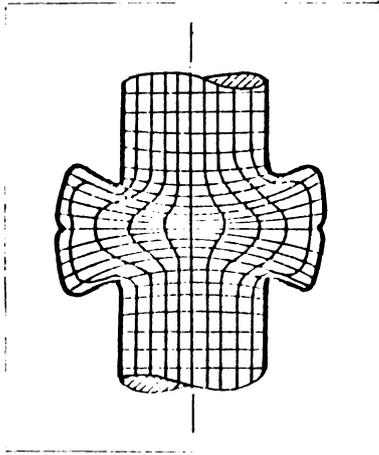


Fig.12. Deformarea rețelei de coordonate la sudarea cap la cap.

Partea deformată a rețelei ne arată că materialul cuprins între conuri a fost puternic refulat formînd o bavură și că sudarea s-a produs în urma unei deformări însemnate a materialului situat în mijlocul suprafeței de separație. Într-adevăr în fig.12 se vede că liniile rețelei situate în imediata vecinătate a axei de simetrie au suferit în dreptul limitei de separație o curbare accentuată.

Valoarea optimă a lungimii capetelor libere este dictată de necesitatea de a obține în mijlocul suprafeței de separație o deformare suficientă pentru sudare. Materialul din această zonă începe să se deformeze abia după întîlnirea celor două conuri de deformare. Dacă conurile s-ar întîlni doar către sfîrșitul procesului de deformare, materialul zonei centrale nu s-ar putea deforma în măsură suficientă. Dacă dimpotrivă aceste conuri s-ar intersecta mai repede (la începutul procesului de sudare), deformarea ar trebui să se desfășoare prea timpuriu și ar îngreuna mult desfășurarea procesului de deformare. Situația cea mai avantajoasă este ca cele două conuri să se întîlnească pentru o deformare de cea 50%, adică aproximativ la jumătatea cursei de compresie. Conurile de deformare, avînd inițial un unghi de bază de 45° , rezultă:

- în cazul în care piesele de sudat au secțiunea circulară, $l = d$, în care d - diametrul și l - lungimea capătului liber;

- în cazul unor piese de secțiune dreptunghiulară, $l = a$, în care a - dimensiunea minimă a secțiunii respective.

În cazul alegerii optime a lungimii capetelor libere a pieselor, fazele procesului de deformare în cazul sudării la rece în capete se pot reprezenta schematic ca în fig.13,a,b și c.

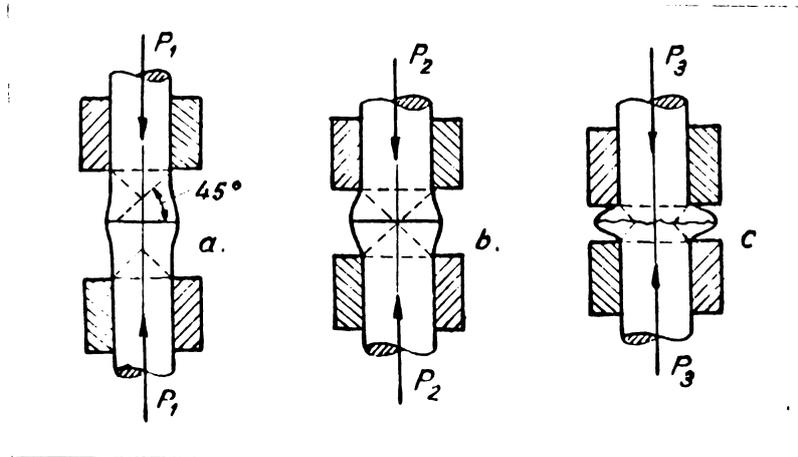


Fig.13. Fazele procesului de deformare la sudarea barelor la rece cap la cap.

3.2. Sudarea prin puncte a pieselor suprapuse.

După modul de deformare a pieselor; sudarea la rece prin puncte se poate executa:

- unilateral, prin deformarea dintr-o singură parte a pieselor (fig.14,a); sau
- bilateral, prin introducerea simultană a poansoanelor din ambele părți ale pieselor de sudat (fig.14,b).

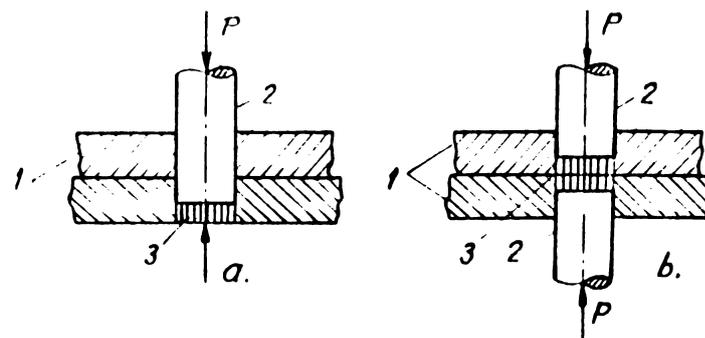


Fig.14. Schema sudării prin puncte la rece; 1- piesa de sudat; 2- poanson; 3- punct sudat

Sub influența forței P , aplicate poansoanelor, materialul se deformează, poansoanele pătrund în piesă și refulează

lateral metalul (fig.15).

Mărimea deformației plastice a materialului în urma sudării depinde de grosimea amprente lăsată de poanson și poate fi caracterizat, prin raportul:

$$\delta = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100, \%$$

în care: h_0 - grosimea inițială a elementelor suprapuse.

h - grosimea materialului în urma deformării la locul amprente

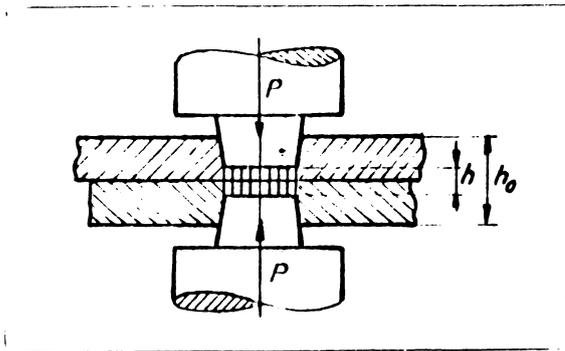


Fig.15. Sudarea prin puncte a două table suprapuse cu poansoane acționate pe ambele fețe.

Gradul de deformație astfel definit reflectă doar ca medie situația reală, fiind o mărime introdusă în scop tehnologic. În realitate, deformația plastică ca mărime asociată elementelor de volum se distribuie neuniform, materialul plasat în apropierea suprafețelor de separație dintre piese suferind deplasări mai intense decât cel situat în imediata vecinătate a poansonelor.

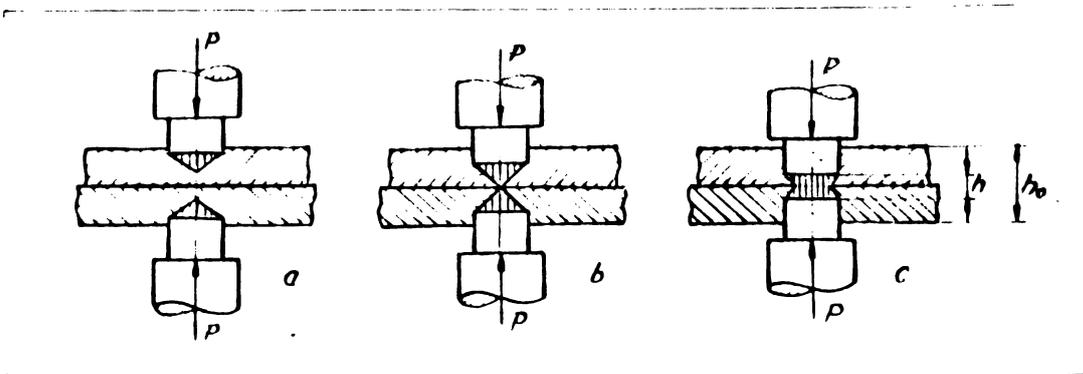


Fig.16. Fazele procesului de deformație la sudare prin puncte.

Datorită prezenței forțelor de frecare dintre poanson și material, în condițiile geometrice date în fig.16 a, va exista un domeniu conic atașat poansonului în care materialul, supus u-

nei stări de compresie triaxială, nu va suferi în această fază deformații plastice însemnate. Materialul respectiv se comportă (plastic rigid) ca o prelungire rigidă a poansoanelor care caută să refuleze materialul din vecinătatea sa într-o direcție preferențial laterală. Procesul de deformație plastică are loc relativ ușor, pînă în momentul întîlnirii celor două conuri, fig.16b. Pătrunderea în continuare a poansoanelor presupune deformarea materialului aflat în stare de compresie triaxială, etapă care necesită dezvoltarea unui efort mărit (fig.16,c).

3.3. Sudarea cu role în cusătură continuă.

Sudarea la rece prin suprapunere a pieselor de grosime mică se poate realiza prin cusătură continuă. Schema procesului de sudare este arătată în figura 17.

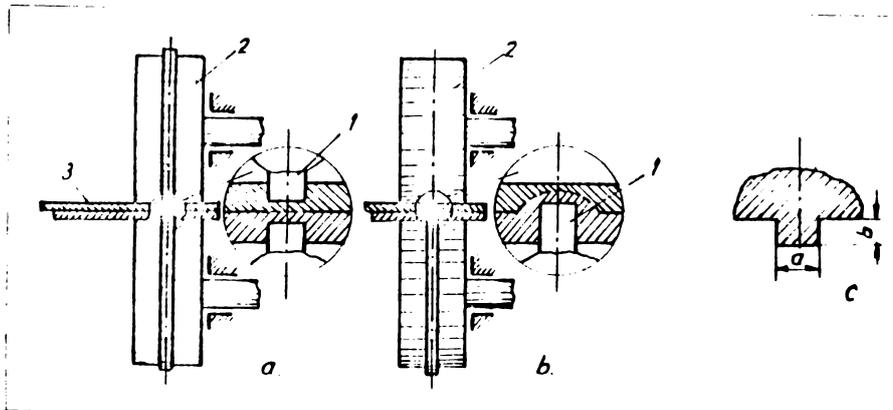


Fig.17. Sudarea la rece prin cusătură continuă;

- a - cu acționare din ambele părți;
- b - cu acționare dintr-o parte;
- c - profilul folosit la sudare.

Proeminențele 1, a unor role 2, pătrund prin apăsare în materialul de sudat 3, fie din ambele părți (fig.17,a), fie dintr-o singură parte a pieselor de sudat (fig.17,b).

Desfășurarea procesului de deformație plastică se asemănă foarte mult cu cea întîlnită la sudarea prin puncte a pieselor suprapuse cu deosebirea că în acest caz îmbinarea se realizează printr-o cusătură continuă. Dimensiunile părții active a rolei fig.17,c, se aleg astfel încît să se asigure condiții

optime de deformare. Lățimea proeminenței a se alege aproximativ egală cu grosimea s a tablei de sudat ($a = s$). Înălțimea b se alege astfel încât prin pătrunderea proeminenței în material să se asigure dezvoltarea deformației medii necesare sudării (75 - 80%).

$$b = (0,8 - 0,9) s$$

3.4. Sudarea la rece prin predeformare.

Sudarea la rece cu predeformarea pieselor, preconizată de A.P.Semionov [40], este o variantă a metodei de sudare prin puncte, la care, în urma procesului de sudare, grosimea inițială a materialului rămâne neschimbată. Realizarea procedurii necesită o prelucrare prealabilă a pieselor de îmbinat. În vederea predeformării piesa se strânge între două fălci de construcție spe-

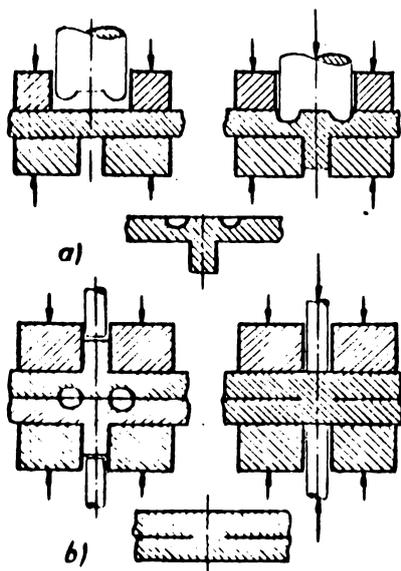


Fig.18. Schema sudării la rece cu predeformare. a) - schema operației de deformare prealabilă; b) - schema operației de sudare propriu zisă.

cială; falca superioară permite pătrunderea unui poanson profilat, iar falca inferioară este prevăzută cu o deschizătură cilindrică (fig. 18,a). Pe măsură pătrunderii poansonului, materialul se refluxează în orificiul fălcii inferioare formînd o proeminență cilindrică. Piesele astfel pregătite se suprapun pe fețele în prealabil curățite și se strîng în fălciile dispozitivului de sudare (fig.18,b). Prin apăsarea a două poansoane cilindrice materialul celor două proeminențe este refulat

simetric în volumul golurilor formate prin matrițare. Înălțimea proeminențelor obținute prin răfulare trebuie astfel aleasă încît deformația suferită de metal în cursul procesului de sudare să fie suficientă pentru formarea legăturii.

Necesitatea predeformării pieselor face ca aplicarea acestui procedeu pentru legături obișnuite, în serie, să nu fie rentabilă.

3.6. Sudarea la rece prin deplasare.

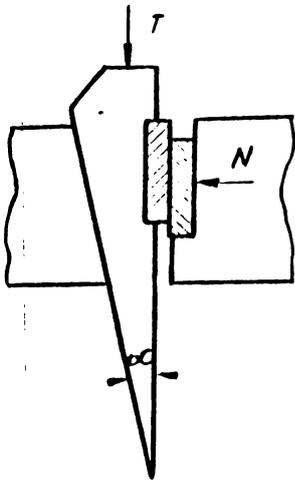


Fig.19. Schema sudării la rece prin deplasare [1].

Prin această metodă, sudarea se realizează sub acțiunea concomitentă a eforturilor unitare normale și tangențiale, prin apăsarea pieselor de sudat una asupra celeilalte și prin deplasarea lor relativă în planul de separație. Prima lucrare în care se vorbește de acest procedeu a apărut încă în 1947 [1]. Schema metodei de sudare este prezentată în fig.19. Spre deosebire de celelalte procedee, în acest caz deformarea plastică cuprinde straturi foarte subțiri în vecinătatea suprafeței de separație.

După G.P.Sahațki [40], calitatea legăturii sudate este influențată de mai mulți factori, de modul de curățire a suprafețelor de îmbinat, de mărimea unghiului, α , de mărimea forței de compresie aplicată înainte de deplasare, mărimea deplasării și a vitezei de deplasare.

Rezultate bune s-au obținut în cazul curățirii suprafețelor cu ajutorul unui oușit de mână. Valoarea optimă a unghiului este de cea 7° , a deplasării 6-10 mm și a vitezei de deplasare de 20 - 30 mm/min.

Datorită faptului că nu asigură realizarea unor îmbinări de rezistență corespunzătoare și datorită greutăților tehnologice de cercetare, până în prezent metoda de sudare prin deplasare nu și-a găsit o aplicație largă.

3.6. Sudarea prin falsă nituire.

Acest procedeu de sudare se folosește pentru îmbinarea unor metale dure, greu sudabile prin intermediul unui metal mai moale. Fazele acestui procedeu sînt prezentate schematic în fig.20.

Tablele de sudat din material mai dur se strîng în prealabil între fîlcile dispozitivului de prindere. Imbinarea se produce prin presare concomitentă a două nituri confecționate dintr-un metal moale, cu ajutorul a două poansoane coaxiale, ghidate în mod

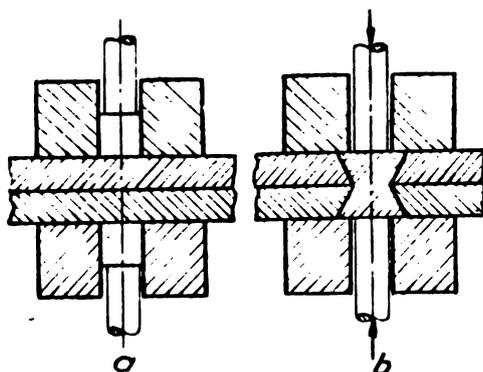


Fig.20. Schema sudării la rece cu nit fals; a- înainte; b- după sudare.

corespunzător.[40]. Din cauza forțelor de frecare care apar între poanson și nit, între nit și metalul de sudat și între nitul deformat și suprafața ghidajului, metalul nitului este supus unei stări de compresie triaxială. În această stare metalul opune o rezistență mare la deformație, căutând să îndepărteze lateral metalul dur a pieselor de sudat. Procesul de refulare al metalului mai dur continuă până când niturile se sudează între ele, sudându-se în același timp și cu cele două piese (fig.20,b). Astfel legătura celor două piese se realizează prin intermediul unei porțiuni de metal mai moale, asemănătoare unui nit.

Cu ajutorul acestei metode s-au sudat la rece table de oțel prin intermediul unor nituri de aluminiu.

4. PARAMETRII PROCESULUI DE SUDARE PRIN PRESARE LA RECE.

Principali parametri care determină formarea unei îmbinări sudate la rece sînt:

- starea suprafețelor de contact;
- temperatura la care are loc procesul;
- presiunea necesară realizării gradului de deformație cerut.

4.1. Starea suprafețelor de contact influențează

procesul de sudare în calitate de factor ce poate facilita sau îngreua crearea prin deformație, a contactului fizic dintre ele-

mentele de sudat. Prezența pe suprafețele metalice ale unor pelicule de substanțe străine duce la prelungirea etapei necesare realizării contactului fizic. După modul în care modifică, prin prezența lor, gradul de deformare necesar sudării peliculele au, funcție de natura lor, un comportament diferit.

Peliculele fragile, cum sînt oxizii metalici, fisurează în cursul deformării necesitînd pentru dislocarea lor, respectiv pentru sudare, majorarea în mai mică măsură a gradului de deformare decît peliculele de substanțe organice, care sub presiune au însușirea de a se extinde pe întreaga suprafață de contact într-un film continuu. Dacă la sudare prin suprapunere, pînă înăsași natura procedurii gradul de deformare plastică nu poate atinge 100% , sudarea în capete permite majorarea acestor deformații în măsură practic nelimitată. Mai mult, deformarea globală se poate înlocui printr-o serie de deformații succesive efectuate, fiecare în condiții geometrice optime. Asupra acestor probleme se va reveni în cadrul acestei lucrări pct.5.2.

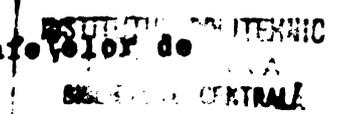
În privința metodelor de pregătire a suprafețelor există păreri diferite. Unii autori consideră că este neapărat necesară înlăturarea stratului de oxizi de pe suprafața pieselor pe motivul că ar îngreua formarea legăturii coezionale [42 și 46]. Alții dimpotrivă susțin contrariul [1 și 35].

În literatura de specialitate se propun mai multe metode de pregătire a suprafețelor de contact real al pieselor de sudat, anume:

- pregătire prin încălzire, sau degresare chimică cu solvenți organici;
- curățire mecanică.

Încălzirea și degresarea chimică a pieselor asigură fie prin spălare înlăturarea substanțelor organice de pe suprafețele reale de contact. Temperatura de încălzire este cuprinsă între 300-400° C.

Curățirea mecanică constă în prelucrarea suprafețelor de



contact real cu o perie rotativă din sîrmă de oțel aliat sau inoxidabil de 0,1 ... 0,3 mm diametru. Viteza periferică a sîrmei se recomandă să fie de 1,5 ... 2,0 m/s. Înaintea utilizării peria se degresează prin epălare. Piesele curățite pe cale mecanică pot fi păstrate în aer uscat timp de 24 ore cu condiția ca suprafețele de contact să fie ferite chiar și de amprente digitale.

4.2. Temperatura de sudare. Procesul de sudare poate avea loc la o temperatură inferioară celei de recristalizare sau, în particular, la temperatura mediului ambiant. Creșterea temperaturii influențează în mod favorabil fenomenul de coeziune al metalelor (prin mărirea mobilității atomilor) micșorînd presiunea și gradul de deformare necesar formării unei îmbinări sudate. În fig.21 se arată variația presiunii și a gradului minim de deformare necesar sudării la rece a aluminiului funcție de temperatură.

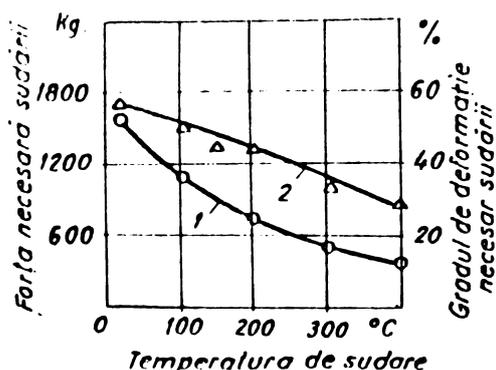


Fig.21. Variația forței și a gradului minim de deformare necesar sudării la rece cu poanșoane din aluminiu, funcție de temperatura la care are loc procesul de sudare: 1- variația forței, 2- variația gradului de deformare [40].

Dacă temperatura de sudare este superioară temperaturii de recristalizare, coeziunea este însoțită de procese de recristalizare a metalului. Acest fenomen se manifestă mai accentuat în imediata vecinătate a suprafeței de separație în care metalul este puternic deformat. În timpul relativ scurt în care se desfășoară sudarea, procesul de recristalizare nu se poate dezvolta decât local, într-o măsură foarte redusă. De obicei viteza de deformare întrece mult viteza de recristalizare, ceea ce face ca metalul întărit să nu dispună de timpul necesar recristalizării totale.

Dacă materialul respectiv nu este menținut timp mai îndelungat la temperatura de sudare, sau nu i se aplică un tratament ulterior de încălzire și menținere peste gradul de recristalizare, legătura sudată prezintă un aspect ecruisat.

În cazul sudării la temperatura mediului ambiant nu poate fi vorba de apariția unor procese de recristalizare. Recristalizarea nu apare decât în condițiile încălzirii materialului la o temperatură superioară celei de recristalizare și o menținere la această temperatură un timp suficient pentru a permite echilibrarea structurii ecruisate.

În timpul încălzirii, atât pe limita de separație cât și de ambele părți apar centre de cristalizare care prin creștere formează grăunți. Grăunții formați străpung limita de separație, făcând ca progresiv limita de separație să dispară complet. Recristalizarea totală în lungul limitei de separație este un proces de natură difuzională, care se desfășoară în timp.

Prezenta lucrare se limitează la procesul de sudare la temperatura mediului ambiant, prin sudarea la rece înțelegându-se sudarea la temperatura mediului ambiant.

Metalele care au temperatura de recristalizare inferioară temperaturii ambiante (Pb, Sn), recristalizează în timp, începând imediat după sudare. De exemplu la o sudură plumb-staniu, executată la temperatura camerei recristalizarea totală se produce treptat în lungul întregii secțiuni.

În general, încălzirea ulterioară pare să consolideze din punct de vedere structural îmbinarea sudată. O modificare sensibilă a structurii și a proprietăților mecanice nu se produce decât în urma încălzirii la o temperatură superioară pragului de recristalizare. O cercetare amănunțită a schimbării proprietăților mecanice a îmbinărilor sudate la rece, în funcție de încălzirea lor ulterioară se poate găsi în lucrarea [37].

Sînt cazuri în care procesele de difuziune ce au loc la o încălzire ulterioară reduc rezistența îmbinării. Astfel prin încălzirea unei îmbinări Al + Cu la o temperatură apropiată temperaturii de recristalizare a cuprului, pe suprafața de separație dintre cele două metale apare o combinație intermetalică fragilă $CuAl_2$ [40].

4.3. Presiunea. Determinarea gradului minim de deformație.

La sudarea la rece, proces ce se desfășoară la temperaturi inferioare celei de recristalizare, în particular la temperatura mediului ambiant, principalul factor de activare este deformația plastică. Asigurarea locală a deformației plastice necesare unei îmbinări rezistente este condiția principală pe care, independent de particularități, fiecare procedeu tehnologic trebuie să o satisfacă. Cum însă, practic, în cazul variantelor tehnologice cunoscute - sudarea în capete, sudarea prin suprapunere în puncte sau cusătură, ș.a., deformația plastică cuprinde o zonă mult mai largă decît straturile atomilor strict interesați și crearea legăturii metalice, energia consumată pentru realizarea unei îmbinări sudate va depăși sensibil energia utilă necesară unui proces localizat.

Prin similitudine cu zonele din vecinătatea sudurii afectate de acțiunea unui ciclu termic, zona care a suferit în urma sudării modificării texturale prin deformații, poate fi denumită analog - zonă influențată plastic [18]. În această zonă materialul prezintă însușirile materialului ecruizat, structură texturală, duritate majorată, creștere a rezistenței mecanice și o diminuare a însușirilor de plasticitate. Ca exemplificare, în fig.25,a se arată macrostructura materialului în zona învecinată fâloilor de strîngere la sudarea în capete a două vergele de aluminiu. Aspectul acestor modificări, depinde de condițiile de deformare specifice fiecărui procedeu.

Lucrul mecanic consumat pentru deformarea acestei zone, mai largi, reprezintă o pierdere în bilanțul energetic al procesului. Cu cât deformația ca factor de activare va putea fi mai strict localizată, cu atât zona influențată plastic, în jurul suprafețelor limită va fi mai restrânsă, iar randamentul energetic, în limitele în care putem vorbi despre o astfel de noțiune, mai ridicat.

În condițiile atmosferice suprafețele corpurilor solide sînt înconjurate de un strat de molecule, atomi sau ioni ai mediului gazos. Stratul de gaz absorbit pe suprafețele metalelor ce urmează a fi sudate reprezintă o piedică în stabilirea contactului fizic între corpuri: metal - metal. Contactul fizic este facilitat de spațiul vid. Cu cât vidul este mai înaintat cu atât contactul fizic ca preludiu al formării legăturii metalice se realizează mai ușor. În vid înaintat gradul de deformație plastică respectiv presiunea necesară sudării sînt mult reduse [28]. Înseamnă că în condiții atmosferice normale, pentru crearea unui contact fizic intim între atomii de metal, concomitent cu procesul de deformare al micronegularităților zonei de contact, o parte a lucrului mecanic exterior de deformație se consumă pentru eliminarea stratului de gaz adsorbit în zona respectivă.

În virtutea celor de mai sus se poate afirma că în formarea unei îmbinări sudate la rece, deformația plastică constituie principalul factor de activare atât în formarea legăturii metalice - element al rezistenței îmbinării, cât și în formarea condiției inițiale acestora, al contactului fizic, macro și microscopic, între atomii de metal.

Gradul de deformație minim necesar îmbinării este o mărime care variază funcție de felul metalelor de îmbinat, de modul de deformație adoptat, ș.a. Problema care se pune este de a determina

În anumite condiții gradul de deformare minim necesar obținerii unei îmbinări rezistente. În acest sens, A.P. Semionov [40] a elaborat o metodă cu care gradul de deformare minim necesar îmbinării poate fi determinat printr-o singură încercare. Materialul se prezintă sub forma a două table, îmbinarea realizându-se cu ajutorul a două poansoane speciale cu fețele simetric înclinate, (fig.22).

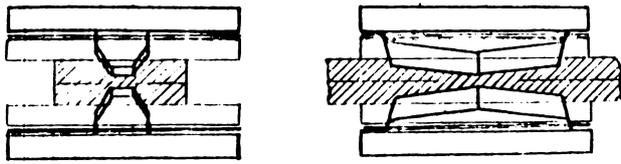


Fig.22. Poansoane speciale cu fețe simetric înclinate.

Prin folosirea poansoanelor astfel fasonate se realizează adâncimi de pătrundere variabile. Gradul de deformare variază în lungul îmbinării, fiind maximă la mijloc și minimă la periferie. Pentru a păstra simetria încălzirii și pentru a crea condiții de deformare identică, înclinarea fețelor s-a luat egală. Îmbinarea formată cu ajutorul acestor poansoane este supusă ruperii (fig.23).

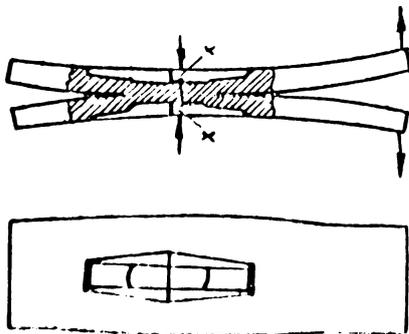


Fig.23. Macrosecțiunea ruperii unei îmbinări făcute cu ajutorul poansoanelor simetric înclinate.

Îmbinarea nu se produce pe întreaga lungime a poansonului, ci numai pe aceea porțiune pe care gradul de deformare a depășit valoarea minimă necesară îmbinării sudate. Valoarea deformării minime necesare îmbinării se determină prin măsurarea grosimii materialului în dreptul limitei pentru care s-a

produs coeziunea. - În tabela 3 sînt trecute gradele minime de deformare necesare sudării prin puncte pentru o serie de metale de același fel aflate în stare recoaptă (grosimea tablelor 3 mm).

Poansoanele au fost aplicate pe ambele părți ale tablelor suprapuse.

Tabela 3

<i>Metalul de sudat</i>	<i>Deform. min %</i>	<i>Metalul de sudat</i>	<i>Deform. min. %</i>
<i>Aluminiu 99,5</i>	<i>58</i>	<i>Fier Armco</i>	<i>85</i>
<i>Cupru</i>	<i>81</i>	<i>Titan</i>	<i>70</i>
<i>Nichel</i>	<i>85</i>	<i>Argint</i>	<i>30</i>

Valorile trecute în tabelă nu pot fi considerate absolute, procesul de sudare fiind influențat de la caz la caz de o serie de factori (ca de exemplu: starea materialului, moale, semitare, tare; conținutul impurităților din metal, ș.a.), care pot modifica sensibil valoarea gradului minim de deformare necesară sudării.

4.4. Influența elementelor de adaos asupra sudabilității metalelor.

Studiul sudabilității în stare solidă funcție de calitatea și cantitatea elementelor de adaos prezintă un interes deosebit, însă pînă în prezent nu există studii sistematice în acest sens. În principiu, se cunoaște acțiunea negativă a unor elemente care, intrînd peste o anumită limită în compoziția unor aliaje, înrăutățesc sudabilitatea la rece a aliajelor respective.

Prin adăogarea la metale pure a unor elemente de aliere, se pot forma legături intermetalice, soluții solide sau aliaje eterogene, a căror grad de plasticitate și rezistență la deformare se deosebește de cea a metalelor pure, care formează baza aliajului metalic respectiv. Astfel - legăturile intermetalice sînt de obicei dure și fragile, practic nu se deformează - soluțiile solide se deformează mai bine, însă gradul lor de plasticitate este mai scăzut decît a metalelor pure.

Sudarea la rece nu se poate aplica decît unui număr relativ scăzut de metale, cu grad de plasticitate ridicat la temperatura mediului înconjurător. O parte din metale, la aplicarea unei scheme de deformare devin fragile și de aceea, ele nu se pot suda fără încălzire.

Au o comportare plastic bună metalele care se cristalizează în sistemul cubic, de exemplu: Al, Cu, Ag, Pb, Pt ș.a. Majoritatea metalelor însă la aplicarea unei scheme de deformare devin fragile și de aceea, ele nu se pot suda fără încălzire. Din această categorie fac parte metalele ca Zn, Mg și Cd, care se cristalizează în sistemul hexagonal.

S-a constatat că în general, orice element, care intră în soluția solidă, micșorează sudabilitatea la rece. Introducerea în aluminiiu a 3% Si sau Cu mărește gradul de deformare necesar sudării [40]. O serie de aliaje ale aluminului nu se sudează decât la temperatura de peste 300°C, și grad de deformare relativ mari. Astfel aliajul A Mg 7 (7% Mg), se sudează la temperatura de 350°C, pentru un grad de deformare de 72% [40]. Duraluminiul (D 16) se sudează la 300 - 400°C pentru un grad de deformare de 45%.

Se observă că aliajele de cupru bogate în Zn, sau aliajul (Cu-Sn), chiar pentru presiuni mari, produc coeziunea greu, sau de loc, prin aceasta explicându-se probabil calitatea deosebită a aliajelor (Cu-Sn) ca materiale de antifricțiune.

Scăderea sudabilității la rece a aliajelor cuprului pentru conținuturi crescînde în elemente de adaos, se datorește deranjării rețelei cristaline a cuprului datorită prezenței elementelor respective.

4.6. Sudarea la rece prin presiune a metalelor diferite.

În general metalele diferite se pot suda la rece în aceleași condițiuni ca metalele de același fel. Metalele de îmbinat avînd proprietăți mecanice diferite, la începutul procesului de sudare, metalul mai puțin dur suferă deformații plastice intense, prezentînd un grad de neuniformitate a deformațiilor mai accentuat decât metalul mai dur. În urma întăririi metalului mai moale, repartiția deformațiilor se uniformizează, urmînd ca în continuare ambele metale să se deformeze, în măsură egală.

În unele cazuri, fiind diferența dintre duritățile celor două metale este prea mare, pentru ca procesul de deformare să decurgă normal, metalul dur se utilizează în stare recoaptă, iar cel moale în stare ecruisată. Astfel la sudarea aluminiului cu nichelul, cu cuprul sau cu fierul, se întrebuintează aluminu ecruisat, iar celelalte metale în stare recoaptă.

În cazul sudării prin puncte a tablelor din material cu proprietăți mult diferite, se poate întâmpla ca o bună parte, sau aproape întreg materialul moale să fie refulat din zona acțiunii poansonelor înainte ca metalul mai dur să se fi deformat în suficientă măsură pentru a asigura formarea îmbinării sudate. Pentru a înlătura acest dezavantaj, metalul mai puțin dur se ia de grosime mai mică. Forțele de frecare care iau naștere între poanson și metalul mai moale, provoacă o stare de compresie triaxială, care, din cauza grosimii mai reduse a tablei se extinde aproape pe toată adâncimea ei. Astfel se împiedică refularea timpurie a metalului moale, asigurând o deformare concomitentă a celor două metale [40].

Tabela 4

Metatul de sudat	Deformarea necesară sudării, în %
Aluminu + Cupru (ecruisat) (recoapt)	84
Aluminu + Fier Armeo (ecruisat)	88
Cupru + Argint (recoapt)	82
Cupru + Nichel	89
Cupru + Oțel austenitic 18/8	86

În prezent se sudează curent două metale diferite. Cuprul poate fi sudat cu aluminu, nichel, oțel austenitic 18/8, aluminu cu fierul ș.a.

În tabelul nr. 4. sînt trecute gradele minime de defor-

mație necesare sudării prin puncte (cu poansonse aplicate pe ambele părți ale tablelor suprapuse) pentru o serie de metale aflate în stare recoaptă. Grosimea tablelor $s = 3$ mm [40].

Valorile trecute în tabelă nu pot fi considerate absolute procesul de sudare fiind influențat de la caz la caz de o serie de factori (impuritățile din metal, duritatea, calitatea suprafețelor ș.a.) care pot modifica sensibil valoarea gradului minim de deformare necesar sudării.

5. CERCETARI PRIVIND TEHNOLOGIA DE SUDARE CAP LA CAP PRIN DEFORMATIE PLASTICA LA RECE.

Studiul tehnologiei de sudare, cercetarea modificărilor din zona influențată plastic precum și elaborarea unor dispozitive și a unor utilaje adecvate aplicării procedurii, la sudarea unor piese și subansamble cerute de producție, au constituit preocupări ale autorului încă din anul 1968 [6]. În intervalul acesta de timp se deosebesc trei faze de cercetări.

În cadrul primei faze de cercetări, premergător activității CAER, problemele tratate sînt prezentate în capitolul 5.1. (privind sudarea în capete).

Faza a doua a cercetărilor cuprinde activitatea CAER. Se menționează că începînd din anul 1966 și pînă în anul 1971 lucrările a căror sinteză este prezentată în capitolul II și III a prezentei lucrări face parte din tematica CAER. Tarea noastră, la început prin Centrul de Cercetări al Academiei RSR, Baza Timișoara, iar mai tîrziu prin MEI a participat prin catedra Utilajul și tehnologia sudării al Institutului „Traian Vuia” Timișoara la rezolvarea unor teme din tematica CAER. Autorul acestei teze participînd la sesiunile de comunicări ale specialiștilor a sus-

ținut de fiecare dată 1 - 2 lucrări repartizate spre rezolvare. Sesiunile de comunicări au fost următoarele: la Leningrad, 1965, sesiunea de constituire, la Bratislava (1966), Olivice (1967), Kiev (1968), Varna (1969), Timișoara (1970), Dresda (1971) sesiunile specialiștilor.

Faza a treia de activitate este cea contractuală. În cadrul acesteia se prezintă rezultatele unor cercetări privind îmbinarea prin sudare a unor folii de metal folosite în industria electrotehnică și sudarea barelor de curent din aluminiu folosite la instalațiile energetice.

5.1. Sudarea cap la cap a barelor de aluminiu și de cupru-

Acest procedeu de sudare a fost prezentat principial la punctul 3.1. al acestei lucrări, fără a intra în detalii privind parametrii tehnologici.

Pentru a putea stabili parametrii care intervin în procesul de sudare (în prima fază a cercetărilor) s-au făcut mai multe experiențe. S-au sudat între ele sârme și bare de aluminiu, sârme și bare de cupru, precum sârme și bare de aluminiu cu sârme și bare de cupru. Probele sudate au fost cercetate din punct de vedere al rezistenței mecanice, a fost urmărită variația durității macrostructurii în zona influențată plastic, influența tratamentului termic după sudare asupra unghiului de îndoire a legăturii sudate.

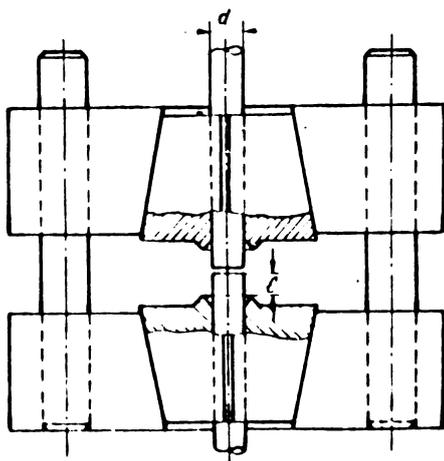


Fig. 24. Dispozitiv experimental de sudare în capete la rece.

Dispozitivul experimental folosit la sudare este arătat în fig.24. El este asemănător cu cel întrebuințat de cercetătorii sovietici și slovaci.

Dispozitivul de prindere a capetelor conductoarelor trebuie să asigure o coaxialitate perfectă. Pentru a evita alunecarea sîrmelor față de fălcile de fixare, suprafețele interioare ale lor sînt crestate. Barele pregătite pentru sudare se taie după o suprafață perpendiculară pe axa conductorului. Suprafețele de contact ale capetelor conductoarelor ce urmează să fie sudate trebuie curățite cu ajutorul unei perii rotative din sîrmă de oțel, evitîndu-se atingerea lor ulterioară cu mîna. Barele supuse încercărilor au avut un diametru de 6 mm și au fost sudate și încercate la întindere la o mașină universală de 5 tf. tip Loosenhausen. Experimental s-au determinat lungimile optime ale capetelor libere. Dacă notăm cu l , lungimea liberă a barei și cu d , diametrul ei, atunci la sudarea aluminiului cu aluminiu $l = d$

$$\text{la sudarea aluminiului cu cupru } l_{Al} = d$$

$$l_{Cu} = 1,25 d$$

Din constatările făcute cu ocazia experiențelor s-a verificat că mărimea deformației depinde de lungimea capetelor lăsate libere, de mărimea presiunii care trebuie aplicată pentru formarea bavurii și de natura metalului.

Încercările au confirmat că gradul mediu de deformare la sfîrșitul procesului de sudare trebuie să depășească gradul minim de deformare necesar formării unei îmbinări rezistente pentru materialul respectiv. Între deformații de 50 și 70% se obțin suduri parțiale pe suprafața de contact. O sudură bună se poate obține pentru o deformare de 80% la sudarea aluminiu cu aluminiu și 86% la sudarea aluminiului cu cupru.

5.1.1. Sudarea aluminiului cu aluminiu Legăturile realizate cu bare de aluminiu de 6 mm diametru, supuse la diferite de-

formații, respectiv presiuni diferite, au fost încercate la întindere. Rezultatele obținute sînt trecute în tabela 5.

Tabela 5

Nr crt.	Forța de presare daN	Grad de deformare δ %	Presiune daN/mm ²	Viteza de deformare mm/min.	Diametrul epruvetei tracionate mm	Forța de rupere daN	Observații
1	1530	63,5	54,5	16,35	—	—	nesudat
2	2020	71,5	66,5	16,35	5,9	395	sudat parțial
3	2550	75,0	90,5	0,18	5,7	400	rupt în afara sudurii
4	3000	80,5	106,0	16,35	5,8	405	idem
5	3000	80,0	106,0	0,18	5,8	395	idem
6	3650	81,5	128,0	0,18	5,75	405	idem

Din examinarea tabelii 5 se pot trage următoarele concluzii:

- de la o anumită forță de presare, respectiv la deformării peste 75%, se ajunge la o sudură a cărei rezistență nu se mai modifică cu creșterea presiunii, rupura producîndu-se în afara locului de îmbinare,

- viteza de deformare în limitele indicate în tabelă, nu influențează rezistența sudurii.

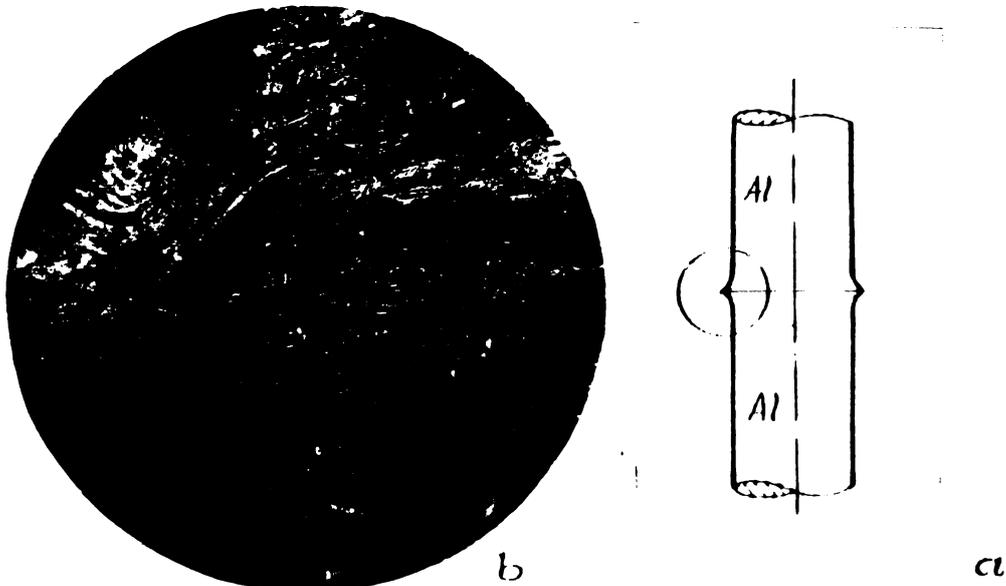


Fig.25. Macrostructura unei îmbinări sudate la rece a două bare de aluminiu.

Din fotografia fig.25,b, care reprezintă macrostructura legăturii sudate a porțiunii încercuite (a), se observă bine li-

nile de curgere a materialului.

Datorită deformației, se formează o zonă întărită în vecinătatea sudurii. Duritatea în locul sudurii poate să crească pînă la o valoare dublă față de duritatea materialului nedeformat.

În fig.26. se arată variația microdurității unei îmbinări sudate cu o deformație de 70%. Proba a fost obținută prin secționarea îmbinării după un plan de simetrie longitudinal; duritățile fiind măsurate în puncte situate pe axa de simetrie.

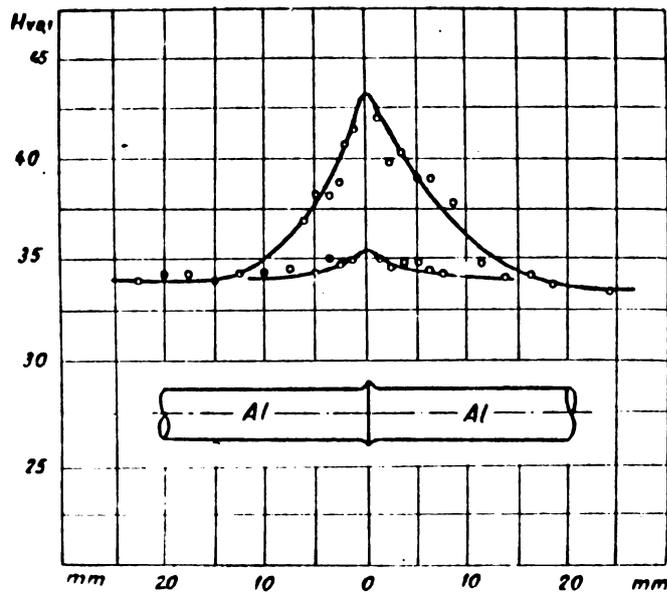


Fig.26. Variația microdurității în lungul unei îmbinări sudate la rece.

Prin încălzirea sudurii executate cu o deformație de 70% se observă o micșorare a durității și o majorare a unghiului de îndoire. La o încălzire de 200°C, timp de 1 h, se observă o micșorare a durității cu oca 8 unități Vickers (fig.26).

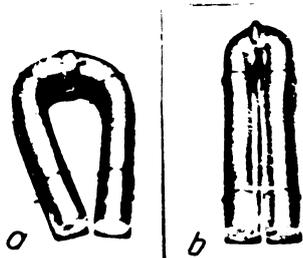


Fig.27. Probe de aluminiu sudate la rece, încercate la îndoire; a - fără încălzire, b - cu încălzire.

În fig. 27 sînt prezentate încercările la îndoire a legăturilor. Prima epruvetă 27,a sudată cu o deformație de 70%,

datorită rigidității sudurii nu se poate îndoi la un unghi de 180° decât cu precauție. A doua epruvetă 27,b, sudată în aceleași condiții, încălzită timp de 1 h la 100°C , a permis îndoierea cu ușurință la un unghi de 180° .

Din cele de mai sus se poate trage concluzia că încălzirea îmbinărilor duce la o mărire a gradului de plasticitate a sudurii. Probele de îndoire au fost cu baură, pentru a putea distinge locul sudării.

5.1.2. Sudarea aluminiului cu cupru. Dispozitivul de lucru folosit a fost identic cu cel de la sudare Al + Al. Pentru a micșora diferența dintre duritățile celor două metale și pentru a evita curgerea pronunțată a aluminiului în jurul cuprului se recomandă folosirea de cupru recept.

Deformația capetelor trebuie să fie mai mare decât în cazul precedent și datorită durității cuprului ($H_V \approx 68$ în stare receaptă), forța de presare necesară unei suduri bune este mai mare.

În figura 28 se arată bare de aluminiu și cupru de 6 mm diametru sudate între ele.

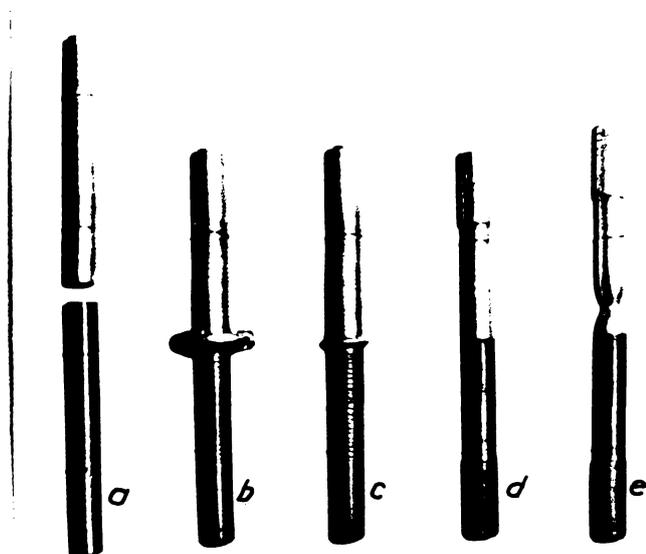


Fig.28. Bare de aluminiu și cupru sudate prin presare la rece:
a - barele înainte de sudare;
b-- barele sudate cu baură înelară;
c - bara debavurată;
d - proba strunjită;
e - proba ruptă la întindere.

În tabela 6. sînt prezentate rezultatele încercărilor la întindere pe un lot de probe sudate ale barelor de aluminiu și de cupru, de 6 mm diametru, executate cu diferite grade de deformație.

N _i crt	Forța de presare daN	Grad de deformare δ %	Presiunea daN/mm ²	ϕ al probei tracționată mm	Forța de rupere daN	Observații
1	2300	70,5	81,5	—	—	nesudat
2	3300	75,0	117,0	5,8	370	sudat parțial
3	3500	80	124,0	5,9	415	rupt în afara sudurii
4	3700	83,5	131,0	5,2	335	idem
5	4000	85	138,0	5,7	400	idem

În macrofotografia din fig.29,a, care prezintă porțiunea înscrisă din fig.29,b, se observă bine schimbarea macrostructurii materialului în urma deformației plastice. Grăunții materialului se alungesc tot mai pronunțat spre locul îmbinării, iar axele lor sînt perpendiculare pe direcția de acționare a forței de presare.

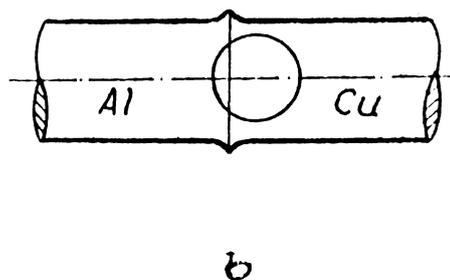
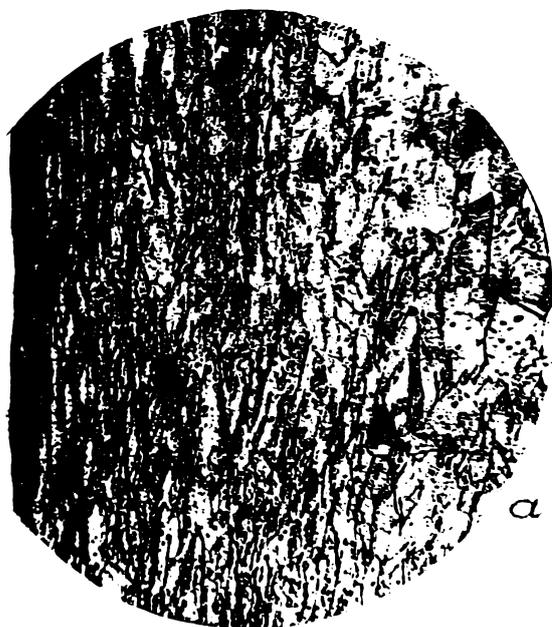


Fig.29. Macrofotografia unei legături sudate la rece de aluminiu și de cupru de 6 mm.

Din cauza faptului că în zona îmbinării materialul în urma deformațiilor plastice a suferit o întărire - deformația este însoțită întotdeauna de o creștere a durității.

În figura 30 se prezintă curbele de variație a microdurității în lungul îmbinării aluminiu-cupru, sudate cu o deformație de 83,5%. Se observă o variație de duritate de cea 36 de unități la cupru și cea 15 unități la aluminiu.

Cercetări metalografice. Probele îmbinate prin sudură au fost supuse și cercetărilor metalografice în scopul evidențierii modificărilor survenite în structura metalelor ca urmare a tehn-

logiei de sudare aplicată.

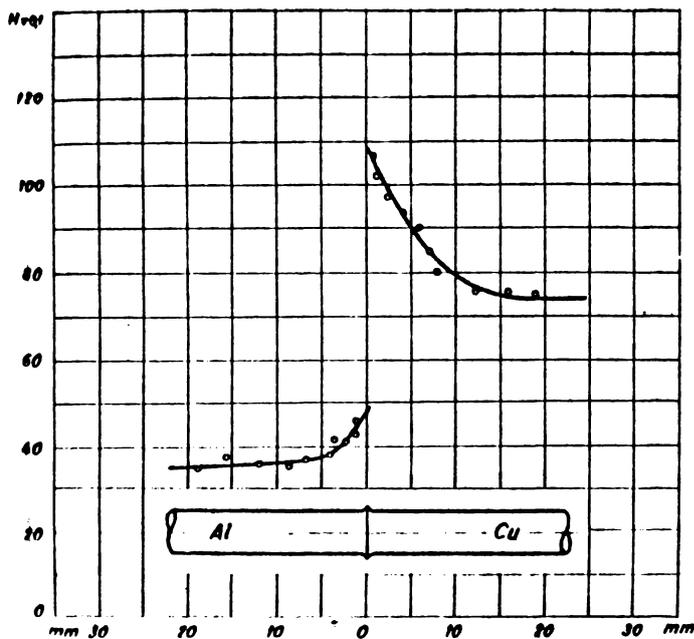


Fig.30. Variația microdurității în lungul unei îmbinări sudate la rece din aluminiu și cupru.

Microfotografia din figura 31 prezintă legătura sudată între aluminiu și cupru, tratată termic timp de o oră la 300°C.



Datorită faptului că aluminiul și cuprul nu au un reactiv comun pentru probele de microstructură, atacarea suprafețelor se face diferențiat prin scufundarea separată a celor două metale. S-au folosit pentru aluminiu o soluție apoasă de 10%

Fig.31. Microstructura unei legături sudate la rece - aluminiu cu cupru.

NaOH, iar pentru cupru o soluție de HNO_3 și $\text{CH}_3\text{-COOH}$ în proporție de 1:1.

Dunca neagră între aluminiu și cupru din fotografie se datorește reactivului cu care a fost atacat cuprul și care spală aluminiul din apropierea sudurii mult ecrușat.

La limita de separație dintre aluminiu și cupru se formează o zonă rigidă, cu un grad de plasticitate foarte scăzut. Din această cauză îndoirea probelor se face greu, însă prin încălzire la o temperatură inferioară pragului de recristalizare, rigiditatea îmbinării scade simțitor. În figura 32,a se prezintă

tă o bară sudată, îndoită după o încălzire de o oră la 300°C.

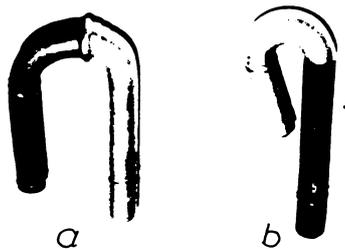


Fig.32. Bare de aluminiu și cupru sudate la rece și încercate la îndoire.

In concluzie: - Curățirea suprafețelor reale de contact, lungimea capetelor libere, mărimea deformației, sînt parametrii de care depinde reușita sudurii.

- Pentru obținerea gradului de deformare necesar realizării unei suduri bune, trebuie aplicată o forță de presare a cărei mărime depinde de natura materialului și de secțiunea barelor de sudat.

- Deformația necesară poate fi obținută fie cu viteză mică cea 0,18 mm/min, fie cea 16 mm/min fără ca aceasta să influențeze calitatea sudurii.

- Dacă se respectă parametrii indicați, sudura este corespunzătoare, iar ruperea epruvetei la tracțiune după înlăturarea bavurei se produce în afara sudurii, aceasta din cauza întăririi metalului de bază în zona sudurii.

- Încălzirea legăturii sub temperatura de recristalizare micșorează în general duritatea, respectiv rigiditatea sudurii și mărește plasticitatea metalului.

- Din măsurătorile electrice (vezi punctul 5.4.) au rezultat că sudura nu modifică conductivitatea electrică.

Sudura la rece poate fi aplicată la îmbinarea conductoarelor multifilare din aluminiu cu bare de cupru, prin folosirea unor tije speciale de aluminiu la un capăt și din cupru la celălalt. Capetele de aluminiu ale conductorului multifilar și ale tijei se îmbină prin sudare cu gaz.

In fig.33,a se arată o astfel de îmbinare a unui conductor

de 16 mm² secțiune, iar în fig.33,b de 25 mm² secțiune.

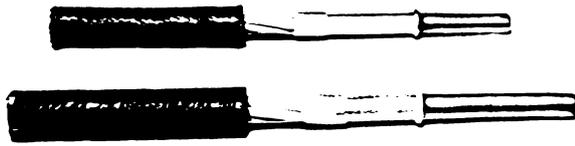


Fig.33. Imbinarea conductoarelor multifilare.

În cazul cablurilor cu conductoare de aluminiu este necesară prelungirea lor cu bare de cupru, aceasta pentru a face posibilă racordarea prin înșurubare la mașini și aparate.

5.2. Influența deformărilor repetate asupra calității imbinărilor sudate cap la cap.

S-a studiat modul în care, drept concretizarea celor afirmate la punctul 4.1., influența stării suprafețelor în contact asupra calității imbinărilor sudate, poate fi diminuată printr-o majorare a gradului de deformație, înlocuind procedeul clasic de sudare în capete printr-o singură deformație, prin efectuarea succesivă a unor refulări repetate. În figura 34 se prezintă schematic procedeul de sudare în capete printr-o singură refulare a capetelor barelor (fig.34.a și b) și prin două refulări succesive (fig.34.c și d).

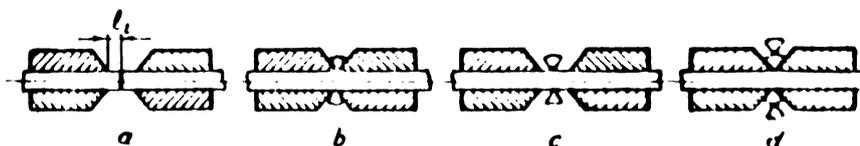


Fig.34. Schema procedeului de sudare în capete prin deformări repetate.

Gradul de deformație la sudarea în capete este determinat de raportul cunoscut:

$$\delta = \frac{A - A_0}{A_0} \cdot 100, \% \quad (1)$$

în care A_0 - secțiunea transversală inițială a barei;

A - secțiunea transversală în dreptul bavurii, după sudare.

Fiind vorba de deformări repetate, determinate de o re-

așezare a fâlcilor de strângere pe barele de sudat (fig.34), este mai propriu ca gradele succesive de deformații să se exprime în funcție de lungimea semicoursei de compresie (l_0), mărime egală sau mai mică decât lungimea capătului liber lăsat înainte de sudare (l). Pentru o determinare mai completă, semicursa de compresie (l_0), se poate raporta la dimensiunea minimă a secțiunii transversale sau, în cazul particular al unei secțiuni circulare, la diametrul barei (d) sub forma:

$$l_0 = \alpha d \quad (2)$$

cum condițiile geometrice optime de deformație corespund valorii ($\alpha = 1$), deformația (δ) pentru o cursă ($l_0 = d$) exprimată după relația (1) este aproximativ egală cu gradul de deformație necesar realizării unei îmbinări rezistente, valoare egală pentru aluminu tehnic cu 70-80% [20]. Pentru un material dat, în cazul de față aluminu, se poate stabili oricând o corelație între gradul de deformație (δ) exprimat în funcție de mărimea bavurii și coeficientul (α), respectiv mărimea cursei de compresie la dimensiuni transversale date elementelor de sudat.

Intrucât la sudarea în condiții obișnuite, date de expresia ($l=d$) forța înregistrează spre sfârșitul cursei de compresie o creștere bruscă [20], pentru a nu cuprinde acest ultim interval de un număr repetat de ori, la sudarea prin refulări repetate cursele de compresie, respectiv capetele libere ale conductoarelor corespunzătoare unei refulări, s-au ales mai scurte decât cele menționate și anume ($l \cong 0,6 d$).

Pentru a urmări modul de deplasare al materialului, prin deformație la nivelul suprafețelor limită, s-a aplicat un procedeu de vizualizare a deformațiilor plastice din această zonă. Pe una din suprafețele frontale de contact ale barelor s-a imprimat o familie de cercuri concentrice, echidistante, urma axei de simetrie a secțiunii fiind marcată printr-un punct (figura 35).

Materialul de contrast a constat din pulbere de carbură de wolfram. Modificarea diametrului acestor cercuri a permis o evaluare aproximativă a deplasărilor radiale suferite de materialul strict adiacent zonei de contact în cursul deformațiilor succesive (fig. 35.a,b,c și d). Suprafețele în contact au fost impurificate prin aplicarea unor amprente digitale, fapt care a permis urmărirea procesului de deformare la refulări repetate fără ca în secțiune să se fi produs, în primele faze ale deformării sudura.



Fig.35. Vizualizarea deplasărilor radiale ale materialului în zona de contact pentru diverse etape ale procesului de deformare a unor bare de aluminiu de 50 mm² secțiune.

Metoda vizualizării aplicată în condițiile sudării prin deformații repetate ale unor bare de secțiune circulară permite stabilirea următoarelor particularități:

Vectorul de deplasare a materialului atașat elementelor de volum prezintă componente radiale mai mari spre periferia secțiunii spre centrul ei mișcându-se pînă la valori aproape nule în axa de simetrie. Într-adevăr, comparînd dimensiunile transversale ale zonei ce marchează materialul situat în centrul suprafeței de separație, se constată că deși în situația finală, arătată în figura 35,d, gradul de deformare total a depășit aproape de trei ori gradul de deformare aplicat de obicei la sudarea printr-o singură refulare, materialul din centrul secțiunii a suferit practic deplasări foarte reduse. În condițiile unei preluorări plane a suprafețelor în contact această situație este inevitabilă. În alte condiții, într-o eventuală prelucrare conică a capetelor barelor, condițiile locale de deformare ale zonei centrale s-ar ameliora. Această operație suplimentară de pregătire nu este necesară întrucît, chiar dacă din lipsa unei deformații locale însemnate, microrezistența materialului în acel punct este mai redusă, suprafața în cauză este atît

de mică în raport cu secțiunea transversală a barei, însoțită ea nu poate și nici nu influențează valoarea totală a rezistenței mecanice sau electrice.

Vizualizarea deformațiilor în zona de contact la refuzări repetate evidențiază, printre altele, neomogenitatea dislocărilor de material la sudarea unor repere având secțiuni transversale nesimetrice. Figura 36 prezintă aspectul deformat al cercurilor inițial concentrice, trasate pe suprafața de separație a două bare dreptunghiulare.

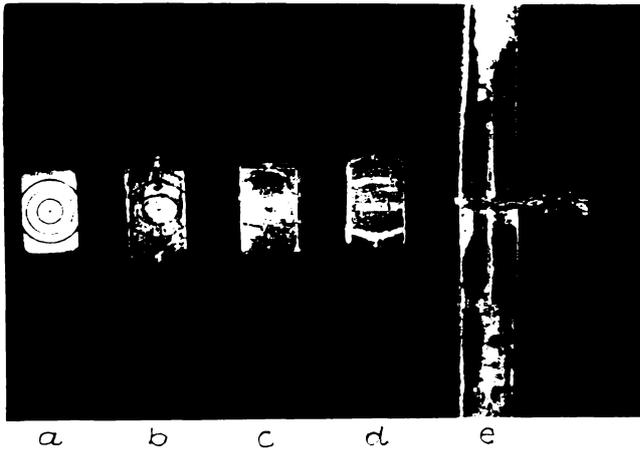


Fig.36. Vizualizarea deplasărilor radiale ale materialului în zona de contact pentru diverse etape ale procesului de deformare la sudare prin refuzări repetate a unor bare de aluminiu dreptunghiulare de $6 \times 10 \text{ mm}^2$ secțiune.

Familia de curbe din figurile 36.b, c, d și e arată o dislocare mai accentuată a materialului după axa de simetrie paralelă dimensiunii minime a secțiunii, fapt subliniat și de modul preferențial în care se deformează punctul inițial plasat în centrul de simetrie (fig.36,a).

Extrapolând putem spune că, la sudarea prin suprapunere în puncte un poanson de formă circulară asigură o dislocare mai uniformă a materialului în jurul punctului sudat, decât un poanson de secțiune dreptunghiulară, fapt ce conferă - așa cum se va vedea în punctul 6.2. - pentru o secțiune identică de antamare, primei soluții înălțări de rezistență superioare celei de a doua.

În ceea ce privește influența pregătirii suprafețelor în contact asupra gradului de deformare necesară sudării prin refuzări repetate, experimental s-au constatat următoarele:

- În cazul în care suprafețele de contact sînt minuțios

pregătite prezentînd două suprafețe plane, normale la axa barei și lipsite de orice impurități (suprafețe pregătite în prealabil cu ajutorul unei perii rotative din sîrmă de oțel, sau prin tăiere), o singură refulare $l_0 = d$ este suficientă pentru realizarea unor suduri rezistente.

- Dacă suprafețele frontale, orientate reglementar au amprente digitale, sudarea se produce abia după 2-3 refulări succesive de cursă $l_0 = 0,6-0,7 d$.

- Cînd suprafețelor în contact nu li s-a aplicat vreo pregătire fiind impure, sînt necesare cea 4 refulări succesive, deci o cursă de compresie totală de $4 \times 0,7 d$.

Se poate afirma, în concluzie, că din punct de vedere al calității îmbinării aproape aceleași rezultate se obțin sudînd obișnuit, cu o singură refulare pregătînd minuțios suprafețele frontale ca și prin aplicarea mai multor refulări fără ca pentru acest din urmă caz să se necesite o prelucrare pretențioasă a suprafețelor.

Deși la prima vedere aplicarea succesivă a mai multor refulări poate să pară o complicație a tehnologiei de sudare, în condițiile unei producții de serie mare, procedeul refulărilor repetate asigură un plus de productivitate față de operația de pregătire prealabilă a suprafețelor în contact, asigurînd în același timp o sudură sigură, ireproșabilă.

5.4. Sudarea cap la cap a conductoarelor instalațiilor electrice interioare și utilajul destinat sudurii în condiții de montaj.

Problema sudării conductoarelor de aluminiu s-a pus din necesitatea de a asigura un contact ferm între elementele de îmbinat. Metodele de îmbinare mecanică prin răsucirea conductoarelor sau folosirea unor elemente elastice, prezintă dezavantajul slăbirii contactului în timp, fapt datorat rezistenței la fluaș foarte scăzută

a aluminiului. Deformarea conductorului sub acțiunea presiunii de contact provoacă o scădere a suprafeței în care are loc contactul și în consecință o mărire a rezistenței locale. Supraincălzirile provocate local la trecerea curentului prin elementul de contact alterat, constituie sursa multor deranjamente la instalațiile electrice interioare.

În vederea sudării conductoarelor de aluminiu în condiții de montaj, s-a proiectat și executat un utilaj simplu, cu acționare manuală, adecvat condițiilor de gabarit redus al dozelor respective.

Dispozitivul LB-1 prezentat în figura 37 este destinat sudării conductoarelor de aluminiu pînă la 10 mm^2 secțiune, conductoarelor de cupru sau conductoarelor de aluminiu și cupru cu secțiune pînă la 6 mm^2 . Dispozitivul este format din elementul de



Fig.37. Dispozitiv cu acționare manuală tip. LB-1 pentru sudarea în capete a conductoarelor instalațiilor electrice interioare.

prindere și ghidare a capetelor conductoarelor (fig.37,a) și elemente destinat dezvoltării forței necesare sudării (fig.37,b). Elementul de prindere și ghidare se compune din două jumătăți 1 și 2, care poartă fiecare, capetele sîrmelor de sudat. Fixarea conductoarelor are loc în fălcile divizate 3 și 4, iar strîngerea fălcilor cu ajutorul pîrghiilor cu șurub 5. Ghidarea coaxială a celor două jumătăți, respectiv a elementelor de îmbinat au loc pe oepurile

de ghidare 6. Elementelor asamblate li se aplică forța P necesară sudării prin acționare manuală a cleștelui.

Dispozitivul LB-2 (fig.38), este destinat sudării conductoarelor de aluminiu de 2,5 ... 6 mm² secțiune. Spre deosebire de soluția anterioară, elementul de prindere și de ghidare a capetelor conductoarelor formează corp comun cu cleștele. Fălcile 3 și 4 de prindere a capetelor conductoarelor se strâng cu pârghiile cotite 5. Apropierea celor două sisteme de strângere și dezvoltarea forței necesare sudării făcându-se printr-un sistem de pârghii 6, acționat manual. Bavura se taie în mod automat prin apropierea la refuz a fălcilor prevăzute în acest scop cu tășturi corespunzătoare și o muchie tăietoare circulară.

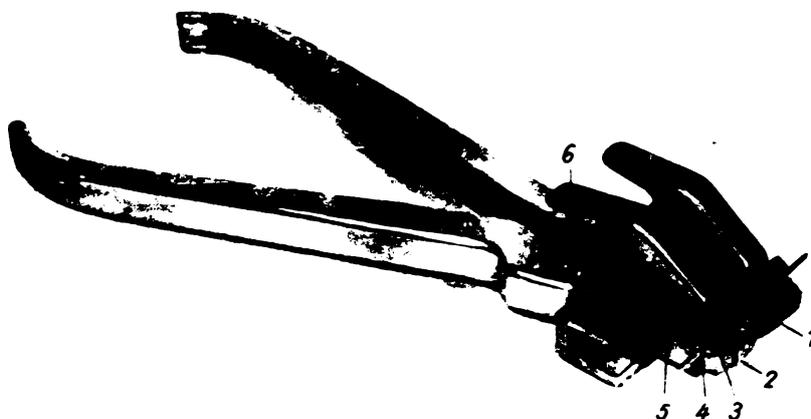


Fig. 38. Clește tip LB-2 destinat sudării în capete a conductoarelor de aluminiu la instalațiile electrice interioare.

Pentru sudarea unor conductoare de secțiune mai mare este conceput și executat o presă portabilă cu acționare hidraulică capabilă să dezvolte o forță maximă de 3000 daN. (fig.39).

Conductoarele s-au sudat aplicând grade de deformare plastică de 75-80% și presiuni de 80 daN/mm² la sudarea conductoarelor de aluminiu, respectiv 150 daN/mm² la sudarea conductoarelor de aluminiu și cupru. Rezistența mecanică a îmbinării depășit în ambele cazuri, rezistența la tracțiune a aluminiului fapt datorat ecruisării locale a materialului din zona de sudare.

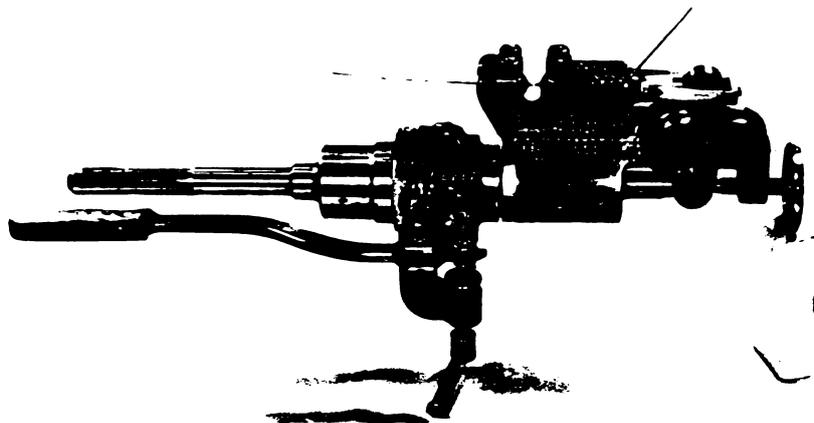


Fig.39. Presa de sudat hidraulică, cu acționare manuală.

Se menționează că pentru dispozitivele notate cu LB-1 și LB-2, autorului i s-au acordat de către Oficiul de stat pentru invenții Brevetele de invenție cu numerele 45627/1966 și 46268/1966. Fotocopiile brevetelor se găsesc în anexa lucrării la nr. 2/1 și 2/2.

Probe sudate cu dispozitivele de mai sus - conductoare de aluminiu de 6 mm^2 secțiune și conductoare de aluminiu cu conductoare de cupru de $4,9 \text{ mm}^2$ secțiune - au fost supuse încercărilor electrice. Acestea au constat în măsurători ale rezistenței la locul îmbinării și verificări ale comportamentului la curenți de scurtcircuit.

În vederea determinării rezistenței care cuprinde îmbinarea s-au făcut măsurători ale rezistenței conductoarelor atât în zona care cuprinde îmbinarea cât și într-o porțiune echivalentă de conductor neinfluențată de sudare. Deși teoretic prezența unei structuri texturale modifică într-o măsură oarecare, în sensul unei ușoare creșteri, rezistența electrică a unui conductor, măsurătorilor comparative efectuate pe o porțiune de conductor de lungime $l = 20 \text{ cm}$ nu au pus în evidență diferențe sensibile. Constatarea este valabilă atât pentru îmbinări efectuate între metale de același fel (aluminiu sau cupru) cât și pentru îmbinări din metale diferite (aluminiu și cupru).

Încercările la curenți de scurtcircuit s-au efectuat ținând cont de faptul că siguranțele fuzibile ale instalațiilor electrice interioare sînt astfel dimensionate încît să se topească practic instantaneu la un curent egal cu 2,5 ori valoarea curentului nominal. Întrucît aceleași îmbinări se pot efectua și la înfășurările transformatoarelor electrice, condițiile de încercare au fost mai severe decît cele de mai sus. Curentul de încercare a fost de 20 ori curentul de durată nominal pentru secțiunea de aluminiu; conductorul încercat a fost supus simultan și la un efort de întindere de $0,5 \text{ daN/mm}^2$, durata de trecere a curentului fiind de 4 s. Între două încercări consecutive conductorii au fost răciți la temperatura mediului ambient. Condițiile în care s-au făcut încercările sînt trecute în tabela 7.

Condițiile încercărilor la curenți de scurtcircuit a probelor sudate

<i>Tipul conductorului</i>	<i>Secțiunea mm^2</i>	<i>Curentul de durată nominal A</i>	<i>Curentul de scurtcircuit A</i>	<i>Durata de acțiune s</i>	<i>Numărul scurtcircuite lor</i>
Al + Al	6	18	360	4	10
Al + Cu	4,9	13,5	270	4	10

Probele au rezistat în condiții bune, fără desfacerea legăturii sau topirea conductorului. Este interesant de remarcat faptul că mărind curentul de încercare la conductoarele de aluminiu la 400 A, acestea s-au topit în afara legăturii.

6.3. Contribuții privind studiul proceselor intime în formarea unei îmbinări cupru + aluminiu prin deformare plastică la rece.

Cu scopul de a contribui la lămurirea fenomenelor care au loc în cazul sudării la rece prin presare s-au făcut investigații asupra difuziunii atomilor.

La punctul 1.4 s-a arătat că energia de activare necesară formării legăturilor coezionale pe suprafața de contact dintre piese se obține în principal, prin deformare plastică locală a pieselor de îmbinat.

Aspecte ale influenței gradului de deformare asupra îmbinării au fost arătate la punctul 3. Asupra mecanismului intern al formării îmbinării sudate la rece părerile cercetătorilor înclină printre altele, asupra formării îmbinării ca urmare a creșterii forțelor interatomice de coeziune a atomilor limitrofi ai celor două metale în condițiile unui contact fizic intim și ca urmare a difuziunii atomilor metalelor în zone de contact [46].

Pentru a lămurii natura fenomenelor ce au loc la nivelul zonelor de contact intim dintre metalele de îmbinat și a vedea în ce măsură mecanismul difuzional poate fi acceptat ca având o pondere sensibilă în formarea unei îmbinări rezistente, autorul a întreprins un studiu privind difuziunea în cazul unei îmbinări între două bare de aluminiu respectiv de cupru electrolitic, sudate cap la cap.

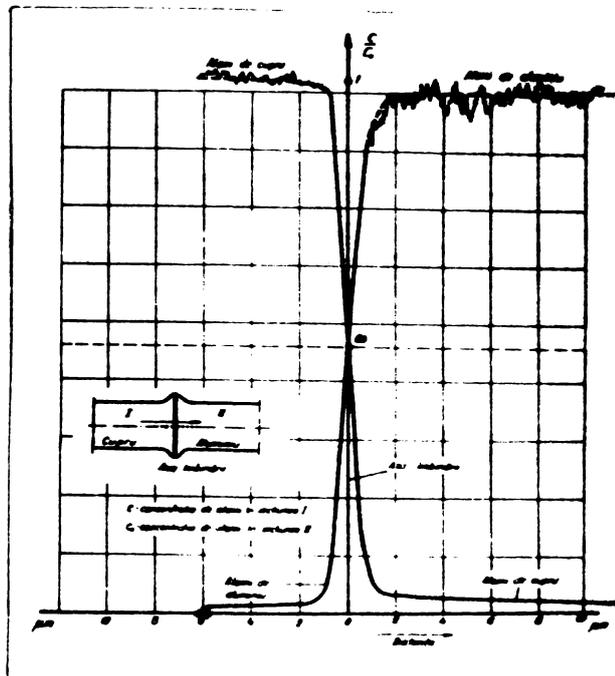
Condiții favorabile difuziunii se creează în urma deformății plastice, care, la un grad mare de deformație (75 ... 80%) provoacă o puternică ecruisare, ridicarea temperaturii în microvolum și dotarea atomilor respectivi cu energii de activare suficiente desfășurării locale a procesului de difuziune. Într-adevăr, în urma unei analize efectuate cu ajutorul microsondei electronice (ICEM București), a rezultat o variație sensibilă a concentrației atomilor celor două elemente aluminiu și cupru în zona îmbinării. Această variație măsurată în lungul axei îmbinării este prezentată în fig.40.

În ceea ce privește alura curbelor de concentrație, se observă o similitudine cu respectarea grafică a ecuației generale a difuziei, stabilită de Fick [46].

Se constată, ca urmare a difuziunii, prezența pe o distanță de 4 ... 6 μm în conductorul de aluminiu a atomilor de cupru, iar pe o distanță 2 ... 3 μm față de planul de separație prezența atomilor de aluminiu în conductorul de cupru. Este de presupus că

în urma acestor întrepătrunderi de atomi într-un domeniu restrâns la cea 6 ... 9 μm în jurul planului de separație, să se formeze soluții solide și chiar compuși intermetalici, probabil de tipul CuAl_2 (dur și fragil, care îngreunează îndoirea barelor sudate, fig. 31).

Fig.40. Variația concentrației atomilor de aluminiu respectiv de cupru în zona de trecere a unei îmbinări sudate la rece în capete, între două bare de aluminiu respectiv cupru după o direcție normală pe suprafața îmbinării.



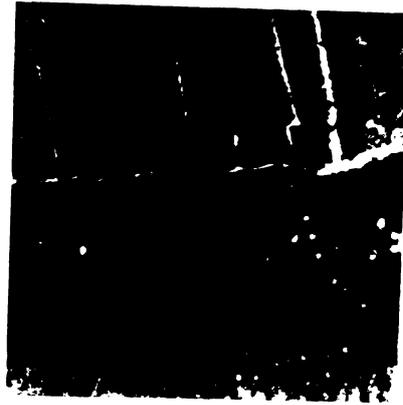
Rezultă că, din punct de vedere structural, îmbinarea sudată prezintă, în zona considerată un aspect propriu, diferit față de zonele mai extinse, care nu au suferit, în urma sudării, decât modificări texturale, modificări macroscopice ce sînt ilustrate, de regulă, prin aspectul macroscopic al zonelor afectate de deformația plastică.

Aspectul îmbinării, așa cum apare la o mărire 600x, la un baleiaj electronic, relevă un aspect diferit de cel obținut prin microscopia optică în sensul evidențierii unei zone înguste de o parte și de alta a îmbinării în care materialele au suferit, în urma sudării o recristalizare (fig.41).

Condițiile favorabile acestui proces sînt aceleași ca cele ce au facilitat procesele de difuziune. Zona apare ca vizibilă mai ales în conductorul de cupru. Fenomenul ca proces localizat,

se cere cercetat îndeaproape.

Fig.41. Aspectul secțiunii transversale a unei îmbinări sudate la rece, în capeta, cu urme de reocrystalizare în vecinătatea suprafeței de separație dintre cele două metale, aluminiu și cupru.



În urma celor de mai sus se poate trage concluzia că în zona legăturii intime dintre piese, la sudarea la rece, se produc fenomene complexe ca:

- difuziunea atomilor cuprii și în zona de contact intim, nemijlocit, a micronegularităților deformate plastic, proces ce se manifestă într-o îmbinare la distanțe de ordinul a câtorva μm de la suprafața de separație dintre piese,

- urme de reocrystalizare a metalelor de îmbinat, localizată pe o distanță față de suprafața de separație, comparabilă ca ordin de mărime cu cea afectată de difuziune.

6. CERCETARI PRIVIND TEHNOLOGIA SUDARII PRIN PUNCTE LA RECE

Sudarea prin puncte a fost prezentată parțial la punctul 3.2, unde s-a descris modul de desfășurare în timp a procesului de deformație plastică

În ceea ce urmează, se prezintă rezultatele cercetărilor privind influența unor factori ca: diametrul poansonului, gradul de deformație plastică, forma poansonelor (circulară, eliptică, inelară) și amplasarea lor asupra rezistenței îmbinărilor sudate.

După modul de fixare a pieselor, sudarea la rece prin puncte se poate executa:

- fără strângere prealabilă a pieselor,
- cu strângerea prealabilă a pieselor.

Sudarea la rece prin puncte fără strângerea prealabilă a pieselor. Schema acestui procedeu de sudare este prezentat în fig. 42. Piesa pregătită pentru sudare se așează între două poansoane

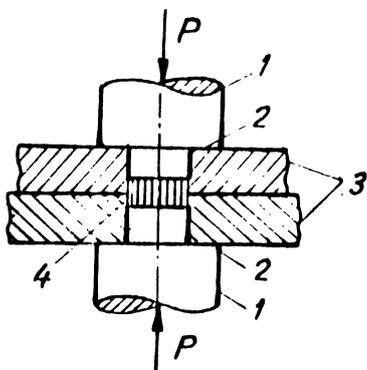


Fig.42. Schema procedurii de sudare prin puncte la rece, fără strângere prealabilă a pieselor: 1 - poansoane; 2 - suprafața de reazem; 3 - piesele de sudat; 4 - punct sudat.

coaxiale, fiecare poanson avînd o parte activă de secțiune relativ mică și o parte reazem, cu o secțiune de cîteva ori mai mare decît cea de lucru. Înălțimea părții active se alege astfel ca în urma pătrunderii poansoanelor în material să se asigure gradul de deformare necesar obținerii unei suduri rezistente. Pentru a realiza o îmbinare bună, este necesar ca pe lîngă presiunea aplicată părții active a poansoanelor, la sfîrșitul procesului de sudare să se asigure strîngerea pieselor de îmbinat și între părțile de sprijin ale poansoanelor. Procedul se aplică la sudarea tablelor a căror grosime (s) nu depășește 3-4 mm.

Sudarea la rece prin puncte cu strîngere prealabilă a pieselor. În cursul procesului de sudare fără strîngere prealabilă a pieselor, materialul din jurul poansonului poate curge liber, deformînd ușor piesa. La sfîrșitul cursei de presare, părțile de sprijin ale poansoanelor apăsă asupra pieselor, îndreptîndu-le. Prin această operație se creează o tensiune în îmbinare și posibilitatea distrugerii porțiile a îmbinării deja sudate. Acest neajuns se manifestă mai ales la sudarea pieselor de grosime mai mare de 4 mm [4], precum și a materialelor cu o plasticitate mai redusă (cupru, aluminiu dur, ș.a.).

Pentru a ușura sudarea tablelor de grosime mai mare, s-a elaborat procedeul de sudare cu strângere prealabilă a pieselor în porțiunea situată în jurul poansonului. Schema acestui procedeu de sudare este prezentat în fig.43.

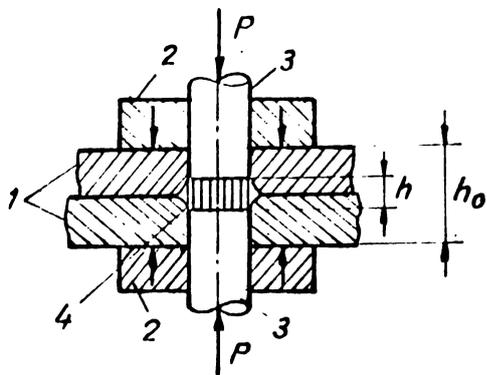


Fig.43. Schema sudării la rece prin puncte cu strângere prealabilă a pieselor.

Strângerea pieselor (1) cu ajutorul corpului (2), se face înainte de introducerea poansoanelor (3), în metal. Strângerea pieselor în cursul întregului proces de sudare împiedică deformarea materialului în jurul poansonului.

Ca o consecință punctul sudat (4) va conține două zone: una centrală, cuprinsă între suprafețele frontale ale părților active ale poansoanelor și alta periferică, situată în jurul zonei centrale.

Ca o consecință punctul sudat (4)

6.1. Determinarea diametrului poansonului și a gradului optim de deformare.

Pentru determinarea diametrului poansonului (d) în funcție de grosimea materialului (s) precum și gradul optim de deformare (δ), îmbinările cercetate au fost sudate cu un singur punct, folosind poansoane de diametre diferite și cu grad de deformare diferit; iar pentru a putea trage concluzii, probele au fost încercate la întindere.

Materialul supus încercărilor a fost aluminiu electrotehnologic de 99,5%, tras în bare de 2,5 și 10 mm grosime. În lucrare se vor prezenta numai cercetările care se referă la sudarea barelor de 5 mm grosime, deoarece pentru celelalte două dimensiuni dispozitivele, mersul lucrării, precum și rezultatele obținute sînt asemănătoare.

Dispozitivul folosit pentru poziționarea barelor și conducerea poansonului este arătat în fig.44.

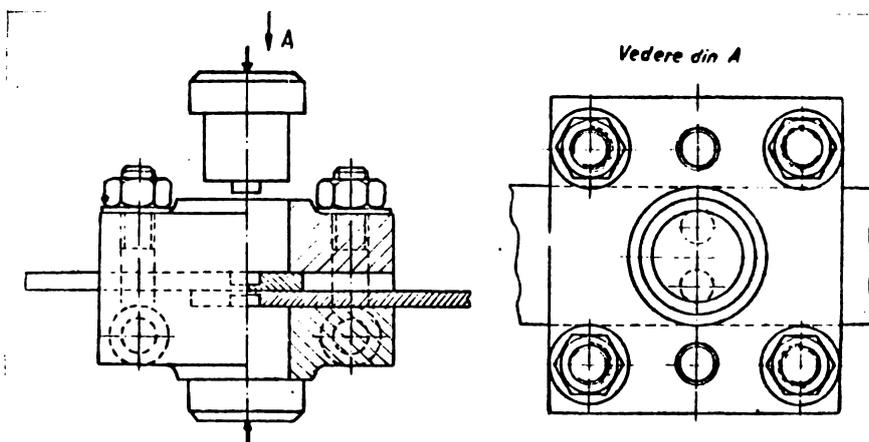


Fig.44. Dispozitiv pentru sudarea prin punto în rece a barelor de aluminiu de 5 x 40 mm² secțiune.

Tabela 8

Diametrul poansonului mm.	Gradul de deformare δ , %	Forța nec. sudării daN	Forța de întindere daN/mm ²	Rezistența la forfecare τ daN/mm ²	Observații
6 (28,2 mm ²)	70	1950	198	6,8	Sudat parțial
	75	2200	231	7,9	Sudat parțial
	80	2500	236	8,35	
	85	2700	266	9,45	
	90	3000	290	10,3	
7 (38,5 mm ²)	70	2730	204	6,3	Sudat parțial
	75	3060	292	8,6	
	80	3400	350	9,1	
	85	3800	398	10,3	
	90	4200	423	11,0	
8 (50 mm ²)	70	3650	405	8,1	Sudat parțial
	75	4050	465	9,3	
	80	4450	490	9,8	
	85	5150	540	10,8	
	90	5600	565	11,3	
9 (63,5 mm ²)	70	4800	530	8,35	Sudat parțial
	75	5150	575	9,05	
	80	5800	615	9,65	
	85	6600	680	10,7	
	90	7200	700	11,0	
10,1 (80 mm ²)	70	6000	620	7,8	Sudat parțial
	75	6900	707	8,85	
	80	7600	755	9,4	
	85	8450	845	10,5	
	90	9800	860	10,75	

Au fost confecționate poansoane de formă circulară de 6, 7, 8, 9 și 10,1 mm diametru. Cu aceste poansoane s-au făcut suduri cu pătrunderi diferite. Totodată au fost reținute și forțele de presare. Gradele de deformare (δ) de cea 70, 75, 80, 85 și 90% au fost verificate prin secționarea și măsurarea probelor în dreptul punctului sudat. Rezistența la forfecare a punctului sudat a fost determinată prin întinderea probelor. Rezultatele încercărilor sînt trecute în tabela 8.

Dacă se înregistrează diagrama de variație a presiunii necesare realizării deformațiilor plastice $p = f(\delta)$ în decursul procesului de sudare (fig.45), se poate observa o corelare a etapelor de deformare descrise anterior cu alura acestei diagrame. Astfel,

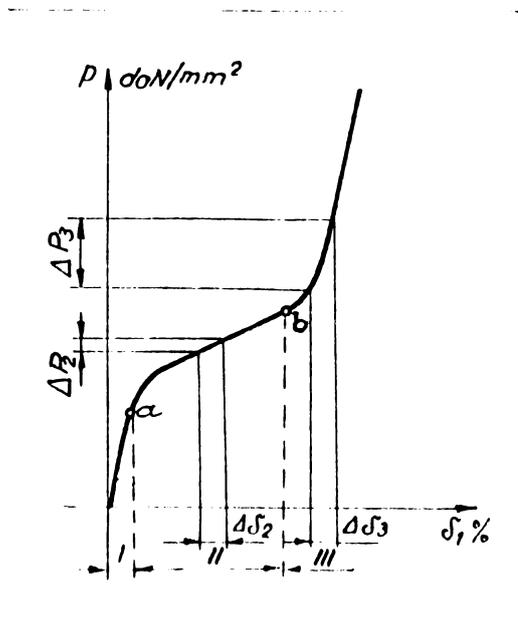


Fig.45. Variația presiunii în funcție de gradul mediu de deformare plastică.

zona I. corespunde domeniului elastic, domeniul II. surgerii materialului în care o deformare dată ($\Delta \delta_2$) poate fi obținută cu un efort suplimentar (Δp_2) relativ mic (faza de deformări prezentată în fig.45, a pînă în b) și domeniul III, unde aceleiași deformări ($\Delta \delta_3 = \Delta \delta_2$) îi corespunde o creștere mult mai mare a presiunii ($\Delta p_3 \geq \Delta p_2$).

Intrucît formarea unei îmbinări sudate este condiționată în mare măsură de deformarea plastică a metalului, pentru a nu

mări în faza inițială efortul necesar sudării, este necesar o corelare convenabilă a parametrilor geometrici ai ansamblului poanson-material.

Din examinarea valorilor înșirate în tabela 8, rezultă următoarele:

- Se obțin rezultate bune la un grad de deformare de 75-80%. Un grad de deformare mai mare deși asigură o comportare mai bună la forfecare a punctului sudat, materialul dislocat în plus necesită un efort de presare mai mare, se reduce grosimea punctului sudat (h) și în consecință se micșorează secțiunea de trecere a curentului (vezi potele 7. 12 și 8.1), crește rezistența electrică, ceea ce produce o încălzire în plus a punctului sudat.

- Pentru a vedea influența diametrului poansonului (d) asupra rezistenței la forfecare (τ) a îmbinării sudate cu grade optime de deformare (δ), 75, 80%, cu valorile din tabela 8, s-au trasat curbele din figura 46.

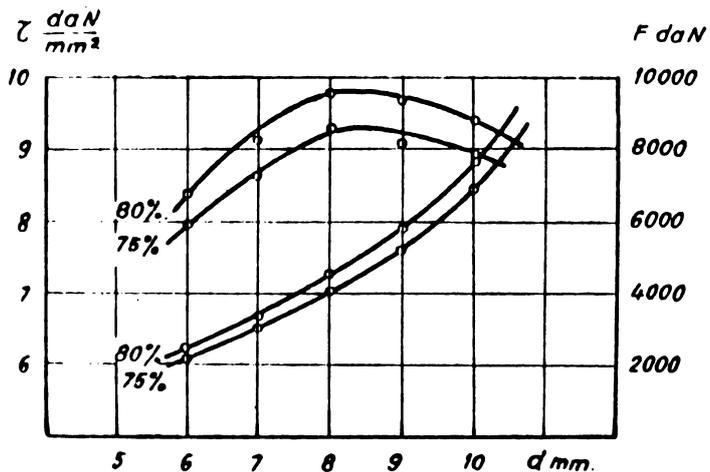


Fig.46. Dependența rezistenței (τ) și a forței de presare (F) de diametrul poansonului de presare (d).

Se observă următoarele: - odată cu creșterea diametrului poansonului, respectiv al gradului de deformare crește și forța de presare, - diametrul punctului care asigură o rezistență maximă a îmbinării este în jur de 8 mm, - pentru diametre mai mari, crește considerabil forța de presare, - pentru o deformație dată, forța de presare este cu atât mai mare, cu cât diametrul poansonului este mai mare, - crește totodată și materialul dislocat de

de poanson, care poate produce tensiuni în plus în jurul punctului sudat.

Cercetări identice s-au făcut și asupra barelor de 2 și 10 mm grosime. Concluziile trase fiind aceleași ca și pentru bare de 5 mm grosime, în prezenta lucrare nu sînt reproduse. S-au mai făcut cercetări și cu acționarea numai dintr-o parte a poansonului de formă circulară și dreptunghiulară.

În privința stabilirii diametrului poansonului în funcție de grosimea materialului de sudat, respectiv al raportului (d/s) în baza cercetărilor și măsurărilor efectuate se recomandă următoarele valori:

Pentru grosimi $s = 5...10$ mm, $d/s = 1,5...1,0$

$s = 2... 5$ mm, $d/s = 2,0...1,5$

$s = 0,1..1$ mm, $d/s = 7,5...2,5$

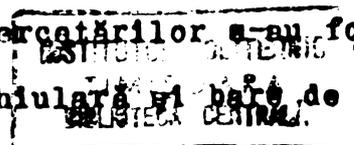
Valorile mai mari ale raportului se referă la table cu grosimi mai mici, sau în cazuri cînd se sudează simultan cu mai multe puncte.

Cunoscînd raportul d/s și grosimea materialului de sudat (s), se apreciază ușor diametrul poansonului (d).

6.2. Determinarea formei optime a poansonului.

În privința formei poansoanelor, unii cercetători [30, 42, 48], consideră că cea mai rațională formă a poansoanelor este cea dreptunghiulară. În lucrarea [41] se recomandă ca lățimea poansoanelor să fie egală aproximativ cu grosimea tablei de sudat, iar lungimea lor de max. cinci ori mai mare. În privința poansoanelor de formă circulară sau de alte forme nu se găsesc indicații și nici studii pînă în momentul redactării prezentei lucrări.

Pentru determinarea formei optime a poansonului și a gradului de deformare corespunzător, în cadrul cercetărilor s-au folosit poansoane de formă circulară și dreptunghiulară și bare de



aluminiu de $5 \times 40 \text{ mm}^2$ secțiune. Caracteristicile geometrice ale poansoanelor folosite la sudare sînt date în fig.47. Dimensiunile lor au fost alese astfel, încît să prezinte fiecare caz aceeași

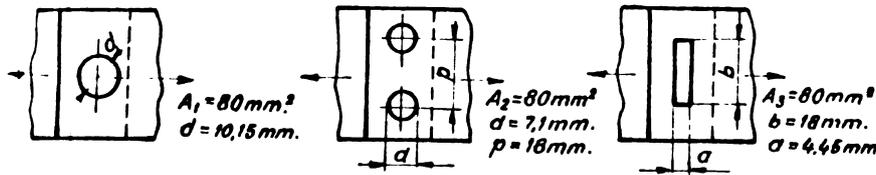


Fig.47. Caracteristicile geometrice ale poansoanelor folosite la sudare.

secțiune de oca 80 mm^2 . Rezultatele încercărilor probelor sudate cu poansoane menționate sînt trecute în tabela 9.

Tabela 9

Formele și dimensiunile poansonului - mm.	Gradul de deformare $\delta, \%$	Forța necesară sudării $d_a \text{ N}$	Compres. specifică $d_a \text{ N/mm}^2$	Forța de rupere prin forfec. $d_a \text{ N}$	τ $d_a \text{ N/mm}^2$	Observ.
 $A = 80 \text{ mm}^2$	70	6000	69,0	620	7,80	
	75	6900	78,0	707	8,85	
	80	7600	89,0	755	9,40	
	85	8450	96,0	845	10,50	
	90	9300	103,0	860	10,75	
 $A = 80 \text{ mm}^2$	70	5200	65,0	540	6,75	
	75	6250	78,3	600	7,50	
	80	7160	89,5	700	8,75	
	85	8100	93,7	750	10,10	
	90	9200	115,0	825	10,30	
 $A = 2 \times 40 = 80 \text{ mm}^2$	70	5600	70,0	710	8,9	
	75	6400	80,0	820	10,25	
	80	7250	90,7	850	10,65	
	85	8200	102,5	895	11,20	
	90	9350	117,0	940	11,75	

Cu ajutorul datelor din tabela 9 s-a trasat pentru fiecare formă de poanson în parte, curba de variație a rezistenței la forfecare în funcție de gradul de deformare (fig.48,b).

Diagrama aceasta completată cu variația compresiei specifice necesară sudării cu două puncte alăturate în funcție de gradul de deformare (fig.48,a) permite pe de o parte aprecierea efortului necesar sudării, pe de altă parte alegerea gradului de defor-

mație plastică, necesar pentru a asigura o rezistență dată punctului sudat.

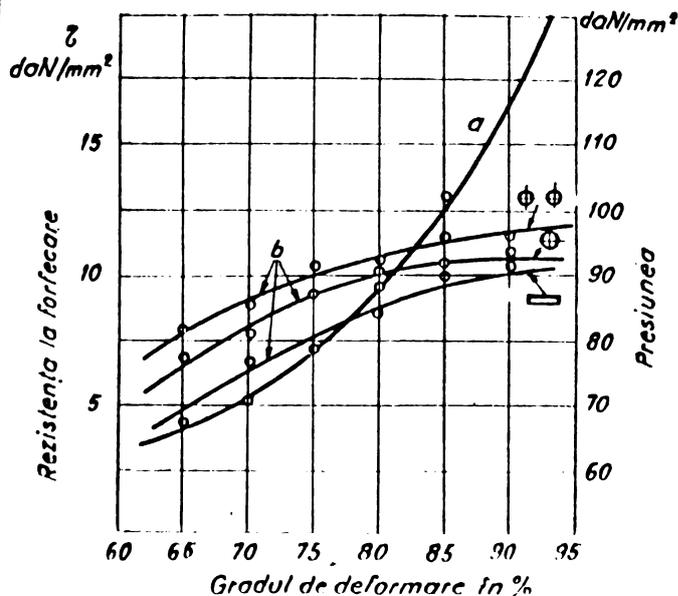


Fig.48. Variația rezistenței la forfecare și a presiunii specifice necesare la sudare în funcție de gradul de deformare plastică.

Curbele $p = f(\delta)$ pentru îmbinările realizate cu un poanson rotund și dreptunghiular, avînd aluri asemănătoare cu a, nu au fost trasate.

Se observă o comportare mai bună a poansoanelor de formă circulară, mai ales la îmbinările realizate prin puncte alăturate. Aceasta se datorește faptului că poansoanele de formă circulară realizează, comparativ cu cele dreptunghiulare, o dislocare mai uniformă a materialului în jurul periferiei poansonului.

Pentru a cunoaște comportarea îmbinărilor realizate prin mai multe puncte, s-au sudat bare de aluminiu de $6 \times 10 \text{ mm}^2$ secțiune după mai multe variante, gradul de deformare fiind de cea 80%. Forma și modul de plasare a poansoanelor, precum și forța de rupere medie a îmbinărilor sînt indicate în tabela 10.

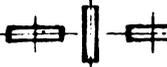
Valorile medii ale rezistențelor la forfecare trecute în tabelele 8, 9, 10 au fost determinate pe un lot de trei suduri.

Se menționează că îmbinările cu mai multe puncte, au fost executate consecutiv prin puncte individuale.

După cum rezultă din tabela 10, rezistența unui grup de mai multe puncte, este mai mică decît rezistența totală obținută

prin însumarea rezistenței punctelor separate, fapt care se datorește repartiției neuniforme a sarcinii la o îmbinare cu mai multe puncte.

Tabela 10

Nr.	Forma poansonului și felul îmbinării	Alungirea îmbinării Δl	Forța de rupere a îmbinării daN	Forța de rupere raportată la nr. pet. sudor.	Raportul rezist. îmbin. și rezist. barei întregi. %	Observ.
1		2,1	1460	700	83,7	S-a rupt în sudură
2		3,2	1540	513	92,2	Ruperea se produce în sudură Fig. 51.a
3		2	1280	640	76,7	S-a rupt în sudură
4		2,5	1220	610	73	S-a rupt în sudură
5		3	1440	480	86,2	Ruperea se produce în sudură Fig. 51.b
6		5	1560	520	93,5	S-a rupt în sudură
7		1,8	850	345	51,0	S-a rupt în sudură
8		2,6	1480	370	88,5	S-a rupt în sudură
9		3,1	1440	360	86,2	S-a rupt în sudură
10		3,5	1520	310	91,0	S-a rupt în sudură
11		4,2	1580	263	94,5	Ruperea se produce în sudură Fig. 51.c
12		3,7	1670	278	100	S-a rupt în afara sudurii Fig. 51.d

Obs: Forța la care s-a rupt materialul de bază este 1670 daN. Poansonurile de la poz. 1...6 au avut fiecare o suprafață activă de 80 mm², cele de la 7 la 12, au avut 40 mm².

Neuniformitatea repartizării forței pe îmbinare la sudare prin topire este pusă în evidență prin coeficientul de concentrare al tensiunilor și care se exprimă cu relația:

$$K_T = \frac{\max}{\text{med}} = 0,63 \sqrt{\frac{l}{s}}$$

în care: l - lungimea sudurii, mm;

s - grosimea, mm.

În mod asemănător și în cazul îmbinărilor sudate prin puncte la rece, neuniformitatea repartizării forței crește cu creșterea numărului de puncte în rând.

Pentru îmbinarea sudată cu trei puncte în rând, forța preluată de fiecare punct poate fi determinată cu metoda coeficientului de distribuție, care are relația:

$$\alpha_3 = \frac{m+1}{3m+2}$$

în care: $m = \frac{k_1}{k}$;

$k = \frac{P}{EA}$ coef. de cedare a tablei între punctele sudate,

$k_1 = \frac{1}{Q}$ coef. de cedare a punctului sudat.

Experimental s-a determinat că $m = 2$ și în acest caz $\alpha_3 = 0,375$.

Forța ce revine fiecărui punct se poate determina astfel:

$$F = T_1 + T_2 + T_3 ; \quad T_1 = T_3 = \alpha_3 \cdot F = 0,375 F$$

$$T_2 = (1 - 2\alpha_3) F = 0,250 F$$

T_2 este forța ce o preia punctul din mijloc, iar

T_1 și T_3 punctele de margine.

Se observă că punctele de la margine sînt mai sollicitate decît cel din mijloc (fig.49).

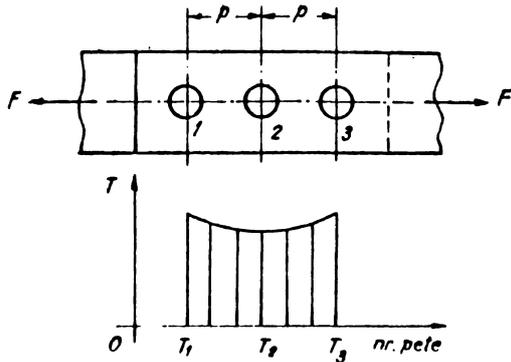


Fig.49. Distribuția forței într-o îmbinare cu trei puncte în rând.

De aci se trage concluzia că nu este rațional să se proiecteze îmbinări cu mai multe puncte în rând, ci îmbinări cu mai puține puncte în rând și cu două sau mai multe rânduri. Acest lucru este demonstrat cu îmbinarea cu trei puncte în rând așezate pe două rânduri (Tab.10 poz.12) care are cea mai bună rezistență.

Repartizarea sarcinii depinde și de forma poansonului.

Cea mai avantajoasă repartiție a sarcinii se realizează la îmbinările prin puncte alăturate (poz.11 și 12, tab.10) apoi la cele realizate prin puncte rotunde individuale (poz.2 și 11, tab.10). Utilizarea poansoanelor dreptunghiulare în orice combinație, exceptând cazul corespunzător poz.6, tab.10, duce la rezultate nesatisfăcătoare.

Punctele sudate cu poansoane rotunde se comportă mai bine și datorită faptului că în timpul pătrunderii poansoanelor, materialul se refulează mai uniform în lungul perimetrului punctului sudat, decât în cazul poansoanelor dreptunghiulare. În afară de această, poansoanele sînt mai ieftine.

Pasul între puncte sudate. În caz că îmbinarea se execută cu două sau mai multe puncte, este necesar determinarea pasului - distanța dintre puncte. Distanța dintre axele poansoanelor sau a grupurilor de poansoane trebuie astfel aleasă încît în urma deplasării materialului să nu rezulte între poansoane interferențe supărătoare de material. Valoarea admisibilă a distanței dintre

poansoane se alege de obicei experimental - sudind nu concomitent ci succesiv - punctele alăturate. Dacă notăm cu (d) diametrul suprafeței active a poansonului, iar cu (p) pasul sudurilor, atunci $p \geq 3d$.

Dacă distanța aleasă este mai mică decât pasul recomandat, sudarea celui de al doilea punct va provoca deformarea punctului sudat anterior, așa cum se vede în fig.50.

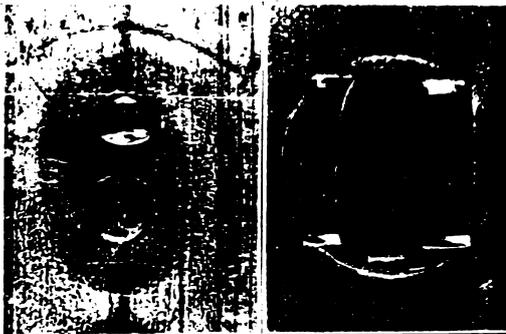


Fig.50. Suduri executate succesiv la distanțe mai mici decât cel recomandat, folosind:
a - poansoane de formă rotundă;
b - poansoane de formă dreptunghiulară.

În caz că sudurile se execută concomitent, iar pasul punctelor este mai mic decât cel recomandat, $p < 3d$, materialul dislocat de poansoane îngreunează deplasarea acestuia. Acest lucru necesită un efort de presare mai mare, iar îmbinarea apare mult tensionată.

Pentru a îmbunătăți această situație, adică a micșora volumul de metal dislocat se recomandă micșorarea raportului d/s , respectiv diametrul poansonului.

Este interesant de semnalat alungirea barelor de aluminiu în timpul sudării. Mărimea alungirii Δl depinde de forma și de orientarea poansoanelor folosite. Alungirile măsurate sînt trecute în tabela 10.

În fig.51 se prezintă diferite legături sudate din bare de aluminiu de $6 \times 40 \text{ mm}^2$ secțiune încercate la întindere.

În concluzie se poate arăta că sudarea la rece prin presare este un procedeu simplu, avantajos din punct de vedere economic. Se poate aplica pe scară industrială la îmbinarea pieselor de aluminiu în industria electrotehnică și la instalațiile

energetice, îmbinarea barelor colectoare, a ramificațiilor, armarea bornelor de contact din aluminiu cu plăci de cupru ș.a.

Ca aplicație a procedurii de sudare cercetat se amintește pe lângă alte aplicații efectuate de autor, armarea bornelor de contact și sudarea prin puncte a conductoarelor de aluminiu în prealabil răsucite.

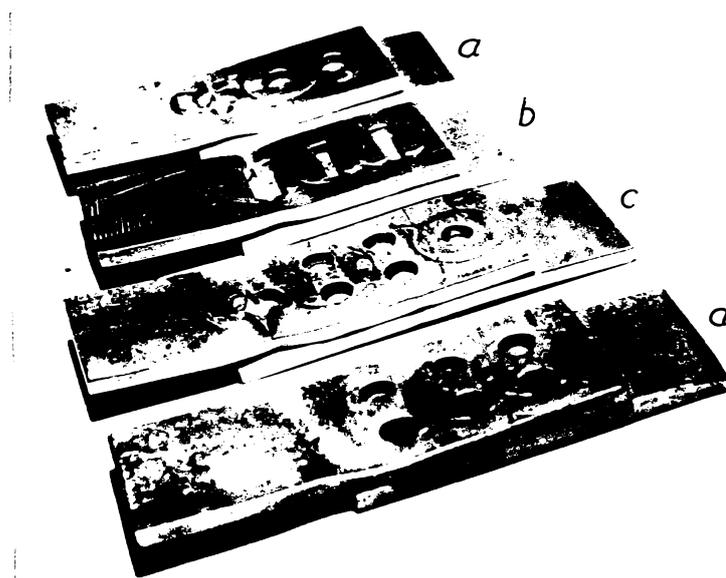


Fig.51. Îmbinări sudate cu mai multe puncte solicitate la întindere, gîtuite în dreptul unui punct sudat.

6.2.1. Poansoane de formă eliptică.

Pornind de la rezultatele avantajoase, folosind grupuri de două poansoane rotunde alăturate de 7,15 mm diametru, s-a studiat comportarea poansoanelor de formă eliptică, dispuse față de direcția solicitată, așa cum se vede în fig.52.

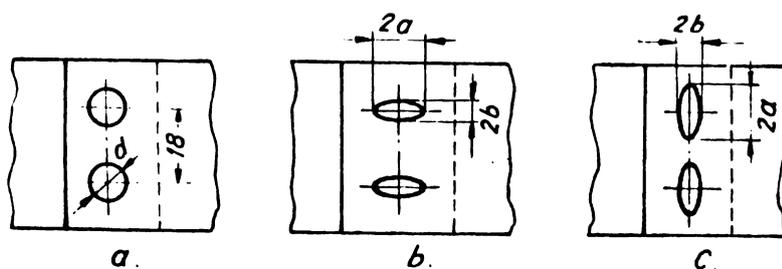
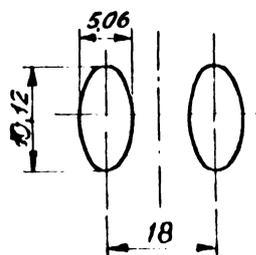


Fig.52. Dimensiunile geometrice ale poansoanelor folosite la sudare.

Pentru a putea face aprecieri comparative, poansonul eliptic a avut aceeași suprafață activă ca cel de formă rotundă, adică de 40 mm^2 secțiune. Distanța dintre poansoane s-a păstrat de 18 mm. Raportul semiaxelor elipsei $\frac{a}{b} = 0,5$. Din relația $A = \pi \cdot a \cdot b = 40 \text{ mm}^2$, rezultă cele două dimensiuni ale elipsei: $a = 5,06 \text{ mm}$ și $b = 2,53 \text{ mm}$. În fig.53 se arată schița poansonului.

Fig.53. Poanson eliptic folosit la sudare.



Cu ajutorul ambelor poansoane s-au executat un număr de îmbinări din bare de aluminiu de $5 \times 40 \text{ mm}^2$ secțiune. Gradul de deformare variind între 65 și 88%, îmbinările realizate prin cele trei variante, au fost încercate atât la solicitări statice de forfecare, cât și la obonoală. Forma și modul de plasare a poansonului precum și rezultatele obținute la încercările de tracțiune statică sînt concretizate în fig.54., în care pentru fiecare

formă de poanson, s-a trasat variația rezistenței la forfecare în funcție de gradul de deformație.

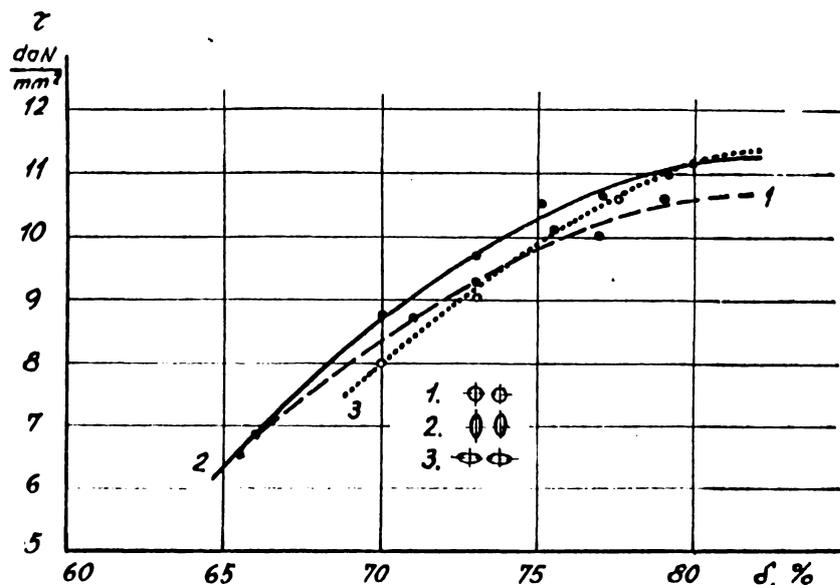


Fig.54. Rezistența la forfecare a îmbinărilor în funcție de gradul de deformație pentru diferite forme și amplasări ale poansonelor.

Așa cum rezultă din fig.54., odată cu creșterea gradului de deformație, rezistența la forfecare a punctelor sudate crește, cele trei variante dau rezultate sensibil apropiate, se diferențiază însă din punct de vedere al comportamentului la solicitări ciclice.

Pentru a stabili comportarea la solicitări ciclice a legăturilor sudate cu aceste poansoane, îmbinările au fost supuse încovierii la moment constant, fig.55. În acest caz punctele sudate au fost solicitate la tracțiune.

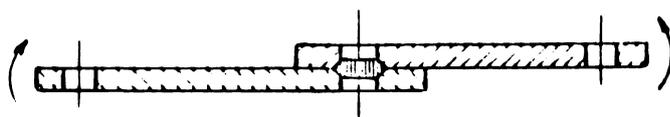


Fig.55. Reprezentarea schematică a încovierii la solicitări ciclice (oboseală).

Din încercările la oboseală, corespunzător a, b și c din fig.56, rezultă valori medii descrescătoare ale rezistenței la solicitări ciclice.

Examinând diagrama din fig.56, se observă că rezistența la solicitări variabile a legăturilor obținute cu poansoane de

formă eliptică orientate paralel cu direcția de solicitări este

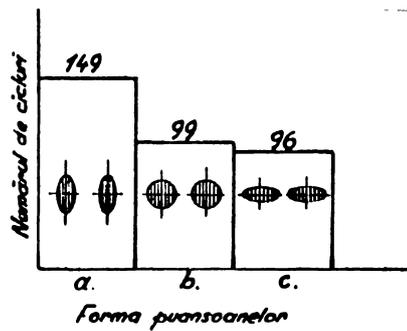
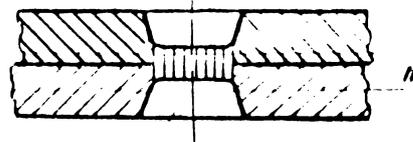


Fig.56. Graficul rezultatelor obținute la încercările de oboseală.

superioară celor sudate cu puansoane de formă circulară (cu aceeași suprafață activă), respectiv celor eliptice orientate perpendicular. Comportarea diferențiată a îmbinărilor în ceea ce privește rezistența la solicitări variabile era de prevăzut întrucât efectul de concentrare pe care-l produc amprentele în calea liniilor de forță este diferit. Varianta a fiind din acest punct de vedere mai avantajoasă.

O vizualizare clară a acestui fapt (deformarea), se observă printr-un examen macroscopic al materialului amprentelor și al materialului din jurul acestora. Modul de prelevare al secțiunilor este arătat în fig.57.

Fig.57. Pregătirea secțiunilor în vederea examenului macroscopic. I și II plane de secționare.



În fig.58, sînt arătate macrofotografiile punctelor sudate cu puansoane de forme și orientări diferite. Planului de secționare I (fig.57) îi corespund figurile 58, a, b și c din zona amprentelor și figurile 58 a', b', și c' din jurul acestora (amprentelor), corespund planului de secționare II din fig.57. Se observă că în funcție de formă și orientare diferită a puansoarelor se obțin în zona amprentelor și în jurul acestora texturi diferite. Distorsiunea inițială de laminare în urma ecruisării locale prin deformare a materialului dislocat de puansoane este în strînsă corelație cu valoarea rezistenței la oboseală, cea

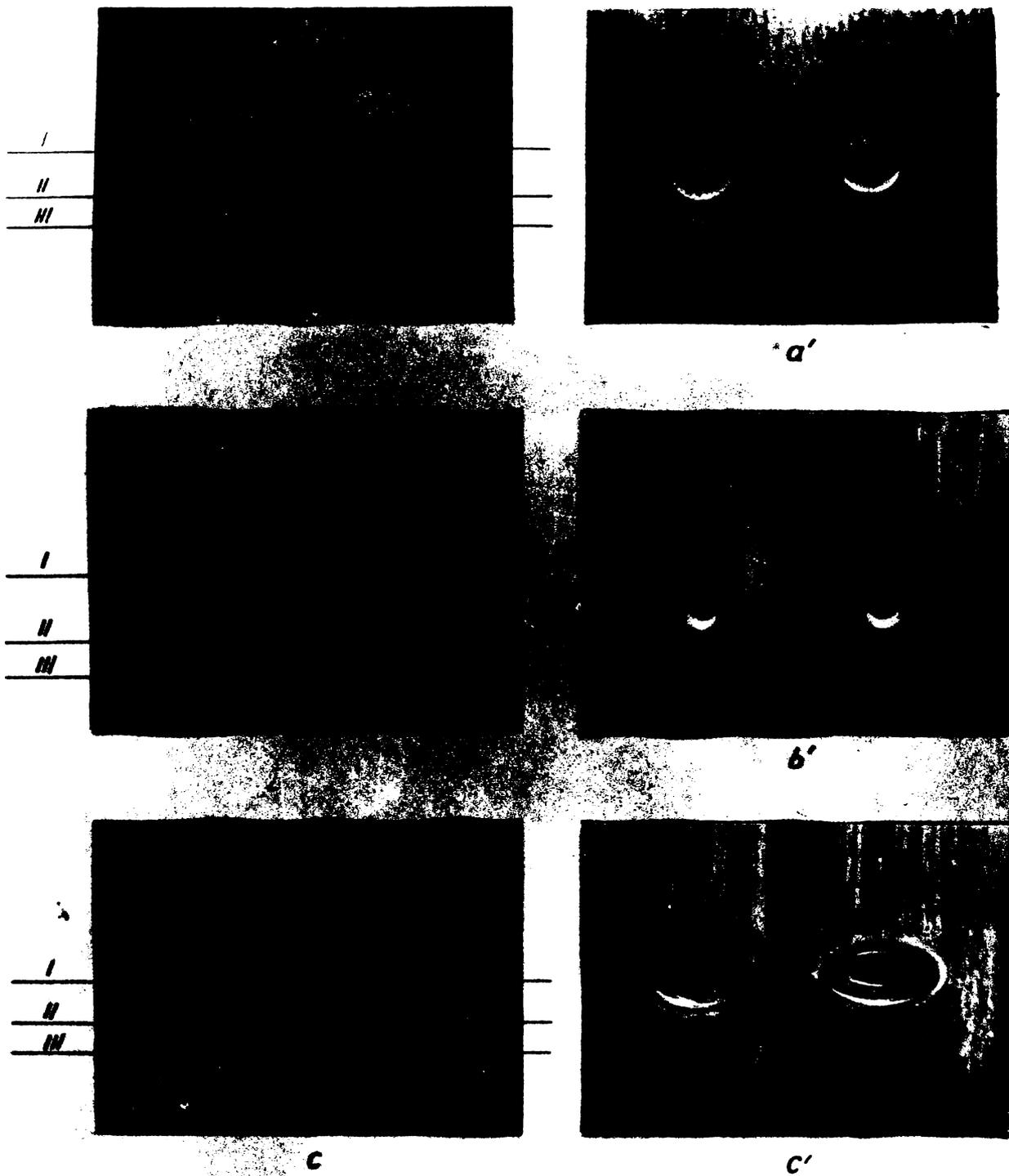


Fig.58. Macrofotografia punctelor sudate cu poansoane de forme și orientări diferite.

mai mică distorsiune respectiv valoarea maximă a rezistenței la oboseală obținându-se în cazul poansonelor eliptice orientate longitudinal (fig.58,a).

În sens figurativ, folosind o similitudine hidrodinamică, imaginile pot fi asemănătoare curgerii laminare a unui lichid care, în apropierea unor obstacole, care în cazul de față ar fi înșuși poansonul, suferă o anumită turbulență.

Se constată că în cazul poansonelor eliptice cu axa mare paralelă cu axa longitudinală a barei, liniile materialului prezintă o situație care se apropie de curgere laminară, iar în cazul când axa mare este perpendiculară pe axa longitudinală a barei, liniile materialului sînt și mai perturbate decît în cazul poansonelor rotunde.

Există o corelație strînsă între gradul local de deformație și gradul de ecrusare, respectiv duritatea materialului. Deformația plastică, respectiv ecrusarea nu este uniform distribuită în volum, variația gradului local de ecrusare asociindu-se unei variații corespunzătoare a durității în locul respectiv. În volumul cuprins în jurul poansonului putem vorbi de un cîmp al gradelor de ecrusare, respectiv al microdurităților asociate. Întrucît densitatea liniilor texturale este proporțională cu gradul de deformație, respectiv cu ecrusarea materialului, este de așteptat ca în zonele de maximă densitate ale acestora duritatea măsurată local să înregistreze corespunzător un maxim (fapt, care s-a verificat și experimental). Pentru a verifica experimental afirmația de mai sus, s-au efectuat unele măsurători ale microdurității așa cum se vede în fig.59.

S-au trasat diagramele de variație a microdurității corespunzătoare punctelor situate de-a lungul a trei linii I, II, și III, dispuse așa cum se vede în figurile 58 a, b, c.

Se observă că valorile maxime ale durității corespund

unor zone în care densitatea liniilor de material este deosebit de mare, iar minimele corespund zonelor dintre poansoane.

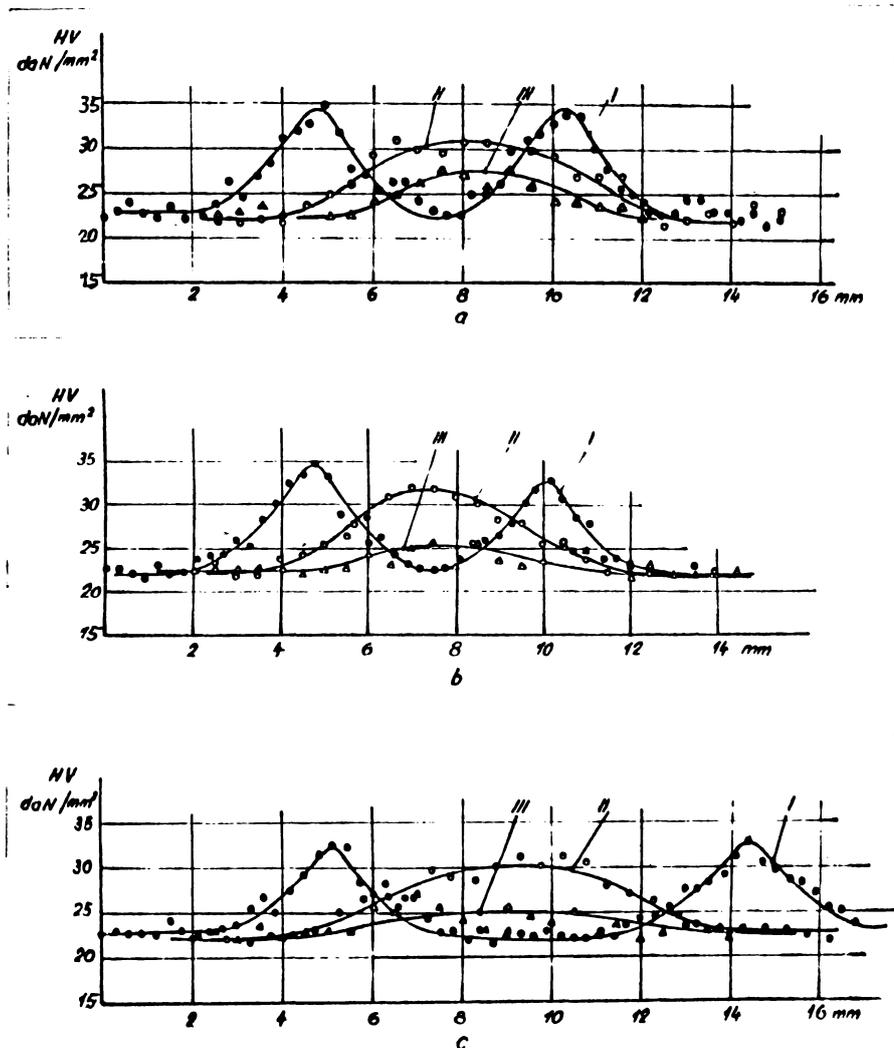


Fig.69. Variația durității punctelor sudate cu poansoane de formă și orientare diferită (secțiunea activă 80 mm²).

Intrucât câmpul deformației plastice nu este omogen, gradul de ecrisare al materialului situat în jurul poansoanelor și dintre ele, va varia în funcție de poziția față de poanson a punctului considerat.

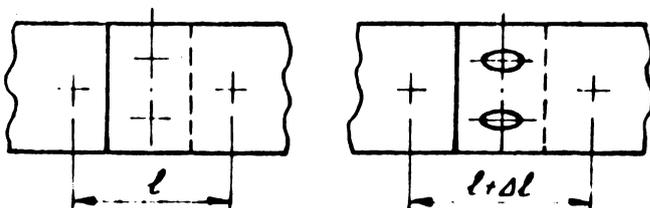
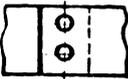
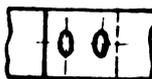
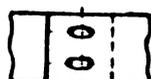


Fig.60. Reprezentarea schematică a alungirii barelor.

Este interesant de semnalat că; în urma procesului de sudare (pătrunderii poansoanelor și dislocării materialului) va rezulta o alungire a barelor (fig.60).

În tabela 11 se arată alungirile barelor la sudare cu poansoane de diferite forme și dimensiuni (suprafața activă a poansoanelor fiind de 80 mm^2).

Tabela 11

Forma poansoanelor			
Alungirea Δl , mm.	1,35	1,5	1,7

Examinând tabelele 10 și 11, se constată că alungirea îmbinărilor depinde de forma și de orientarea poansoanelor, de dimensiunile lor, și de numărul punctelor sudate care formează îmbinarea. Se observă că pentru poansoanele de formă circulară alungirea legăturii în urma sudării crește cu suprafața activă a poansonului. În cazul poansoanelor de formă eliptică alungirea este mai mare decât în cazul poansoanelor de formă circulară. Aceasta se datorește modului diferit în care are loc dislocarea materialului în cele două cazuri. La poansoanele de formă eliptică dislocarea în direcția longitudinală a barelor are loc mai intens decât în cazul poansoanelor de formă circulară, la care, dislocarea are o repartiție relativ uniformă, după periferia poansonului. Deplasarea transversală a materialului este împiedicat în toate cazurile de locașul dispozitivului în care este așezată bara în vederea sudării.

În urma acestui studiu se desprind următoarele:

- Forma poansoanelor și poziția lor influențează proprietățile legăturilor sudate.

- La solicitări statice (pentru aceeași suprafață activă a poansoanelor) legăturile se comportă aproape la fel, independent

de forma poansoanelor cu care au fost sudate.

- La solicitări variabile, cea mai bună comportare o au poansoanele de formă eliptică, având axa mare paralelă cu axa longitudinală a barelor.

- Alungirea barelor în timpul sudării, pentru același grad de deformare depinde de mărimea suprafeței active și forma poansoanelor. Poansoanele de formă eliptică produc o alungire mai mare a legăturii sudate decât cele de formă circulară.

6.2.2. Poansoane de formă inelară.

În cele ce urmează se studiază particularitățile sudării la rece prin puncte, folosind în locul poansoanelor uzuale, de formă cilindrică plină (fig.61,a), poansoane de formă inelară.

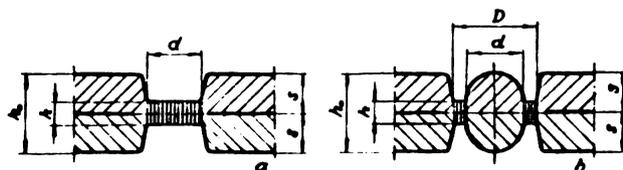


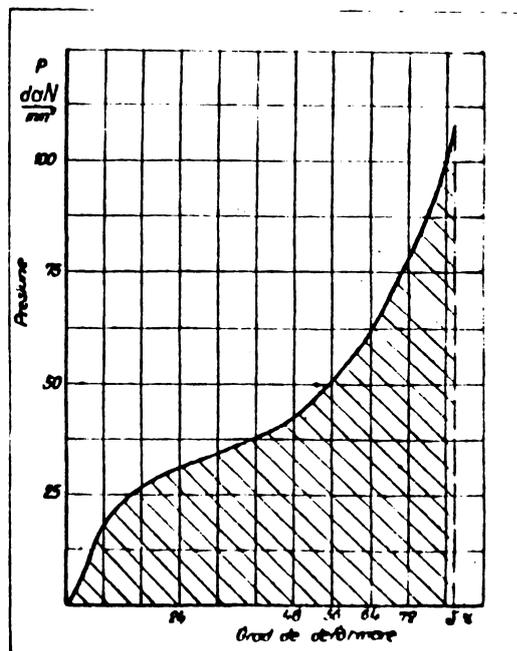
Fig.61. Imbinări sudate folosind:
a - poansoane cilindrice pline
b - poansoane inelare.

Problema care s-a pus a fost determinarea geometriei poansoanelor inelare în funcție de grosimea tablei de sudat, astfel încât deformarea necesară sudării δ_g , să se realizeze pe baza unei presiuni (p) de valori apropiate de cele necesare sudării cu poansoane rotunde pline.

Pornind de la condiția $d = 1,4.s$, stabilit la punctul 6.1 și luând drept criteriu de comparație alura diagramei de variație a presiunii în funcție de gradul de deformare $p = f(\delta)$, fig.62, pentru această situație s-a căutat o configurație geometrică nouă, care, în condițiile unor poansoane inelare, să realizeze o alură a curbei $p = f(\delta)$ cât mai apropiată de condițiile optime cores-

punzătoare unor poansoane rotunde pline de suprafață identică. Prin aceasta se realizează alte două condiții și anume: atingerea deformației (δ_g) pentru valori apropiate ale presiunii (p) în ambele cazuri și un consum de energie pentru sudare comparabil, căci suprafața hașurată din fig.62 reprezintă o mărime proporțională cu lucrul mecanic de deformație.

Fig.62. Diagrama presiune-
- grad de deformație.



Intrucît din punctul 6.1 a rezultat ca ansamblul a două poansoane alăturate asigură, la sudare, o rezistență superioară cazului cînd se folosește un singur poanson de secțiune identică sumei celor două, s-a efectuat comparația între îmbinări realizate prin grupe de două puncte sudate.

Pentru o grosime a tablelor $s = 5\text{mm}$, luînd ca reper configurația rotundă (cilindrică) caracterizată prin raportul $d/s = 1,4$ din condiția unei suprapunerii cît mai apropiate a diagramelor $p = f(\delta)$ a rezultat o formă a poansoanelor inelare caracterizate prin dimensiunile $D = 10,1\text{ mm}$ și $d = 7,15\text{ mm}$; la o secțiune de antamare pe unitate de poanson $A = 40\text{ mm}^2$ și o distanță dintre axele poansoanelor $l = 18\text{ mm}$.

In fig.63 se prezintă configurația geometrică a poansoanelor rotunde (cilindrice) pline (a) și a poansoanelor inelare (b).

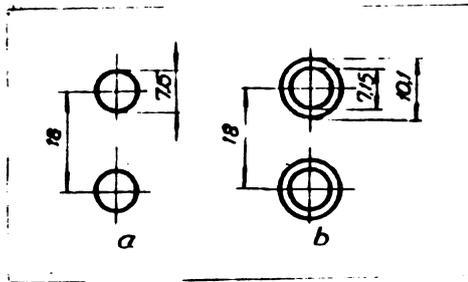


Fig. 63. Configurarea geometrica a poansoanelor folosite la sudare.

Diagramele $p = f(\delta)$ inregistrate la sudarea unor platbenzi de $5 \times 40 \text{ mm}^2$ sectiune in cele doua cazuri sînt prezentate in fig. 64.

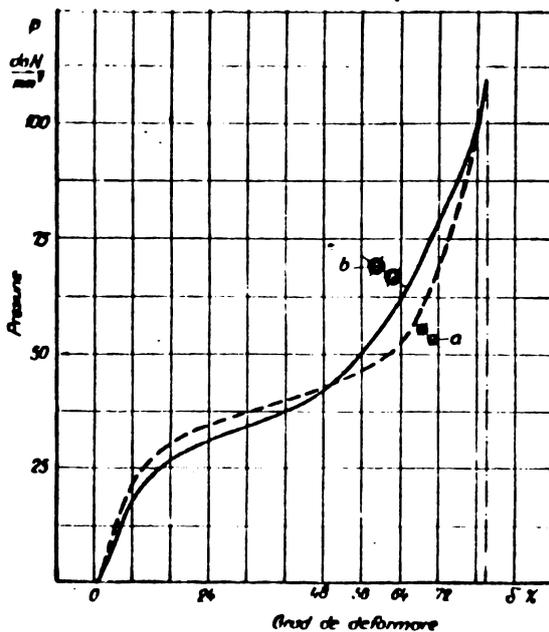


Fig. 64. Diagramele presiune - grad de deformatie, inregistrate la sudare:
a - cu poansoane de forma circulara plina,
b - cu poansoane inelare.

Se observă o apropiere mulțumitoare a diagramei. Barele sudate au fost încercate la tracțiune statică, rezultatele fiind reprezentate comparativ în fig. 65 ca variație a rezistenței la forfecare τ daN/mm² a îmbinărilor în funcție de gradul de deformație (δ) pentru amprente de formă circulară (a) și amprente toroidale (b). Mărimile marcate în diagramă reprezintă media valorilor corespunzătoare unui număr de trei suduri.

Rezistența finală mai mare a îmbinărilor realizate cu poansoane inelare se explică probabil, prin aceea că deși suprafețele de antamare ale poansoanelor sînt identice, în cazul poansoanelor inelare datorită deplasării materialului în două sensuri radiale (în sensul $+\vec{n}$ și $-\vec{n}$, în care \vec{n} este vectorul normal la

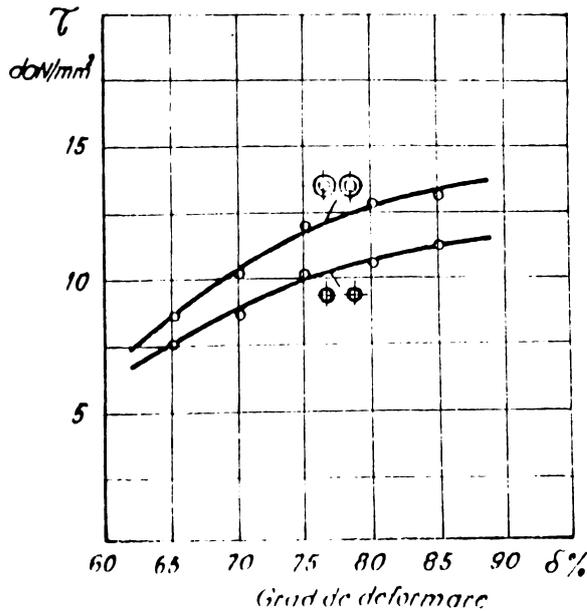
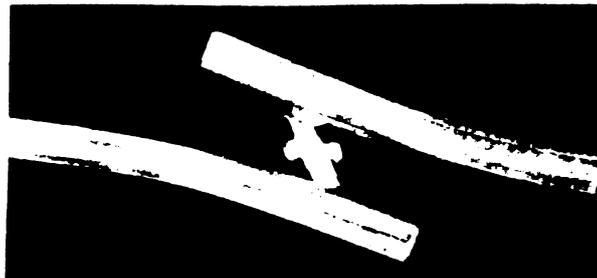


Fig.65. Variația rezistenței la forfecare a îmbinărilor sudate în funcție de gradul de deformare.

conturul inelar printr-un punct dat) se formează o îmbinare mai extinsă decât în cazul poansonelor de formă circulară, la care deplasarea are loc în sensul \rightarrow față de contur. Mărirea rezistenței îmbinării sudate inelare s-ar putea datora și efectului compresiilor triaxiale (aproape hidrostatice), la care este supus materialul din interiorul poansonului, condiție care pare a fi favorabilă efectuării unei suduri parțiale pe suprafața din interiorul inelului amprontelor.

În fig.66 se prezintă o îmbinare a două bare de aluminiu de $5 \times 40 \text{ mm}^2$ secțiune, ruptă prin smulgerea punctelor sudate. Gradul de deformare $\delta = 80\%$.

Fig.66. Legătură sudată la rece, ruptă prin smulgere.



Materialul dislocat lateral de poanson provoacă la sudare prin suprapunere, la un grad de deformare de cea 80% , atât pentru poansonurile cilindrice pline cât și pentru cele inelare, aproxi-

mativ aceleași valori ale alungirii, în direcția longitudinală.

Dacă se cercetează aspectul macrostructural al cîmpului din vecinătatea poansoanelor în cele două situații: poanson cilindric plin și poanson inelar, cîmp determinat prin secționarea probei prin două plane longitudinale a căror prelevare este arătată în fig.67.

Fig.67. Modul de prelevare al secțiunilor pentru analiza macroscopică I, II plane de secționare



În fig.68. se arată modificările structurale ale materialului în zona influențată plastic. Prin zona influențată plastic

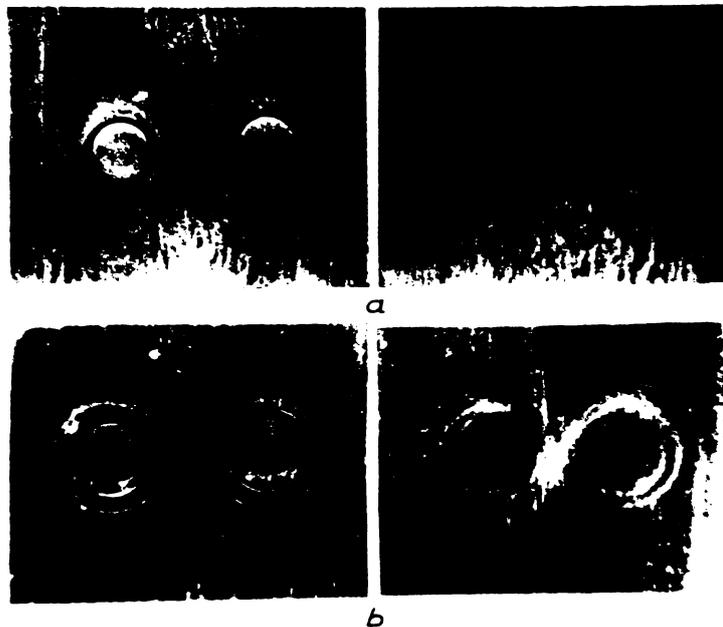


Fig.68. Modificări structurale ale materialului la sudarea: a- cu poansoane cilindrice pline, b- cu poansoane inelare.

[18] se înțelege acea parte a materialului, care în urma procesului de sudare a suferit, prin deformație plastică, modificări structurale. În ambele cazuri, atât la sudarea cu poansoane cilindrice pline, cât și la sudarea cu poansoane inelare, se observă o distorsiune a liniilor inițiale de laminare, în cazul din urmă distorsiunea fiind mai puțin accentuată și domeniul

afectat mai restrîns, fapt care conferă soluției propuse de sudare cu amprente toroidale, unele avantaje.

Măsurători electrice comparative privind rezistența statică și rezistența la probe dinamice de scurt circuit nu s-au efectuat însă, printr-un raționament, se poate aprecia că secțiunea de trecere a curentului de la o platbandă la alta, în cele două cazuri din figura 63, a și b, pentru același grad de deformație este mai mare în cazul sudării cu amprente toroidale. Astfel, la o amprentă de grosime $h/2$, pentru dimensiunile suprafețelor de antamare menționate, secțiunea de trecere a curentului în cazul din urmă este cu 40% mai mare decît la sudarea cu poansoane de formă cilindrică plină.

În concluzie se poate afirma, că prin folosirea poansoanelor inelare se realizează, la aceeași suprafață de antamare a poansoanelor în comparație cu poansoanele cilindrice pline, o creștere a rezistenței la forfecare a îmbinărilor.

Prezența amprentei toroidale creată prin deformarea materialului de către un poanson cilindric în condițiile unei configurații geometrice optime a ansamblului piesa - poanson, determină o zonă influențată plastic extinsă, o modificare mai puțin accentuată a texturii inițiale a materialului, asigurînd prin aceeași însușiri dinamice superioare îmbinărilor efectuate cu poansoane cilindrice pline în condițiile aceleiași suprafețe de antamare.

Îmbinările efectuate cu poansoane inelare asigură, comparativ cu îmbinările efectuate cu poansoane pline o majorare a suprafeței de traversare a curentului de la o bară la alta și deci mîșcarea rezistenței ohmice a îmbinării și o îmbunătățire a comportării la curenți de scurtcircuit.

6.3. Sudarea prin puncte a conductoarelor de aluminiu suprapuse și în prealabil răsucite.

În prezent la aproape toate instalațiile electrice întericioare se utilizează conducte cu conductor de aluminiu, înhădite prin simplă răsucire a capetelor (fig.69,a).

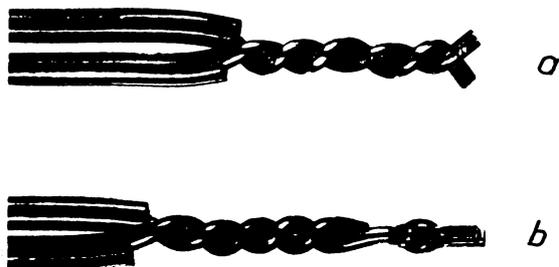


Fig.69.Moduri de îmbinare a conductoarelor:
a - prin răsucire,
b - prin răsucire și sudare.

După operația de răsucire a conductoarelor are loc un fenomen de relaxare. Materialul se deformează în timp, astfel încît rezultă o scădere a presiunii specifice pe suprafața de contact, deci o mărire a rezistenței electrice. În urma majorării rezistenței de contact încălzirea conductoarelor întrece limita admisibilă, ceea ce provoacă în final, o deteriorare prematură a îmbinării.

Se propune eliminarea acestui neajuns prin sudarea prin puncte la rece a conductoarelor, în prealabil răsucite (fig.66,b). Realizarea unei îmbinări ferme dintre elemente facilitează trecerea curentului la locul îmbinării, curentul care urmează să traverseze capetele conductoarelor prin suprafețele de contact dintre elementele răsucite fiind mai redus.

Parametrii principali ai procesului de sudare sînt mărirea deformației plastice locale și starea de curățenie a suprafețelor de contact. Gradul mediu de deformație plastică poate fi caracterizat prin raportul:

$$\delta = \frac{2d-h}{2d} \cdot 100, \text{ în } \%$$

unde: d - diametrul conductorului,

h = distanța dintre suprafețele frontale ale poansoanelor la momentul considerat (grosimea punctului sudat).

Gradul de deformație minim necesar realizării unei îmbinări rezistente pentru aluminiu este de cca 80%, suprafețele de contact, în vederea sudării, se curăță cu un vîrf de cuțit. S-a conceput și s-a executat un dispozitiv prezentat în figura 70. Dezvoltarea forței necesare sudării s-a realizat cu ajutorul unui clește de strîns papuci de cabluri de fabricație indigenă. În

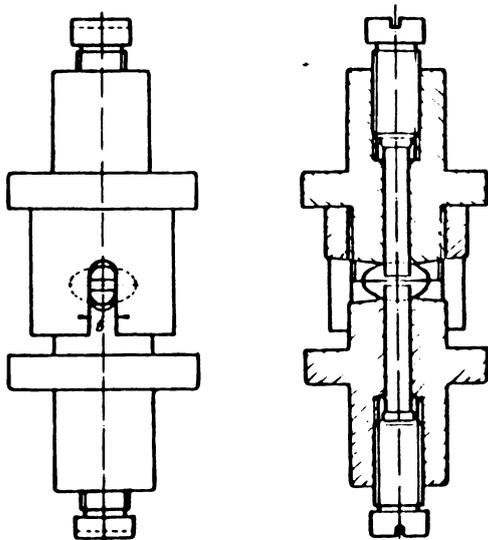


Fig.70. Dispozitiv folosit la sudarea prin puncte a conductoarelor de aluminiu suprapuse.

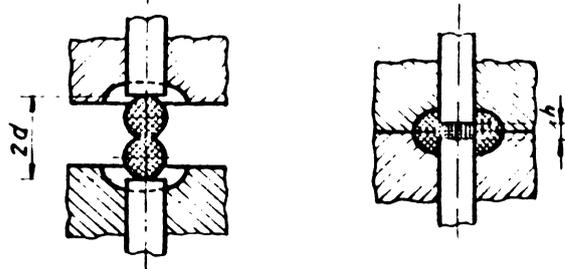


Fig.71. Profilul poansoanelor folosite la sudare.

figure 71 ne arată profilul poansoanelor folosite la sudare. Aceste clește se pot aplica dispozitive diferite în funcție de diametrul conductorilor de sudat de 2,5...4 mm² secțiune.

Deservirea dispozitivului are loc în felul următor:

Sudurile executate între conductoare de 4 mm² secțiune au fost supuse unor măsurători electrice, apoi au fost secționare în vederea examenelor macrostructurale.

Rezultatele măsurătorilor electrice sînt trecute în tabela 12. - Rezistența electrică a conductoarelor a fost măsurată cu o punte dublă de tip MTM, în laboratorul de Măsurî electrice a Facultății de Electrotehnică a IPTV Timișoara.

Tabela 12

Nr. crt.	Felul îmbinării	Rezistența electrică a legăt. $\Omega \times 10^{-3}$	Rezistența legăturii după 300 scurtcircuții ($I_s = 50A$), $\Omega \times 10^{-3}$
1	Conductorul nesudat	0,224	0,224
2	Conductoare răsucite (Fig. 6.6, a)	11,70	20,00
3	Conductoare răsucite sudate cu un punct (fig. 6.6, b)	0,940	0,940

Se observă că îmbinarea prin răsucirea conductoarelor introduce rezistențe de contact foarte mari în comparație cu rezistența aceluiași lungimi de conductor nerăsucit. Rezistența unei porțiuni de conductor care cuprinde o îmbinare realizată prin răsucire, este de $11,7 \cdot 10^{-3} \Omega$, pe când rezistența unei lungimi identice de conductor este de $0,224 \cdot 10^{-3} \Omega$. Prin adăugarea la porțiune răsucită a unui punct sudat, rezistența îmbinării scade de la $11,7 \cdot 10^{-3} \Omega$ la $0,94 \cdot 10^{-3} \Omega$.

La încercările de scurtcircuit, curentul $I_s = 50 A$, durata trecerii curentului 2 s, iar numărul scurtcircuitelor 300. Scurtcircuitele influențează rezistența electrică doar la îmbinările obținute prin răsucire. Astfel, în urma unui număr de 300 scurtcircuite, valoarea rezistenței electrice crește, în condițiile de mai sus, la aproape dublul valorii sale inițiale (de la $11,7 \cdot 10^{-3} \Omega$ la $20 \cdot 10^{-3} \Omega$). Paralel cu aceasta se mărește și temperatura locală a conductoarelor. Îmbinările realizate prin răsucire și sudare nu și modifică practic rezistența în urma acțiunii curenților de scurtcircuit.



Fig.72. Secțiunea transversală a unei îmbinări.



Fig.73. Macrofotografia zonei sudate a îmbinării.

INSTITUTUL DE RECHERȘI ȘI ÎNCERCĂRI
 ÎN
 ELECTRICITATE
 BIBLIOTECA CENTRALĂ

În figura 72 se arată forma secțiunii transversale a unei îmbinări. Figura 73 prezintă macrografia zonei sudate. Se pot distinge clar liniile de curgere ale materialului.

Concluzie - Încercările efectuate au arătat că procedeul de sudare a conductoarelor suprapuse prezintă, în comparație cu răsucirea simplă oțteva avantaje:

Prezența unui punct sudat micșorează considerabil rezistența electrică a conductoarelor în prealabil răsucite.

Îmbinările realizate prin sudare sînt mai puțin sensibile la condițiile de scurtcircuit.

6.4. Armarea cu plăci de cupru a bornelor de contact din aluminiu.

Înlocuirea cuprului prin aluminiu la fabricarea mașinilor electrice și la dispozitivele de distribuire a energiei, întîmpină greutăți din cauza faptului că aluminiul cedează sub influența presiunii de contact. Pentru a asigura o durabilitate corespunzătoare a capetelor de aluminiu ale bobinelor, șinelor, clemelor, acestea se armează cu cupru.

Armătura de cupru poate fi aplicată pe o singură parte, sau pe ambele părți ale piesei de aluminiu. Grosimea armăturii de cupru nu depășește 1 mm.

Armarea bornelor de aluminiu se face pe ambele părți, prin apăsarea simultană a două sau mai multor poansoane coaxiale, de secțiune dreptunghiulară.

La cererea unor beneficiari autorul a studiat tehnologia și a realizat următoarele piese:

Rondelă bimetalică din aluminiu și cupru. Dimensiunile rondelii sînt: $d_{int} = 16$ mm; $d_{ext} = 32$ mm; -grosimile Al - 2 mm; Cu - 0,75 mm. În figura 74 se arată fotografia rondelii bimetalice

iar în figura 75 dispozitivul folosit la sudare.



Fig. 74. Rondelă bimetalică.

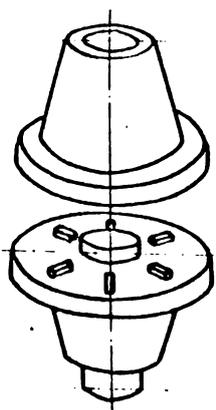


Fig. 75. Dispozitiv folosit la sudarea rondelii bimetalice.

Armarea se execută prin sudarea concomitentă de ambele părți, a șase puncte de secțiune dreptunghiulară dispuse radial. Din cauza diferenței dintre proprietățile mecanice ale celor două metale, poansonul care pătrunde în aluminiu, trebuie să aibă o înălțime și o suprafață mai mare, decât poansonul care pătrunde în cupru. Astfel dimensiunea poansoanelor pentru cupru a fost de $2 \times 6 \text{ mm}^2$, iar pentru aluminiu $2,5 \times 6 \text{ mm}$. Pătrunderea poansoanelor a fost de 80% din grosimea rondelilor respective (Al + Cu). Pentru a ușura desprinderea piesei armate, fețele laterale ale poansoanelor au avut o ușoară înclinație, de oca 10° , iar muchiile puțin rotunjite.

În figura 76 se arată două cazuri de armări executate ca și cele precedente, cu dispozitive asemănătoare, care în lucrare nu sînt prezentate.

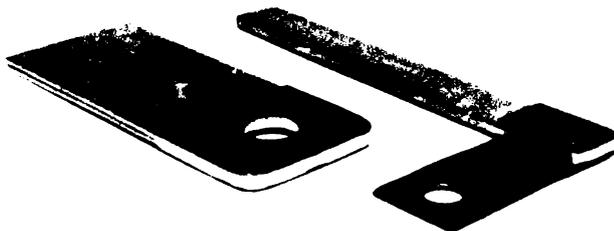


Fig. 76. Borne de contact; a - de aluminiu armată cu două plăci de cupru; b - ramificație de cupru executată pe conductor de aluminiu.

PARTEA III-a

7. CERCETARI PRIVIND SUDAREA PRIN DEFORMATIE PLASTICA LA RECE A FOLIILOR DE ALUMINIU SI DE CUPRU .

In cele ce urmează se expun rezultatele unor cercetări privind îmbinarea prin sudare a unor folii de metal suprapuse folosite în industrie electrotehnică. În scopul punerii la punct a cercetărilor și a tehnologiei de sudare, secția de transformatoare de la ICPE București a încheiat o convenție de colaborare cu catedra UTS pe perioada 1967 - 1970.

Una dintre tendințele actuale în industria electrotehnică este aceea de a înlocui înfășurările transformatoarelor electrice confecționate din sîrmă de cupru izolată, prin înfășurări realizate din folii de aluminiu de 0,1...1 mm grosime, izolate special cu un strat de cîțiva microni.

Pentru realizarea unor variante de transformatoare cu înfășurări din aluminiu, avînd aceleași caracteristici cu variantele de cupru, este necesar ca secțiunea conductorului de aluminiu să fie mărită cu 64 pînă la 80%, în comparație cu cea a conductoarelor de cupru echivalente.

Utilizînd conductoare de formă clasică, creșterea secțiunii duce la o mărire corespunzătoare a ferestrei miezului, iar aceasta conduce la majorarea greutateii și a gabaritului. Utilizarea foliei de aluminiu drept conductor, permite realizarea unor înfășurări ce au aceleași caracteristici și același volum cu cele echivalente realizate din conductoare de cupru de formă clasică.

La realizarea unor asemenea înfășurări se pune problema îmbinării prin suprapunere a foliilor de aluminiu și asigurarea tot prin înădîire, a unor ramificații (conexiuni) din folii de

aluminiu sau din cupru.

Dintre procedeele de sudare ce se pot aplica în acest scop se menționează: sudarea cu energie înmagazinată în condensa-toare; sudarea cu ultrasunete și sudarea prin deformare plastică la rece.

În comparație cu primele două procedee, care permit execu-tarea unui singur punct, procedeul de sudare prin deformare plastică la rece, permite realizarea simultană a mai multor puncte sau, dacă este necesar, executarea unei cusături continue. În cazul foliilor subțiri, când îmbinarea trebuie realizată printr-un număr relativ mare de puncte, avantajul procedeului de sudare la rece este evident, cu atât mai mult cu cât în comparație cu celelalte procedee, utilajul necesar sudării este mai simplu.

Varianta procedeului de sudare folosită constă în suda-rea prin puncte a două folii suprapuse și presarea lor simultană cu un număr de poansoane dintr-o singură parte.

7.1. Cercetări privind studiul tehnologiei de sudare.

În cadrul acestui capitol se amintesc parametrii proce-sului de sudare, se prezintă un studiu privind modul de pregăti-re a suprafețelor de contact, se precizează materialele folosite la sudare, încercările mecanice și metalografice.

7.1.1. Parametrii procesului de sudare. Așa cum a fost prezentat la punctul 4. parametrii sînt:

- gradul de deformare și
- starea suprafețelor în contact.

Pentru a obține o sudură de calitate, deformarea locală a tablelor suprapuse va trebui să fie $\delta = 75 - 80\%$.

Starea suprafețelor în contact înainte de sudare influențează considerabil calitatea îmbinării. Pregătirea suprafețelor se poate face pe cale chimică și prin curățire mecanică, cu aju-

torul unei perii rotative.

Influența modului de pregătire mecanică cu disc rotativ a foliilor de aluminiu asupra durității superficiale ale acestora.

Intrucât la sudarea foliilor de aluminiu foarte subțiri cu grosimi de ordinul zecimilor de milimetri, ecruisarea superficială provocată de prelucrarea mecanică de periere poate altera sensibil însușirile inițiale ale materialului, s-au efectuat măsurători privind influența naturii și caracteristicilor geometrice ale discurilor de sîrmă asupra gradului de durificare a foliilor. S-au folosit folii de aluminiu de 0,2 mm grosime, în stare recoaptă. Susținerea foliilor în timpul prelucrării s-a făcut pe un suport de lemn. În tabela 13 se dau caracteristicile geometrice ale discurilor și durificările obținute prin prelucrare.

Tabela 13

Nr. of.	Diametr. disc. mm	Rotația n/min	d, sîrmei, mm		Duritatea Hv 0,1	Observații
			oțel carbon	oțel inox		
1	-	-	-	-	54,4	Folie decopată neperiată
2	200	1500	-	0,3	74,8	periată fin
3	200	1500	0,6	-	128	periată dur
4	200	1500	0,6	-	139	periată dur și prelungit

Microduritatea s-a măsurat prin proba Viakera folosind o greutate de 1 N și durata de acționare 25 s. Valorile durității trecute în tabelul reprezentă o medie a determinărilor efectuate pe cinci amprente.

După cum rezultă din tabela 13, durificarea este mai puțin accentuată la folosirea unor perii din sîrmă de oțel inoxidabil. Intrucât în cazul foliilor foarte subțiri se urmărește alterarea cât mai redusă a însușirilor inițiale ale metalului, la curățirea acestora înainte de sudare se recomandă folosirea unor perii din sîrmă de oțel inoxidabil.

Se observă că în urma durificării uneia dintre suprafețele foliei, aceasta se deformează printr-o ușoară încovoieră spre partea neprelucrată. Durificarea foliei însoțită de deformația respectivă este cu atât mai mare, cu cât pentru același material al periei, aceasta are o viteză periferică, respectiv o grosime a sîrmelor de oțel mai mare și cu cât durata de periere este mai prelungită.

7.1.2. Forma și numărul poansoanelor folosite la sudare. În binările se pot executa folosind grupe de poansoane de formă diferite, pătrate, rotunde și dreptunghiulare (fig.77.).



Fig.77. Forme de poansoane care pot fi folosite la sudare

Numărul minim de poansoane necesare realizării unei legături se poate calcula din condiția ca rezistența electrică a îmbinării să fie egală cu rezistența foliei care se sudează. Pentru aceasta se fac următoarele ipoteze simplificatoare:

- mărimea suprafeței unei suduri se consideră egală cu suprafața activă a poansonului,
- grosimea materialului în dreptul amprentelor (în cazul unui grad de deformație a sudurii de 75%) se ia de $h/2$ (fig.78).

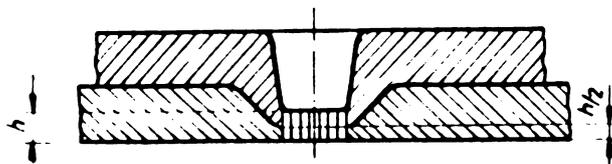


Fig.78. Secțiunea transversală printr-un punct sudat.

- curentul se consideră că ar trece de la o folie la alta printr-o secțiune determinată de lungimea conturului unei

măduri și de jumătate din grosimea materialului rămas în dreptul amprentei, adică de $(h/2)$. Se neglijează contactele întâmplătoare între folii.

În aceste condiții secțiunea de trecere a curentului la un punct sudat este:

$$A_1 = \frac{l \cdot h}{2}, \text{ mm}^2, \text{ iar}$$

secțiunea totală de trecere va fi: $A = n \cdot A_1$

unde: l - lungimea conturului unui punct sudat, în mm,

h - grosimea materialului rămas în dreptul amprentei,

n - numărul de puncte care formează îmbinarea.

Plecând de la secțiunea transversală a foliei și alegând convenabil perimetrul punctului sudat, se poate determina numărul de puncte și invers, alegând numărul de puncte, se poate determina conturul, respectiv forma poansonului.

7.1.3. Materialele folosite la încercări au fost table de aluminiu electrotehnic (ALE) moale, de grosimi diferite 0,1-1,5 mm din tablă de cupru electrolitic recept, de 0,15 mm grosime.

La sudarea tablelor de grosimi de ordinul zecimilor de milimetri, se întâmpină greutatea la aprecierea gradului de deformare (pătrunderea poansonului) corespunzător forței aplicate. Sudorul cu aparatul lui va putea urmări numai forța aplicată, pe care o reglează prin presiunea uleiului de acționare - căreia îi corespunde pentru o situație dată, un grad de deformare.

Având în vedere că deplasarea poansonelor la sudarea foliilor se măsoară în zecimi și sutimi de milimetri, este necesară înregistrarea prin puncte și în mod indirect a diagramei $p = f(\delta)$.

În acest scop a fost conceput și executat un dispozitiv prezentat în fig. 79, montat la o mașină universală de încercat materiale. Pătrunderea poansonelor a fost apreciată cu două comparatoare. Cu indicațiile date de comparatoare s-a determinat

gradul mediu de deformare corespunzător fiecărei forțe.

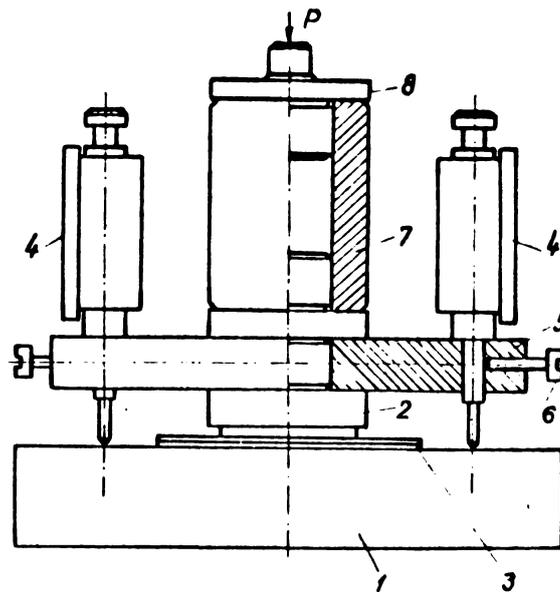
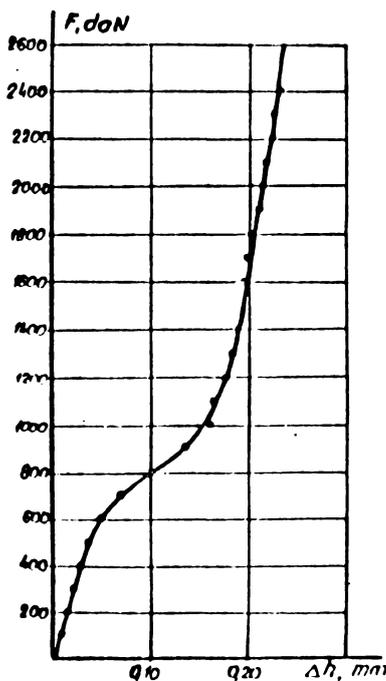


Fig.79. Dispozitivul experimental folosit la sudarea foliilor: 1 - placă de bază, 2 - poanson, 3 - folii de sudat, 4 - comparator, 5 - placă intermediară, 6 - șurub de fixare, 7 - piesă de legătură, 8 - cap de aplicare a forței deformatoare.



In fig.80 se arată diagrama $F = f(\delta)$ trasată experimental pe baza măsurărilor efectuate la sudarea cu poansoane de formă drept unghiulară a două folii de aluminiu de 0,15 mm grosime.

Fig.80. Diagrama $F = f(\delta)$, trasată experimental prin puncte.

7.1.4. Experimentări. Cu ajutorul parametrilor și al tehnologiei stabilite au fost executate un număr de îmbinări, care apoi au fost încercate mecanic, metalografic și în final electric.

Îmbinările prezentate în fig.81 s-au format prin aplicarea

repetată a unor grupuri de poansoane pe toată lungimea cusăturii. De exemplu la îmbinarea prezentată în fig.81,a, s-au folosit 16 poansoane dreptunghiulare, așezate în grup, avînd suprafața acti-

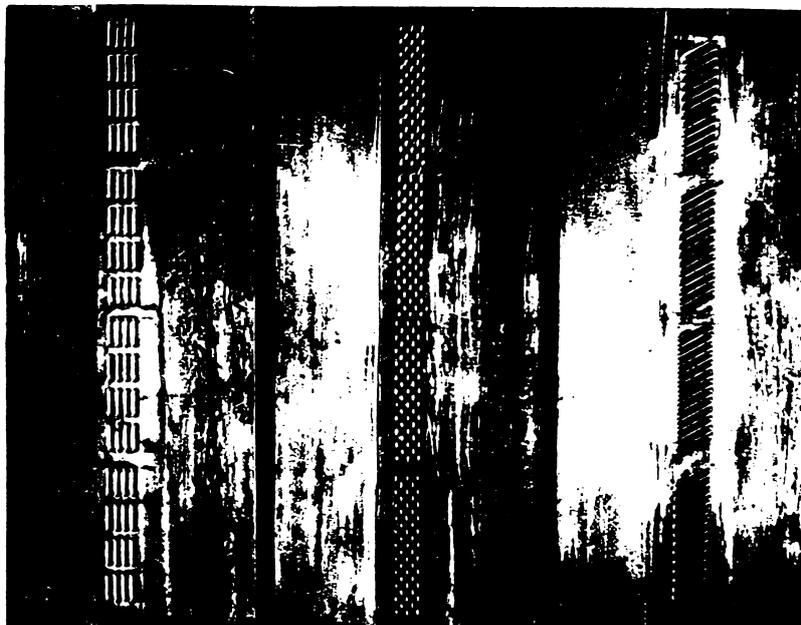


Fig.81 Îmbinări realizate cu table de aluminiu de 0,3 mm grosime suprapuse, prin aplicarea unor grupuri de poansoane de diferite tipuri.

vă de 0,7x4,5 mm fiecare, poansoane care au fost dispuse uniform, repartizate în patru șiruri pe o suprafață a foliilor de 5,5x26 mm². Îmbinarea s-a format prin aplicarea repetată a acestui grup de poansoane pe toată lungimea cusăturii. Compresiunea specifică necesară sudării la un grad de deformare de cea 75% pentru aluminiu a fost de cea 90 daN/mm². Forța necesară sudării simultane a celor 16 puncte a fost de cea 3500 daN.

La realizarea îmbinării prezentate în fig.81,b, s-a folosit un grup de 52 buc. poansoane de formă rotundă de $\phi = 1$ mm, așezate pe o suprafață frontală de 6x27 mm². Forța necesară pentru obținerea unui grad de deformare de cea 75% nu a depășit 2500 daN.

Se observă că poansoanele de formă rotundă au o comportare mai bună la sudare, deoarece asigură o dislocare mai uniformă a materialului în jurul periferiei poansonului, în comparație cu

celelalte forme studiate. In urma încercărilor la îndoire se constată că îmbinările realizate cu poansoane rotunde sînt mai puțin rigide decît cele realizate cu poansoane de formă dreptunghiulară.

Figurile 82,a și b, prezintă modul de realizare a unor conexiuni prin sudare la rece.



Fig.82. Realizarea de conexiuni cu folii de 0,15 mm grosime:

a - aluminiu pe aluminiu,
b - cupru pe aluminiu.

Îmbinările din fig.82. s-au executat folosind același grup de poansoane cu care s-a executat îmbinarea din fig.81,a. Forța necesară sudării conexiunii din aluminiu a fost de 3500 daN, în cazul ramificației din cupru, de cea 5000 daN.

Se observă cu cât grosimea tablelor de sudat este mai mică (0,15 mm), față de lățimea poansonului de 0,7 mm, cu atât sudarea necesită un efort specific de compresiune mai mare, datorită faptului că faza de deformări materialului aflat în stare triaxială de compresiune se atinge mai repede la o dimensiune dată a poansonului.

Figura 83 prezintă modul de realizare prin sudare la rece a unei conexiuni compusă dintr-o platbandă de aluminiu de $1,5 \times 12 \text{ mm}^2$ secțiune și o folie de aluminiu de $0,3 \times 190 \text{ mm}^2$ secțiune. Legătura



Fig.83. Conexiunea realizată cu poansoane de formă pătrată, aplicată pe toată lățimea tablei.

este realizată prin aplicarea repetată a grupului de poansoane pe toată lăţimea tablei.

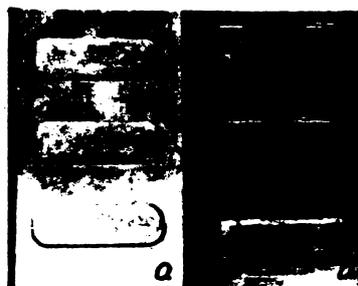
În cazul în care se sudează piese de grosimi mult diferite, este necesar de a asigura o apropiere a grosimilor la locul îmbinării, (fig.84.).

Fig.84. Predeformarea tablelor la sudarea elementelor de grosimi mult diferite: a- predeformarea tablei mai groase; b- sudarea tablelor. —



Predeformarea, respectiv subţierea materialului benzii în dreptul grupului de poansoane se poate realiza prin deformarea repetată (în trei trapte) cu ajutorul unor poansoane de formă pătrată, respectiv dreptunghiulară, urmată de un tratament termic (încălzire la 350°C, timp de 1 h și răcire bruscă, fig.85.b). Restul tratamentului este de a recristaliza materialul ecruizat sub acțiunea poansoanelor.

Fig.85. Predeformarea benzilor de aluminiu înainte de sudare: a - prin prelucrare mecanică, b - prin predeformare la rece.



Prin prelucrare mecanică pe o mașină de frezat cu ajutorul unei freze deget (fig.85,b,) este o metodă productivă și nu necesită tratament termic.

În cazul sudării tablelor de grosimi diferite, la conexiuni, s-a stabilit experimental că, în vederea realizării unor îmbinări corespunzătoare, diferența dintre grosimea raportată la grosimea foliei și platbenzii ramificate este indicat să nu depășească 50%. La diferențe mai mari, aplicarea poansoanelor de pe partea tablei mai subțiri, are ca urmare subțierea exagerată a acesteia. Dacă acționarea se face invers, din partea tablei mai groase, materialul dislocat de poanson îngreunează obținerea unei suduri corespunzătoare. Astfel în fig.86 se arată o sudură reali-

zată între o folie de aluminiu de 0,3 mm grosime și o platbandă de 1,5 mm tot din aluminiu.

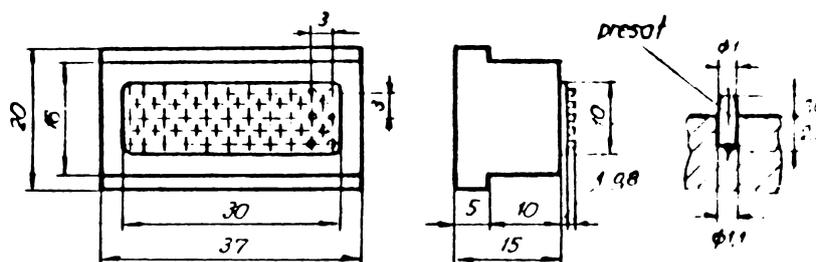
Fig.86. Sudură necorespunzătoare datorită diferenței mari dintre grosimile elementelor de sudat.



Se observă în figură că, distrugerea foliei are loc în lungul conturului grupului de poansoane, sub influența volumului mare de metal dislocat.

S-au făcut suduri și cu poansoane de formă rotundă. În fig.87 se arată construcția portpoansonului folosit.

Fig.87. Desenul portpoansonului folosit la sudare.



7.2. Incercările îmbinărilor sudate.

Pentru verificarea calității îmbinărilor sudate s-au efectuat încercări mecanice, metalografice și electrice.

7.2.1. Incercările mecanice ale îmbinărilor sudate s-au efectuat prin ruperea lor prin smulgere. În fig.88 se arată câteva îmbinări distruse prin smulgere.

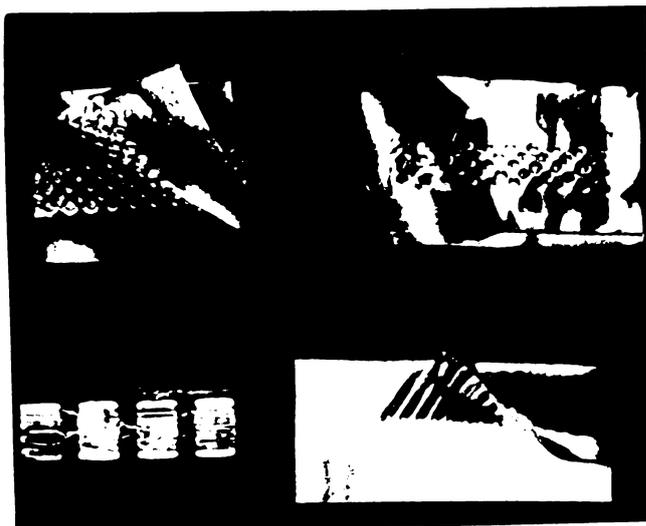


Fig.88. Îmbinări compuse din folii de aluminiu de 0,3 mm grosime, sudate cu poansoane de forme diferite, rupte prin smulgere.

7.2.2. Încercări metalografice. În fig.89 se arată macrostructura materialului în dreptul unei amprente.

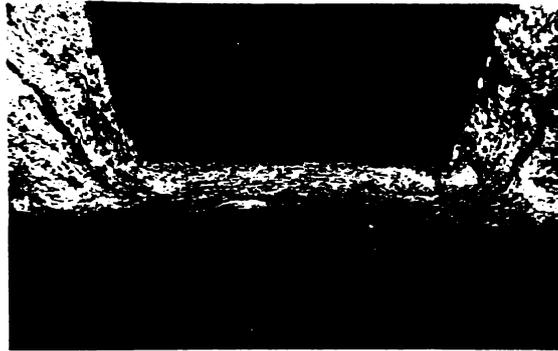


Fig.89. Macrostructura zonei sudate a două folii de aluminiu de 0,3 mm grosime.

Din figură se observă liniile de curgere a materialului deformat și suprafața zonei sudate care corespunde suprafeței active a poansonului.

7.2.3. Încercări electrice. Măsurătorile electrice, din lipsa de standarde corespunzătoare, au fost concepute și efectuate în colaborare cu ICPE București, secția de Echipamente de joasă tensiune și concretizate prin:

- încercări la încălzire și
- verificări la stabilitate electrodinamică și termică [15].

Probele au constat din folii de aluminiu de $0,3 \times 166 \text{ mm}^2$ secțiune, sudate prin suprapunere, precum și ramificații ale acestor folii de plăci de $1,5 \times 10 \text{ mm}^2$ secțiune. Imbinarea s-a executat prin aplicarea unui număr de 53 poansoane cilindrice de 1,05 mm diametru dispuse pe o suprafață de $10 \times 32 \text{ mm}^2$, gradul de deformație plastică fiind de 75%.

7.2.3.1. Încercările la încălzire au urmărit stabilitatea temperaturii foliei, a punctului sudat și a căderii de tensiune sub influența curentului de regim de oca 6 A/mm^2 . Măsurătorile s-au efectuat cu termocuplu montat în interiorul punctului sudat

și pe folie, la o distanță de cca 40 mm de locul sudat. Căderile de tensiune s-au măsurat cu un voltmetru electronic. Căderea de tensiune pe o porțiune cuprinzând punctul sudat s-a comparat cu căderea de tensiune pe o porțiune echivalentă de folie care nu a cuprins astfel de punct.

Pentru a se putea afla căderea de tensiune numai pe punctul sudat, în dreptul locului îmbinării foliile au fost îndepărtate una de alta înlăturându-se astfel contactele electrice intimplătoare dintre folii.

În tabela 14. se concretizează modul în care s-au ordonat și comparat datele măsurărilor efectuate asupra uneia dintre îmbinări. S-au folosit următoarele notații:

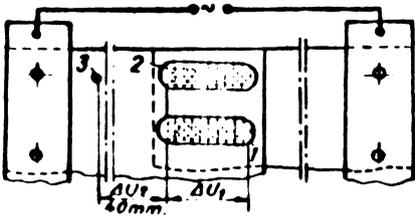
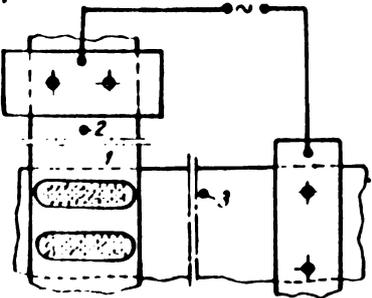
ΔU_1 - căderea de tensiune pe o porțiune cuprinzând un punct sudat,

ΔU_2 - căderea de tensiune pe o porțiune echivalentă ca lungime, dar fără punct sudat,

$\Delta U'_1$ și $\Delta U'_2$ - aceleași mărimi la stabilirea temperaturii.

Încercarea la încălzire a probelor sudate

Tabela 14

Schia probei	I (A)	Căderi de tensiune (mV)				Încalziri (°C)			Temp θ_0 (°C)
		ΔU_1	ΔU_2	$\Delta U'_1$	$\Delta U'_2$	θ_1	θ_2	θ_3	
<p><i>Folii sudate prin suprapunere</i></p> 	300	19	19	19,5	19,5	32,6	30,8	29	23
<p><i>Ramificații sudate</i></p> 	350	21,2	20,9	24	22,3	52	55,5	43,2	24

Observație: Pe porțiunea îmbinării cele 2 folii suprapuse au fost deschise astfel ca secțiunea de trecere a curentului în acea zonă să fie formată numai din totalitatea secțiunilor punctelor de contact realizate prin sudură prin presare la rece.

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$ - temperaturile de stabilizare în $^{\circ}\text{C}$ a regiunii termice în punctele indicate pe desen prin 1, 2 și 3,

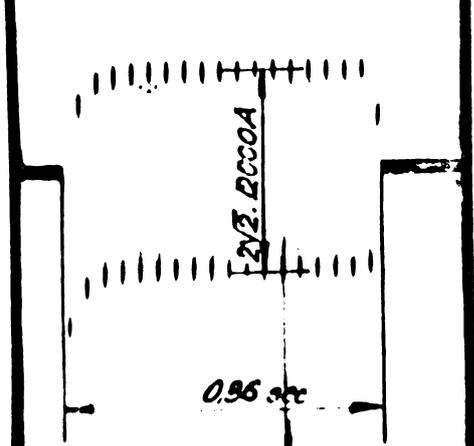
θ_a - temperatura ambiantă în $^{\circ}\text{C}$.

7.2.3.2. Verificarea stabilității electrodinamice a îmbinărilor sudate. Probele au fost supuse succesiv la curenți de șoc cu valori crescătoare. Durata șocului de curent a variat între 5 s la 1000 A, la 0,36 s la 12000 A, ceea ce corespunde unor densități de curent de 20...250 A/mm². Rezultatele încercărilor sînt concretizate în tabela 15.

Tabela 15
Încercarea la stabilitatea electrodinamică a probelor sudate

Nr. probelor	$I_{ef. șoc.}$ A	$j, \frac{A}{mm^2}$	Durata de acționare t, s	Observații
7	1000	20, 20	4, 9	Sudura a rezistat solicitărilor termice și dinamice
7	3000	60, 05	3, 74	idem
7	7750	156, 5	0, 8	idem
7	11, 800	240	0, 78	Îmbinarea s-a rupt în două amprentelor sudate
3	12 000	250	0, 36	Îmbinarea a rezistat solicitărilor termice și dinamice

Încercarea îmbinării prin sudură la rece a foliei de Al de 0,3 x 1,30 mm pentru transformatoare
Oscilograma nr. 33 Încercarea la scurtcircuit a probei nr. 3. $I_{enc} = 12000$ A, $t = 0,36$ s



În figura 90 se prezintă oscilograma încercărilor la scurtcircuit a probei nr. 3.

Celelalte oscilograme ale încercărilor electrice (11 buc.), se găsesc în anexa lucrării (poz. 3).

In unele cazuri, ciclul termic care însoțește acțiunea curenților de șoc a dus la topirea materialului din jurul sudurii. S-a constatat că materialul din dreptul amprentelor sudate rezistă solicitărilor electrodinamice și termice, pe când folia propriu-zisă în zona din jurul amprentelor suferă de multe ori o rupere explosivă (fig.91), sau se deformează așa cum se vede în figura 92.

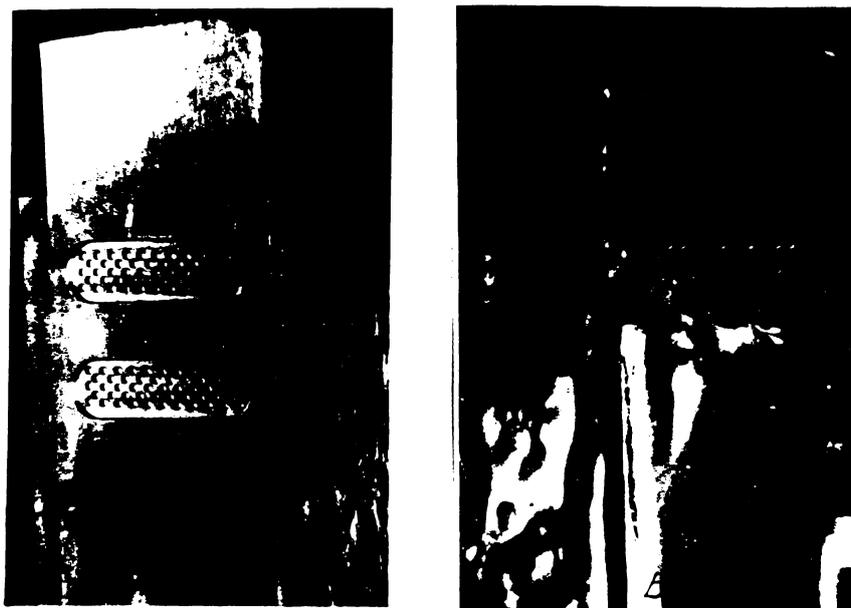


Fig.91. Conexiuni sudate, încercate la stabilitate electrodinamică care au suferit o rupere explosivă în afara amprentelor sudate: a - vedere din față, b - vedere din dos.



Fig.92. Conexiuni sudate la rece, folie de aluminiu de $0,3 \times 190$ mm² sau bandă de aluminiu de $1,5 \times 10$ mm² secțiune, după încercarea lor la stabilitate electrodinamică.

Examinarea microscopică a secțiunii transversale a unor puncte sudate, încercate la un curent maximal de șoc, nu trădează fisuri datorită solicitărilor dinamice.

7.3. Concepția și aplicarea în producție a unei instalații de sudare a foliilor de aluminiu și cupru.

Pentru realizarea îmbinărilor (conexiunilor) unor transformatoare studiate la ICPE București a fost necesară conceperea și realizarea unei instalații, care să asigure în condiții de producție realizarea sudurilor cerute. În cele ce urmează se prezintă varianta îmbunătățită a instalației de sudare cu care s-a executat prototipul de transformator arătat în imaginea colorată din fig.93.

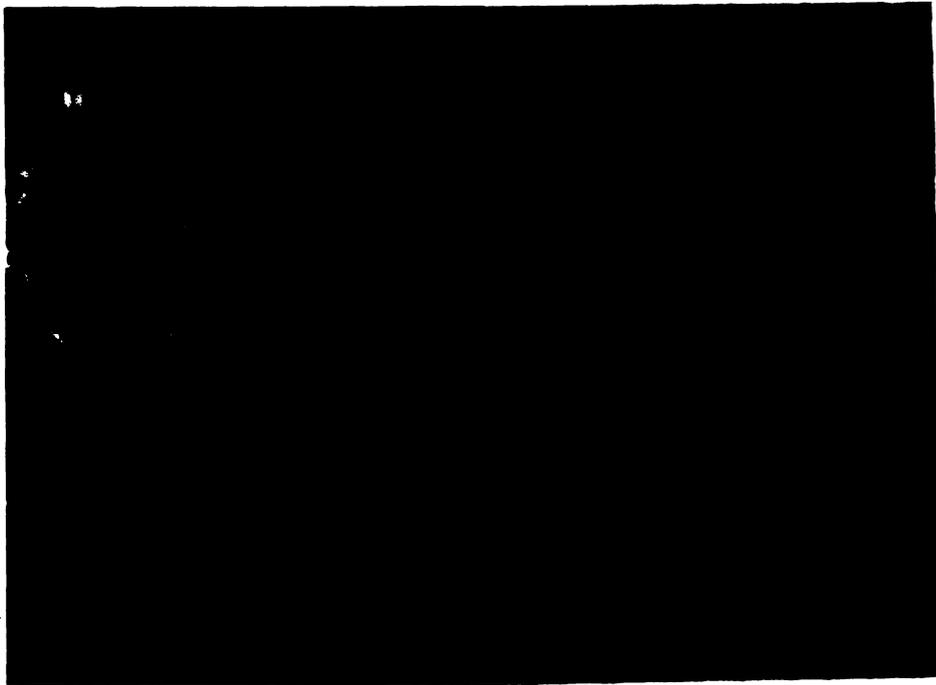


Fig.93. Model experimental de transformator de 250 kVA 150/0,4 kV cu înfășurări de folie atât pe partea de înaltă tensiune cît și pe partea de joasă tensiune, prezentat la Tîrgul Internațional din București, oct.1970.

Pentru proiectarea instalației menționată mai înainte, pe baza executării unui număr de îmbinări de grosimi diferite din tablă de aluminiu și de cupru, s-au determinat următoarele caracteristici tehnice pentru instalația de sudare:

- forța de presare reglabilă prin presiunea uleiului între 10 și 100 kN
- menținerea în stare de presare de la 1 la 10 s.
- cursa pistonului de presare 25 mm.
- presiunea uleiului 650 atm.
- pentru reglarea presiunii instalația se echipează cu manometru cu contacte electrice. Forța de presare se obține prin reglarea corespunzătoare a manometrului respectiv a supapei de suprapresiune,
- comanda instalației: hidraulică.
- se folosește o pompă de presiune înaltă de 650 daN/cm²
- legătura între hidromotor liniar H și restul instalației se realizează printr-un furtun (tub) de cauciuc de înaltă presiune cu inserție metalică.

În figurile 94 și 95 se arată schemele de principiu hidraulic respectiv electric.

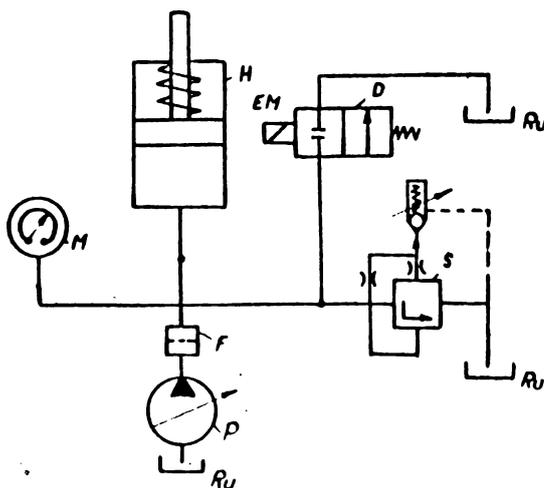


Fig.94. Schema de principiu hidraulic: P - pompă de ulei ($p=650 \text{ atm}$)
Ru - rezervor de ulei (cca 10 l capacitate); F - filtru de ulei;
M - manometru cu contacte electrice; H - hidromotor liniar; S - supapă de presiune pilotată DN-10; D - distribuitor DN-10.

Succesiunea fazelor de lucru este următoarea:

Faza I - Pornirea pompei -

- se închide întrerupătorul principal (IP), urmărindu-se aprinderea lămpii de semnalizare (LPT).

- se acționează butonul de pornire (P_1), care pune sub tensiune contactorul (C), ale cărui contacte 2C, 3C și 4C pun sub tensiune motorul pompei (M).

In această fază uleiul debitat de pompa (P), ajunge în rezervorul (R_u), prin distribuitorul (D).

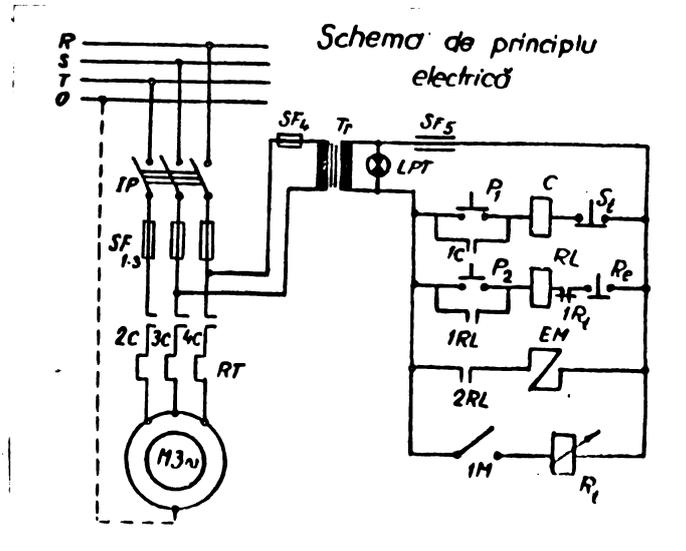


Fig. 95. Schema de principiu electrică: IP - întrerupător principal; C - contactor tripolar (pentru pornirea motorului); SF - siguranțe fuzibile; RT - releu termic tripolar; Tr - transformator (pentru alimentarea circuitelor de comandă); M - motor electric trifazat (pentru acționarea pompei); LPT - lampă de semnalizare (a prezenței tensiunii); EM - electromagnet (pentru acționarea distribuitorului D); R_t - releu de timp (pentru reglarea duratei de presare); 1M - contactul manometrului M_1 ; P_1 - buton pentru pornire (a motorului pompei); S_2 - buton pentru oprirea motorului pompei; P_2 - buton pentru începerea ciclului de lucru; R_0 - buton pentru comanda revenirii (ciclu manual).

Faza II - Apropierea poansonului de material

- Se acționează butonul (P_2), care pune sub tensiune releul intermediar (RL) care conectează electromagnetul (EM) al distribuitorului (D).

In această situație, uleiul debitat de pompă (P), acționează pistonul hidromotorului linear (H), care începe deplasarea portpoansonelor. In această fază presiunea din sistemul hidrostatic este determinată de pierderile de presiune, greutatea masei în mișcare și forța necesară comprimării resortului de readucere a pistonului (fig. 94).

Faza III - presarea poansoanelor (deformarea tablelor).

- Poansoanele atingînd tablele, provoacă creşterea presiunii în sistemul hidrostatic, care este indicată de manometrul cu contacte electrice (M).

La atingerea presiunii reglate pe manometru, presiune la care se deschide şi supapa de presiune pilotată (S), contactul normal deschis I M al manometrului (M), pune în funcţiune releul de timp (R_t).

Faza IV - retragerea .

- Releul (R_t) după scurgerea timpului în prealabil stabilit, intrerupe alimentarea releului intermediar (RL) şi prin aceasta deconectează electromagnetul (EM) al distribuitorului (D). Ca urmare cilindrul hidromotorului linear (H) este legat cu rezervorul de ulei (R_u).

Rezultă deci în aceasta fază, prin distribuitorul (D) trec simultan debitele datorate pompei (P) şi pistonul hidromotorului (H), piston ce revine în poziţia iniţială (de pornire), inferioară, sub acţiunea greutăţii şi a resortului comprimat în faza anterioară.

Se menţionează că instalaţia poate fi folosită fie în ciclu manual, fie în ciclu semiautomat.

În primul caz -folosit mai frecvent la reglarea instalaţiei - pentru comanda diverselor faze ale ciclului, sînt folosite butoanele (P_2) şi (R_0).

În al doilea caz, este folosit numai butonul (P_2), pentru începerea ciclului de lucru.

Reglajul instalaţiei - Parametrii procesului tehnologic ce urmează să fie reglaţi sînt: presiunea uleiului (p), ce determină forţa de presare şi durata de acţiunare (t) a forţei de presare.

Mod de reglare. Se porneşte pompa avînd supapa de presiune pilotată (S) reglată la presiune minimă, iar electromagnetul (EM) pentru acţiunarea distribuitorului conectat (P_2 - apăsăat în

jos). Se începe închiderea supapei (S), urmărindu-se la manometrul (M) creșterea presiunii. În prealabil contactul manometrului (M) se reglează la presiunea necesară pentru obținerea forței de presare. La obținerea presiunii dorite (p_2) egală cu presiunea efectivă de la supapă (p_1), șurubul de reglare a supapei (S) se blochează. - Timpul necesar acționării forței de presare (t), este reglat cu ajutorul releului de timp (R_t). Acest timp urmează să fie măsurat din momentul atingerii presiunii ($p_2 = p_1$), prin închiderea contactului (I M).

Capul de sudare (fig.96) este astfel realizat încît să permită, printr-o singură operație, înlocuirea poansoanelor în funcție de grosimea foliilor care se sudează. Capul de sudare are gabarit redus iar legătura flexibilă a capului de sudare permite executarea unor legături în orice poziție.

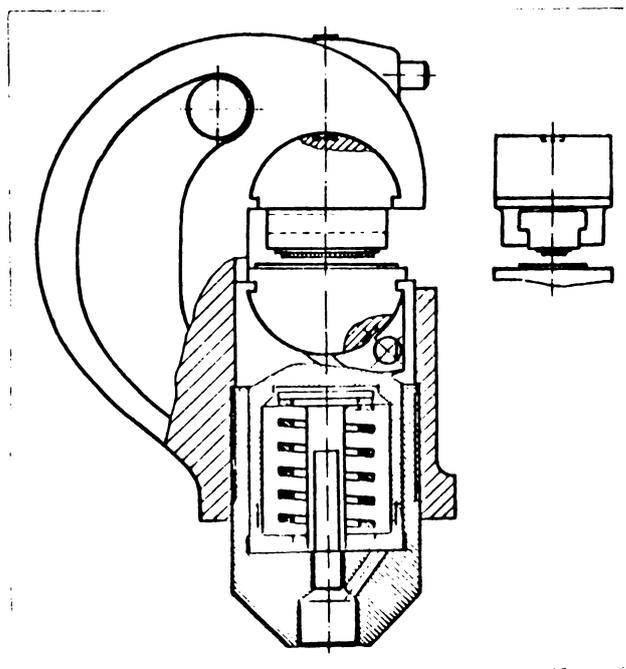


Fig.96. Cap de sudare prin puncte la rece a foliilor de aluminiu și de cupru.

Cu ajutorul instalației experimentale, prezentată la pctul:7.3 și a tehnologiei cercetate a fost executat un transformator cu înfășurări primare și secundare compuse din folii de aluminiu sudate prin deformare plastică la rece, prezentată în fig.90

Figurile 97a, b, c prezintă fotografia unor subansamble ale transformatorului de 250 kVA, 15/0,4 cu înfășurări din folii de aluminiu sudate la rece cu instalația experimentală.



Fig.97a. Galeți de înaltă tensiune.



Fig.97c. Miez de fază complet montat.



Fig.97b. Semibobină de joasă tensiune.

Din cele de mai sus rezultă, că îmbinările executate în condițiile cercetate și cu utilajul experimental conceput de autor și realizat în laboratoarele catedrei UTS, au o comportare corespunzătoare atât din punct de vedere al solicitărilor termice cât și a celor dinamice de scurt circuit. Sudarea prin deformare plastică la rece putând fi folosită cu succes la îmbinarea înfășurărilor transformatoarelor electrice proiectate din folii subțiri de aluminiu și de cupru.

Față de alte procedee care ar putea fi luate în considerare pentru sudarea foliilor de grosimi atât de mici, sudarea cu energie înmagazinată în câmp electrostatic, sudarea cu energie

ultrasonoră ș.a., procedee care permit în general, sudarea unui singur punct sau sudarea concomitentă a unui număr mic de puncte și reclamă un utilaj relativ complex, procedeul de sudare prin deformare plastică la rece prin puncte, prezintă avantajul cumulat al unei productivități mărite determinată de aplicarea unui număr mare de poansoane, respectiv a unui utilaj simplu și mai puțin pretențios în exploatare.

8. CONTRIBUTII PRIVIND APLICAREA IN PRODUCTIE A PROCEDEULUI DE SUDARE STUDIAT.

Pentru aplicarea în producție a rezultatelor obținute în cadrul cercetărilor întreprinse, s-a convenit cu Institutul de cercetări și proiectări Electro-putere Craiova (ICPEF) ca, în cadrul unui contract (nr.1961 din anul 1973) cu tema "Sudarea prin deformare plastică la rece a conductorilor electrici din aluminiu și cupru", să se experimenteze realizarea îmbinărilor tip din tabela 16.

Tabela 16

Nr. crt.	Dimens. sect. îmbinărilor mm	Utilizarea	Nr. desen dispozitiv
1	10 x 100 + 10 x 80	Celule IT	Fig. 95
2	10 x 100 + 5 x 50	Celule IT	Fig. 96
3	10 x 60 + 10 x 80	Celule IT	02-07.00
4	10 x 60 + 10 x 60	Celule IT	02-02.00
5	5 x 50 + 5 x 50	CIRSI	02-01.00
6	5 x 40 + 5 x 40	Celule IT	02-03.00
7	5 x 40 + 3 x 20	Celule IT	02-04.00
8	5 x 30 + 5 x 30	CIRSI	02-05.00
9	φ 12 + 2 (4 x 12)	-	02-08.00

8.1. Dispozitive folosite la sudare.

Pentru executarea îmbinărilor menționate în tabela 16 a fost conceput de autor și executat de beneficiar un număr de 9 dispozitive.

Rolul dispozitivelor este de poziționare și prestrângere a barelor de îmbinat, respectiv conducerea coaxială a poansoanelor de lucru, asigurând gradul de deformare dorit. Deoarece dimensiunile îmbinărilor au fost diferite ca mărime, pentru fiecare tip de îmbinare a fost necesară conceperea câte unui dispozitiv de sudare.

În figurile 98 și 99 sînt prezentate schematic două din cele nouă dispozitive, concepute și proiectate de autor. Celelalte șapte, reprezentate în lucrare au o construcție similară, (borderoul de desene anexat 7; 1...30).

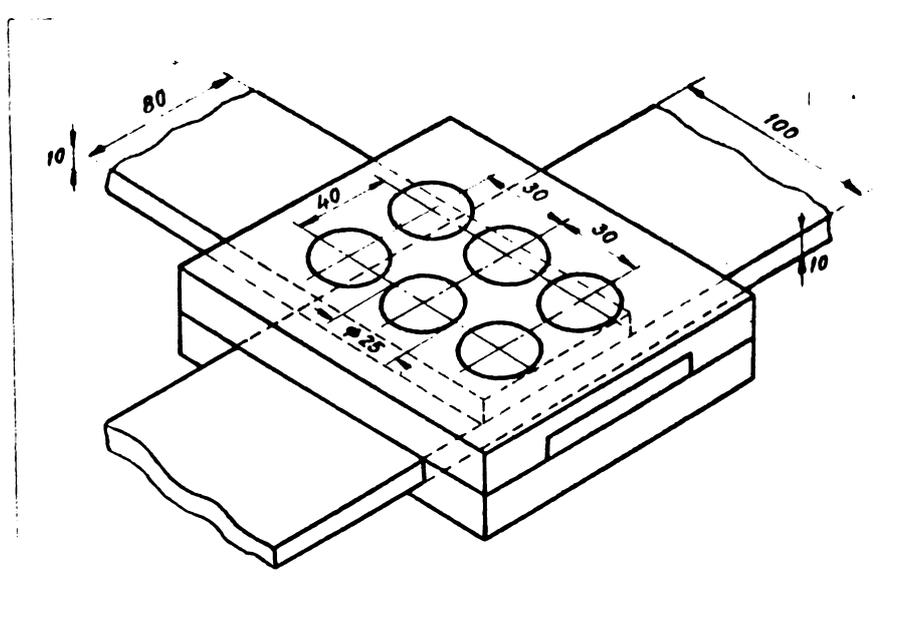


Fig.98. Dispozitiv de sudare a barelor de 10×100 cu 10×80 mm² secțiune, cu acționarea poansoanelor din ambele părți.

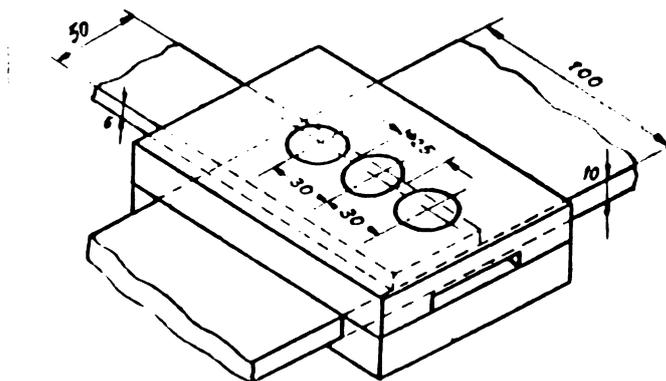


Fig.99. Dispozitiv de sudare a barelor de 10×100 cu 5×50 mm² secțiune cu acționarea poansoanelor din ambele părți.

Poansoane folosite la sudare. Diametrele optime ale poansoanelor au fost determinate plecând de la relația $\frac{d}{s} = 1 \dots 1,5$ (vezi pctul 6.1).

unde: d - diametrul părții active a poansonului în mm,

s - grosimea barei în mm,

ținând cont de distanța dintre puncte, de posibilitățile de deplasare a materialului dislocat de poanson și de interacțiunea acestui material în procesul de sudare.

Dacă îmbinarea se compune din bare de grosimi diferite și poansoanele vor fi de diametre diferite, aceasta pentru a asigura o pătrundere simultană a poansoanelor până la obținerea gradului de deformare cerut ($\delta = 75 - 80\%$). În fig.100,a, se arată poansonul folosit la realizarea îmbinării 10 mm x 100 mm cu 10 mm x 80 mm, utilizând dispozitivul din fig.98, iar fig.100,b și b' arată poansoanele folosite la realizarea îmbinării 10 mm x 100 mm cu 5 x 50 mm utilizând dispozitivul din fig.99. Dimensiunile celor-

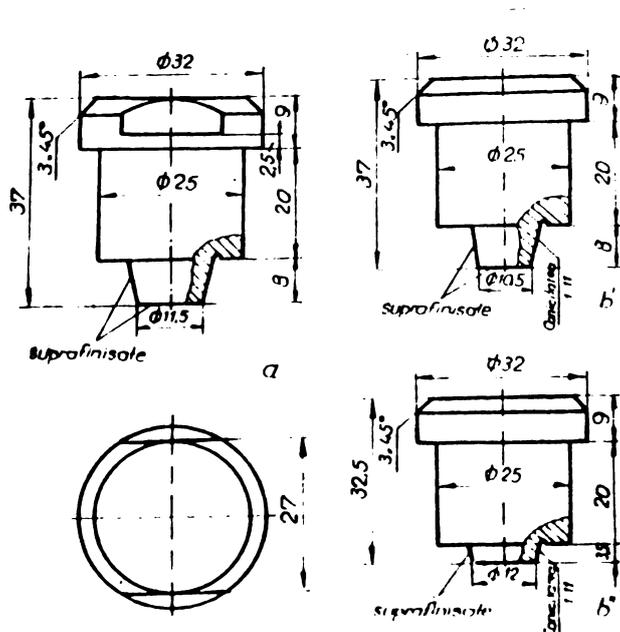


Fig.100. Poansoane folosite la sudare.

alte poansoane folosite la realizarea îmbinărilor menționate în tabela 16, precum și numărul lor se găsesc tabelate în 17.

Pentru a evita blocarea poansoanelor, respectiv aderarea

lor la materialul ce se deformează, conicitatea acestora se alege de cea 10^0 , iar după călire, suprafețele active și laterale se suprafinisează. Poansoanele se execută dintr-un oțel de scule aliat cu crom (de ex. OLC 120).

Numărul poansoanelor care pot fi acționate simultan depinde de forța de presare disponibilă și de construcția dispozitivului.

În privința stabilirii numărului de puncte (n), care urmează a fi realizate la o îmbinare, se precizează următoarele:

Secțiunea punctului sudat, care să asigure trecerea curentului de la o bară la alta, depinde de diametrul suprafeței active a poansonului și de secțiunea barelor de sudat. Aceasta secțiune se stabilește prin relația:

$$S_0 = \pi \cdot d \cdot \frac{h}{2} \cdot n \quad 0,5 A, \quad \text{în care:}$$

d - diametrul punctului sudat, mm,

h - grosimea punctului sudat (grosimea materialului rămas între poansoane, mm,

n - numărul de puncte,

A - secțiunea transversală a barei, mm^2 .

Pe baza încercărilor mecanice și de încălzire a îmbinărilor sudate (pot.8.3.) relația verifică ipoteza propusă.

Pasul dintre puncte (p) se recomandă să fie $p > 3 \cdot d$, unde d - diametrul suprafeței active a poansonului.

8.2. Elaborarea tehnologiei de sudare a îmbinărilor.

Parametrii regimului de sudare.

Parametrii care determină procesul de sudare sînt: starea suprafețelor în contact real și forța de presare care să asigure gradul de deformație necesară.

Influența stării suprafețelor în contact real, precum și

a mărimii gradului de deformare necesară realizării unei îmbinări rezistente, au fost prezentate în cap.4. Reamintim că grăsimile se îndepărtează prin spălare cu un dizolvant, iar oxizii se îndepărtează prin periere cu o perie metalică. Amprentele digitale pe suprafețele de contact pot compromite calitatea îmbinării sudate.

Compresiunea specifică (p) ce trebuie realizată la sfârșitul deformației (de cea 75-80%) este de: 50-70 daN/mm² la aluminiu moale (O); 90-120 daN/mm² la aluminiu 1/2 tare (HD). În afara gradului de ecrusare compresiunea specifică mai depinde și de posibilitățile de deplasare a materialului dislocat de poanson.

Se dau mai jos tabelat (tabela 17) parametrii regimului tehnologic de sudare pentru îmbinările care urmează să fie realizate.

Tabela 17

Nr. crt.	Îmbinarea mm	Modul de realiz. a îmbinărilor		Grosimea punctului sudat h, mm	Forța de presare pt. 1 punct kN(tr)
		Nr. puncte	ϕ poanson, mm		
1	10 x 100 + 10 x 80	6	11,5	4-5	15
2	10 x 100 + 5 x 50	3	10,5 (pt. 10 mm) 12,0 (pt. 5 mm)	3-3,5	12
3	10 x 80 + 10 x 80	5	11,5	4-5	15
4	10 x 60 + 10 x 60	4	11,5	4-5	15
5	5 x 50 + 5 x 50	5	7,5	~ 2,5	7
6	5 x 40 + 5 x 40	4	7,5	~ 2,5	8
7	5 x 40 + 3 x 25	2	3,8 (pt. 3 mm) 7,2 (pt. 3 mm)	~ 2,5	10
8	5 x 40 + 5 x 30	4	6,5	~ 2,5	3
9	ϕ 12 + 2 (4 x 12)	1	3 x 8	~ 2,7	2

8.2.1. Ordinea operațiilor la executarea unei îmbinări.

- Alegerea convenabilă a dispozitivului de sudat, cu poansonul respective și determinarea forței de presare (F), care să asigure gradul de deformare dorit (δ).

- Curățirea suprafețelor care se suprapun:

- prin spălare, dacă sînt acoperite cu grăsimi,
- prin periere, dacă sînt acoperite cu oxizi.

- Așezarea și strângerea barelor în dispozitiv.
- Introducerea portpoansoanelor respectiv a poansoanelor în dispozitiv.
- Așezarea dispozitivului cu barele prinse pe masa presei.
- Acționarea presei (a portpoansoanelor) cu o forță aleasă în prealabil (vezi tab.17).
- Menținerea forței de presare timp de 5 s.
- Deschiderea presei.
- Eliberarea îmbinării din dispozitiv.
- Verificarea vizuală a aspectului exterior a îmbinării.
- Incercările îmbinărilor sudate.

8.2.2. Modul de realizare a îmbinărilor sudate. După debitarea barelor de aluminiu, curățirea suprafețelor care urmează să fie suprapuse la sudare, barele au fost periate cu un disc rotativ cu sîrmă metalică.

Pentru toate cazurile, gradul de deformare necesar realizării unui punct sudat a fost $\delta = 75-80\%$. Dispozitivele folosite la sudare sînt menționate în tab.16.

Sudura propriu zisă a fost executată pe o mașină de încercat materiale de 300 kN montată pentru compresiune.

În figurile ce urmează se prezintă două din cele nouă îmbinări sudate la rece, menționate în tab.17. Dispozitivele și poansoanele folosite se găsesc în anexa lucrării. Celelalte îmbinări menționate în tabela 16 fiind asemănătoare cu cele două prezentate, nu sînt reproduse.

În figura 101 este prezentată o îmbinare a două bare de aluminiu suprapuse de $10 \times 30 \text{ mm}^2$ cu $10 \times 100 \text{ mm}^2$ secțiune, sudate prin deformare plastică la rece cu dispozitivul prezentat în fig.98, folosind poansoane arătate în figura 100,a. Forța necesară realizării unui punct sudat este de cea 150 kN.

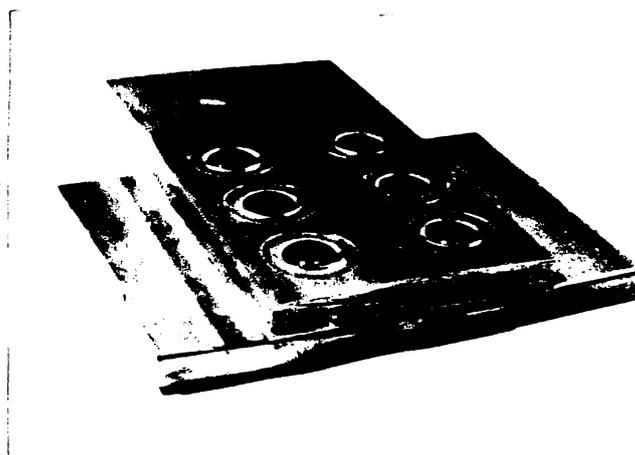


Fig.101. Imbinare sudată la rece cu șase puncte.

In figura 102 se prezintă o îmbinare între două bare de aluminiu suprapuse de grosimi diferite de $5 \times 50 \text{ mm}^2$ cu $10 \times 100 \text{ mm}^2$ secțiune, sudată la rece în dispozitivul prezentat în figura 99, folosind poansoane de dimensiuni diferite, prezentate în figura 100 b' și b'', Forța necesară realizării unui punct sudat este de cca 120 kN.

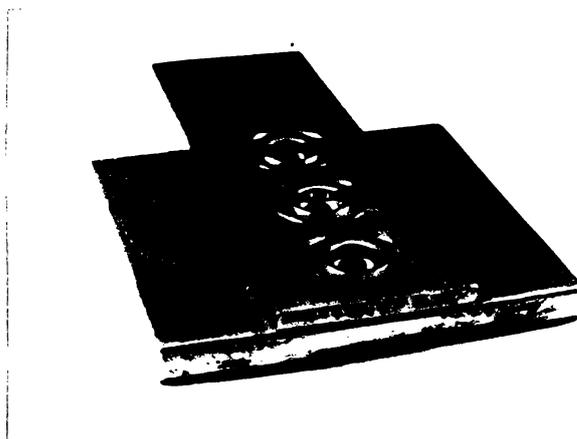


Fig.102. Imbinare sudată la rece cu trei puncte.

8.3. Incercările îmbinărilor sudate.

Pentru a putea aprecia calitatea îmbinărilor sudate, s-au efectuat următoarele probe: încercarea la întindere, examinarea macro și microstructurală, urmărirea microdurității, precum și un control nedistructiv, respectiv măsurători electrice.

8.3.1. Incercările la tracțiune. Pentru ca îmbinările su-

date să fie încercate la tracțiune, a fost necesară conceperea și executarea pentru fiecare tip de îmbinare a câte unui dispozitiv de tracțiune. În figura 103 se prezintă dispozitivul de tracțiune a îmbinării (10x80 cu 10x100 mm² secțiune). Celelalte dispozitive de tracțiune având construcție similară cu cea din fig.103, nu sînt reproduse.

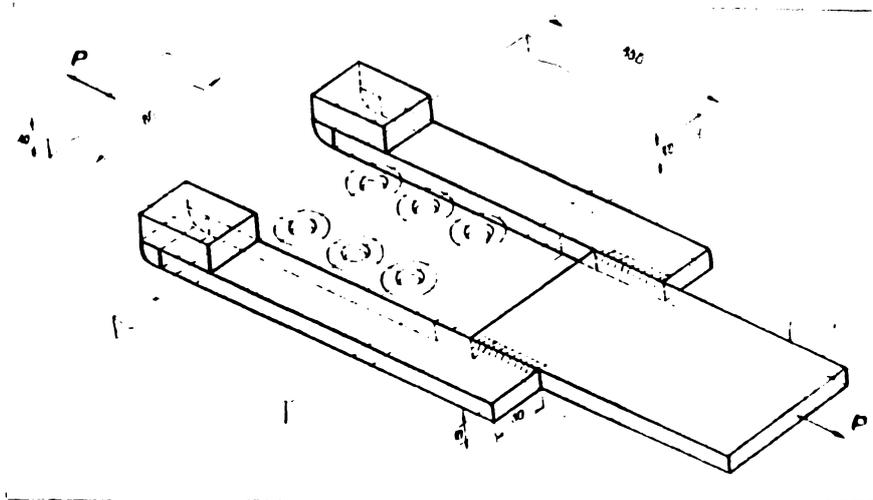


Fig.103. Dispozitiv de tracțiune.

În figurile 104, a și b, sînt arătate două îmbinări supuse la încercare de întindere. Bara de 10x80 mm² a îmbinării din fig. 101 începe să curgă la o forță de tracțiune de 5620 daN. Bara de 3x50 mm² a îmbinării din fig.102, începe să curgă la o forță de tracțiune de 2160 daN, amîndouă în afara sudurilor.

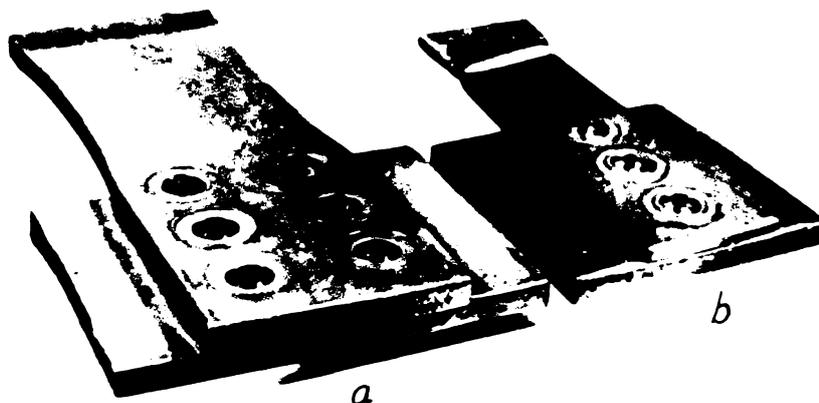
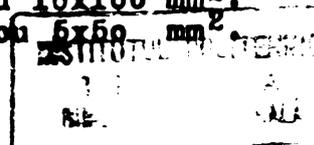


Fig.104. Îmbinări sudate încercate la întindere.

a - compuse din bare de 10x80 mm² și 10x100 mm².
b - compuse din bare de 10x100 mm² și 5x50 mm².



8.3.2. Examinări macro și microstructurale Întrucât câmpul deformației plastice nu este omogen, gradul de întărire a materialului în jurul poansonelor variază funcție de poziția relativă a poansonului și punctului considerat.

Într-o anumită zonă a planului de secționare, duritatea materialului va fi proporțională cu densitatea liniilor de curgere din porțiunea respectivă. Liniile de curgere obținute prin secționarea suprafețelor de alunecare pot fi observate pe macrostructură din figura 105.



Fig.105. Macrostructura unui punct sudat a două bare de aluminiu de 5 mm grosime.

Pentru a verifica experimental afirmația de mai sus, s-au efectuat unele măsurători ale microdurității în secțiunea punctului sudat, așa cum se vede în fig.106.

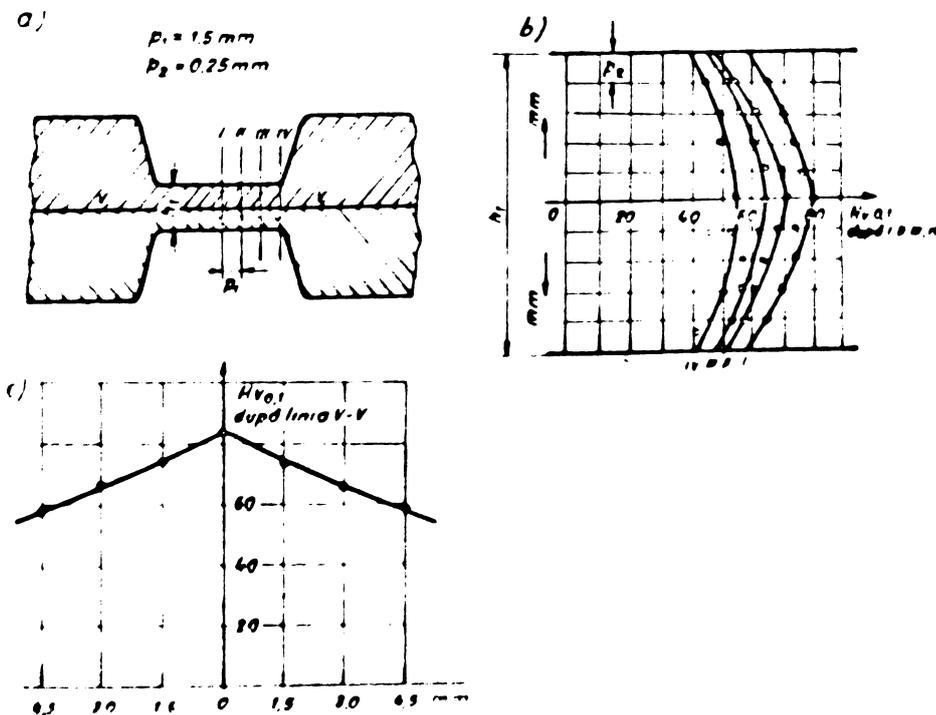


Fig.106. Variația microdurității în diferitele zone ale îmbinării prezentate în fig.104.

Se observă că după linia V - V, corespunzător indeseării liniilor de curgere, o creștere a durității, fig.106,b. și o maximă în axa longitudinală a amprentelor, care se micșorează spre periferia punctului fig.106,c.

În figurile 107 și 108 sînt prezentate macrostructurile punctelor sudate ale îmbinărilor prezentate în figurile 101 și 102.

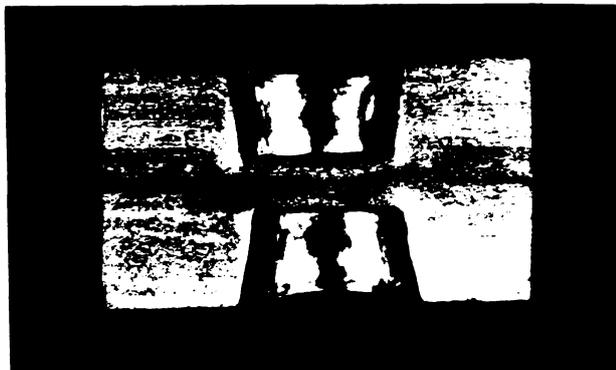


Fig.107. Macrostructura unui punct sudat a două bare de aluminiu de 10 mm grosime (fig.104a)

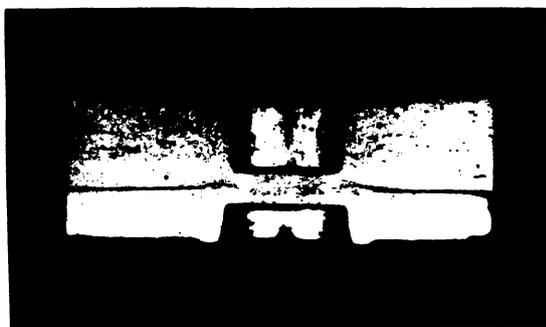


Fig.108. Macrostructura unui punct sudat a două bare de aluminiu de 10 și 5 mm grosime, (fig.104,b).

Punctul sudat a fost supus și unui examen microscopic în scopul evidențierii modificărilor survenite în structura metalului, ca urmare a tehnologiei de sudare aplicate.

În figura 109,a, se prezintă microstructura materialului neafectat de regimul de sudare. Se observă o structură de grăunți mari poliedrici a metalului de bază.



Fig.109. Microstructura punctului sudat (x100).

In figura 109, b se prezintă microstructura zonei care cuprinde punctul sudat, In această zonă se observă o deformare pronunțată a grăunților, perpendicular pe direcția efortului aplicat și lipsa defectelor de natură structurală.

8.3.3. Control nedistructiv (măsurători electrice). Printre mijloacele de control nedistructiv, examenul cu raze X și cu ultrasunete sînt considerate ca greu aplicabile și neconcludente pentru asemenea îmbinări. Poate fi considerată concludentă încercarea la încălzire la curenți nominali, verificarea stabilității termice și dinamice a îmbinărilor sudate. Această din urmă a fost aplicată în cadrul cercetărilor, obținîndu-se rezultate bune.

Verificarea îmbinărilor sudate la încălzire în regim permanent la curenți nominali.

Schema electrică folosită este arătată în fig.110.

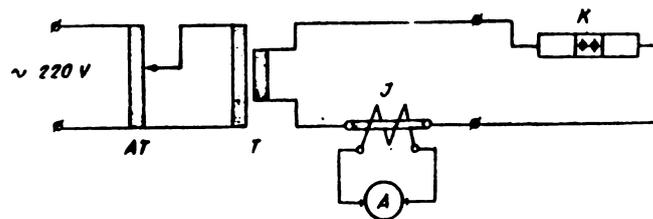


Fig.110. Schema electrică pentru verificarea la încălzire a îmbinărilor sudate; AT- autotrafo 220/0...260 V; T- trafo, 625/5000 A; I- transformator de măsură, 625...5000/5 A; K- îmbinarea de verificat.

Verificarea la încălzire a fost aplicată următoarelor patru îmbinări:

- 1 - 10x80 mm + 10x80 mm, pentru $I_n = 1000$ A ;
- 2 - 10x60 mm + 10x60 mm, pentru $I_n = 630$ A ;
- 3 - 5x50 mm + 5x40 mm, pentru $I_n = 400$ A ;
- 4 - 5x40 mm + 5x40 mm, pentru $I_n = 300$ A ;

Verificarea a constat în alimentarea cu un curent nominal (I_n) de frecvență 50 Hz a îmbinărilor menționate mai sus timp de

6-7 ore, urmată de o măsurare a temperaturii îmbinării.

După cum rezultă din buletinul de încercare nr.1433/1974 din 1.10.74, vezi Anexa nr.4, îmbinările supuse verificărilor de încălzire la curenți nominali - corespunzător secțiunilor -, nu s-au încălzit la supratemperaturi calculabile pe diagramele termocuplelor. În urma acestui fapt, îmbinările verificate se consideră corespunzătoare. Este o verificare de durată,

Verificarea stabilității termice și dinamice a îmbinărilor sudate.

Schema electrică folosită este prezentată în fig.111

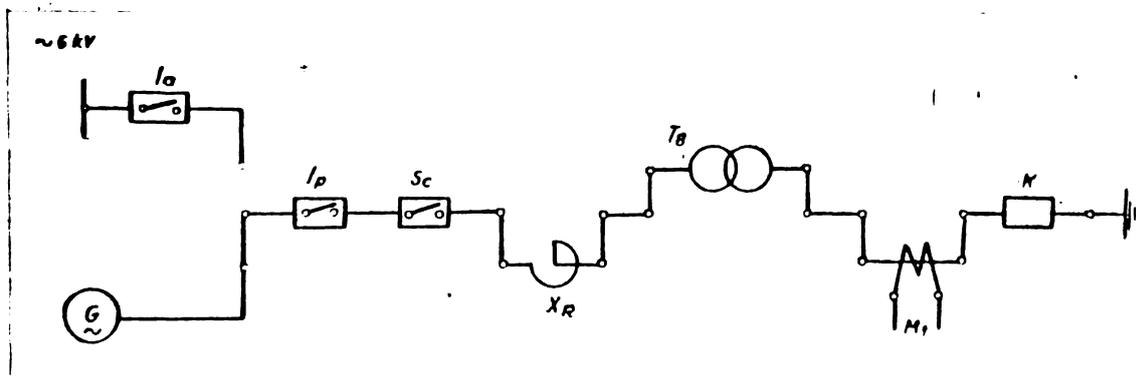


Fig.111. Schema electrică de încercare la stabilitate termică și dinamică a îmbinărilor sudate: I_a - întrerupător de alimentare din rețea; G - generator de șoc $\Pi - 100$; I_p - întrerupător de protecție; S_c - scurt circuitor; X_R - bobine de reactanță; T_g - transformator coborîtor de șoc; M_1 - puncte de măsură; K - obiectul încercat.

Încercările au constatat în alimentare timp de 1 s cu un curent de șoc (I_k) a îmbinărilor menționate mai sus. Stabilitatea termică se urmărește prin măsurarea temperaturii îmbinării, care nu e permis să se ridice la trecerea curentului de șoc; iar stabilitatea dinamică urmărește dacă nu s-au produs deformări supărătoare în îmbinare sau fisurație la trecerea curentului de șoc (I_k).

Îmbinările la care au fost aplicate încercările sînt:

- 1 - $10 \times 80 \text{ mm} + 10 \times 80 \text{ mm}$, de formă I
- 2 - $10 \times 60 \text{ mm} + 10 \times 60 \text{ mm}$, de formă I
- 3 - $5 \times 50 \text{ mm} + 5 \times 50 \text{ mm}$, de formă L
- 4 - $5 \times 40 \text{ mm} + 5 \times 40 \text{ mm}$, de formă T
- 5 - $5 \times 30 \text{ mm} + 5 \times 30 \text{ mm}$, de formă Z

Rezultatele încercărilor sînt trecute în tabela 18.

Tabela 18

Nr. crt.	Forma îmbinării	Numărul oscilogram.	I_{kA}	I_{kKAmax}	Durata s	Observatii
1	I	00472/74	29,5	72,5	1	corespunde
2	I	00473/74	29,5	72,5	1	- -
3	L	00474/74	10	24,4	1	- -
4	T	00475/74	10	25,0	1	- -
5	Z	00476/74	10	24,4	1	- -

În anexa nr.6/3...6/6, se găsesc 6 buc. oscilograme, înregistrate cu ocazia încercărilor efectuate.

După cum rezultă din protocolul de încercare nr.1052 din 3.11.1974 - vezi anexa nr.6 - încercările au arătat, că îmbinările au rezistat în condițiuni bune atât la stabilitate termică (nu s-au supraîncălzit), cât și la solicitări dinamice (nu s-au deteriorat), la aplicarea supra-curenților de șoc (I_k) menționate în tabela de mai sus.

Verificările menționate dau rezultate imediate, dar sînt costisitoare, deoarece necesită executarea unor îmbinări de forme speciale. Nu se pot aplica direct pe un subansamblu oarecare din procesul de producție. Se poate aplica numai în prima fază a cercetărilor.

8.4. Experimentarea sudării îmbinărilor compuse din profile diferite.

Experimentarea sudării la rece a îmbinărilor compuse din conductoare de aluminiu de secțiune circulară cu alte două secțiuni dreptunghiulare (vezi poz.9 din tab.16).

Pe baza elementelor primite din partea beneficiarului, a fost conceput și executat în atelierele ICPEP un dispozitiv de sudare. Cu ajutorul acestuia s-au executat îmbinările reprezentate în fig.112 a, b. Forța de presiune la sudare a fost cea de 3500 daN.



Fig. 112. Imbinările realizate dintr-un conductor de aluminiu de 12 mm, cu doi conductori de secțiune dreptunghiulară (4x12 mm); a - ramificare la 90°; b - ramificare în prelungire.

Pentru a urmări modul de curgere a materialului în procesul de sudare, s-a executat o analiză macrostructurală prezentată în fig. 113.

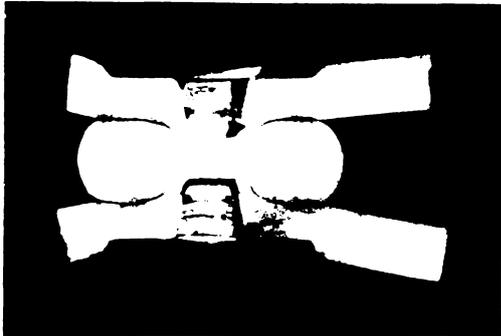


Fig. 113. Macrostructura imbinării realizată la o ramificație de 90°.

Experimentarea realizării unei ramificații compuse dintr-o tablă de aluminiu de 5 mm grosime și un conductor de aluminiu de 4 mm diametru.

Realizarea a fost asigurată prin sudare concomitentă a două perechi de poansoane de formă dreptunghiulară de $8 \times 5 \text{ mm}^2$ (fig. 114). Sudarea a fost realizată cu un efort de compresie de 1600 daN și cu un grad de deformare de cea 80%.

În figura 115 se arată ramificația realizată.

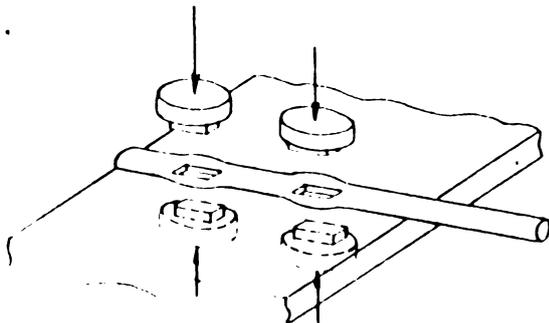


Fig. 114. Reprezentarea schematică a sudării ramificației.



Fig. 115. Ramificație sudată cu poansoane de formă dreptunghiulară.

8.5. Conceperea unui flux tehnologic pentru realizarea sub ansamblelor pentru celule de înaltă tensiune (CIT).

În prezent îmbinările barelor de aluminiu la celulele de înaltă tensiune se realizează prin găurirea și strângerea lor cu șurub și piulițe, intercalând între bare și piulițe o rondelă elastică. Deoarece aluminiul cedează sub presiunea de contact, îmbinarea va trebui controlată periodic, fig.116,a.

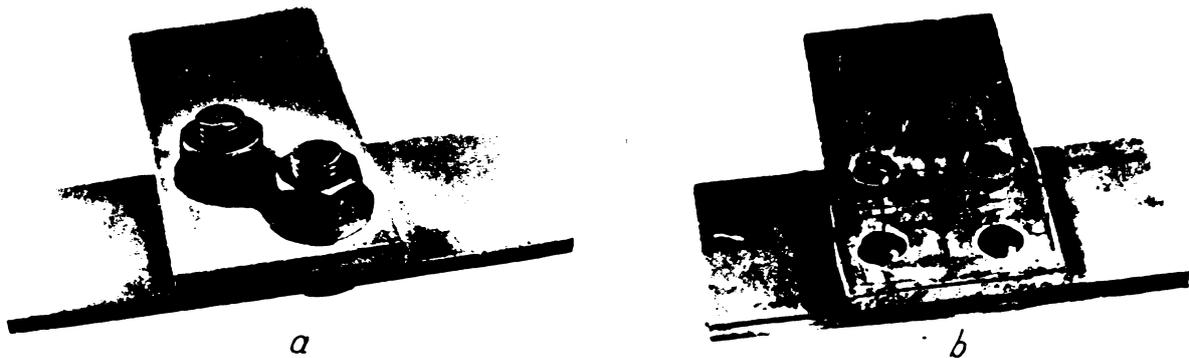


Fig.116.Îmbinarea a două bare de aluminiu de $5 \times 50 \text{ mm}^2$ secțiune:
a - prin buloane:, b - sudate prin puncte la rece.

Pentru realizarea unor economii de materiale (șurub, piulițe și rondelă elastică), manoperă și totodată obținerea unor legături durabile, care nu necesită control periodic, Consiliul tehnic al ICPEP din 9.11.74 (Proces verbal Anexa nr. 4/2) a hotărât aplicarea în producție a procedurii de sudare cercetat cu rezultate foarte bune la realizarea unor subansamble la posturile de transformare din exterior (PTE). În felul acesta catedrei UTS i s-a asigurat posibilitatea valorificării rezultatelor cercetărilor efectuate de autor.

În baza contractului de colaborare nr 13815/1974, experimentările au fost continuate pentru realizarea următoarelor subansamble (tab.19).

BARA A Al 40.5
A5-4978

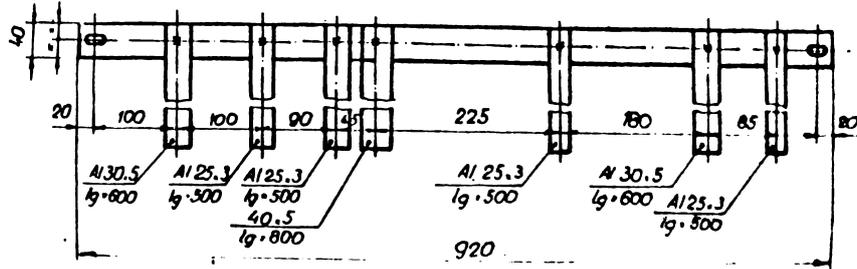


Fig.118.

BARA B Al 40.5
A5-4979

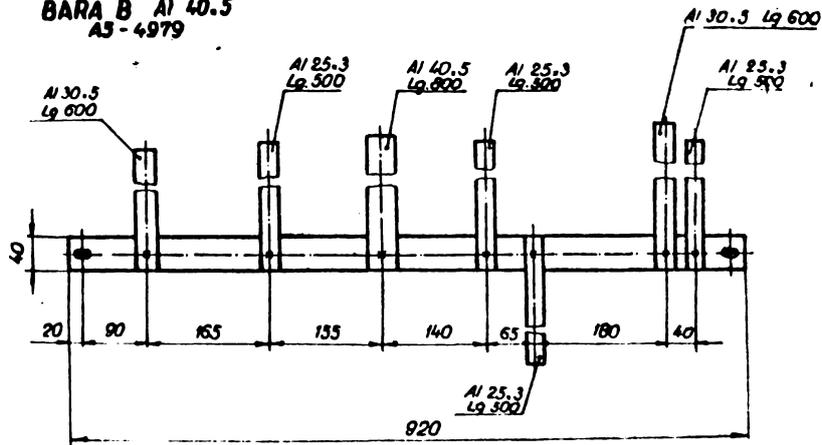


Fig.119.

BARA C Al 40.5
A5-4977

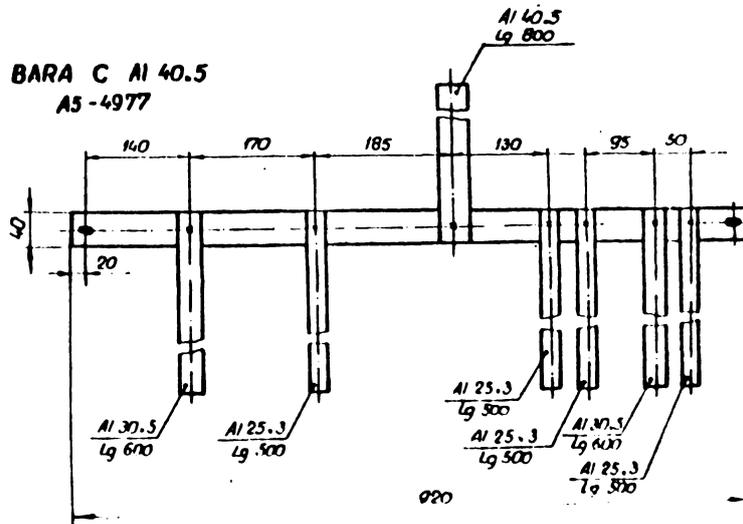


Fig.120.

Tabela 19

Denumirea subansamblului	Dimensiunea barei mm	Numărul desenului	Numărul figurii
Bara „0”	A1 5 x 60	A4 - 4610	117
Bara „A”	A1 5 x 40	A5 - 4978	118
Bara „B”	A1 5 x 40	A5 - 4979	119
Bara „C”	A1 5 x 40	A5 - 4977	120

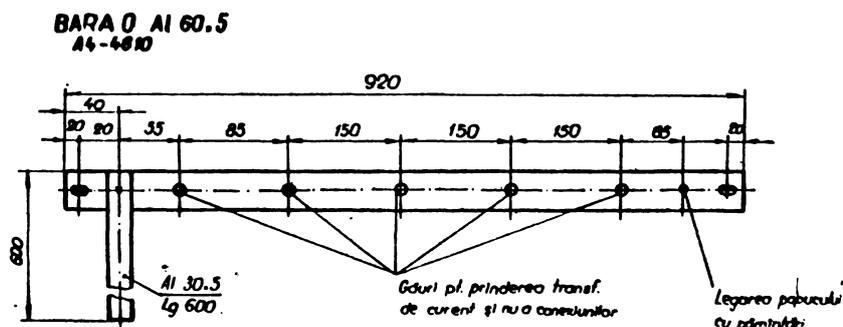


Fig.117.

Pentru realizarea subansamblelor menționate a fost necesară executarea îmbinărilor și dispozitivelor de sudare prezentate în tab.20, care au fost concepute de autor și executate la IOPEP.

Tabela 20

Imbinarea mm	Notarea dispozitiv	Modul de realiz. îmb.		Nr.desen dispozitiv
		Nr.puncte	Diom.poons mm	
5 x 60 + 5 x 30	I	3	7,2	02-09.00
5 x 40 + 5 x 40	II	4	7,0	02-03.00
5 x 40 + 5 x 30	III	4	5,8	-
5 x 40 + 3 x 25	IV	2	5,8 (pt. 5 mm) 8,2 (pt. 3 mm)	02.04.00

În tabela 21 sînt date parametrii regimului de sudare pentru îmbinările respective.

Tabela 21

Imbinarea mm	Forța de presare 10 KN	Grăsimea h mm	Alungirea Δl, mm	Observații
5 x 60 + 5 x 30	16	2,5	2	
5 x 40 + 5 x 40	16	2,5	2,2	
5 x 40 + 5 x 30	15	2,5	1,6	
5 x 40 + 3 x 25	12	2,0	1,0	

Cunoscând alungirile Δl (tab.21) și lățimile dispozitivelor de sudare, notate cu I, II, III și IV (tab.20), s-au stabilit distanțele de poziționare a conexiunilor, trecute pe desenele subansamblelor (figurile 121, 122, 123 și 124). Distanțierile au fost executate din tablă de oțel de 3x50 mm și de lungimile indicate pe desenele cu $A_{1...7}$, $B_{1...6}$ și $C_{1...7}$. Bara O nu are decât o conexiune.

Barele O, A, B și C sînt prezentate pe figurile 121,...124.

Ordinea operațiilor la executarea unei îmbinări sudate a fost indicată în capitolul precedent.

Cu ajutorul dispozitivelor de sudare notate cu I, II, III și IV (tabela 21) și a parametrilor stabiliți (tabela 22) s-au realizat îmbinări, care au fost încercate distructiv și nedistructiv.

În figurile 125, 126, 127 sînt prezentate trei din cele patru îmbinări care compun barele menționate mai înainte. A patra îmbinare $5 \times 40 \text{ mm}^2 + 5 \times 30 \text{ mm}^2$ nu este reprodusă, fiind asemănătoare cu cea de $5 \times 40 \text{ mm}^2 + 5 \times 40 \text{ mm}^2$.

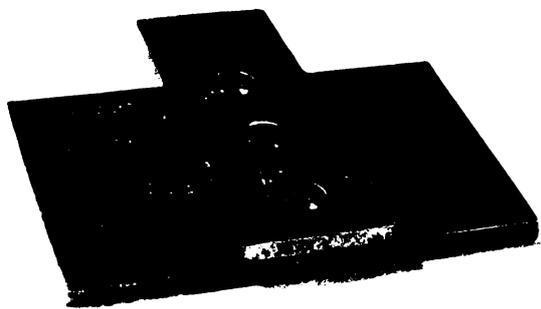


Fig.125. Imbinare sudată la rece a două bare suprapuse $5 \times 60 + 5 \times 30 \text{ mm}^2$.

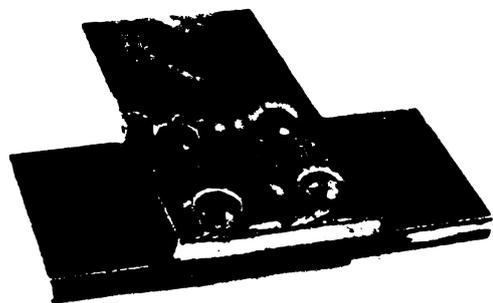


Fig.126. Imbinare sudată la rece a două bare de $5 \times 40 + 5 \times 40 \text{ mm}^2$.

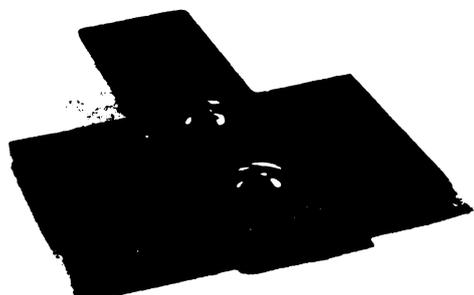


Fig.127. Imbinare sudată la rece a două bare suprapuse de $5 \times 40 \text{ mm}^2 + 3 \times 25 \text{ mm}^2$.

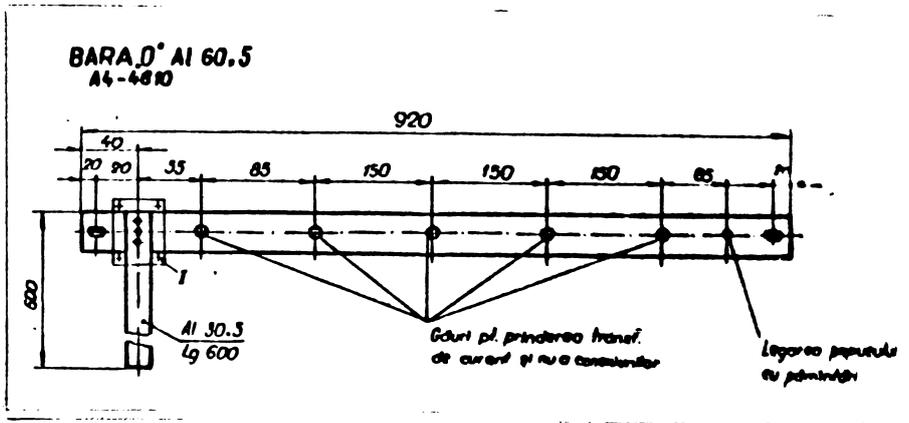


Fig.121.

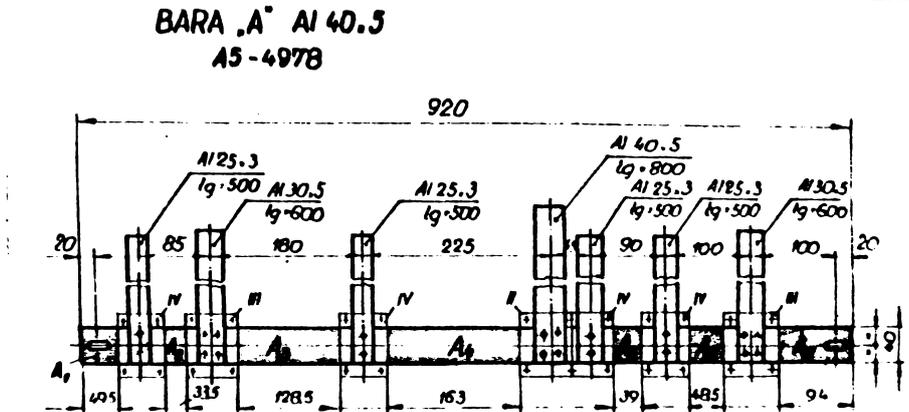


Fig.122.

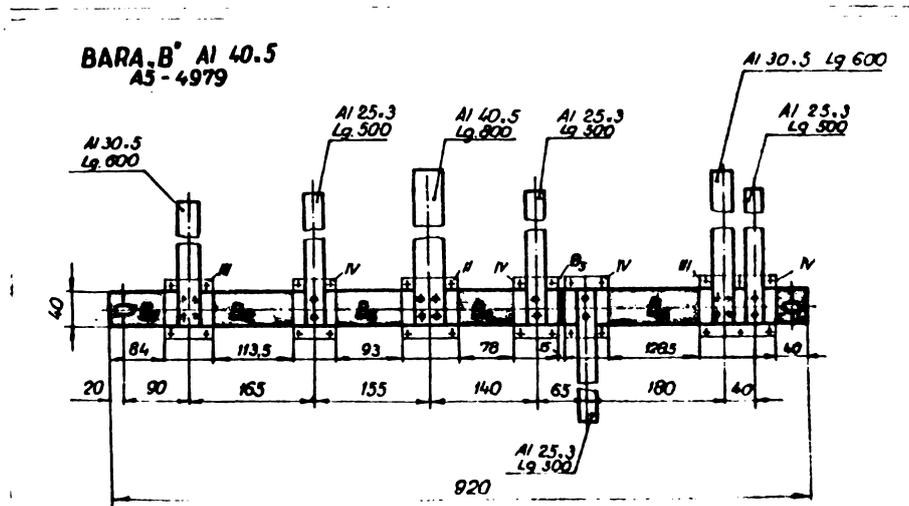


Fig.123.

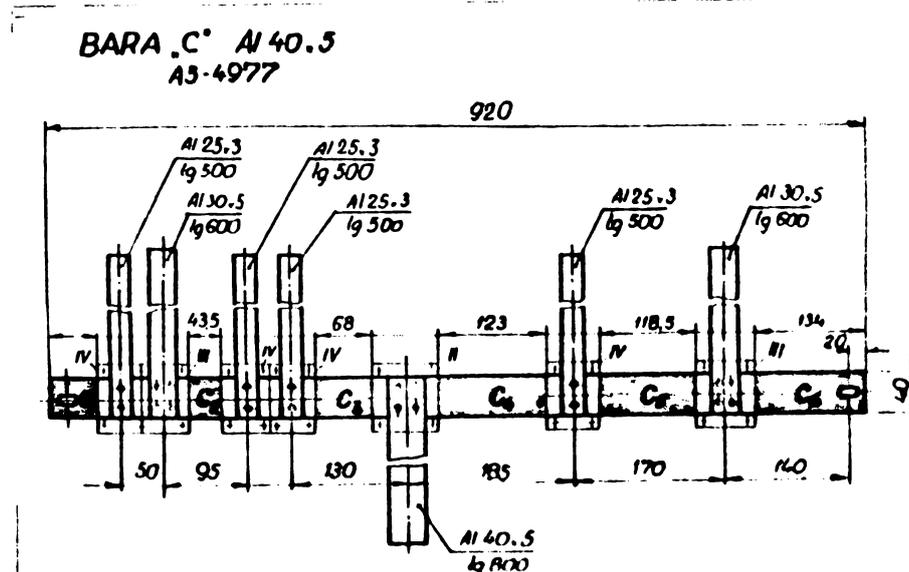


Fig.124.

8.5.1. Organizarea fluxului tehnologic. Având în vedere rezultatele bune obținute în cadrul cercetărilor, se propune organizarea unui flux tehnologic (fig.128), pentru executarea subansamblurilor PTE. (tab.19), la întreprinderea de celule prefabricate din Băilești.

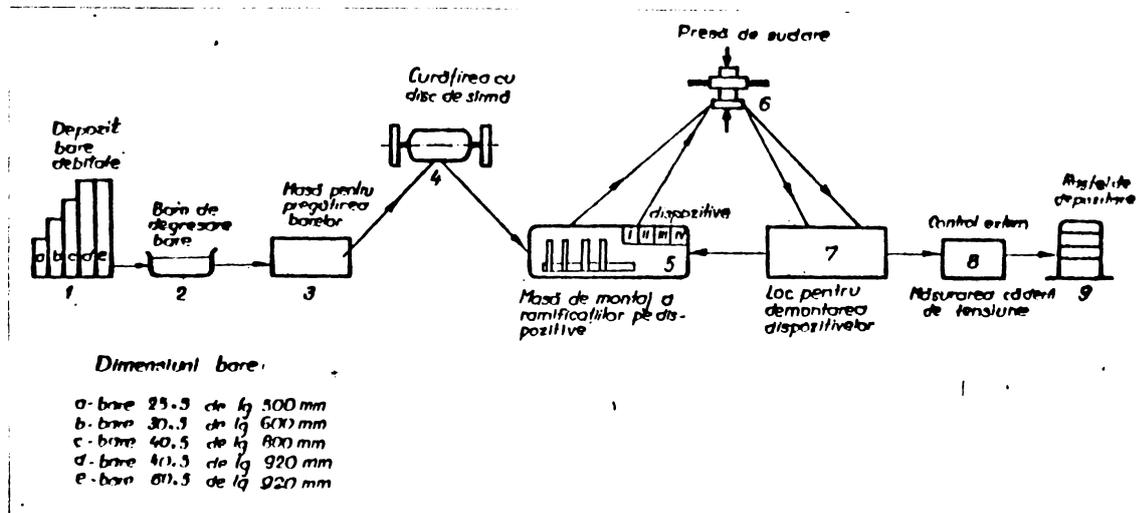


Fig.128. Flux tehnologic pentru executarea subansamblurilor PTE.

Ordinea operațiunilor care se succed în procesul de producție:

- Op. 1 - debitarea barelor la lungimile indicate pe desene;
- 2 - așezarea barelor debitate după lungimi în depozit 1;
- 3 - degresarea barelor cu ajutorul unui dizolvant, în ouva 2;
- 4 - așezarea barelor pe masa de pregătire 3;
- 5 - curățirea prin periere cu disc de sîmă la polizorul 4, (sînt periate numai o față a capetelor conexiunilor și acele porțiuni ale barei de 920 mm lungime, unde urmează să se aplice conexiunile);
- 6 - așezarea pe masa de montaj 5, a elementelor periate;
- 7 - poziționarea conexiunilor pe masa 5, cu ajutorul dispozitivelor I, II, III și IV și a distanțierelor notate cu $A_{1...7}$, $B_{1...6}$ și $C_{1...6}$;
- 8 - așezarea ansamblului poziționat pe masa preseii 6;

Op. 9 acționarea preseii pentru sudare cu o forță convenabilă (tab.21) și menținerea ei timp de 6 s.

10 - deschiderea preseii,

11 - ridicarea ansamblului sudat de pe masa preseii și așezarea pe masa 7, pentru eliberarea îmbinărilor din dispozitive,

12 - control vizual și măsurarea căderii de tensiune pe masa 8, a fiecărui ansamblu realizat. Marcarea de control și prin sondaj, control distructiv (încercări la întindere și examen macroscopic).

13 - depozitarea subansamblelor recepționate pe rastelul 9.

Concluzii - Din cercetările efectuate și rezultatele obținute se poate trage concluzia că aplicarea sudării prin presare la rece la fabricarea subansamblelor menționate, asigură realizarea unor economii de material (șurub, piuliță și rondelă elastice) și manoperă. Totodată se obțin legături de calitate mai superioară, mai durabile și nu necesită întreținere (control periodic) ca cele realizate prin bulonare.

8.5.2. Controlul calității îmbinărilor sudate în procesul de fabricație pentru fiecare tip de îmbinare.

În vederea omologării tehnologiei de sudare și controlul periodic al acestuia în procesul de fabricație, pentru a asigura o mai bună calitate a îmbinărilor, o siguranță deosebită deosebită în exploatarea subansamblelor sudate, se recomandă ca controlul calității să se facă atât distructiv cât și nedistructiv. Defectele apar în suduri dacă nu sînt respectați parametrii procesului de sudare. De exemplu dacă suprafețele reale de contact sînt murdare sau sînt cu amprente digitale, sau dacă gradul de deformare nu este suficient de mare, apar suduri parțiale, a căror rezistență mecanică se micșorează, iar rezistența electrică

crește considerabil.

În general se poate afirma, că dacă suprafețele de contact reale ale îmbinării au fost curățate corespunzător, iar gradul de deformare realizat a fost cuprins între 75 și 80%, punctul sudat este de calitate bună.

8.5.2.1. Controlul distructiv constă în încercarea la întindere a îmbinărilor sudate, într-o examinare macroscopică, care permite și verificarea gradului de deformație (δ).

Măsurătorile de duritate numai în cercetare pot oferi informații în ceea ce privește situația creată ca urmare a procesului de deformare. Ele permit să se exploateze zonele cu modificări structurale. Pentru controlul procesului tehnologic însă, este greoaie și nu este concludentă.

Încercarea la întindere, este o verificare concludentă a îmbinării sudate. În acest caz se pot întâmpla două lucruri:

- dacă rezistența punctelor este mai mare decât a materialului de bază, ruperea se va produce în afara îmbinării (fig. 101).

- dacă rezistența punctelor sudate este mai mică decât rezistența materialului de bază, ruperea va trebui să se producă prin smulgerea punctelor sudate, așa cum se vede în figura 129 și nu prin forfecarea lor.

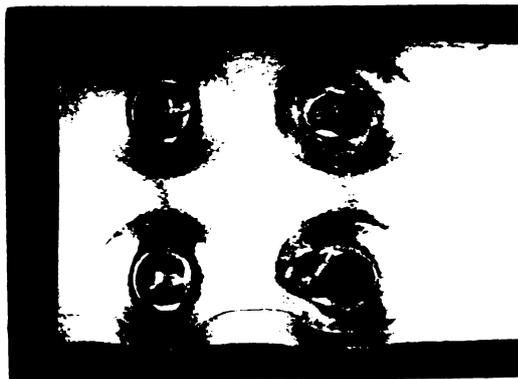


Fig.129. Imbinare ruptă prin smulgerea punctelor sudate a unei imbinări a două bare suprapuse de 6 mm grosime.

În caz că se încearcă o ramificație sudată, este necesară folosirea unui dispozitiv de prindere asemănător cu cel arătat în fig.103.

Pentru examenul macroscopic s-au secționat diametral mai multe puncte sudate. Se observă întinderea punctelor sudate și liniile de curgere a materialului deformat.

Totodată se poate verifica și gradul de deformare (δ) prin măsurarea grosimii punctului sudat (h), care trebuie să fie de cea 20-25% din grosimea barelor suprapuse (fig.41).

În figurile 130 și 131 sînt arătate macrostructurile îmbinărilor realizate.

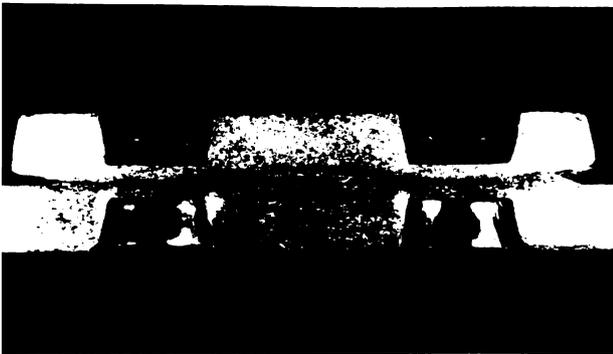


Fig.130. Macrostructura îmbinării a două bare de aluminiu de $5 \times 10 \text{ mm}^2$, sudate prin patru puncte.



Fig.131. Macrostructura îmbinării a două bare de aluminiu de $5 \times 10 + 3 \times 25 \text{ mm}^2$, sudate prin puncte.

După cum rezultă din macrostructurile prezentate, sudura punctului se extinde pe o suprafață mai mare decât aceea a suprafeței active a poansonului folosit la sudarea punctului respectiv.

Încercările distructive se pot executa și pe probe martor.

Pentru mărirea productivității prin simplificarea construcției dispozitivului de sudare și o mai ușoară deservire a acestuia, s-au făcut încercări de a suda numai dintr-o singură parte bare

bare, suprapuse la 5 mm grosime. In figura 132 se arată în secțiune un punct sudat.

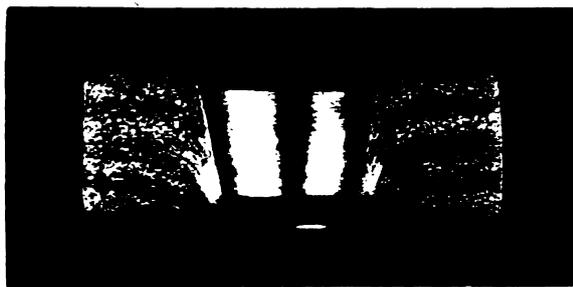


Fig.132. Macrostructura unui punct sudat a două bare suprapuse de 5 mm grosime.

Se observă foarte bine extinderea punctului sudat, care depășește suprafața activă a poansonului folosit la sudare.

8.5.2.2. Controlul nedistructiv. Verificarea prin măsurarea căderii de tensiune.

Una din metodele de control nedistructiv al calității îmbinărilor sudate constă, în a măsura căderea de tensiune electrică între barele sudate în dreptul îmbinării. Schema electrică de principiu se prezintă în fig.133.

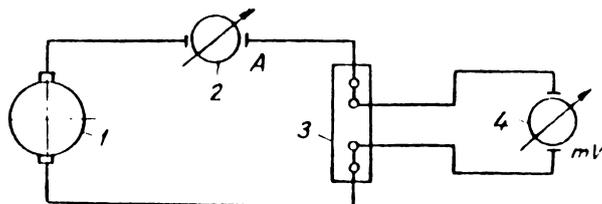


Fig.133. Schema de măsurare a căderilor de tensiune la îmbinările sudate prin puncte: 1 - generator de c.c. tip CS.3; $I_n=315A$; 2 - ampermetru cu șunt de 300 A; 3 - îmbinarea de încercat; 4 - milivoltmetru 10 mA - 100 /mV.

Cercetările efectuate au arătat că între căderea de tensiune și forța de rupere la forfecare a îmbinării există o corespondență.

Măsurătorile au fost efectuate în două situații: folosind îmbinări corect executate și îmbinări necorespunzător executate, nedreptă cu defecte provocate artificial. După măsurarea căderii de tensiune a probelor cu și fără defecte, acestea au fost rupte prin întindere. S-a constatat o legătură strânsă între căderea de tensiune și forța de rupere a îmbinării. Cu cât forța de rupere este mai mică

oă, adică cu oît secțiunea punctelor sudate este mai mică, cu a-
tît căderea de tensiune este mai mare.

Pentru a obține defectele voite, suprafețele în dreptul
punctelor sudate s-au acoperit înainte de sudare cu un strat sub-
țire de ulei. Stratul de ulei interpus a împiedecat realizarea u-
nei suduri bune.

Dintre îmbinările executate, sînt prezentate: una reali-
zată cu trei puncte sudate, fig.125 și alta cu patru puncte fig.126.

Căderile de tensiune a îmbinării cu trei puncte s-au de-
terminat, folosind schema din fig.134.

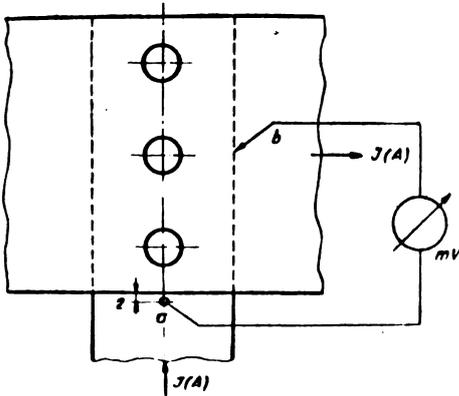


Fig.134. Schema de măsurare a căderii de tensiune ΔU : a - punct fix, b - braț mobil de măsurare.

Pentru identificarea căderilor de tensiune cu diferitele
zone ale îmbinării s-a trasat un sistem de referințe așa cum se ve-
de în figurile 135 și 140. În dreptul punctelor de intersecție s-au
trecut căderile de tensiune respective ΔU , măsurate în mV. Curen-
tul de măsurare a fost pentru toate cazurile $I_1 = 150 \text{ A, c.c.}$

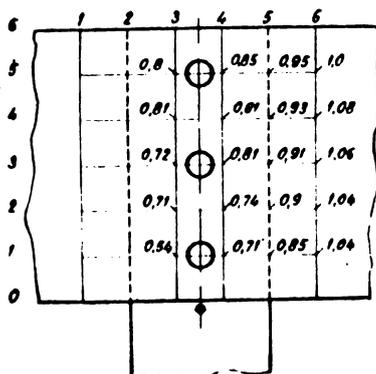


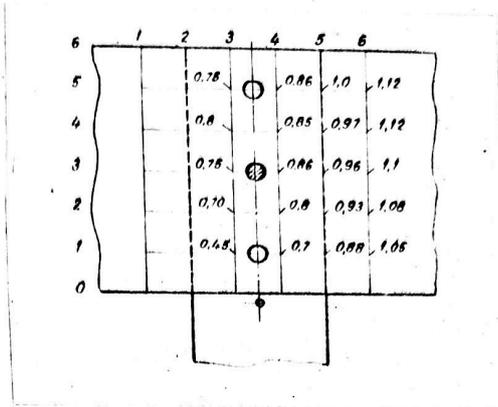
Fig.135. Repartiția căderilor de tensiune ΔU , pe îmbinare sudată fără defecte.

În cazul unei îmbinări corect executate, căderile de ten-

siune măsurate sînt trecute în fig.135.

În cazul unei îmbinări cu un punct defect (sudura de la mijloc sau unul din extremități), căderile de tensiune sînt trecute în fig.136.

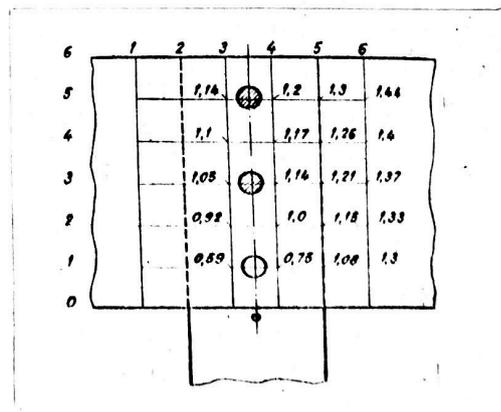
Fig.136. Repartiția căderilor de tensiune ΔU , pe o îmbinare sudată cu un punct defect.



Nu se observă modificări esențiale ale căderilor de tensiune, nici poziția punctului defect nu reflectă modificări esențiale.

Fig.137 arată cazul aceluiași tip de îmbinare, care prezintă două puncte sudate cu defect și anume punctele superior și median. De data această se constată modificări ale lui ΔU .

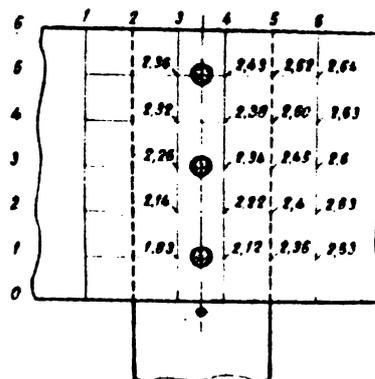
Fig.137. Repartiția căderilor de tensiune ΔU , pe o îmbinare sudată cu două suduri defecte.



Situația este și mai evidentă în cazul în care toate cele trei puncte sînt necorespunzător executate (fig.139), cînd căderile de tensiune prezintă diferențe foarte mari față de situația inițială, suduri corect realizate.

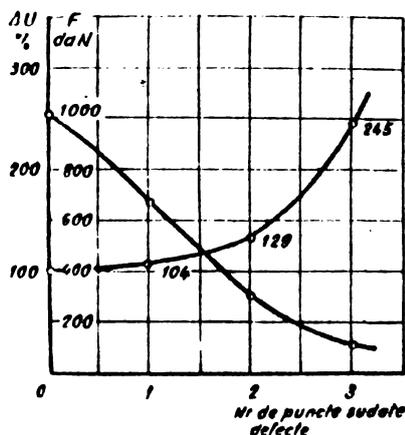
În tabela 139 se prezintă sinoptic variația procentuală a căderilor de tensiune, în mV. și forța de rupere a îmbinării

Fig.138. Repartiția căderilor de tensiune ΔU , pe o îmbinare cu trei puncte sudate defect.



F (daN) în funcție de numărul de puncte sudate cu defect.

Fig.139.

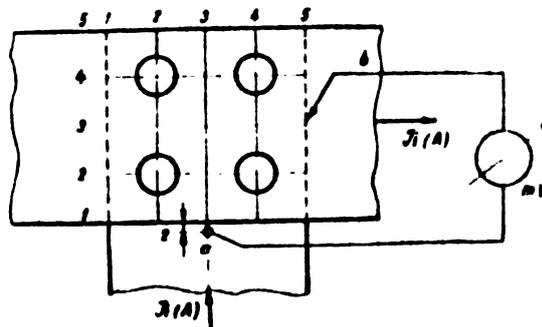


ΔU mV	Variația ΔU , %	Nr. puncte defecte	Fr daN
1,06	100	—	1070
1,10	104	1	680
1,37	129	2	310
2,6	145	3	120

În urma măsurătorilor efectuate și examinării figurii, îmbinarea se consideră necorespunzător sudată dacă la un curent de 150 A între punctul fix a și punctele 3,6 fig.136 căderea de tensiune $\Delta U \geq 1.10$ mV.

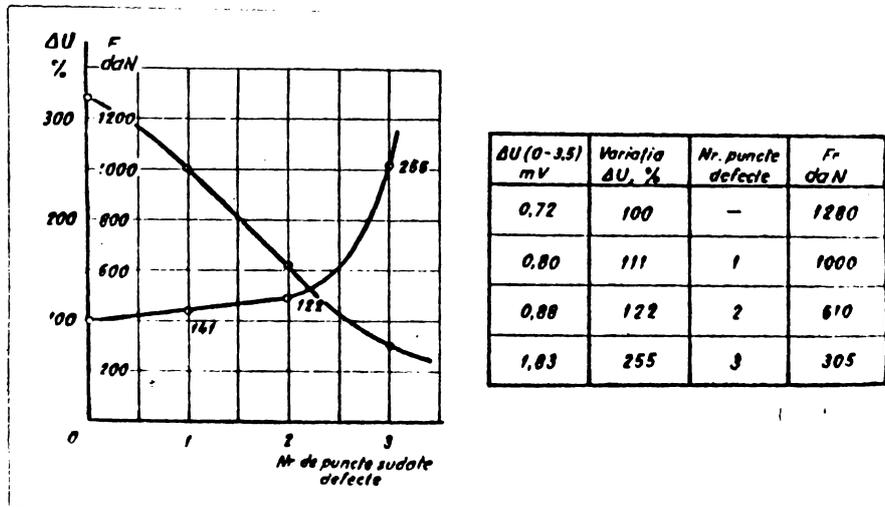
Căderile de tensiune a îmbinării realizată cu patru puncte sudate (fig.126). Schema de măsurare este prezentată în fig.140

Fig.140. Schema de măsurare a căderii de tensiune ΔU :
a - punct fix,
b - braț mobil de măsurare.



Metoda de măsurare a căderilor de tensiune fiind identică cu cea folosită la îmbinările realizate cu trei puncte de sudură, se prezintă numai tabela și și graficul de variație a căderii de tensiune (ΔU), respectiv a forței de rupere (F) în funcție de numărul de puncte defecte (fig.141).

Fig.141.



După cum rezultă din analiza figurii 141, îmbinarea executată în patru puncte, se va putea considera bine realizată dacă, între punctele indicate în figură (a, și 3,5), la un curent de 150 A căderea de tensiune $\Delta U \leq 0,75$ mV.

Principalul avantaj al metodelor de control nedistructiv constă în posibilitatea depistării și remedierii latimp a defectelor din îmbinările sudate.

Pentru verificarea în procesul de producție a parametrilor, respectiv a calității îmbinărilor sudate la rece, se recomandă executarea următoarelor încercări:

- încercări de tip,
- incercări de serie și
- verificare pentru fiecare îmbinare.

Incercările de tip, se aplică pentru verificarea parametrilor tehnologici, în vederea omologării tehnologiei și la orice modificare a acesteia și periodic la cea 500 buc. îmbinări sudate. Aceste încercări constau în următoarele:

- verificarea gradului de deformație (δ) prin măsurarea forței de presare și a grosimii (h) punctului sudat prin secționarea acestuia (se face pe probe martor),

- încercarea la întindere prin măsurarea forței de rupere a îmbinării,

- măsurarea căderii de tensiune între punctele stabilite pentru fiecare tip de îmbinare realizat.

Încercările prin sondaaj în producția de serie sînt următoarele: - verificarea gradului de deformare (δ) prin măsurarea grosimii (h) a punctului sudat (se face pe probă martor). Această determinare se va face prin sondaaj la cea loc îmbinări realizate.

Verificarea pentru fiecare îmbinare se aplică pentru a urmări aspectul exterior al asamblării precum și pentru măsurarea căderii de tensiune între punctele sudate.

Se menționează că la producție în serie forța optimă de presare, care să asigure gradul de deformație dorit se programează cu ajutorul releului de presiune (vezi schema instalației de sudare, fig. 93).

Se recomandă ca fiecare îmbinare verificată, fie admisă, fie respinsă, să fie marcată prin imprimarea unui poanson personal pe îmbinarea executată, asigurînd astfel răspunderea muncitorului pentru sudura executată. Această măsură va crea condiții corespunzătoare de lucru, influențînd calitatea îmbinărilor.

9. CONCLUZII GENERALE SI CONTRIBUTII ORIGINALE

9.1. In urma studiilor și cercetărilor experimentale efectuate și a rezultatelor obținute se pot trage următoarele concluzii generale:

- Sudarea prin presiune la rece este un procedeu nou, simplu și economic, îmbinând avantajul unui utilaj ușor de construit și deservit cu un consum relativ mic de energie;

- Consumul de energie pentru sudare se rezumă la lucrul mecanic necesar producerii deformației, egal cu produsul forței de presare (de câteva tone) și deplasarea, care este de ordinul milimetrilor;

- Procedoul nu necesită material de adăos și nici flux de sudare. Datorită durității scăzute a aluminiului, uzura dispozitivelor de sudare este redusă. Reușita unei suduri nu depinde de gradul de calificare al sudorului;

- Acest procedeu se poate aplica pe scară industrială la îmbinarea în capete a conductoarelor de aluminiu și de cupru în industria electrotehnică, la îmbinarea prin puncte a barelor colectoare, a conexiunilor acestor bare și a altor subansamble din instalațiile energetice, la armarea bornelor de contact din aluminiu cu plăci de cupru, la sudarea foliilor de aluminiu și de cupru, la confecționarea înfășurătoarelor unor transformatoare, la fabricarea condensatoarelor electrice, ș.a.

- După cum rezultă din încercările experimentale efectuate, aplicarea sudării prin presare la rece, la fabricarea unor subansamble asigură realizarea unor economii de material, ca șuruburi cu piulițe, rondela elastice și manoperă. Totodată se obțin îmbinări mai durabile și de calitate superioară, care nu necesită întreținerea și cele executate prin bulonare.

9.2. Contribuții originale.

Printre problemele nefințate pînă în prezent de autor în literatura de specialitate și care constituie aspectele originale ale lucrării, se pot preciza următoarele:

a - Studii în legătură cu determinarea unui proces tehnologic de sudare la rece cap la cap folosind deformări repetate. Datorită deformărilor repetate, eforturile de presare s-au putut micșora, s-a eliminat pregătirea suprafețelor frontale de contact din procesul tehnologic, iar calitatea îmbinărilor s-a îmbunătățit.

b - Cercetări privind sudarea la rece a două metale diferite, cupru cu aluminiu. Cercetările au scos în evidență faptul că deformarea plastică favorizează fenomenele de difuziune a atomilor celor două metale, creîndu-se astfel condițiile formării unor soluții solide în zona de îmbinare, fapt ce duce la realizarea unei îmbinări corespunzătoare.

c - studii experimentale privind determinarea geometriei optime a poansoanelor folosite în construcția dispozitivelor de sudare. Cercetările au cuprins poansoane de formă circulară, inelară, eliptică și dreptunghiulară. S-a constatat o comportare mai bună a poansoanelor de formă circulară și eliptică datorită faptului că la sudare materialul se refulează mai uniform de-a lungul perimetrului punctului sudat.

d - Cercetări privind comportarea îmbinărilor sudate prin mai multe puncte de forme și dimensiuni diferite. S-a constatat că rezistența unui grup de mai multe puncte este mai mică decît rezistența însumării punctelor separate, fapt care se datorește repartiției neuniforme a sarcinei. În lucrare s-a determinat coeficientul de distribuție pentru o îmbinare sudată în trei puncte colineare. Se observă că punctele de la mar-

gine sînt mai solicitate decît cel din mijloc;

e - Cercetarea liniilor de curgere a materialului pentru poansoane de formă circulară, eliptică și inelară cu aceeași suprafață de antenare. În acest studiu s-au precizat variațiile de microduritate în zonele deformate plastic și s-au făcut cercetări macro și microstructurale. Cele mai bune rezultate s-au obținut cu poansoane de formă inelară;

f - Cercetări privind sudarea prin puncte a conductoarelor de aluminiu suprapuse și în prealabil răsucite. Încercările efectuate au demonstrat o comportare net superioară a acestor îmbinări în condițiile de scurt circuit.

g - Concepția și realizarea unor utilaje și instalații cu caracter industrial, cu ajutorul cărora se pot realiza îmbinările sudate prezentate în această lucrare. Astfel s-a conceput și realizat:

Dispozitiv de sudat cap la cap a conductoarelor de aluminiu pînă la 10 mm^2 secțiune LB-1;

Dispozitiv de sudat cap la cap a conductoarelor de aluminiu pînă la 6 mm^2 secțiune LB-2. pentru instalațiile electrice interioare;

Presă de sudat hidraulică, cu acționare manuală cu forța de presare 30 kN;

Dispozitive pentru sudarea combinațiilor de elemente de îmbinare ca sîrme, bare, plăci, folii ș.a;

Instalația experimentală de sudat folii de aluminiu și diferiet conexiuni ale înfășurărilor unor transformatoare electrice;

h - Studiul și organizarea unui flux tehnologic pentru realizarea unor subansamble de celule PTE cerută de Întreprinderea de celule prefabricate de la Băilești.

Se menționează că întregul flux se poate realiza cu mij-

loace proprii, fără import.

1 - Cercetările de mai sus s-au concretizat prin două Brevete de invenție:

nr.45627 și 46268 cu titlul: "Procedeu și utilaj pentru îmbinarea conductoarelor de aluminiu la ramificațiile instalațiilor electrice interioare".

9.3. Valorificarea în producție a rezultatelor cercetărilor.

Cercetările privind sudarea la rece au fost aplicate în producție în baza unor contracte ale catedrei UTS cu beneficiarii: ICPE București și UEPC Craiova.

Pe baza primului contract încheiat cu Institutul de cercetări și proiectări Electrotehnica, s-a realizat primul transformator de forță de 250 kVA, având bobinaje de o concepție nouă. Înfășurarea secundară este concepută din folii de aluminiu, care prezintă avantajul unor pierderi mai mici față de soluția clasică cu conductori normali. Transformatorul prototip a trecut a trecut toate probele și fiind omologat, a fost expus la Tîrgul Internațional din București, oct.1970. Se observă că întreprinderea nouă de transformatoare din Filași urmează a asimila fabricația în serie a acestor transformatoare în cadrul cincinalului 1976-1980. În baza contractului cu UTS s-au realizat dispozitivele necesare de sudare, s-a conceput și construit prima instalație experimentală de sudare cu ajutorul căreia s-a și executat îmbinările sudate de la transformatorul prototip.

În baza celuiilalt contract cu UEPC Craiova, s-au realizat o serie de îmbinări prezentate în detaliu în cap.8 pentru subansamblele celulei de înaltă tensiune care se execută la întreprinderea de celule prefabricate din Băilești, dependentă de UEP Craiova. Pe baza contractului s-a conceput atît

dispozitivele de sudare cît și fluxul tehnologic pentru realizarea în serie a îmbinărilor propuse.

Se menționează că îmbinările realizate după studiul propus reprezintă economii importante de material și manoperă și tot odată asigură calitatea necesară acestor îmbinări, care elimină toate dezavantajele tehnologice ale procedurii folosite în prezent.

Timișoara, iulie 1977.

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

1. Ainbinder, S.B.: Holodnaia svarka metallo, Riga Izd.A.N. Latv. USSR, 1957.
2. D'Angelo, R.: Einige Verfahrensvarianten des Kaltpressschweißens, Zis - Mitt. 12 (1970).
3. Balakin, V.I., Hrenov, K.K.: Rolii Vakuuma pri holodnoi svarka, Avtomaticescaia svarka, 9,1965.
4. Baranov, I.B.: Holodnaia svarka plasticinfi metallo. Maşinostroenie, Leningrad, 1969.
6. Both, D.: Sudarea la rece a aluminiului şi cuprului. Metalurgia şi construcţia de maşini, nr.5, 1958.
5. Blume, Fr. şi colectiv: Kaltpress-Überlappschweißen von Stromschienen. Schweisstechnik 25 (1975) 10.
7. Both, D., Florea, L.: Contribuţii la sudarea la rece a conductoarelor de aluminiu şi de cupru la instalaţiile electrice interioare. Lucrările consfăţuirii de sudură şi încercări de metale, Timişoara 1962, caietul 1/3.
8. Both, D., Florea, L.: Contribuţii la sudarea prin puncte la rece a tablelor de aluminiu. Bul. ştiinţific al IPT Tom. 9, fasc.1, 1964.
9. Both, D., Florea, L.: Contributions au soudage a froid par points des barres d'aluminium. Doc. IIS - IIW, Paris, 1965.
10. Both, D., Florea, L.: Unele rezultate obţinute în domeniul sudării la rece. Broşura consfăţuirii de sudură şi încercări de metale. Timişoara, 1965.
11. Both, D., Florea L.: Actualitatea sudării la rece. Metalurgia şi construcţia de maşini, nr.6, 1967.
12. Both, D., Florea, L.: Contribution au soudage a froid par deformation plastique des feuilles minces d'aluminium Doc. IIS - IIW. Varşovia 1968.
13. Both, D., Moga, S.: Recherches concernant les deformations plastiques qui ont lieu dans le processus de soudage a froid par points. Doc. IIS - IIW. Kyoto Japonia 1969.
14. Both, D., Florea, L.: Contribuţii privind deformarea plastică a metalelor la sudarea la rece prin puncte. Simpozionul "Sudarea tablelor subţiri" Braşov, 1969.
15. Both, D., Florea, L.; Popinceanu, Gh.; Instalation semiindustrielle de soudage par points des feuilles d'aluminium. Essai électrique. Doc. IIS-IIW- Lausanne, 1970.

16. Both, D., Florea, L.: Contribuții privind sudarea la rece prin deformare plastică. Broșură editată de IPT, cu ocazia sesiunii anuale a specialiștilor CAER la Timișoara 1970.
17. Both, D., Florea, L.: Untersuchung des Kaltpressschweißens mit ringförmigen Stempeln. Schweißtechnik 22(1972) Heft 8. Berlin.
18. Both, D., Florea, L., Moga, S.: Lucrările prezentate privind rezultatele cercetărilor la Tema CAER IV.11.2 Holodnaja svarka davleniem la ședințele anuale ale specialiștilor, după cum urmează: Leningrad, 1965; Bratislava, 1966; Gliwice RPP, 1967; Kiev, 1968; Varna, 1969; Timișoara, 1970 și Dresda 1971.
19. Bowden, F.P., Tabor, D.: Symposium on Properties of Metallic Surface. Institut of Metals, 1952.
20. Erdmann - Jesnitzor, G.: Werkstoff und Schweißung, I, II, III. Akademie Verlag, Berlin, 1951.
21. Frenkel, I. I.: Introducere în teoria metalelor. E.T. București, 1953.
22. Geru, N.: Proprietățile metalelor și metode fizice de control. EDP. București, 1967.
23. Gubkin, S.N.: Teoria obrabotki metallov davleniem, Metallurgizdat, 1947.
24. Hofmann, W., Ruge, I.: Versuche über die Kaltpressschweißung von Metallen, Zeitschrift für Metallkunde, Band 43, Heft 5, 1952.
25. Hoscovec, J., Vaclav, P.: Sudarea la rece a aluminiului și cuprului cap la cap. Zvaranie, nr.12, 1955.
26. Hrenov, K.K.: Sudarea la rece a conductoarelor de aluminiu și de cupru. Svarocinoe Proizvodstvo, nr.4, 1956.
27. Hrenov, K.K., Gurski, P.J.: Holodnaja svarka provodov, Elektriceskie stanții, nr.7, 1957.
28. Hrenov, K.K.: Noi posibilități ale sudării la rece a metalelor. Comunicările celei de a V-a Conferință de sudură și încercări de metale. Sept.1965. Volum suplimentar Sudură - Timișoara 1966.
29. Hughes, I.E.: The Cold Pressure Welding of Metals. The British Journal of Metals. nr.291. 1.1954.
30. Kabanov, C., Slepek, S.: Tehnologia sudării prin presiune. Mayghiz, 1962.
31. Laško, N.F., Laško-Avakian, S.V.: Metallovedenie svarki, Mayghiz, 1954.
32. Mikloși, C.: Az ötvözetek képződéséről, Budapest, 1919.

33. Mikloşi, C. şi colectiv: Sudarea metalelor. E.T. Bucureşti, 1965.
34. Novotny, S.: Sudarea benzilor de aluminiu prin presiune la rece. Energetika, nr.6, 1959.
35. Parks, J.M.: RekrySTALLISATION welding. The Welding Journal May 1953.
36. Popovici, Vl. şi Ivancenco, Al.: Utilajul sudării electrice, EDP, 1969.
37. Rabkin, D.M., Voropoi, N.M.: Sudarea aluminiului cu cupru. Automaticeskaja svarka nr.9.1965.
38. Rejtö, S.: Belső erők hatása a szilárd anyagok mechanikai tulajdonságaira, Budapest, 1919.
39. Sahaşkii, G.P.: O prinşinalinîk osnovah holodnoi svarki metallov. Automaticeskaja svarka, 7, 1959.
40. Semionov, A.P.: Shvatîvanie metallov. Maşghiz. Moscova, 1959.
41. Sliozberg, S.K., Ginsburg, S.K.: Issledovanie deformaţii metalla pri stîkovoî svarka davleniem. Svarocinoe proizvodstvo, 11.1961.
42. Sowter, A.B.: Materials joined by new cold welding process. The Welding Journal, nr.2, 1949.
43. Stefănescu, A.: Cîteva note asupra procesului de difuziune în îmbinările cupru-aluminiu, sudate la rece, Praga, 1970.
44. Stroiman, I.M.: Issledovanie proşessa stîkovoî holodnoi svarki medi, aluminiia i nekotoryh ego splavov. Avto-referat, Kiev, 1969.
45. Sorşorov, M.H., Karakazov, E.S.: Rasçiotî rejimov svarki davleniem Leningradskii dom nauçinotehnicescoî propa-gandi. Leningrad, 1969.
47. Tylecote, R.F.: The Solid Phase Welding of Metals. Edward Arnold (Publishers) Ltd. London.
48. Varga, I.: Kisérletek a fémek erőhatással történő egyesítésére. Fémipari kutatóintézet közleménye. Budapest, 1959.
48. Truşculescu, M., Both, D.: Formarea îmbinării la sudarea prin presiune la rece a metalelor neferoase. Buletinul şt. şi tehnic al Institutului politehnic Timişoara, Seria mecanică, Tom 15(30).
49. Witanski, S.: Tehnologia wykonania polaczen zaprasowanych. Widamosci Elektrotechniczna nr.10, 1965.
50. Wodara, I.: Ein Betrag zur Kaltpressschweissung der Metalle. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke, Heft 2/3, 1965.

A N E X E

- nr. 1. Buletin de analize nr.2083 și 2084 din 13.09.1962 și 2191 din 14.09.1962, privind încercările la tracțiune respectiv proba de încălzire a conductoarelor de aluminiu sudate la rece, eliberat de Laboratorul central URPC Craiova (3 file).
2. Brevete de invenție nr.46267/1966 și nr.46267/1966 cu titlul: Procedeu și utilaj pentru îmbinarea conductoarelor de aluminiu și cupru la instalațiile electrice interioare (2 file).
3. Rezultatele încercărilor la „încălzire” și la „scurt circuit” a foliilor de aluminiu și de cupru sudate prin puncte la rece, efectuate la ICPE București, la 14.12.1970 (10 file).
4. Buletin de încercare nr.1433 din 1.10.1974 privind verificarea încălzirii în regim permanent a „barelor de aluminiu” sudate prin puncte la rece, eliberat de Institutul de cercetare și proiectare a EP Craiova (3 file).
5. Protocol de încercare nr.1052 din 3.11.1974, privind verificarea stabilității termice și dinamice a barelor sudate prin puncte la rece, eliberat de Laboratorul de mare putere al URPC, Craiova (5 file).
6. Borderou de desene (2 file).
7. Desene de dispozitive (30 file).

C o p i e

E. P. C.
LABORATOR CENTRAL

Nr. 2066
Data 13.09.1962 ora 1.

BULETIN DE ANALIZA

Definirea materialului Bara de aluminiu de $\phi 2,2$ mm sudate la rece

Proveniența Fabrica de transformatoare

Felul probei Inercarea la tractiune

Nr ort.	Proprietăți	Impuse	Determinate			Observațiile laboratorului asupra calita- ții.
			1	2	Mediu	
1	Epr. Nr. 1-or = kgf/mm^2 =	7,9	Rupt	in	afara	sud.
2	Epr. Nr. 2-or = " =	7,9				
3	Epr. Nr. 3-or = " =	7,9				
4	Epr. Nr. 4-or = " =	7,9				
5	Epr. Nr. 5-or = " =	7,9				
6	Epr. Nr. 6-or = " =	7,9				
7	Epr. Nr. 7-or = " =	7,9				
8	Epr. Nr. 8-or = " =	7,9				
9	Epr. Nr. 9-or = " =	7,9				
10	Epr. Nr. 10-or = " =	7,9				
11						
12						

Seful laboratorului
se indoscificabil

Cerut analiza,

Executat analiza.
se indoscificabil

Pentru conformitate:

ing. Circidj

C o p i eE. P. C.
LABORATOR CENTRALNr. 2084
Data 13.09.1962 ora 13

BULETIN DE ANALIZA

Definirea materialului Bare de aluminiu de ϕ 2,2 mm sudate la receProveniența Fabrica de transformatoareFelul probei Încercarea la răsucire

STAS nr.1750-50

Nr. ord.	Proprietăți.	Impuse.	Determinate			Observațiile laboratorului asupra calit.
			1	2	Mediu	
<u>Epruvete sudate.</u>						
1.	Epr.Nr.1-Nr.de răsuciri = 20		Rupt în afara sudurii.			Lungimea utilă
2.	" Nr.2 " = 35		Rupt în afara sudurii și în bao.			100 mm Efortul pentru
3.	" Nr.3 " = 35		Rupt în afara sudurii.			întinderea e- pruvetei s-a
4.	" Nr.4 " = 60		"			luat de 2%
5.	" Nr.5 " = 50		"			din sarcina la răpere.
<u>Epruvete nesudate</u>						
6.	Epr.Nr.1-Nr.de răsuciri = 50		Rupt în bao.			Încercările s-au executat
7.	Epr.Nr.2- " = 70		"			cu mașina tip K-2
8.	Epr.Nr.3- " = 60		"			

Șeful laboratorului,
ss indescifrabil

Căruț analiza,

Executat analiza,
ss indescifrabil

Pentru conformitate,

ing. Ciocîlî

ELECTROPUTERE CRAIOVA
LABORATOR CENTRAL

C O P I E

14 septembrie 1962

PROTOCOL DE INCERCARE Nr.2491

Denumirea probei Conductori Al \emptyset 2,2 mm lipite cap la cap prin presare.

Proba efectuată Limită termică.

Proba s-a executat pentru 2 tipuri de conductoare având aceleași dimensiuni.

I. Conductor continuu (fără lipitură)

II. Conductor lipit cap la cap prin presare.

S-a trecut un curent de 190 A timp de 7'' prin ambele tipuri de conductoare, încălzirea conductoarelor în ambele cazuri a fost de 200°C.

Temperatura s-a măsurat cu termocuplu și cu milivoltmetru cu spot luminos.

Nu se observă nici-o schimbare a conductorilor lipiți ceea ce arată că lipitura asigură un contact bun a conductorilor lipiți.

APROBAT

SEF LABORATOR CENTRAL

ss/ Ing. Mathe B.

VERIFICAT

SEF LAB. ELECTRIC

ss/Ing. Cîrstea D.

INTOCMIT

ss/Duduța Teodor

Pentru conformitate

ing. Cîrstea D.



DIRECȚIA GENERALĂ PENTRU METROLOGIE, STANDARDE ȘI MĂSURI
OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII

BREVET DE INVENȚIE

NR. 46268/1966



ICPE

VLADIMIRESCU Nr. 45-47.
BRESTI SECTOR 6.

M. I. C. M.
telex 486

INSTITUTUL DE CERCETARE SI PROIECTARE
PENTRU INDUSTRIA ELECTROTEHNICA

TELEFON: 31.41.00. - CONT VIRAMENT: 400.15.22. 81-SI-PA

электротехнический исследовательский экспериментальный институт	Electrical Engineering and Research Institute	Forschungs-und Projektie- rungsinstitut für die Elektroindustrie	Institut de Recherches et Projets pour l'Industrie Electrotechnique
---	---	--	---

S

Problema - 35770
Contract - 16-33-3
Comandă -

T e m a

Noi tipuri de transformatoare de construcții și
destinații speciale (uscate, cu clasă de izolație
termică ridicată, rășini de turnare, cu folii de
aluminu).

- 1.- Transformatoare cu folii de aluminu
- 2.- Transformatoare în rășini de turnare

Faza 1. Prototip
2. Prototip
1. Trim. IV. 1970
Termen 2. Trim. IV. 1970

Avizul CTS Secție din

Avizul CTS ICPE nr. 68 din 14-XII-1970

DIRECTOR (Dr. Ing. Fl. Pănișescu)
Director Adj. Științific (Ing. Val. Ciofu)
Secretar Științific (Ing. R. Horodan)
Șef secție (Ing. V. Iduba)
Șef laborator (Ing. Vereanu A.)
Responsabil problemă

Vol.

Ex.

Data

REZULTATELE INCERCĂRILOR

FOLIILOR DE ALUMINIU ÎMBINATE PRIN SUDURA PRIN PRESARE
LA RECE FOLOSITE LA TRANSFORMATOARELE CU FOLIE DE
ALUMINIU

Încercările s-au efectuat pe probe constituite din folie îmbinată prin sudură prin presare la rece, aluminiu cupru și aluminiu-aluminiu, cu dimensiuni 0,1 x 70 mm, utilizată la executarea înfășurărilor și conexiunilor la transformatoare cu folie de aluminiu.

Sudura s-a realizat prin amprente ce prezintă mai multe puncte sudate. Încercările au fost executate de Secția Echipamente de joasă tensiune, laboratorul Aparatelor de Comutație.

S-au efectuat 2 feluri de încercări :

a) încercări de încălzire până la stabilizarea încălzirii la 100 A ;

b) încercări de scurtcircuit la cca 700 A și 1300 A timp de cca 1 sec. și cca 1900 A timp de cca 0,5 sec.

a) Încercări de încălzire

În cadrul încercărilor de încălzire, probele au fost supuse unui curent de 100 A și menținute până la stabilizarea încălzirii. S-au măsurat căderile de tensiune inițiale pe porțiunea de îmbinare prin sudură (ΔU_1) și pe o porțiune echivalentă din folie fără sudură (ΔU_2); și la stabilizarea temperaturii ($\Delta U_1'$ și respectiv $\Delta U_2'$), precum și încălzirea în puncte de sudură și pe folie, la o distanță de 3 cm de locul sudurii, la stabilizarea temperaturii, după cum este indicat în schițele cuprinse în tabelul nr.1.

Rezultatele obținute sînt cuprinse în tabelul nr.1.

b) Încercări la scurtcircuit.

Probele au fost cupuse succesiv la curenții de scurtcircuit eficace de cca.700 A și 1300 A cu durata de cca.1 sec. și la cca.1900 A cu durata de cca.0,5 sec., care echivalează cu încercările la curenți de cca.300 A și 450 A cu durata de cca.4 sec. și la cca.1200 A cu durata de cca.1 sec.

Rezultatele experimentărilor sînt redată în tabelul nr.1.

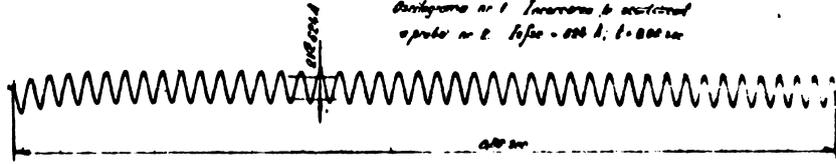
Soluția probei	I (A)	Căderi de tensiune						Încălziri			Temp. amb. θ_a (°C)	Observații
		(mV)	(mV)	(mV)	(mV)	°C	°C	°C				
1 Al-Cu	100	12	12	12,5	12,5	40,04	40,04	32,34	24	Pe porțiunea imbinării celei folii suprapus au fost desic astfel ca secțiunea de trecere a curentului cea zonă să fie formată numai din totalitatea secțiunilor punctelor de contact, analizate prin suflare prin presoare la rece.		
2 Al-Cu	100	15	17	18	40	40	35,5	27				
3 Al-Cu	100	10	15	17	17,71	17,71	20,79	27				
4 Al-Cu	100	6	15	7	24,64	24,64	26,2	26,5				
5 Al-Cu	100	6	15	6	16,94	16,94	18,48	26				
6 Al-Al	100	17	24	26	44,66	44,66	36,96	24				

Proba nr.	Oscil. nr.	Iof. sc. (A)	t. (sec.)	OBSERVAȚII
1	-	624	-	Sudura a rezistat la solicitările termice și dinamice, însă după 4 sec. s-a produs topirea materialului în zona de lângă sudură.
2	1	624	0,86	Proba a rezistat solicitărilor termice și dinamice.
3	2	624	0,86	"
4	3	624	0,86	"
5	4	624	0,86	"
6	5	624	0,86	"
2	6	1236	0,52	Sudura a rezistat la solicitările termice și dinamice, însă s-a produs topirea materialului în zona de lângă cele două amprente sudate.
3	7	1236	0,58	Proba a rezistat solicitărilor termice și dinamice.
4	8	1236	0,58	"
5	9	1236	0,58	"
6	10	1236	0,30	Sudura a rezistat la solicitările termice și dinamice însă s-a produs topirea materialului în zona de lângă amprentele sudate.
3	11	1890	0,28	"
4	-	1890	-	"

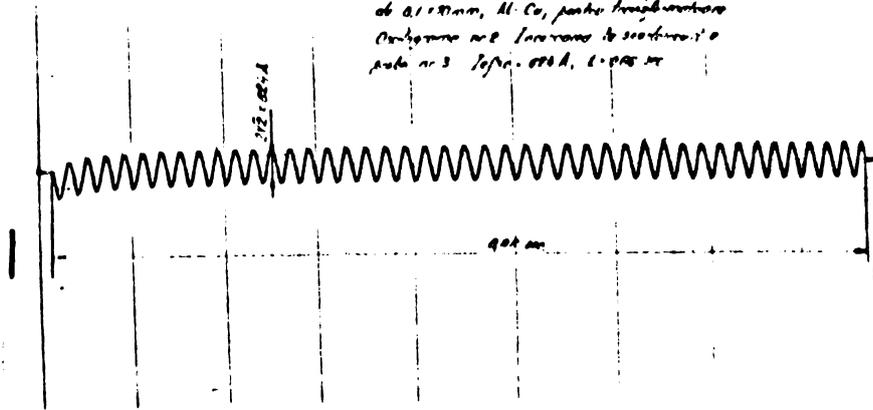
INTOCMIT,

Ing. M. Dumitrescu
M. Dumitrescu

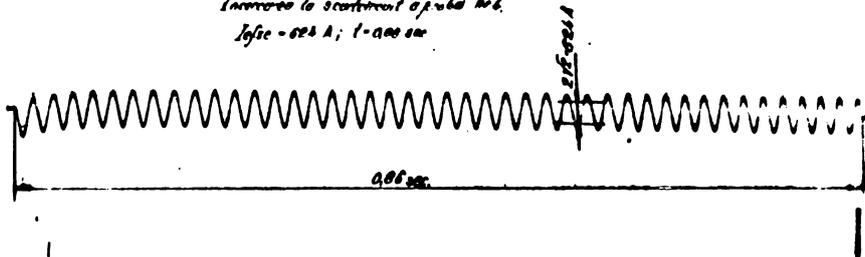
Incarcarea interioară prin scobire la rece a
 foliei de $0,1 \times 0,1 \text{ mm}$, Al-Al, pentru transformatorul
 Dinotomura nr 1. Incarcarea la scobire
 a putii nr 2. I_{folia} = 0,00 A, t = 0,000 sec



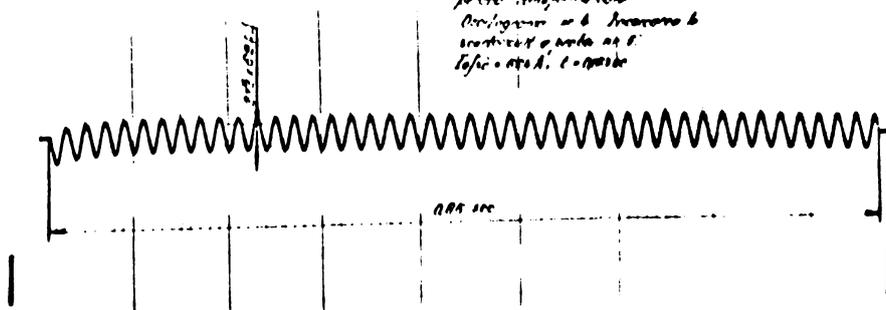
Incarcarea interioară prin scobire la rece a foliei
 de $0,1 \times 0,1 \text{ mm}$, Al-Cu, pentru transformatorul
 Dinotomura nr 2. Incarcarea la scobire a
 putii nr 3. I_{folia} = 0,00 A, t = 0,000 sec

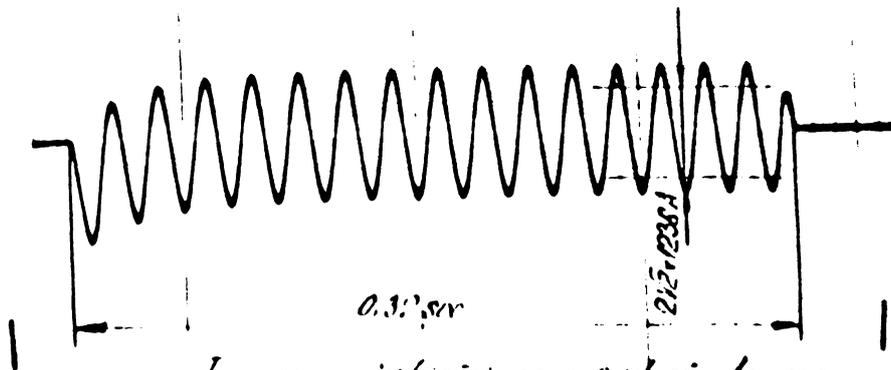
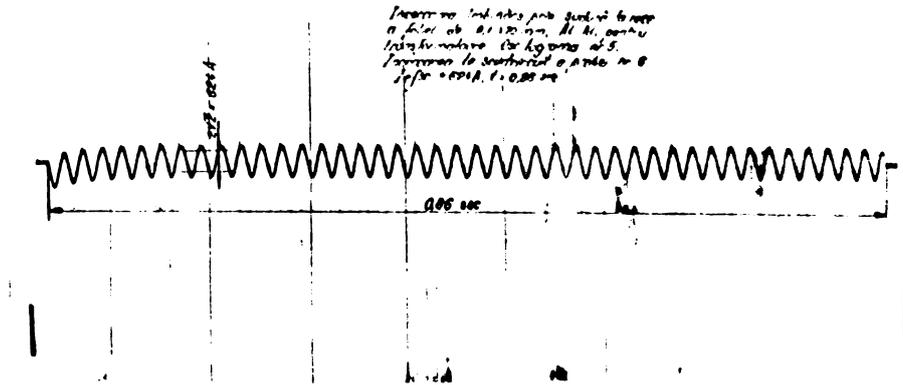


Invenirea mériei prin sudura la r&eac;
 o f&eac;e de $d_1 = 70 \text{ mm}$, Al-Cu, pentru
 transformatoru Coltegrator nr. 3
 Invenirea la sc&eac;ur&eac;ent a p&eac;ii nr. 6.
 Isp&eac;ie - 022 A; l - 000 mm

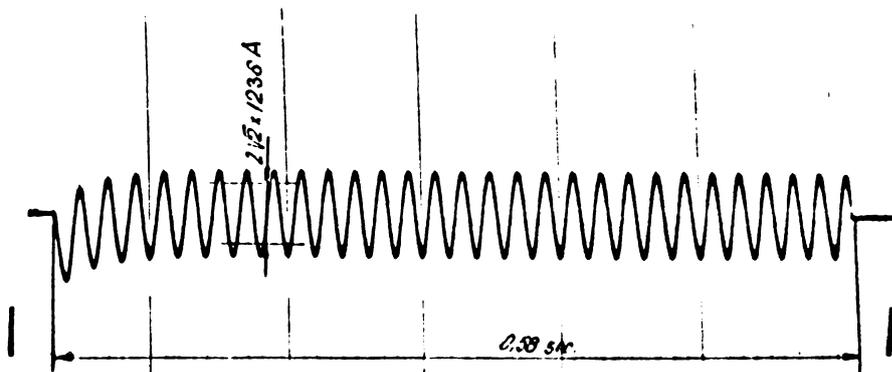


Invenirea mériei prin sudura
 la r&eac;e a f&eac;ei de $d_1 = 70 \text{ mm}$, Al-Cu
 pentru transformatoru
 Coltegrator nr. 6 Invenirea la
 sc&eac;ur&eac;ent a p&eac;ii nr. 6.
 Isp&eac;ie - 022 A; l - 000 mm



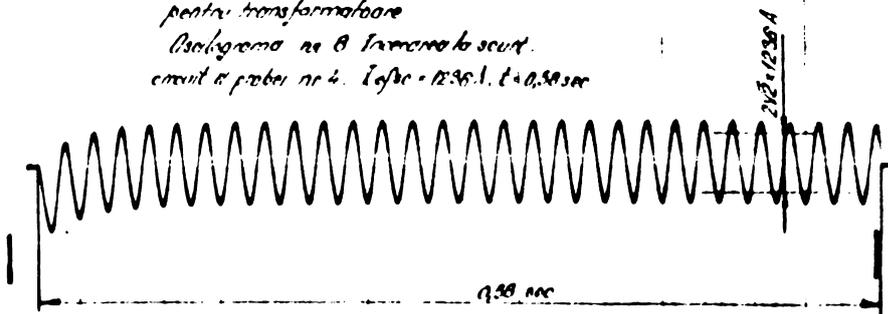


Încercarea în câmp magnetic pentru studii la rece
a foliei de 0.170 mm , Al-Ni, pentru transfor-
marea. Oscilograma nr 6 Încercarea
la scurtcircuit a probei nr 2.
 $I_{efsc} = 1230\text{ A}$, $f = 0.32\text{ sec}$



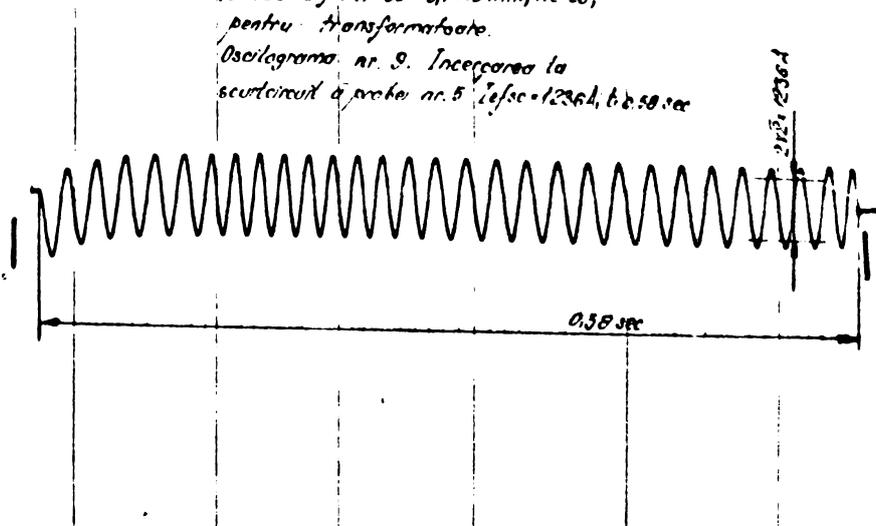
Incarcarea imbinării prin sudură la reze a foliei de $0.1 \times 70 \text{ mm}$
 Al-Cu, pentru transformator. Oscilograma nr 9.
 Incarcarea la scurtcircuit aparat nr 3. $I_{\text{sc}} = 1236 \text{ A}$. $t = 0.50 \text{ sec}$

Incarcarea imbinării prin sudură
 la reze a foliei de $0.1 \times 70 \text{ mm}$, Al-Cu,
 pentru transformator
 Oscilograma nr 8 Incarcarea scurt
 circuit aparat nr 4. $I_{\text{sc}} = 1236 \text{ A}$. $t = 0.50 \text{ sec}$



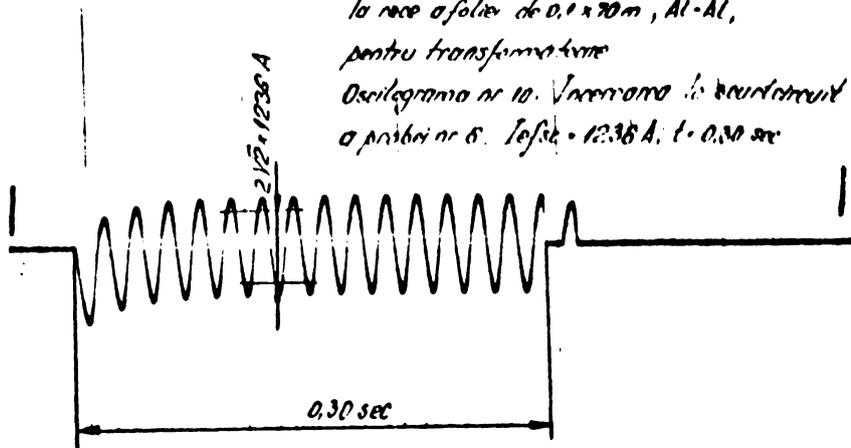
Încercarea îmbinării prin sudură
la rece a foliei de $0,1 \times 70$ mm, Al-Cu,
pentru transformatoare.

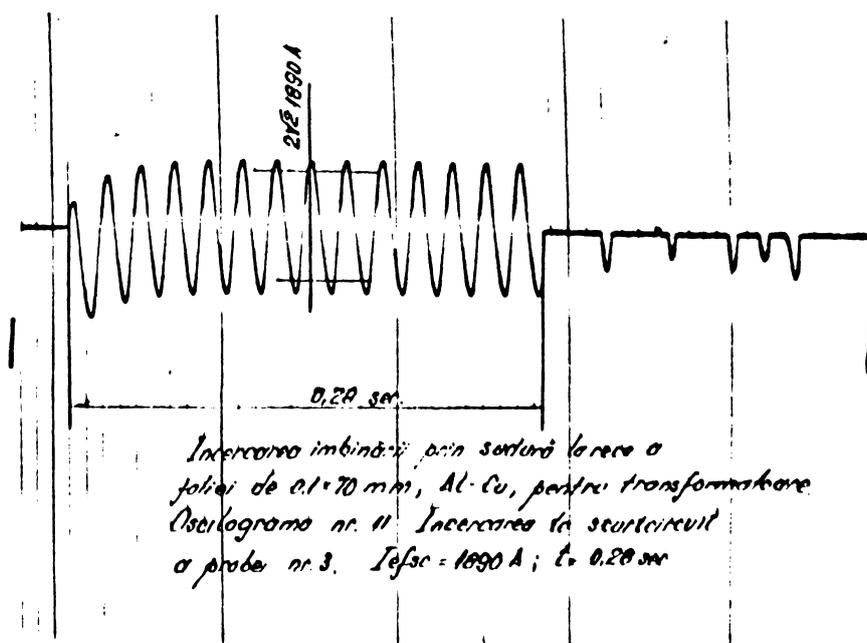
Oscilograma nr. 9. Încercarea la
scut circuit a probei nr. 5. $I_{efsc} = 1236$ A, $t = 0,50$ sec



Încercarea îmbinării prin sudură
la rece a foliei de $0,1 \times 70$ mm, Al-Al,
pentru transformatoare

Oscilograma nr. 10. Încercarea la
scut circuit a probei nr. 6. $I_{efsc} = 1236$ A, $t = 0,30$ sec





Nr. buletin: 1433 / 74
Data: 01.10.1974

BULETIN DE ÎNCERCARE

1. OBIECTUL ÎNCERCĂRII

Produsul: Èare de M.99,5 1/2t îmbinate prin presare la rec
Nr. de fabricație: _____ anul 1974
Fabricat de _____

2. SCOPUL ÎNCERCĂRII

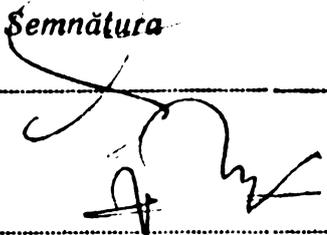
Verificarea încălzirii în regim permanent în punctele de
îmbinări.

3. SOLICITANT Atelier proiectare aparataj
prin adresa: M.I. / 06.09.1974

4. CONCLUZIA Corespunde

5. BULETINUL

Intocmit de
Găman Ion

Semnătura


Verificat șef secție:
ing. Gavrilă Mihail

Aprobat șef serviciu:
ing. Amza Dtr.

Buletinul conține 1 pag. _____ anexe _____



NOTĂ: Este interzis a se reproduce extrase din prezentul buletin.

PROCES VERBAL

Incheiat azi 9 noiembrie 1974 cu privire la stabilirea
imbinărilor realizate prin deformare plastică la rece.

Participă:

- | | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 1. ing. St. OGREZEANU | - șef At. Cercet.proiect.Aparataj |
| 2. ing. M. BĂLTĂNOIU | - șef ATM |
| 3. ing. L. MARINESCU | - ing. proiectant principal |
| 4. ing. M. PRADA | - ing. proiectant principal |
| 5. ing. N. PĂDURARU | - ing. proiectant principal |
| 6. ing. D. IONESCU | - ing. proiectant principal |

Având în vedere rezultatele favorabile obținute pe probele
realizate și încercate se stabilesc următoarele cazuri de aplicare
concretă în producție la produsele:

1. Celule care se execută la ICB

1.1. Imbinări din aluminiu prin suprapunere cap la cap reali-
zabile prin dispozitiv de presare fix:

$(80 \times 10) + (80 \times 10)$

$(60 \times 10) + (60 \times 10)$

$(60 \times 5) + (60 \times 5)$

1.2. Imbinări de aluminiu prin suprapunere cap la cap reali-
zabile prin dispozitiv de presare mobil :

$(80 \times 10) + (80 \times 10)$

$(60 \times 10) + (60 \times 10)$

$(60 \times 5) + (60 \times 5)$

Pentru aceste imbinări se impune experimentarea posibilită-
ților de acces la fiecare celulă la I.C.B.

2. PTE care se execută la ICB prin imbinări din aluminiu
suprapuse în T cu dispozitiv fix de presare:

$(40 \times 5) + (40 \times 5)$

$(40 \times 5) + (30 \times 5)$

$(40 \times 5) + (20 \times 3)$

Se consideră că se poate începe proiectarea dispozitivelor
de presare pentru cazurile de mai sus.-

6. Proba efectuată și rezultato obținute

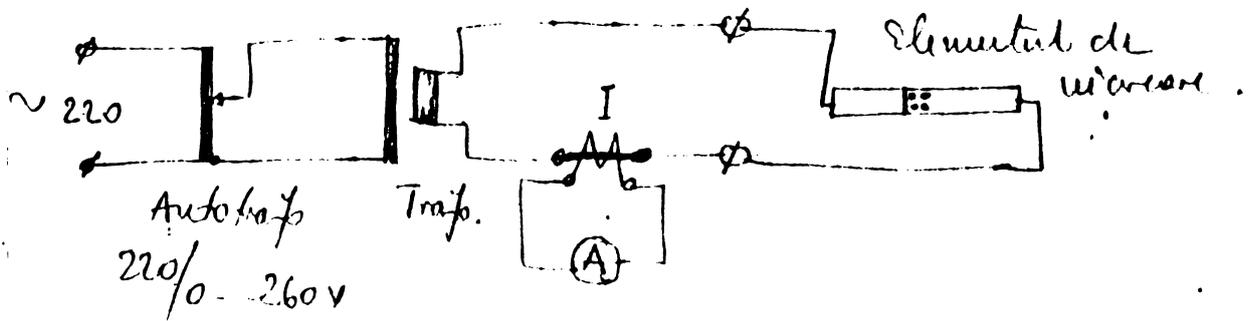
La proba de încălzire au fost prezentate 4 dimensiuni de bare după cum urmează:

- 1. bare 80 x 10 pentru III = 1000 A
- 2. " 60 x 10 " III = 650 A
- 3. " 50 x 5 " III = 400 A
- 4. " 40 x 5 " III = 300 A

Supuse la proba de încălzire la curenți nominali corespunzător secțiunilor barele nu s-au încălzit la supra temperaturi calculabile pe diagonolele termocuplelor.

Rezultat: corect

Schema electrică folosită



Tranf. - transformator, indicator de curent 625...5000 A

I - transformator de măsură 625...5000/5 A
cl. 1.

(A) - ampermetru cl. 1.

Încălzirea a constat în alimentarea cu un curent de frecvență 50Hz conform dimensiunilor (pt 6) Durata de tăiere a curențului fiind circa 6 ÷ 7 ore.

Încălzirea barelor fiind făcută în condiții de putere maximă cu transformatorul de curent disjunct. (Cu - constantă)

Jul 28 74

PROTOCOL DE ÎNCERCARE NR. 1052

Solicitant : laboratoarele generale

Comandă : 99000327

Obiectul de încercat : bare sudate prin deformare la rece

Tipul încercării : verificarea stabilității termice și dinamice

Prescripții de încercare : norma internă

Locul încercării : laboratorul de mare putere

Data încercării : 3.11.1974

Data întocmirii protocol : 4.11.1974

Conducătorul încercării : ing. Irimie D.

ing. Mihai Gh.

Protocolul întocmit de : ing. Popanicolau C.

Verificat șef LMP : ing. Răzvan O.

Concluzii : corespunde

Protocolul conține : 2 pag.

1 desen

5 oscilograma

Difuzare protocol : 1 ex. LMP
3 ex. L.G

Protocol de încercare nr.1052.

1. Obiectul de încercat : bare ~~de Al~~ *proba difuzare la rece.*
- a. Bare de Al. 80x10 mm forma I
 - b. Bare de Al. 60x10 mm forma I
 - c. Bare de Al. 50x5 mm forma L
 - d. Bare de Al. 40x5 mm forma T
 - e. Bare de Al. 30x5 mm forma Z

2. Programul de încercare

Programul de încercări a avut drept scop verificarea îmbinării în ~~soluție~~ la stabilitate termică și dinamică timp de 1 s.

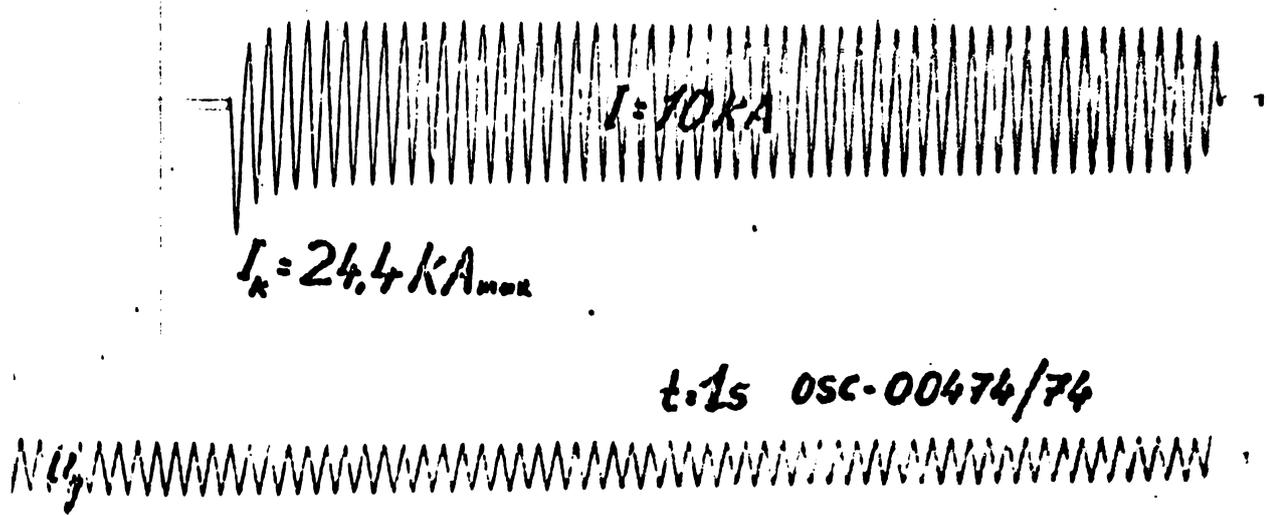
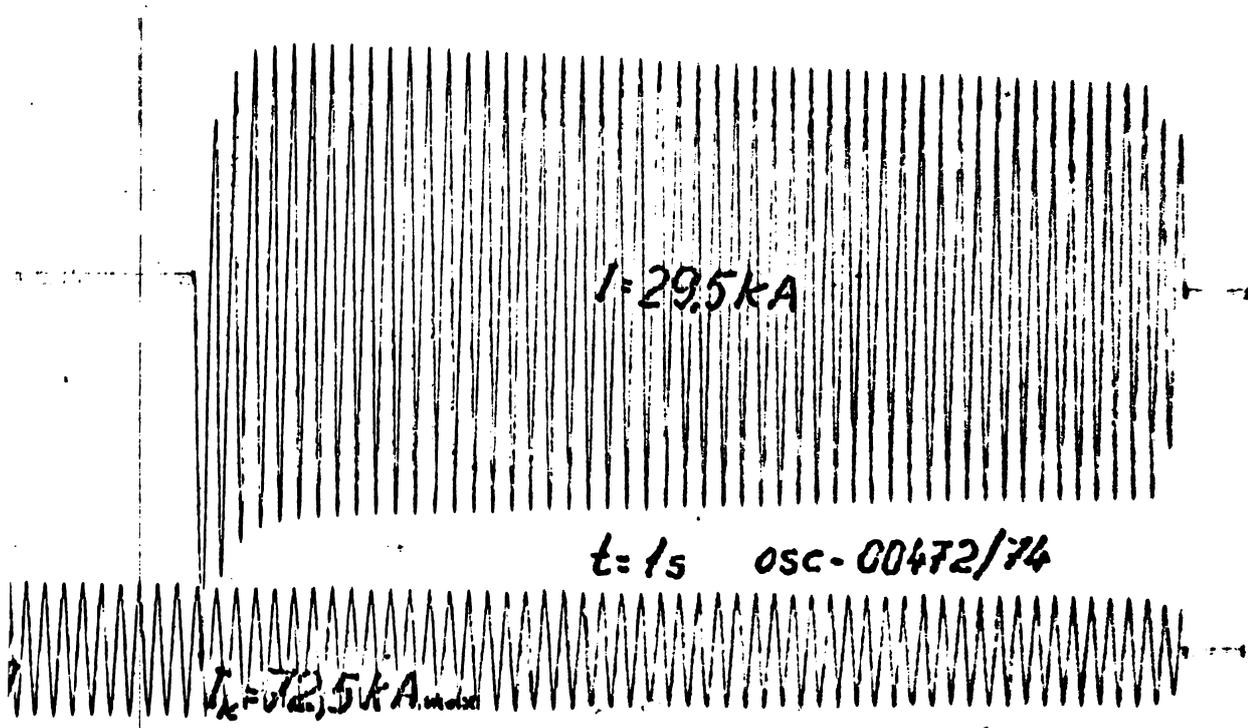
3. Desfășurarea probelor

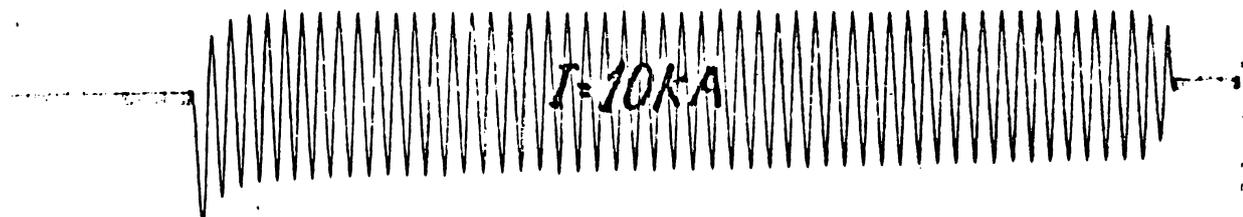
Schema principala de încercare este dată în fig.2. Barele fost încercate monofazat.

4. Rezultatele probelor

Valorile obținute sînt date în tabelul 1.

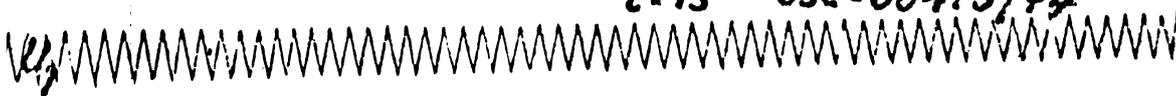
Forma t. barei	Nr. oscil.	I_k kA _{ef.}	I_k kA _{max}	t s	Obs.
I	00472/74	29,5	72,5	1	corespunde
I	00473/74	29,5	72,5	1	corespunde
L	00474/74	10	24,4	1	corespunde
T	00475/74	10	25	1	corespunde
Z	00476/74	10	24,4	1	corespunde





$I_k = 25 \text{ kA}_{max}$

$t = 1s$ osc-00475/74



$I_k = 24,4 \text{ kA}_{max}$

$t = 1s$ osc-00476/74

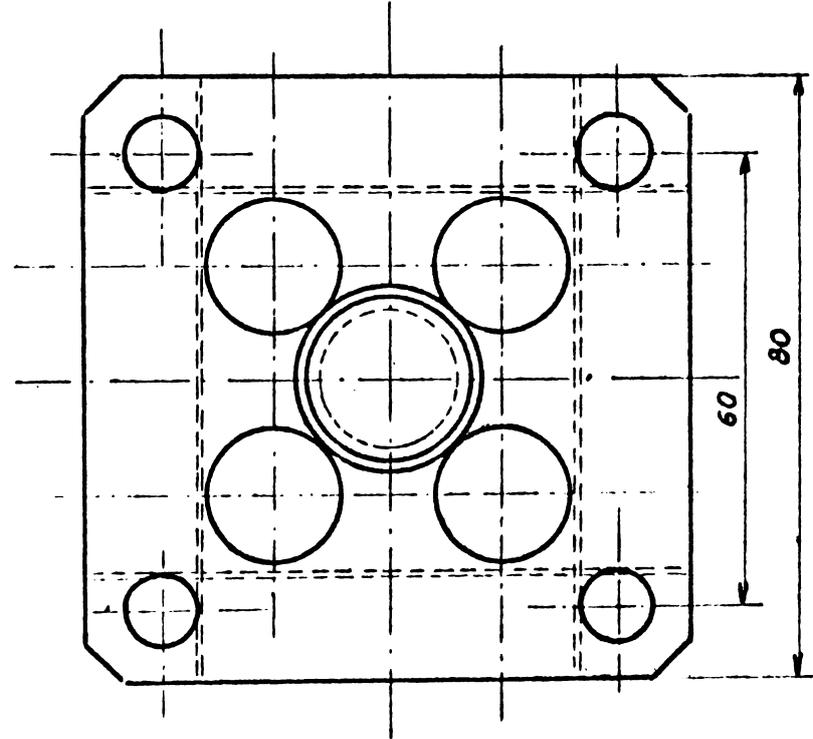
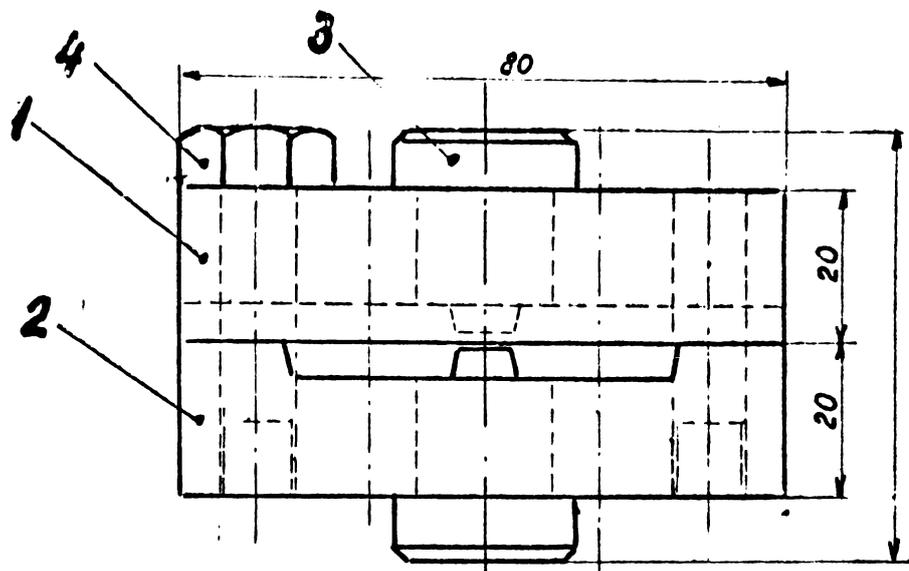


BORDEROU DE DESENE

Dispozitive de sudat bare de Aluminiu

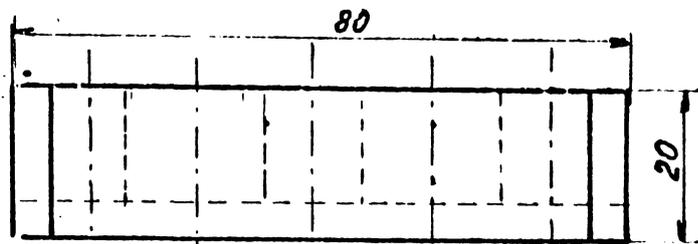
Nr. crt.	Denumirea desenului	Nr. desen	Format
1.	<u>Dispozitiv de sudat bare de Al de 50 x 50 cu 5 x 50 mm</u>	02-01.00	A4
2.	Corp dispozitiv superior	02-01.01	A4
3.	Corp dispozitiv inferior	02-01.02	A4
4.	Poanson	02-01.03	A5
5.	<u>Dispozitiv de sudat bare de Al de 10 x 60 cu 10 x 60 mm</u>	02-02.00	A4.
6.	Corp dispozitiv superior	02-02.01	A4
7.	Corp dispozitiv inferior	02-02.02	A4
8.	Portpoanson	02-02.03	A5
9.	<u>Dispozitiv de sudat bare de Al de 5 x 40 cu 5 x 40 mm</u>	02-03.00	A4
10.	Corp dispozitiv superior	02-03.01	A4
11.	Corp dispozitiv inferior	02-03.02	A4
12.	Port poanson	02-03.03	A5
13.	Poanson	02-03.04	A5
14.	Stift de ghidare	02-03.05	A5
15.	<u>Dispozitiv de sudat bare de Al de 5 x 40 cu 3 x 20 mm</u>	02-04.00	A4
16.	Corp dispozitiv superior	02-04.01	A4
17.	Corp dispozitiv inferior	02-04.02	A4
18.	Portpoanson	02-04.03	A5
19.	<u>Dispozitiv de sudat bare de Al de 5 x 30 cu 5 x 30 mm</u>	02-05.00	A4
20.	Corp dispozitiv superior	02-05.01	A4
21.	Corp dispozitiv inferior	02-05.02	A4
22.	Portpoanson	02-05.03	A5
23.	Portpoanson	02-05.04	A5
24.	<u>Dispozitiv de sudat bare de Al de 10 x 80 cu 10 x 80 mm</u>	02-07.00	A4
25.	Corp dispozitiv superior	02-07.01	A4
26.	Corp dispozitiv inferior	02-07.02	A4

Anexa nr. 7/1...30

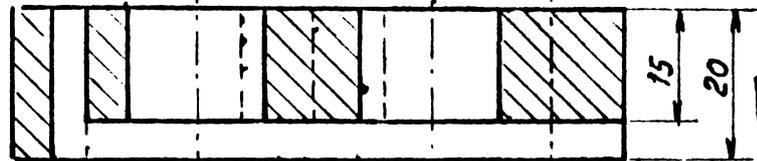


4	șurub M10x40	STAS 4872-70	4	OL37		
3	Poanson	02-01.03	10	DSC7 sau C15	călit, revenit	
2	Corp dispozitiv infer	02-01.02	1	OL50 STAS 500-53		
1	Corp dispozitiv super.	02-01.01	1	OL50 STAS 300-53		
Pc:	Denumirea	Nr desen sau STAS	Buc	Material	Observații	Exec Măsu
Proiectat	Cont. Both D.				02-01.00	
Desenat	Giobanu C.	Giobanu C.				
Verificat	Cont Both D.					
Contr. STAS	Giobanu C.					
Approbat	Prof. Popovici VL					
IPTVT Catedra UTS		Scara 1:1		Dispozitiv de sudare cu Al de 5x50 cu 5x50 mm.		
		Data 10.04.1974				

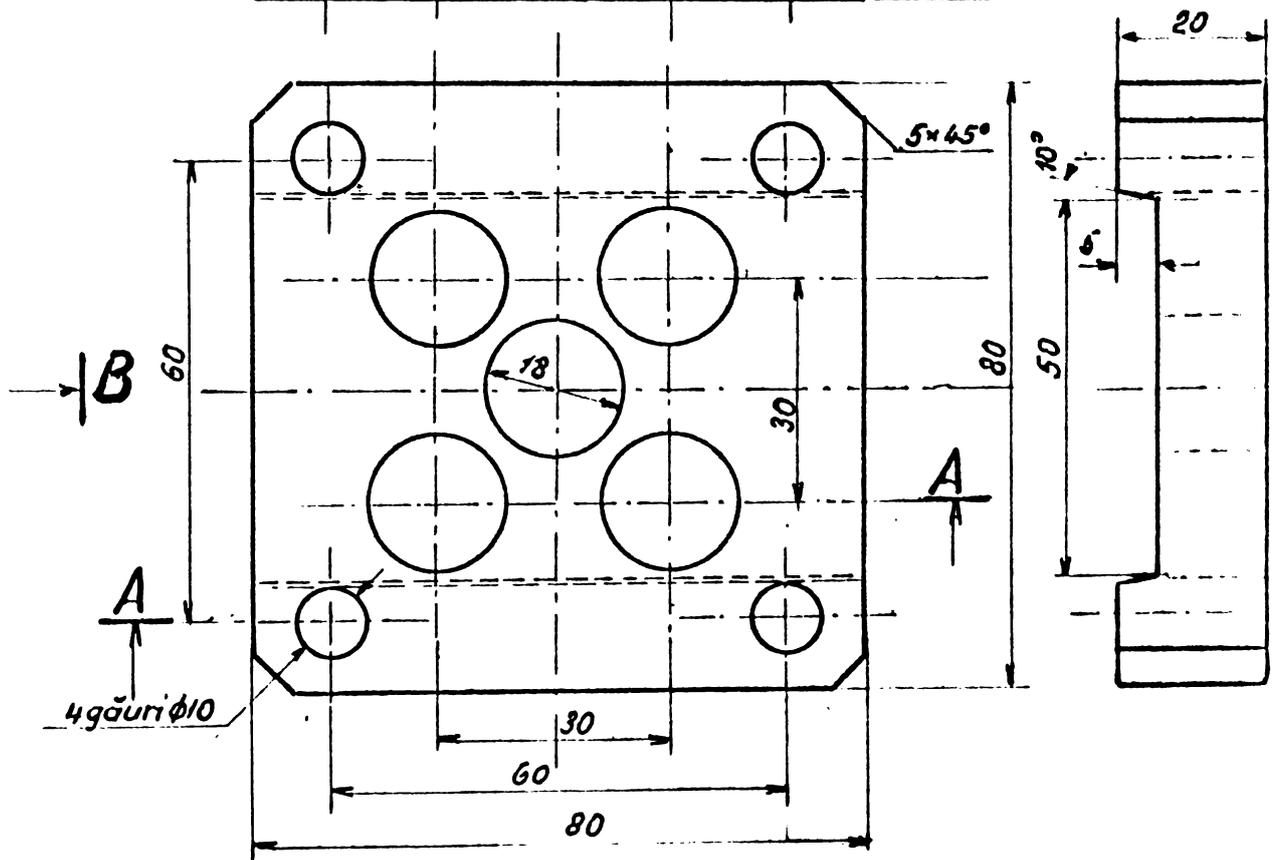
A4 (210x297=0,063m²)



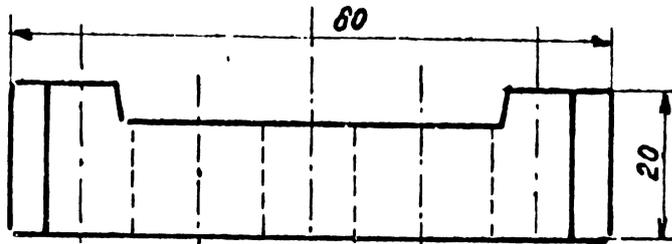
Secțiunea A-A



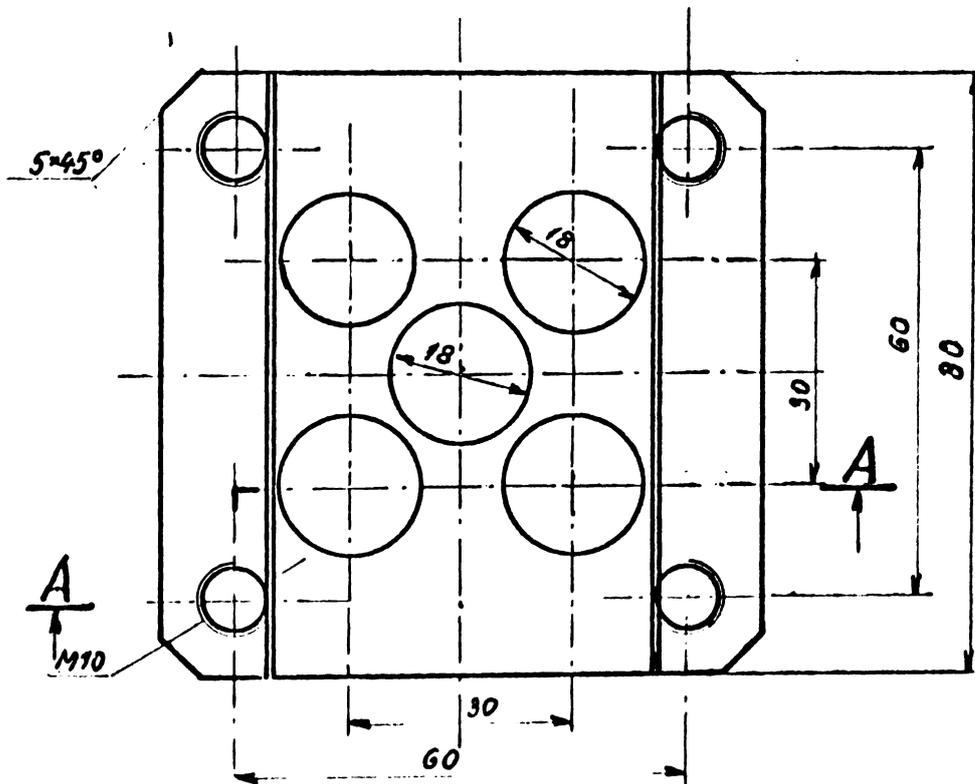
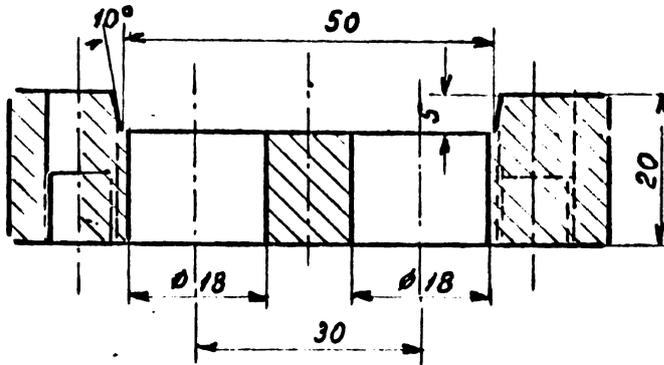
Vedere din B



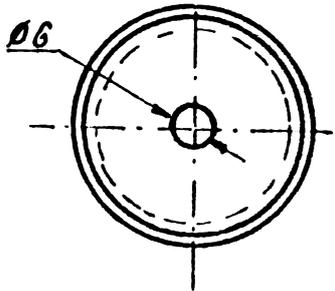
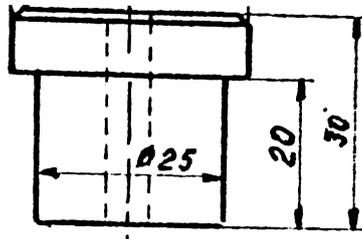
Proiectat Desenat Verificat Confr. STAS Aprobat	Conf. Bălli D. Ciobanu C. Conf. Bălli D. Ciobanu C. Prof. Popovici V.	Ciobanu C. Ciobanu C.	Material OL50 STAS500-53	02-01.01
IPTVT Catedra UTS			Masa netă	Corp dispozitiv superior
Scara 1:1			Dispozitiv de sudură și ne de Al de 5x50 cu 5x50 mm.	
Data 9.04.1974			A ₄ (210×297=0,063 m ²)	



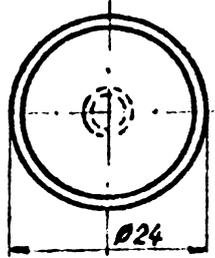
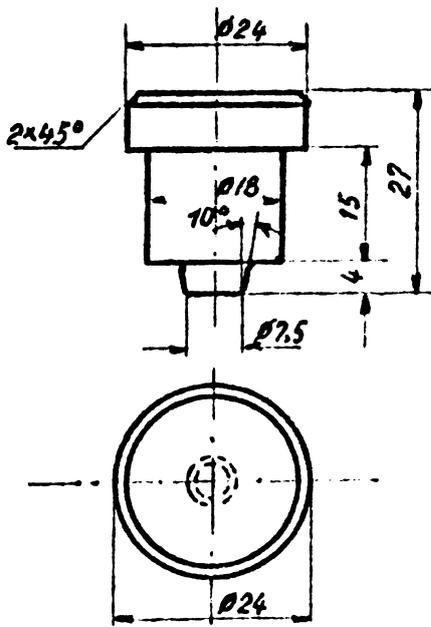
Secțiunea A-A



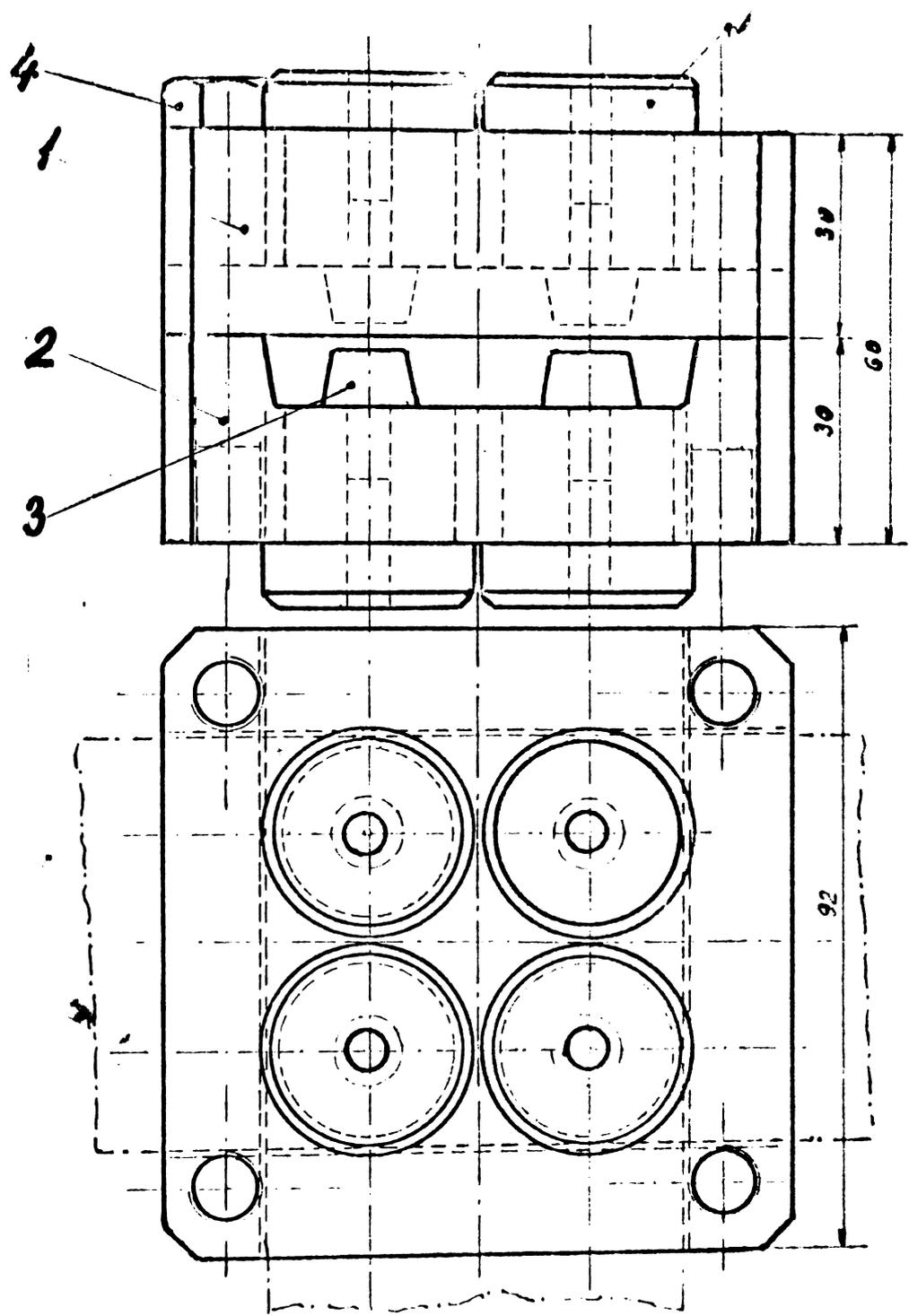
Proiectat	Conf. Both D.		Material OL50 STAS 50053	02-01.02
Desenat	Giobanu C.	Giobanu A		
Verificat	Conf. Both D.			
Contr. STAS	Giobanu C.	Giobanu C		
Approbat	Prof. Popovici V.		Masa neta	
IPTVT Catedra UTS			Scara 1:1	Corp dispozitiv inferior. Dispozitiv de sudat sine de Al de 5x50 cu 5x50 mm. A ₄ (210x297)=0,063 m ²)
			Data 12.04.1974	



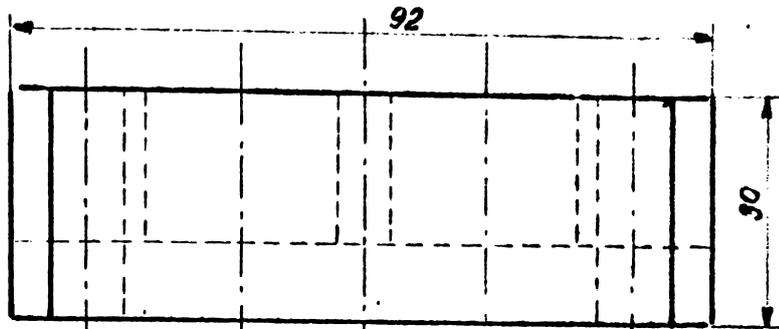
Proiectat	Conf. Both D.		Material OLC35	02-02.03
Desenat	Giobanu G.	Giobanu G.	normalizat	
Verificat	Conf. Both D.		Masa neta	
Contr. STAS	Giobanu G.	Giobanu G.		
Aprobat	Prof. Popovici V.			
IPTVT Gatedra UTS			Scara 1:1	Portpoanson
			Data 11.04.974	Dispozitiv de sudat bare de Al de 10x60 cu 10x60 mm. $A_5/210 = 1,9 = 0,037 m^2$



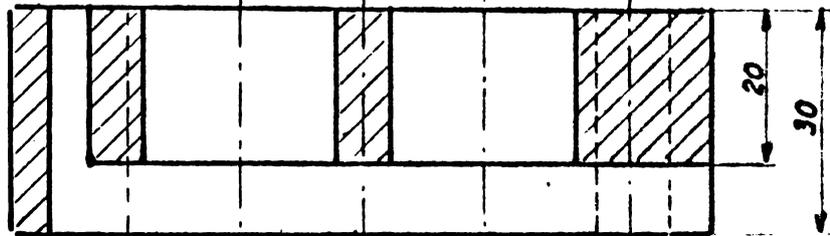
Proiectat	Conf. Both D.		Material OSC7 sau C15	02-01.03
Desenat	Giobanu G.	Giobanu G.	calit, revenit	
Verificat	Conf. Both D.		Masa neta:	
Contr. STAS	Giobanu G.	Giobanu G.		
Aprobat	Prof. Popovici V.			
IPTVT Gatedra UTS			Scara 1:1	Poanson
			Data 15.04.974	Dispozitiv de sudat bare de Al de 5x30 cu 5x5 mm. $(10/10 = 1,8 = 0,037 m^2)$



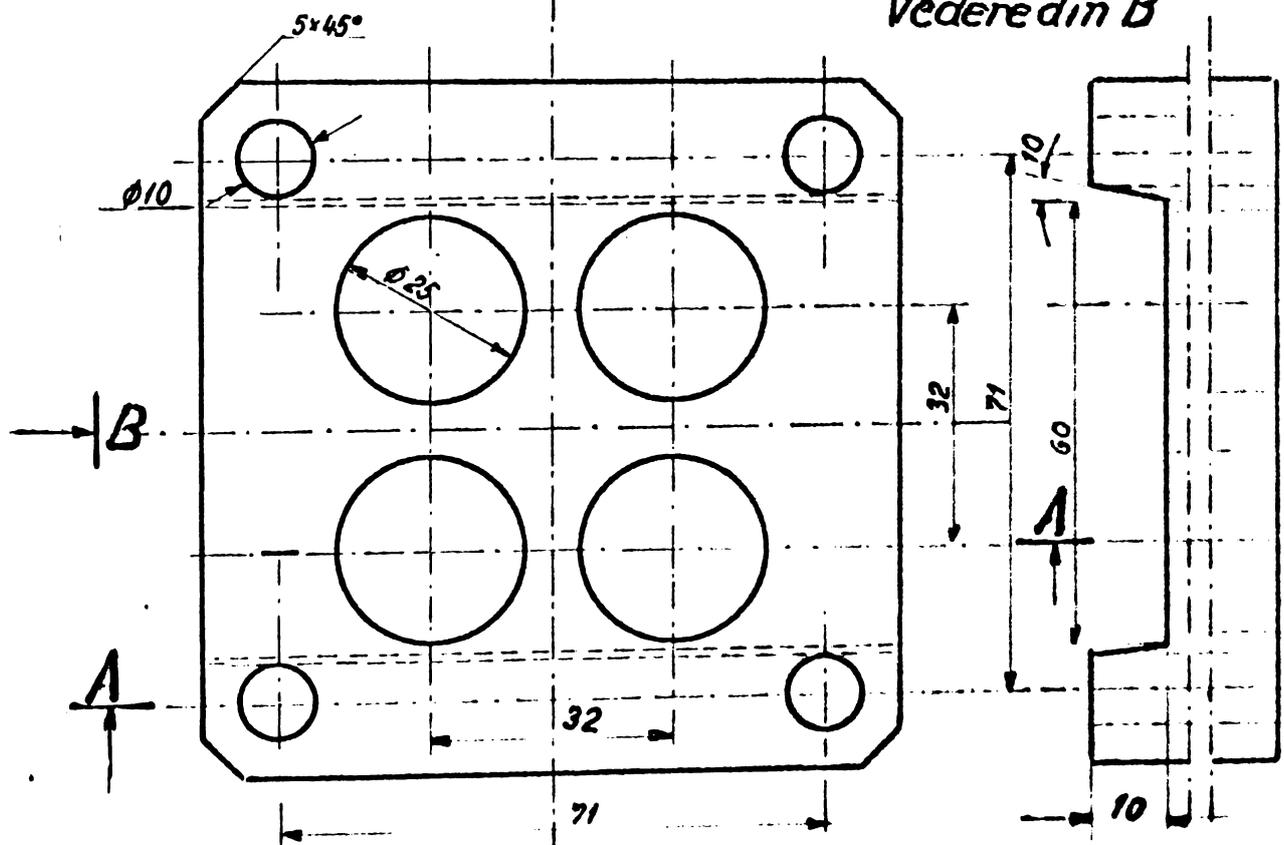
5	Portpoanson	02-02.03	4	OLC35		
4	Surub M10x60	STAS 4272-70	4	OL37		
3	Poanson	02-03.04	8	03C7 sau C15 OL50	calit, revenit	
2	Corp dispozitiv infer	02-02.02	1	STAS 500-53 OL50		
1	Corp dispozitiv super	02-02.01	1	STAS 500-53		
poz	Denumirea	Niv sau STAS	Buc	Material	Observatii	Debin
Proiectat	Cont. Both D.					
Desenat	Giobanu C.					
Verificat	Cont. Both D.					
Cont. STAS	Giobanu C.					
Aprobat	Prof. Popovici VI					
Masa neta			02-02.00			
IPTVIT Catedra UTS		Scara	Dispozitiv de sudatura de Al de 10x60 cu 10x60 mm.			
		1:1				
		10/18.04.1974	AW 270x297 = 0.061 m²			



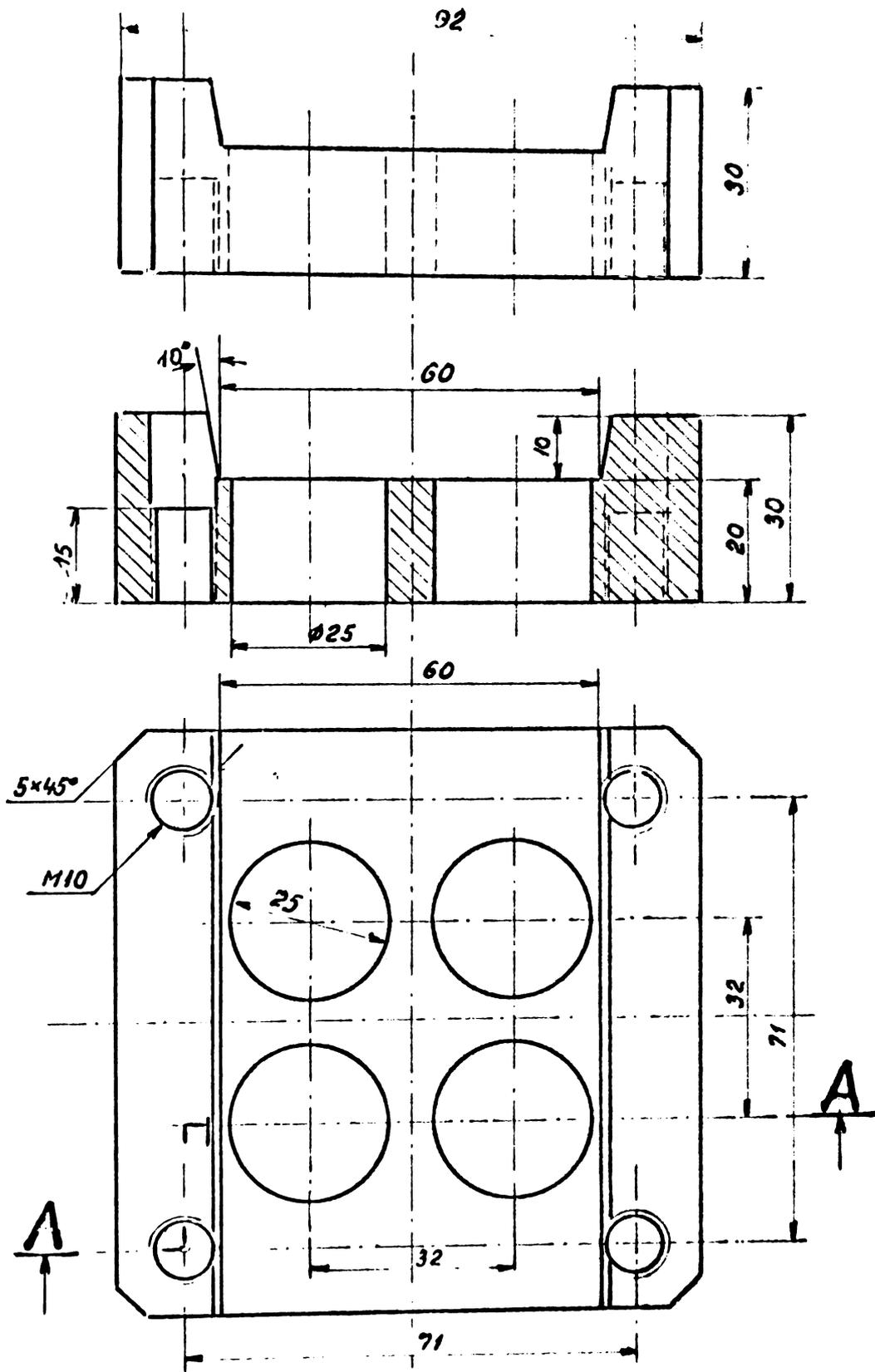
Secțiunea A-A



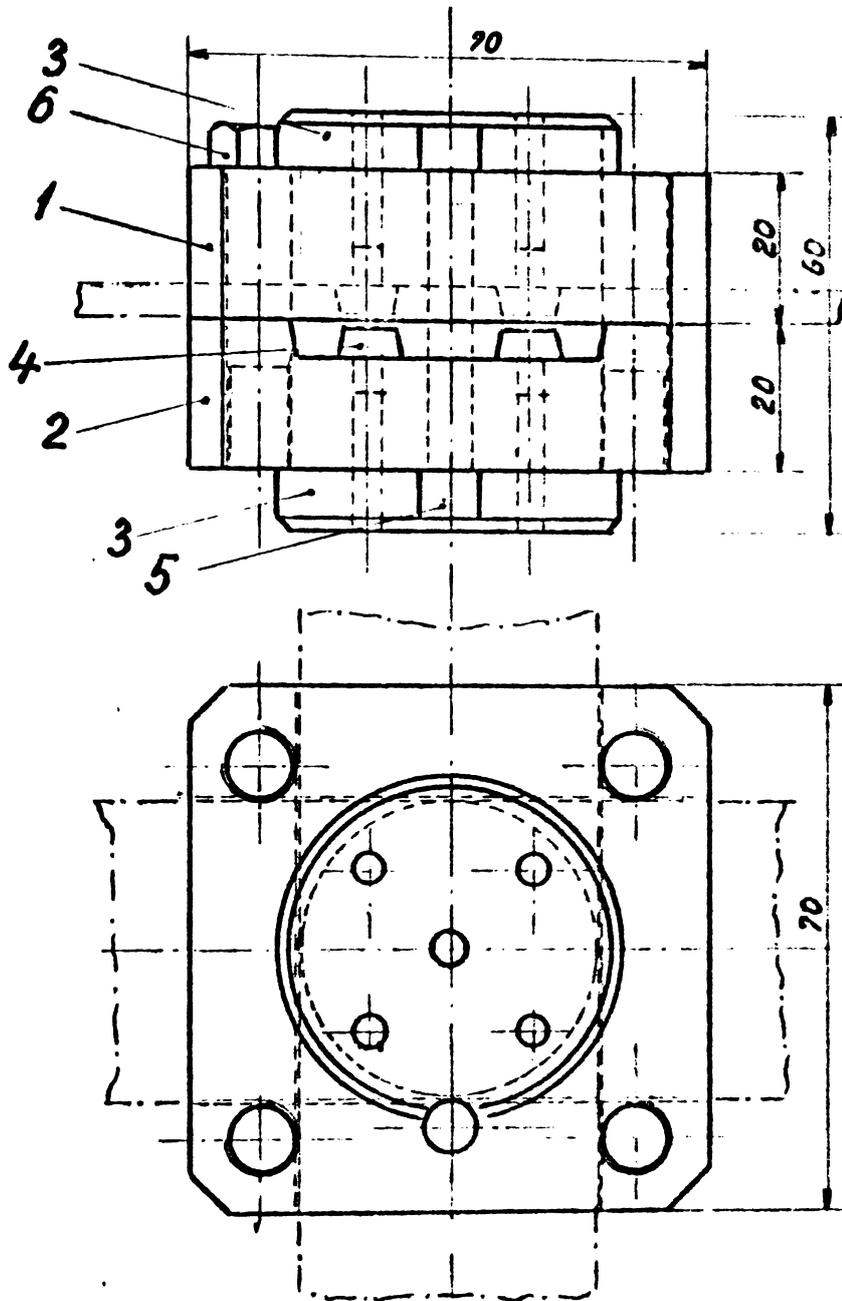
Vedere din B



Proiectat Desenat Verificat Conțin: STAS Aprobat	Gont. Both D. Giobanu G. Gont. Both D. Giobanu G. Prof. Popovici V.	Giobanu C. Giobanu C.	Material OL 50 STAS 500-53	02-02.01
Masa netă				
IPTVT Calea UTS		Scara 1:1	Corp dispozitiv superior; Dispozitiv de surub bare de Al de 10x60 cu 10x6 Ø mm. $A_4(270 \times 297) = 0,063 m^2$	
		Data 18.04.1974		



Proiectat Desenat Verificat Contr. STAS Aprobat	Conf. Both D. Giobanu C. Conf. Both D. Giobanu C. Prof. Popovici V.	Giobanu C. Giobanu C.	Material OL50 STAS 500-53	02-02.02
Masa netă				
IPTVT Catedra UTS		Scara 1:1	Corp dispozitiv interior	
Data 18.04.1972		Dispozitiv de sudat bore de Al cu 10x60 cu 10x60 mm A4(210x297=0.063 m ²)		



6	Șurub M10-40	STAS42720	4	0137 STAS42720		
5	Știft de ghidare	02-03.05	2			
4	Poanson	02-03.04	10	OSC15 sau C2 0CC-35	călit, revenit	
3	Port poanson	02-03.03	2		normalizat	
2	Corp dispozitiv infer.	02-03.02	1	0150 STAS50053		
1	Corp dispozitiv super.	02-03.01	1	0150 STAS50053		
Poz	Denumirea	Nr. des. sau STAS	Cuc.	Materiale	Observații	pe buc. total mater.

Proiectat	Conf. Both D.	
Desenat	Giobanu G.	Giobanu G.
Verificat	Conf. Both D.	
Contr. STAS	Giobanu G.	Giobanu G.
Aprobat	Prof. Popovici V.	

02-03.00

Masa netă

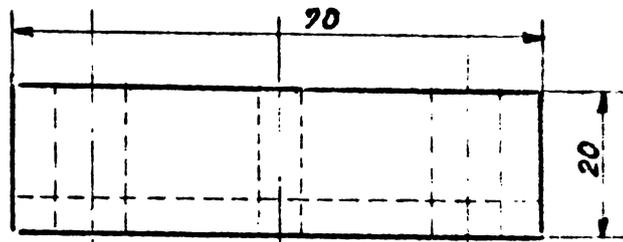
IPTVT
Catedra UTS

Scara

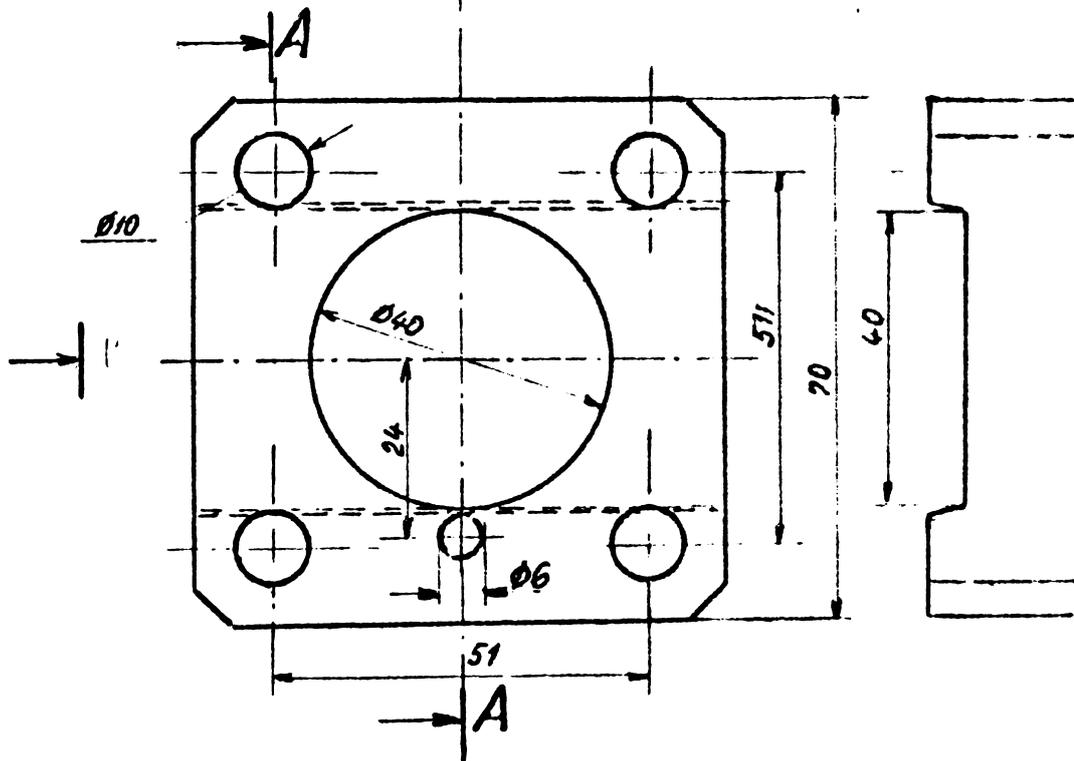
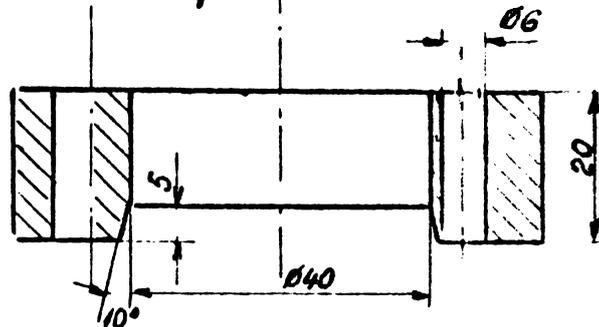
1:1

Data: 02.09.74

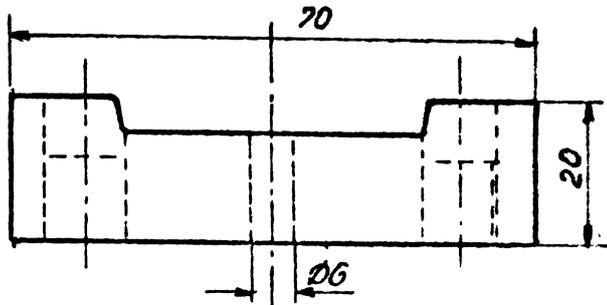
Dispozit. de sudat bare de Al
de 5*40 cu 5*40 mm.



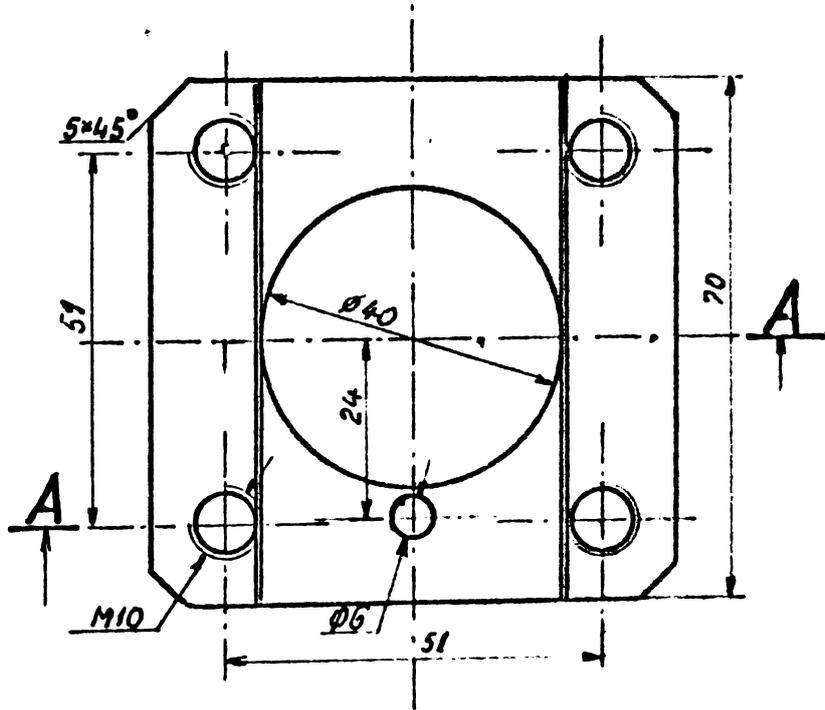
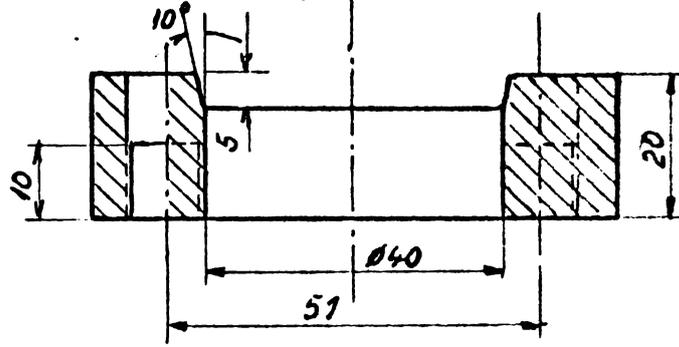
Secțiunea A-A



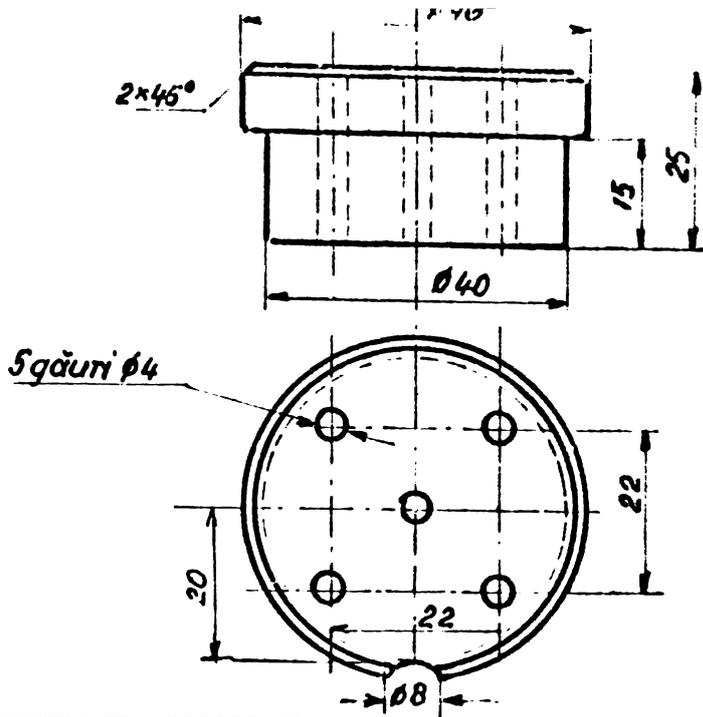
Proiectat	Conf. Both D.	...	Material OL50 STA S500-53	02-03.01
Desenat	Giobanu G.	Giobanu		
Verificat	Conf. Both D.			
Contr. STAS	Giobanu G.	Giobanu		
Approbat	Prof. Popovici V.		Masa neta	
IPTVT		Scara	Corp dispozitiv superior	
Catedra UTS		1:1	Dispozitiv de sudat bare din Al 20	
		Data 19.04.1974	5x40 cu 5x40 mm	



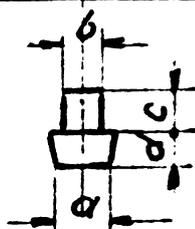
Secțiunea A-A



Proiectat	Conf. Both D.	Prof.	Mater. 0150 STAS 500-53	02-03.02
Desenat	Giobanu G.	Giobanu G.		
Verificat	Conf. Both D.			
Contr. STAS	Giobanu G.	Giobanu G.		
Aprobat	Prof. Popovici VI		Masa netă	
IPTVT Catedra I.T.S.		Scara 1:1	Corp dispozitiv inferior	
		Data: 04.1974	Dispozitiv de sudat bare de Al A4/210-297-0069	

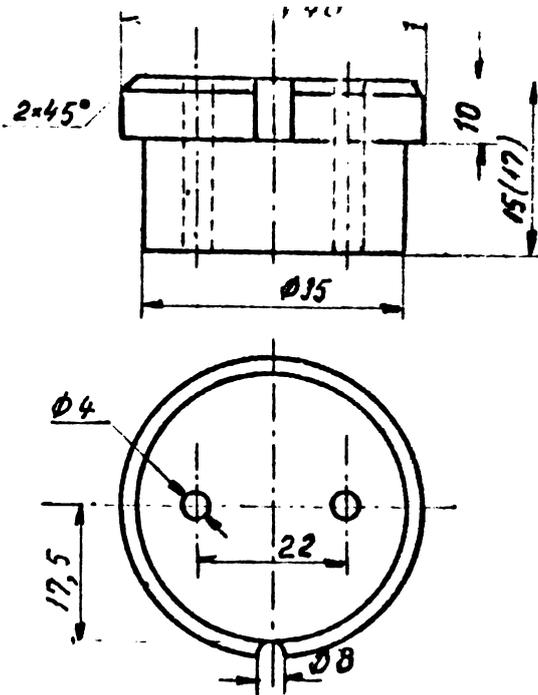


Proiectat	Conf. Both D.	Giobanu C.	Material DLC35 normalizat	02-03.03
Desenat	Giobanu C.			
Verificat	Conf. Both D.			
Contr. STAS	Giobanu C.			
Aprobat	Prof. Popovici VI.	Masa neta:		
IPTVT Catedra UTS			Scara 1:1	Port poanson
			Data 13.04.974	Dispozitiv de sudat bore de Al de sudat cu 5 x 40 mm. A ₅ (210 x 148 = 0.031 m ²)



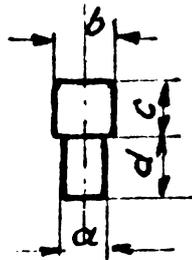
Nr. de desen	α	b	c	d	Buc
02-02	11,5	6	8	8	4
02-03	7,15	4	5	4	12
02-04	6	4	5	4	3
02-04	7	4	5	2	3
02-05	6,5	4	5	4	10

Proiectat	Conf. Both D.	Giobanu C.	Material OSC7 sau C15 calit, revenit	02-03.04
Desenat	Giobanu C.			
Verificat	Conf. Both D.			
Contr. STAS	Giobanu C.			
Aprobat	Prof. Popovici VI.			
IPTVT Catedra UTS			Scara	Poanson
			Data 20.04.1974	Dispozitiv de sudat bore de Al A ₅ (210 x 148 = 0.031 m ²)



Proiectat	Cont. Both D.		Material OLC 35	02-04.03
Desenat	Giobanu G.	Giobanu G.		
Verificat	Cont. Both D.			
Cont. STAS	Giobanu G.	Giobanu G.		
Approbat	Prof. Popovici V.		Masa neta	

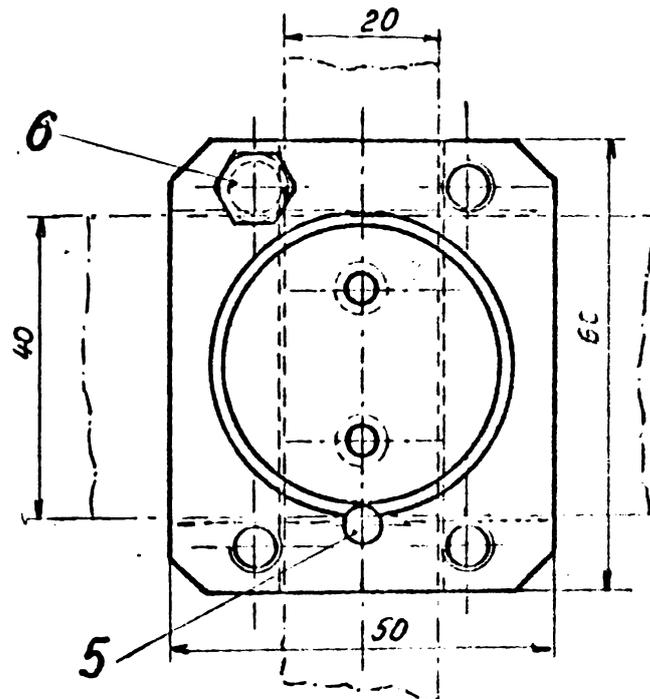
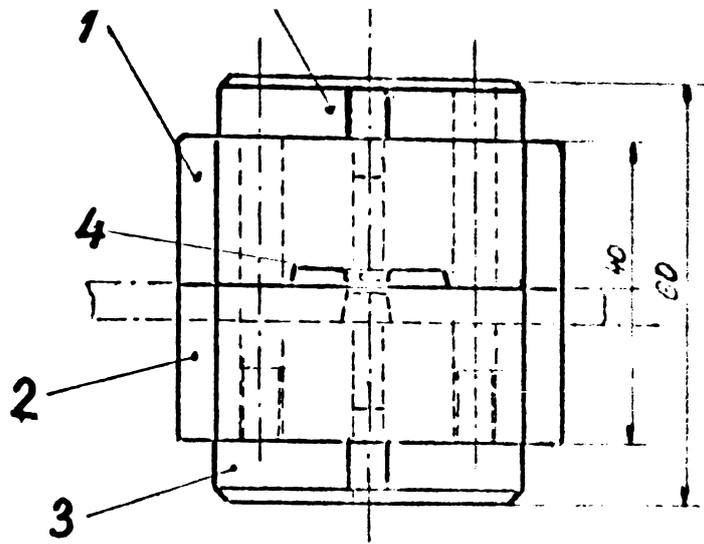
IPTVT Catedra UTS	Scara 1:1	Portpoanson
	Data 20.04.974	Dispozitiv de sudat bare de Al de 5x10 cu 1x20 mm. <i>A5(210x148=0,031m)</i>



Nr. de desen	a	b	c	d	Buc
02-03-03	6	8	8	8	2
02-04.03	6	8	8	8	2
02-05.03	4	6	8	8	2
02-06.03	6	8	8	8	2

Proiectat	Cont. Both D.		Material OLC 50	02-03.05
Desenat	Giobanu G.	Giobanu G.		
Verificat	Cont. Both D.			
Cont. STAS	Giobanu G.	Giobanu G.		
Approbat	Prof. Popovici V.			

IPTVT Catedra UTS		Stift de ghidare
	Data 19.04.974	Dispozitiv de sudat bare de Al <i>A5(210x148=0,031m)</i>

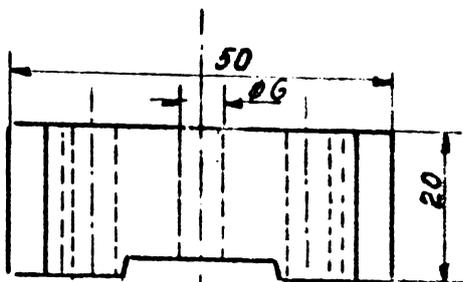


6	Șurub M6x60	STAS4272-70	4	0137		
5	Știft deghidare	02-03.05	2	UL50		
4	Poanson	02-03.04	4	0507 sau C15	călit, revenit	
3	Portpoanson	02-04.03	2	ULC 35	normalizat	
2	Corp dispozitiv interior	02-04.02	1	UL50 STAS50053		
1	Corp dispozitiv super.	02-04.01	1	0150 STAS50053		
Poz	Denumirea	Nr. STAS sau STAS	Buc	Material	Observații	Det. de Tal. / Al. de Tal.
Proiectat	Cont. Both D.					
Desenat	Giobanu G.	Giobanu C.				
Verificat	Cont. Both D.					
Contr. STAS	Giobanu G.	Giobanu C.				
Approbat	Prof. Popovici V.					
			Masa netă	02-04.00		

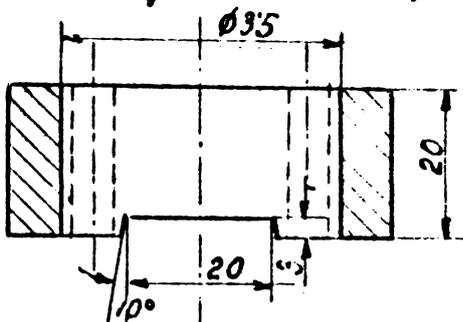
IPTVT
Catedra UTS

Scara
1:1
Data: 20.04.97

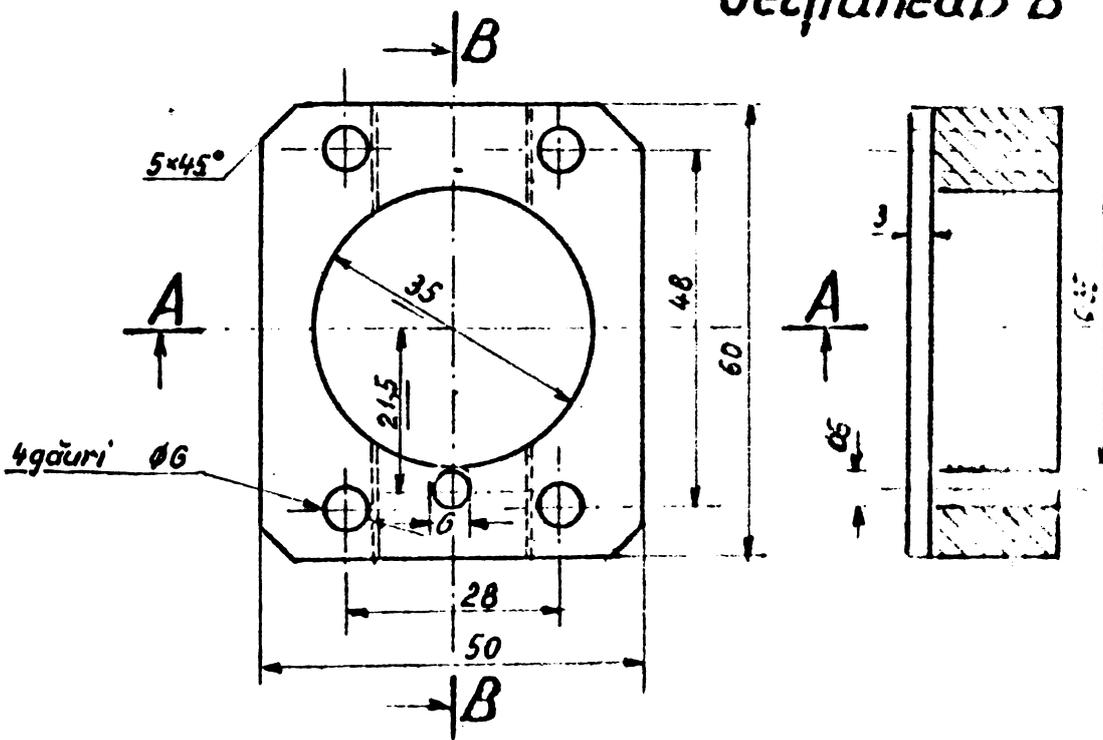
Dispozitiv de sudură
de Al de 5x40 cu 3x20mm.



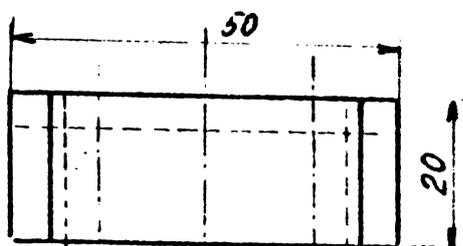
Secțiunea A-A



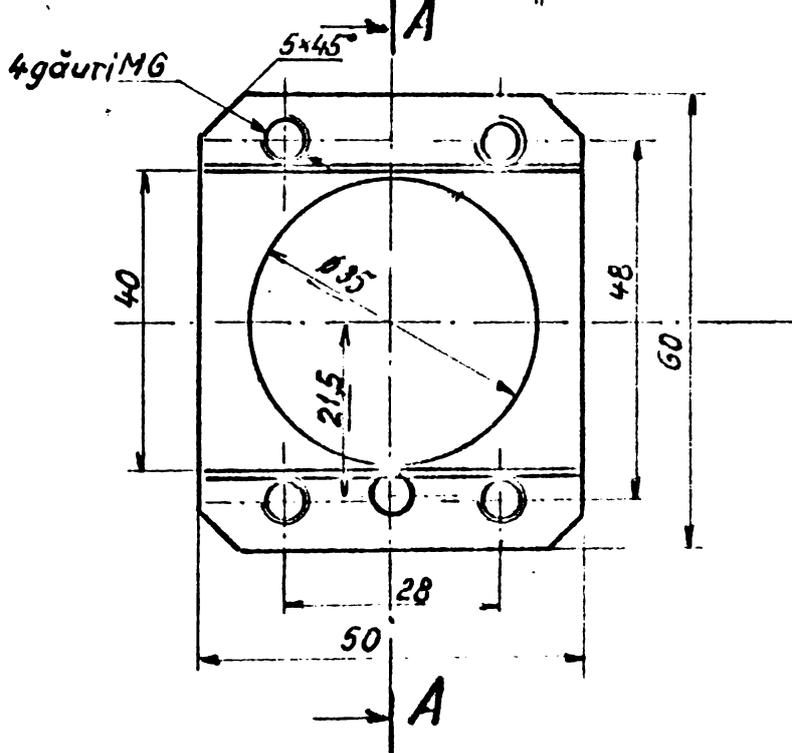
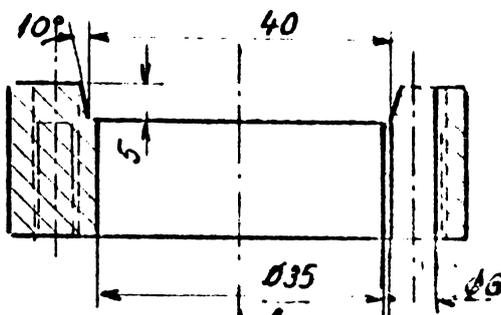
Secțiunea B-B



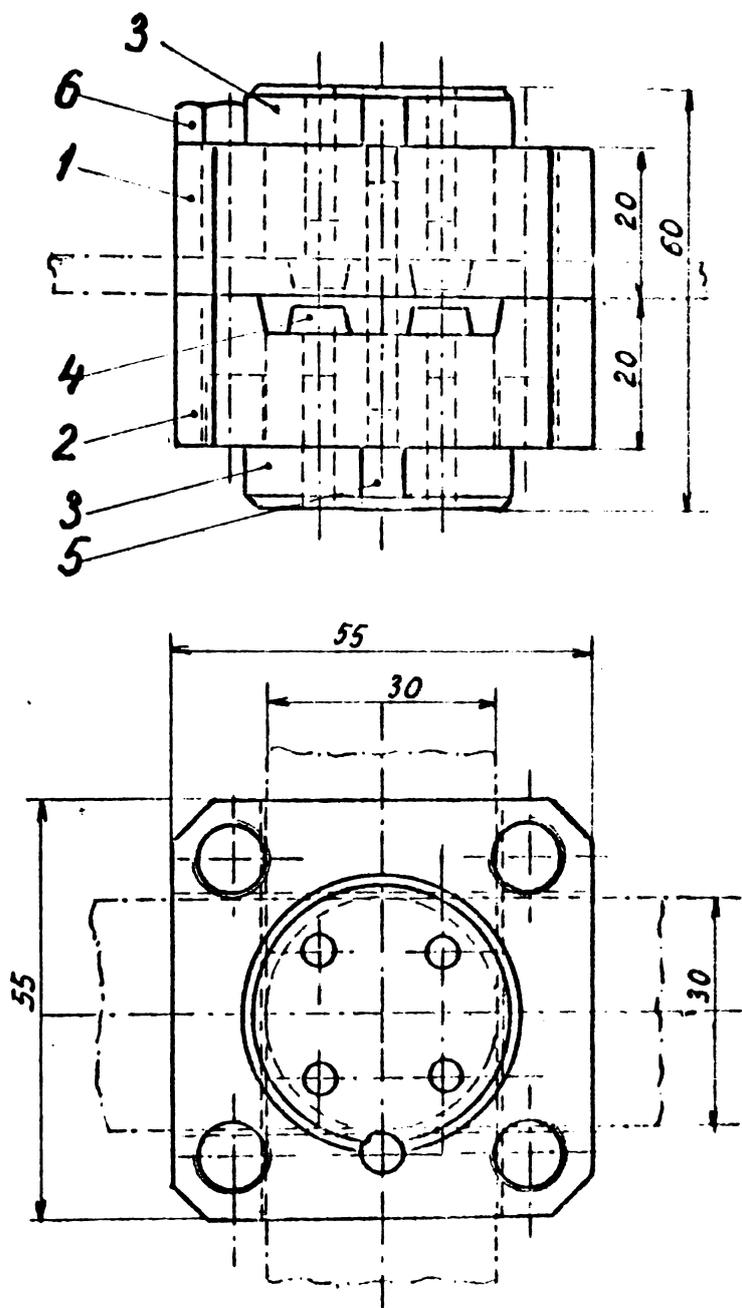
Proiectat	Cont. Both D.	Reviz.	Material OLSO STAS 50063	02-04.01
Desenat	Giobanu G.	Giobanu C.		
Verificat	Cont. Both D.	E. G.	Masa neta	Corp disozitiv superior
Sontr. STAS	Giobanu G.	Giobanu C.		
Aprobat	Prof. Popovici V.		Scara 1:1	Dispozitiv de mat. bare de Al de
IPTVT Catedra UTS			DATA	



Secțiunea A-A



Proiectat	Conf. Both D.		Material 0150 STAS 50053	02-04.02
Desenat	Giobanu C.	Giobanu C.		
Verificat	Conf. Both D.			
Contr. STAS	Giobanu C.	Giobanu C.		
Aprobat	Prof. Popovici VI.		Masa netă	
IPTVT Gatedra UTS		Scara 1:1	Corp dispozitiv inferior	
		Data 6.04.1974	Dispozitiv de sucat bare de Al de 5 x 40 cu 3 x 20 m.m.	



6	Șurub M8×60	STAS4272-70	4	0L39		
5	Știft de ghidare	02-03.05	2	0L50		
4	Poanson	02-03.04	8	0SC7 sau C15 0LC-35	călit, revenit	
3	Portpoanson	02-06.03	2		normalizat	
2	Corp dispozitiv infer.	02-05.02	1	0L50 STAS500-53		
1	Corp dispozitiv super.	02-05.01	1	0L50 STAS500-53		
Poz	Denumirea	Nr. d. s. sau STAS	Buc	Material	Observații	pe buc. total realizate

Proiectat	Cont. Both D.	Prof.
Desenat	Giobanu C.	Giobanu C.
Verificat	Cont. Both D.	
Contr. STAS	Giobanu G.	Giobanu C.
Approbat	Prof. Popovici W.	

02-05.00

Masa netă

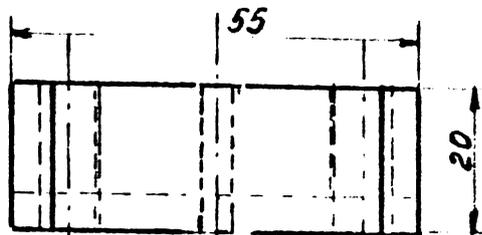
Scara
1:1

Dispozitiv de sudat bare de
Al de 5×30 cu 5×30 mm.

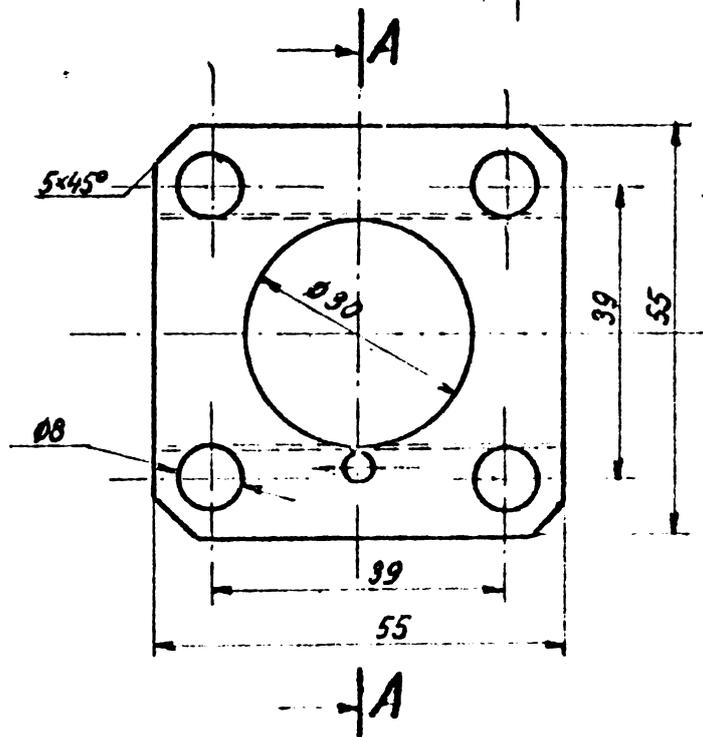
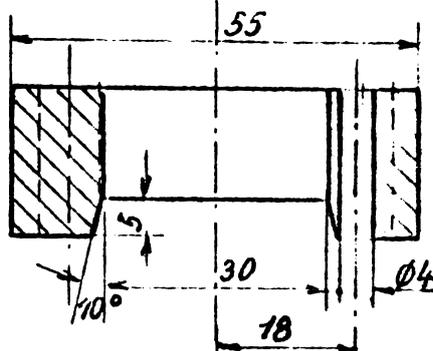
IPTVT
Catedra UTS

Data 30.04.74

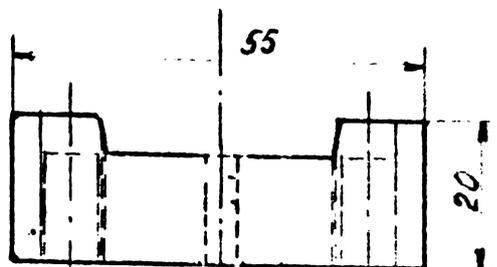
41/10/097/70



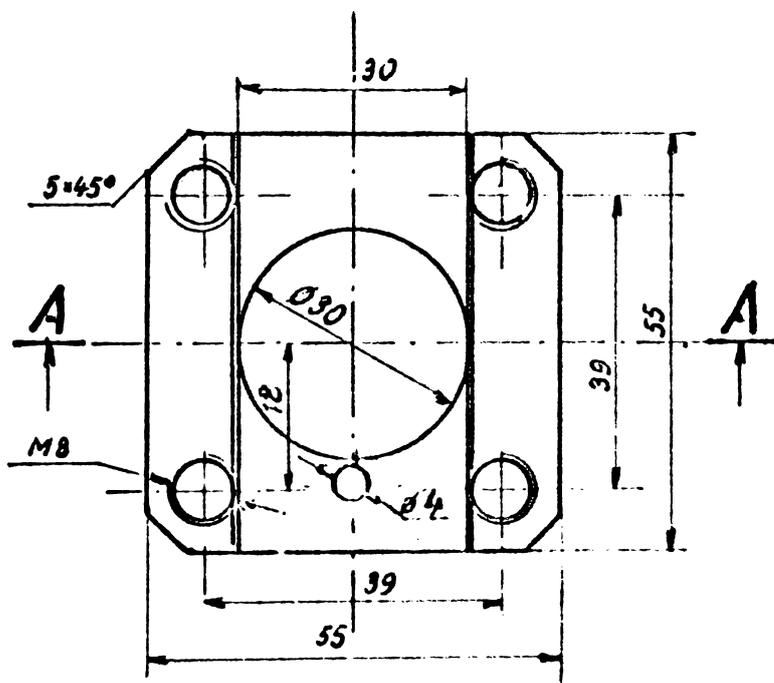
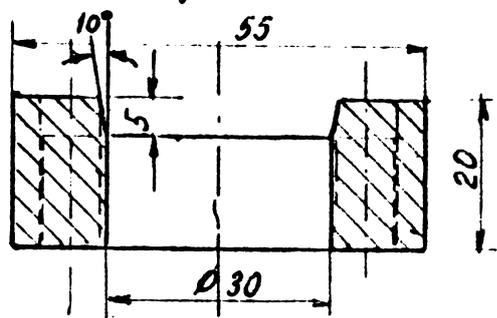
Secțiunea A-A



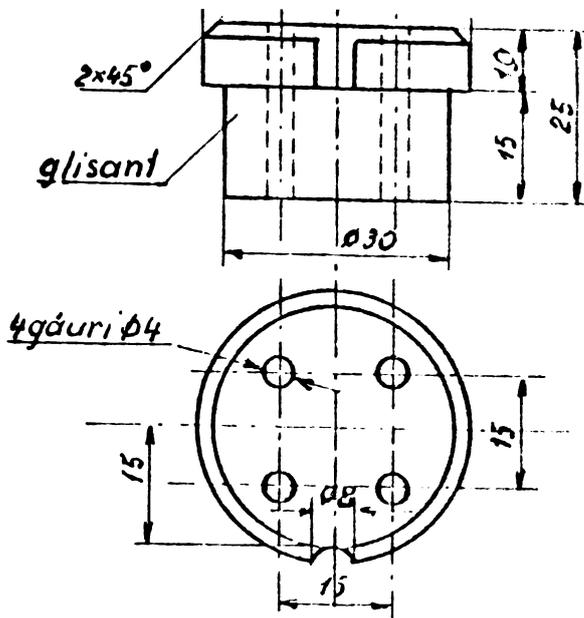
Proiectat	Conf. Boih D.	Proiect	Material O150 STAS 500-53	02-05.01
Desenat	Giobanu C.	Giobanu C.		
Verificat	Conf. Boih D.			
Contr. STAS	Giobanu C.	Giobanu C.		
Aprobat	Prof. Popovici VI.		Masaneta	
IPTVT Catedra UTS		Scara 1:1		Corp dispozitiv superior
		Data 04.1974		
				Dispozitiv de sudat bure de Al 608 3-53-503-30 m3n A170/0-297-00



Secțiunea A-A

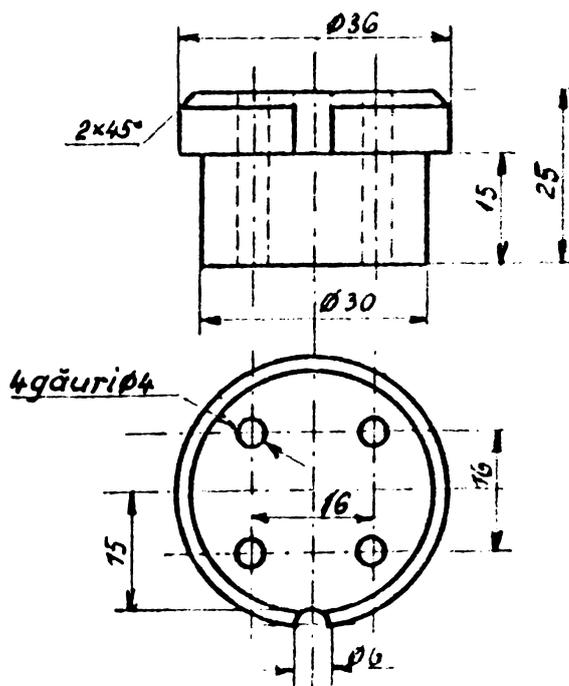


Proiectat	Conf. Both D.	Scara	Materialul STAS 500-53	02-05.02
Desenat	Giobanu G.	Giobanu G.		
Verificat	Conf. Both D.	Giobanu G.		
Conte. STAS	Giobanu G.	Giobanu G.		
Aprobat	Prof. Popovici V.		Masurat	
IPTVT Catedra UTS		Scara 1:1	Corp dispozitiv interior	
		Data 4.07.1974	Dispozitiv de adaptare a barei de 5 x 30 cu 2 x 10 min.	



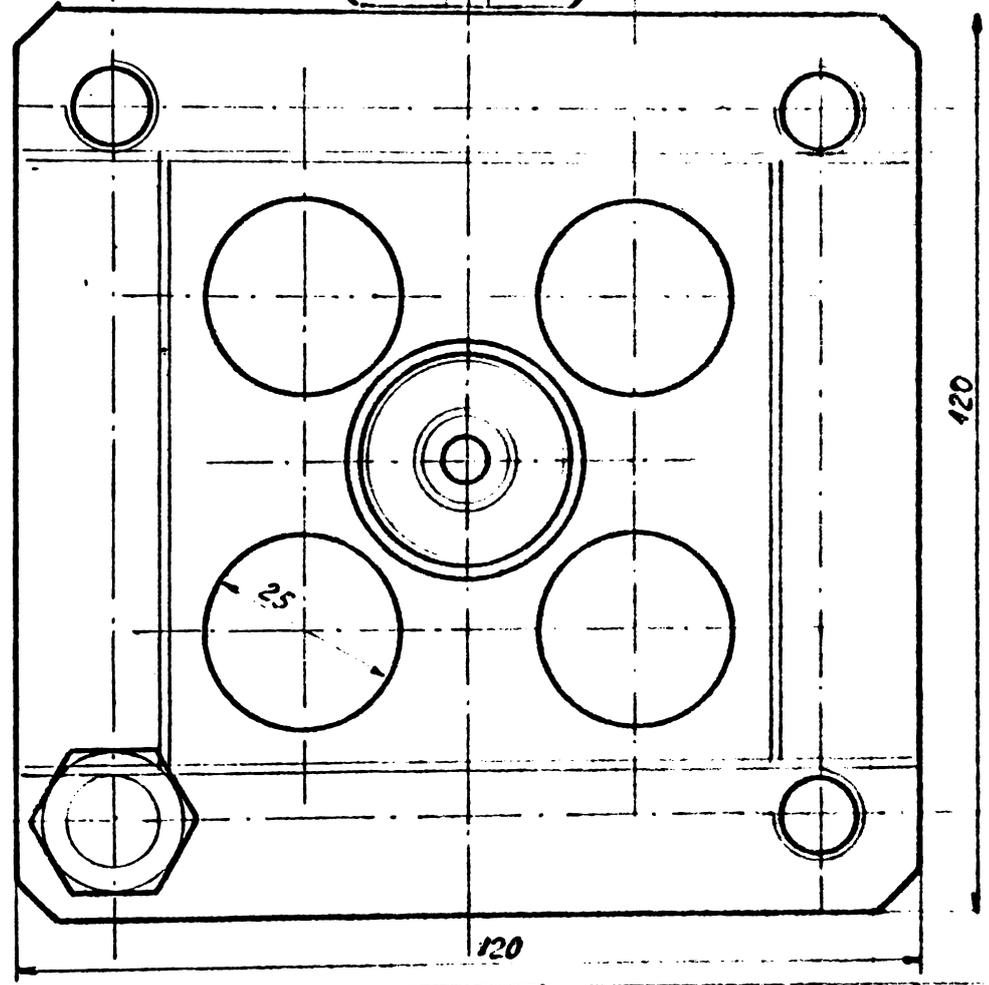
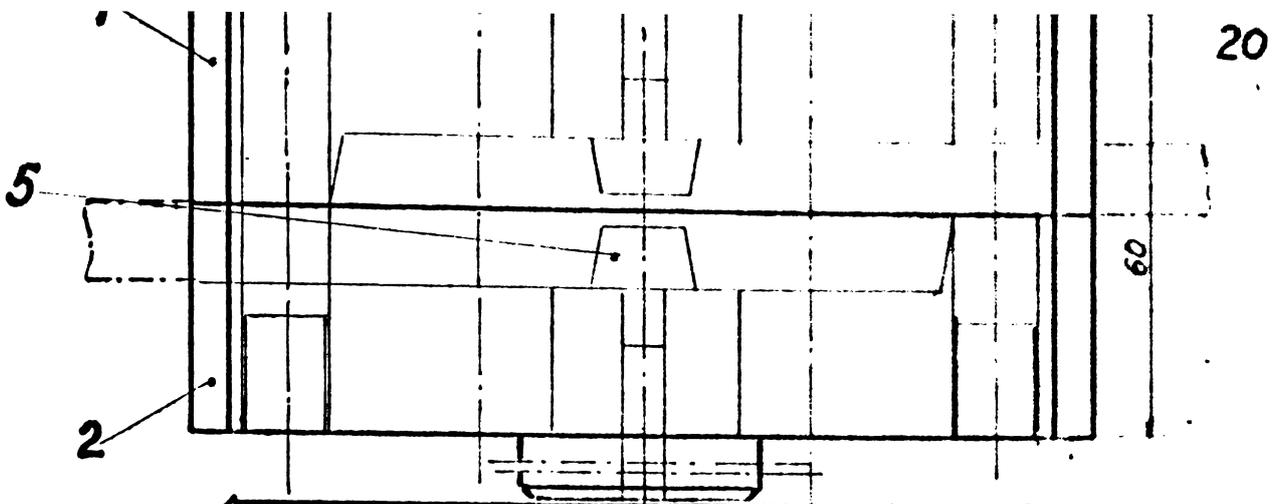
Proiectat	Cont. Both D.		Material OLC-35 normalizat	02-05.03
Desenat	Giobanu C.	Giobanu C.		
Verificat	Cont. Both D.			
Contr. STAS	Giobanu C.	Giobanu C.		
Aprobat	Prof. Popovici VI		Masa neta	

IPTVT Catedra UTS	Scara 1:1	Portpoanson
	Data 04.1974	Dispozitiv de sudat bure de Al de 5 x 30 cu 5 x 10 mm. Asi 210



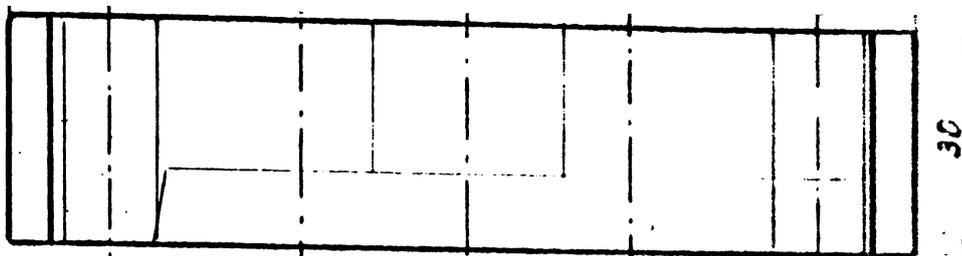
Proiectat	Cont. Both D.		Material OLC-35 normalizat	02-05.04
Desenat	Giobanu C.	Giobanu C.		
Verificat	Cont. Both D.			
Contr. STAS	Giobanu C.	Giobanu C.		
Aprobat	Prof. Popovici VI		Masa neta	

IPTVT Catedra UTS	Scara 1:1	Portpoanson
	Data 04.1974	Dispozitiv de sudat bure de Al de 5 x 30 cu 5 x 10 mm. Asi 210

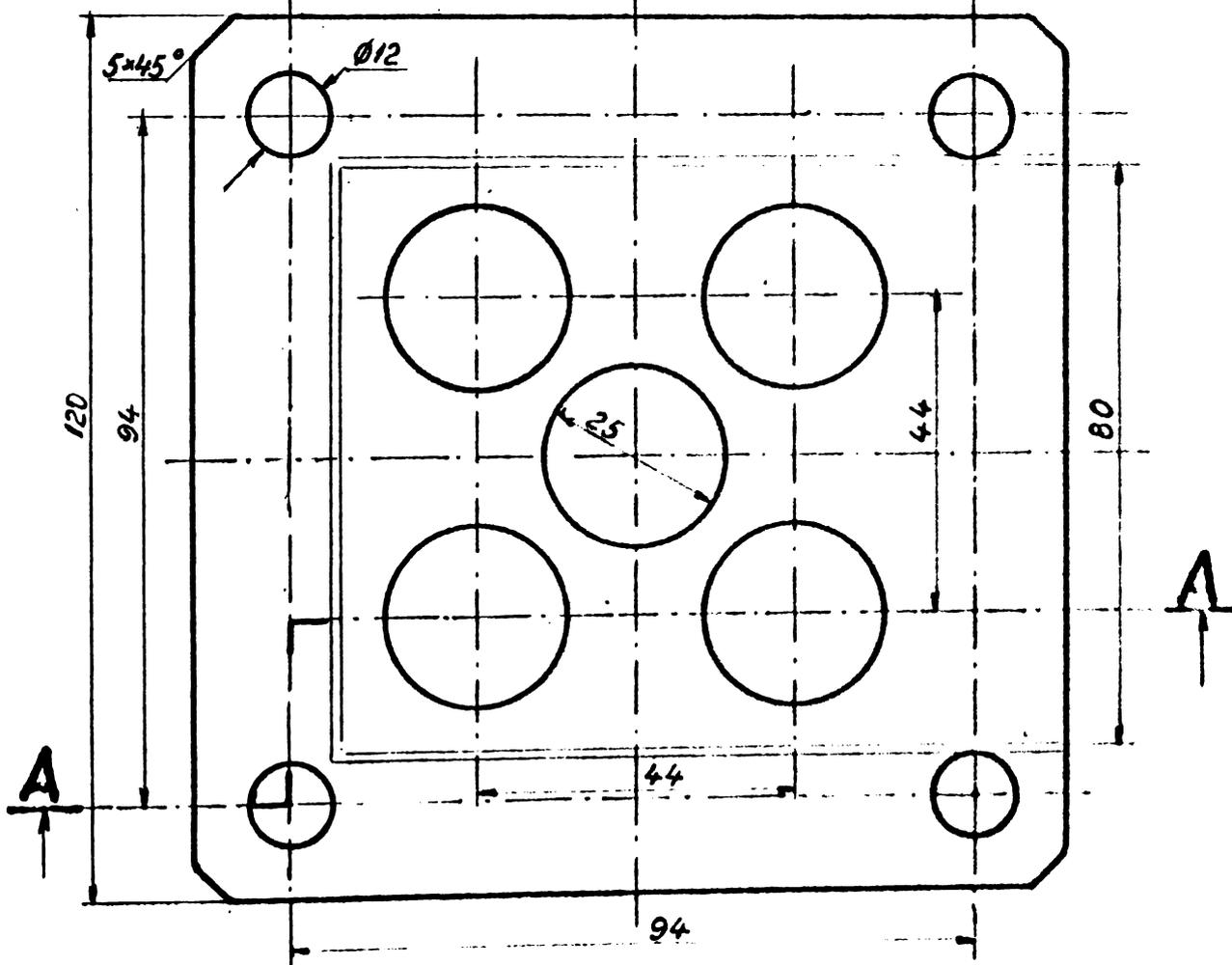
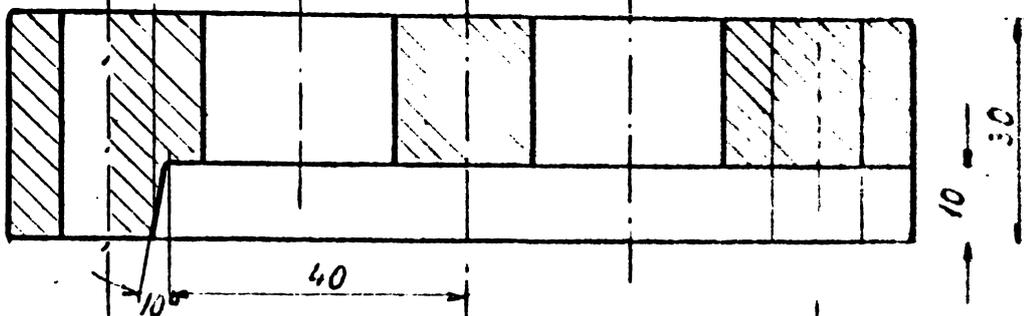


5	Poanson	02-03.04	5	05C7sau G15 OLC35	călit, revenit normalizat	
4	Portpoanson	02-02.03	5			
3	Șurub M12x60	STAS4272-70	4	OL37		
2	Corp dispozitiv inferior	02-07.02	1	OL50 STAS500-53		
1	Corp dispozitiv superior	02-07.01	1	OL38 STAS300-53		
Poz	Denumirea	Nr. des. sau STAS	Buc	Material	Observații	nebuca Măsură în: /
Proiectat	Conf. Boih D.					
Desenat	Griobanu G.	Griobanu G.				
Verificat	Conf. Boih D.					
Contr. STAS	Griobanu G.	Griobanu G.				
Aprobat	Prof. Popovici V.					
		Mășaneta				
IPTVT Catedra UTS		Scara 1:1	Dispozitiv de susținut bare de dimensiuni 30 cu 10-20mm.			
		Data 30.04.1974				

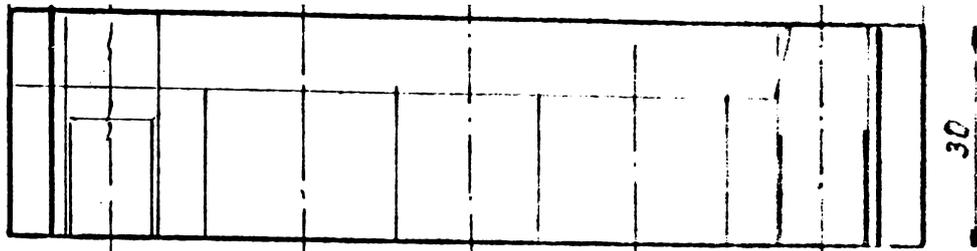
A6(210x297) 1058m



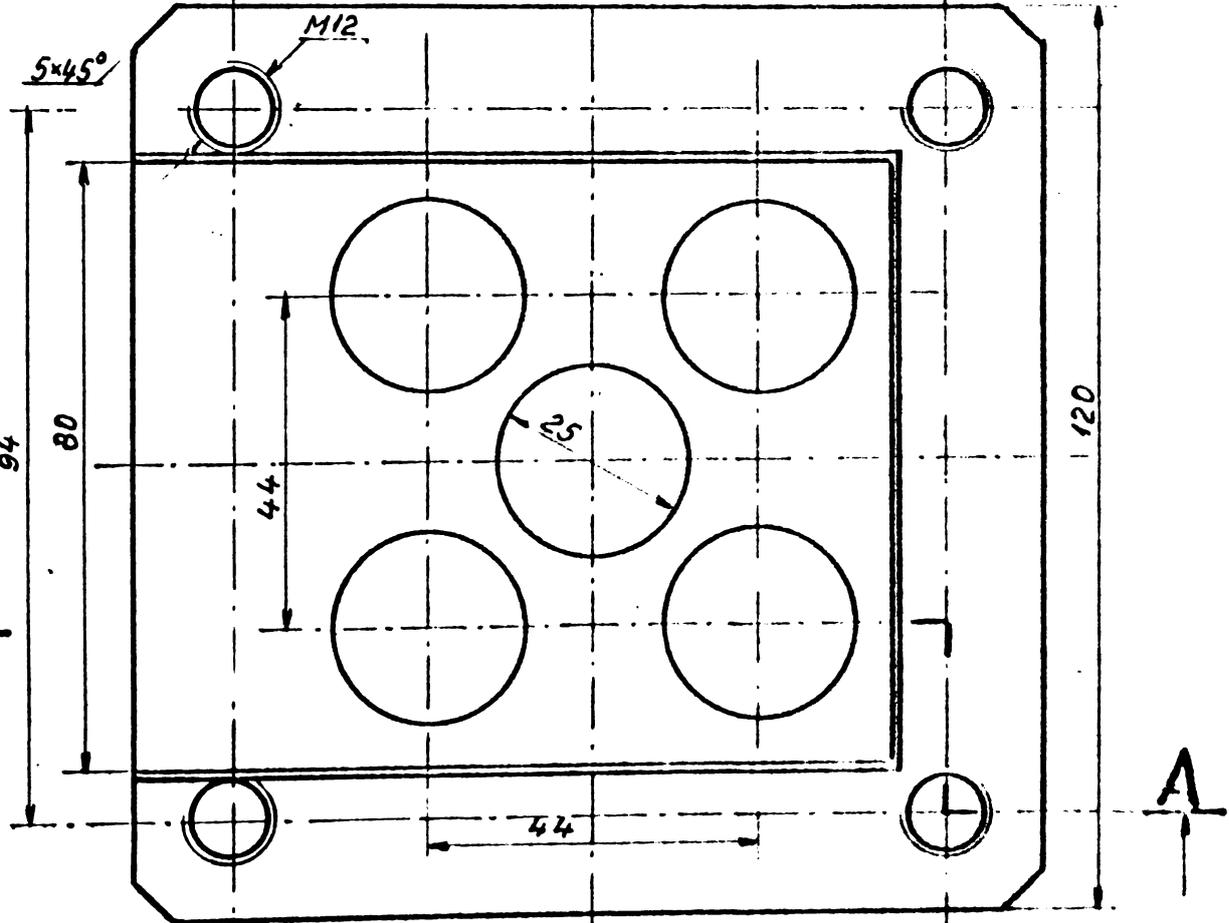
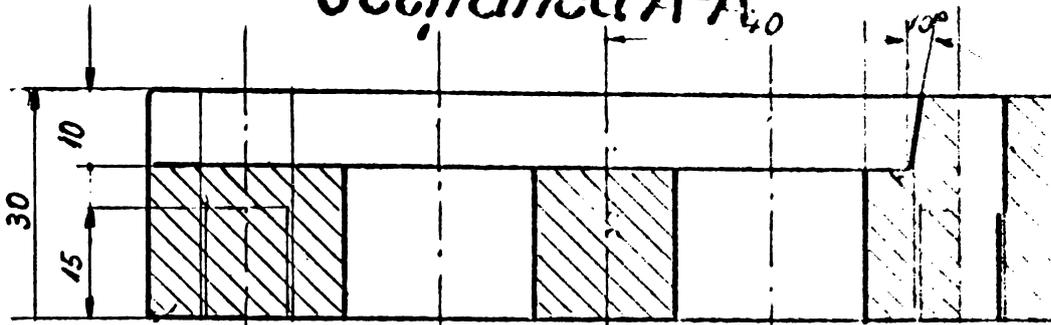
Secțiunea A-A



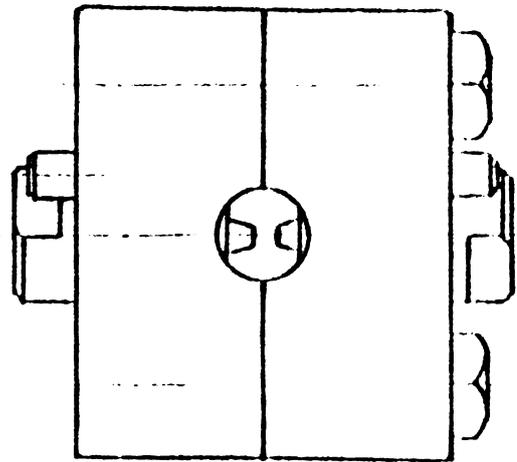
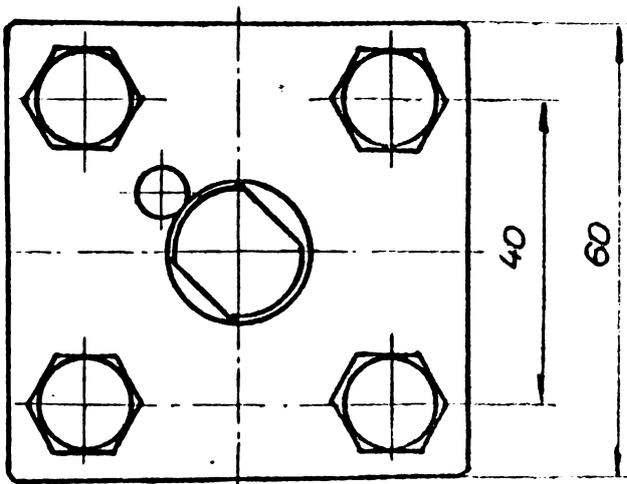
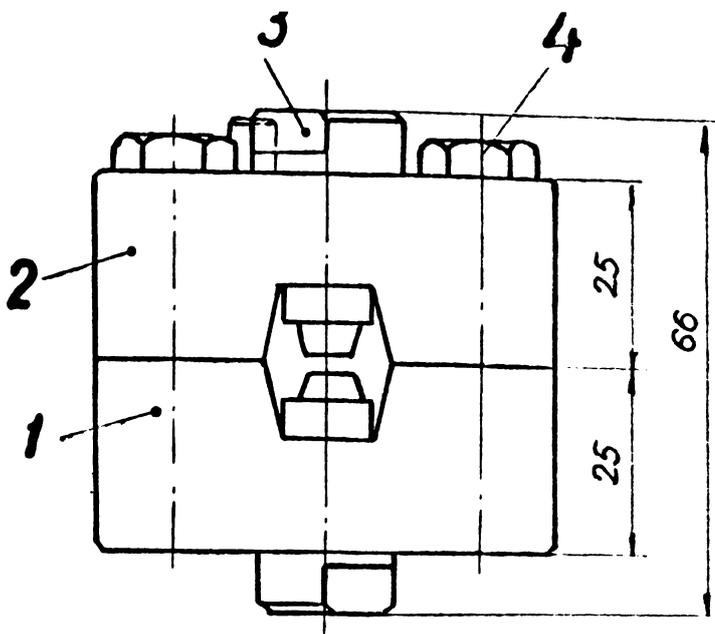
Proiectat	Cont. Both D.	Material OL50 STAS50053	02-07.01
Desenat	Giobanu C. Giobanu C.		
Verificat	Cont. Both D.		
Contr. STAS	Giobanu C. Giobanu C.		
Aprobat	Prof. Popovici V.	Masa netă:	
IPTVT Catedra UTS		Scara 1:1	Corp dispozitiv superior dispozitiv de sudat bare de 11 de 10x80 cu 10x80 mm 467,70 x 297 = 0
		Data:	



Secțiunea A-A₀



Proiectat	Conț. Both D.	...	Material OL50 STAS 5005.	02-07.02
Desenat	Giobanuc.	Giobanuc		
Verificat	Conț. Both D.	...		
Conț. STAS	Giobanuc.	Giobanuc		
aprobat	Prof. Popovici		Masa netă	
IPTVT Catedra UTS			Scara 1:1 Data 05.1974	Corp dispozitiv inferior dispozitiv de sudat bare de Al de 10x80 cu 10x80mm A.1210.307.3083.1



4	Șurub M8.40	STAS 4292-70	4	OL37			
3	Poanson	02-08-03	2	C120	călit, revenit		
2	Corp dispozitiv super.	02-08-02	1	OL52			
1	Corp dispozitiv infer.	02-08-01	1	OL52			
Poz.	Denumirea	Nr. desen sau STAS	Buc.	Material	Observații	pe buc Pkg	total nekt
Proiectat	Conf. Both D.	Material:	02.08.00				
Desenat	ing. Rădulescu						
Verificat	Conf. Both D.						
Conf. STAS	ing. Rădulescu						
Aprobat	Prof. Popoviciu	Masa netă:					

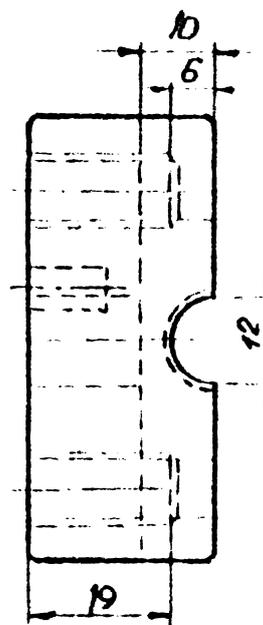
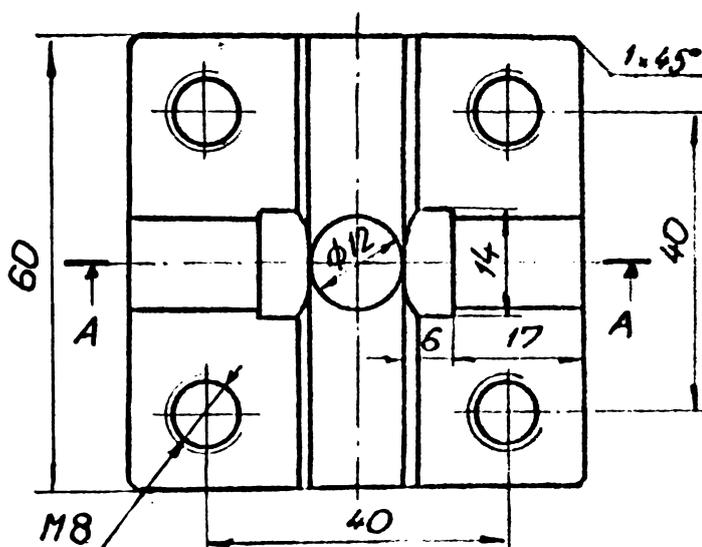
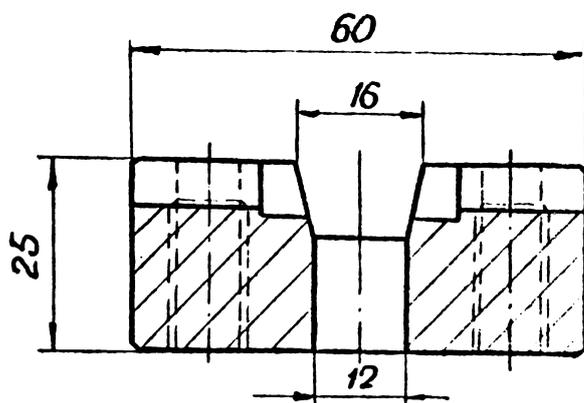
**I.P.T.V.T.
FAC. MECANICA**

Scara
1:1
DIN 12 74

**Dispozitiv de sudat conductori
de Ø12 cu 4.12mm**

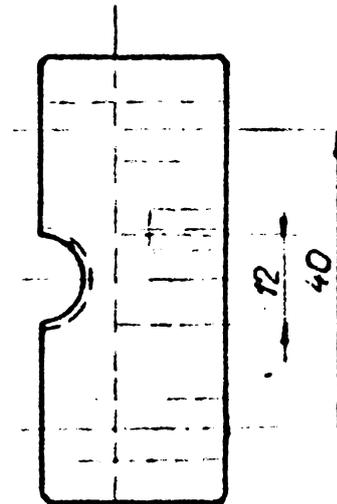
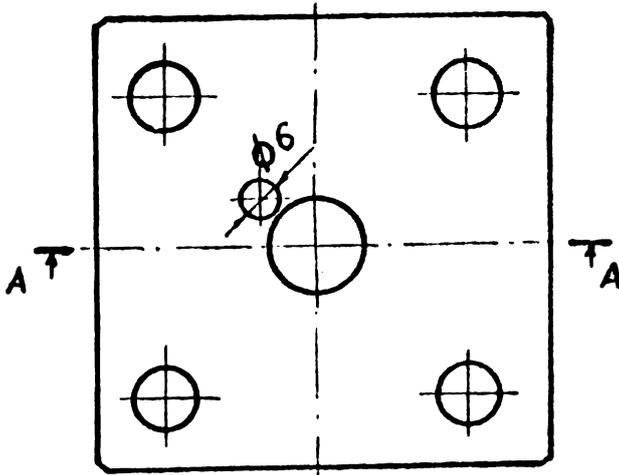
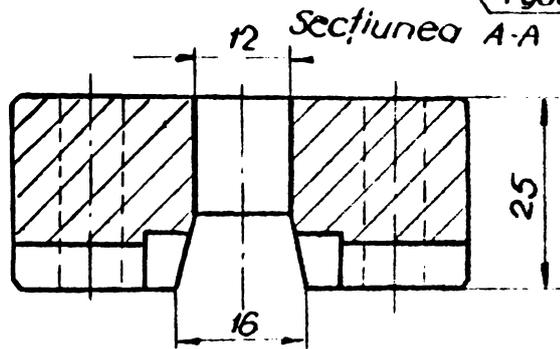
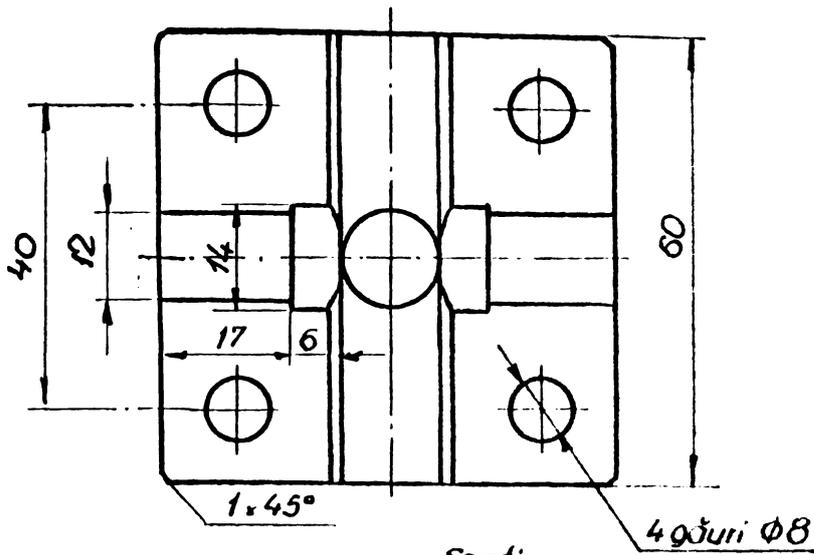
INSTITUTUL DE RESEARCH
INDUSTRIAL
44(210.29)
BIBLIOTECA CENTRALA

Sectiunea A-A



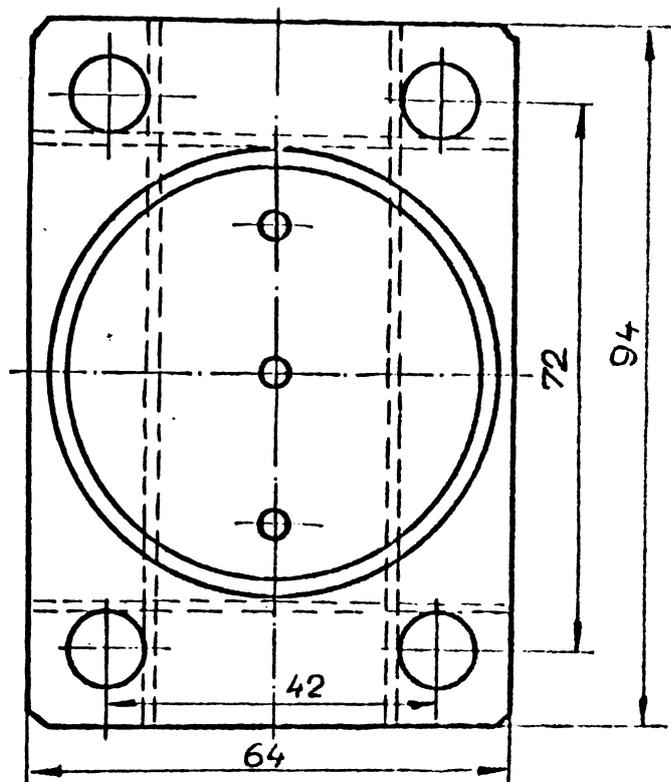
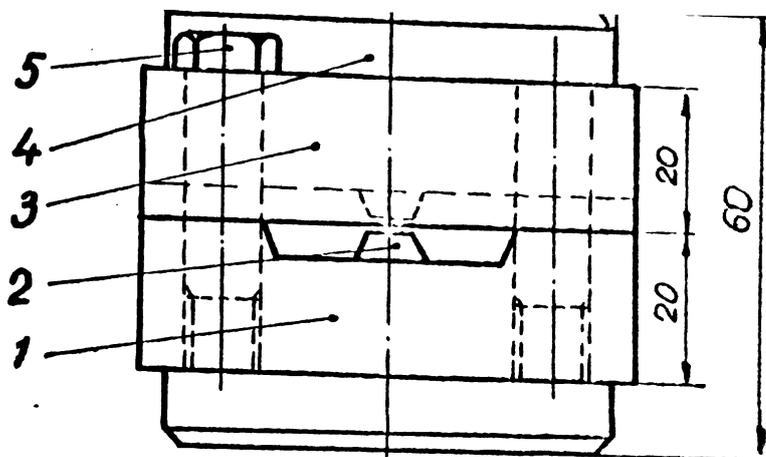
Proiectat Desenat Verificat Contr. ETAS Aprobat	Conf. ing. Balh D. Ing. Rădulescu Conf. ing. Balh D. Ing. Balh D. Balh D.	Material: AL 52 Masa netă: Scorcu: 1:1 16.12.74	02-08-01 Corp dispozitiv inferior Dispozitiv de sudat conductori de $\phi 12$ cu 4×12 mm
---	---	--	--

I.P.T.V.T.
FAC. MECANICA



Proiectat	Conf. Both D.	Material:	02-08-02
Desenat	Ing. Rădulescu	OL 52	
Verificat	Conf. Both D.	Masa netă:	
Contr. STAS	Ing. Rădulescu		
Aprubat	Prof. Popovici		
I.P.T. V.T. FAC. MECANICA		Scara:	Corp dispozitiv superior
		1:1	
Data: 16.12.74		Dispozitiv de sudat conductori de Ø12 cu 4.12 mm	

41 (91), 2000



5	Șurub M10 x 40	STAS 4272-70				
4	Portpoanson	02-09-04	2	OLC 35 STAS 4272-70	normalizat	
3	Corp dispozitiv superior	02-09-03	1	OL 50 STAS 5500-53		
2	Poanson	02-09-02	6	OSC 15 SCU C7	cdkt. revert	
1	Corp dispozitiv inferior	02-09-01	1	OL 50 STAS 5500-53		
Poz.	Denumirea	Nr. desen sau STAS	Buc.	Material	Observații	Masa netă

Proiectat Conf. Both D. Balu
 Desenat Ing. Radulescu R
 Verificat Conf. Both D. Balu
 Contr. STAS Ing. Radulescu R
 Aprobat Prof. Popovici VI VAA

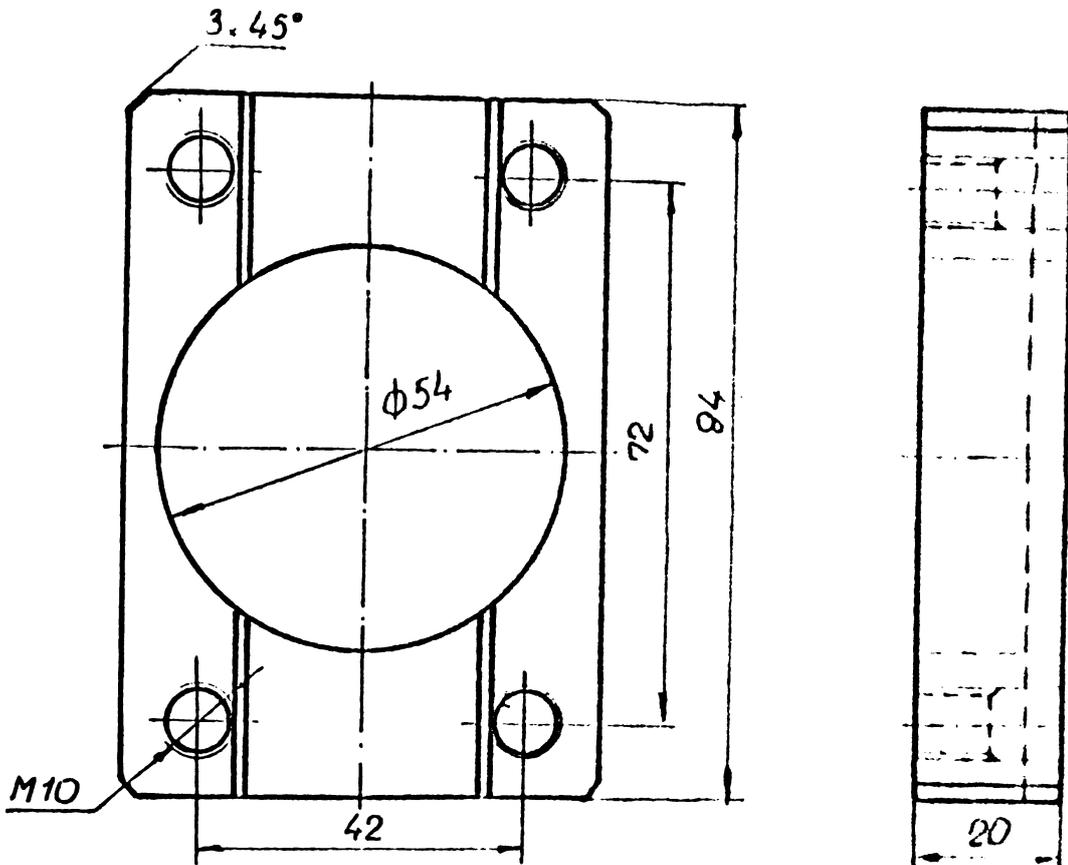
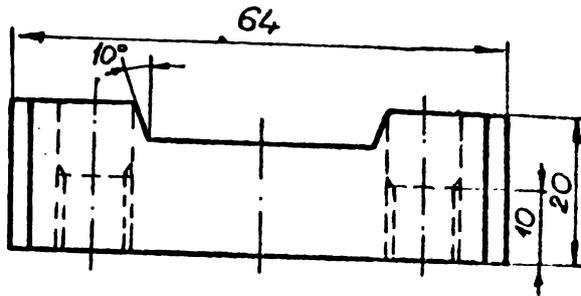
02-09-00

I.P.T.V.T.
Catedra U.T.S.

Scara
 1:1
 Dec. 10.11.75

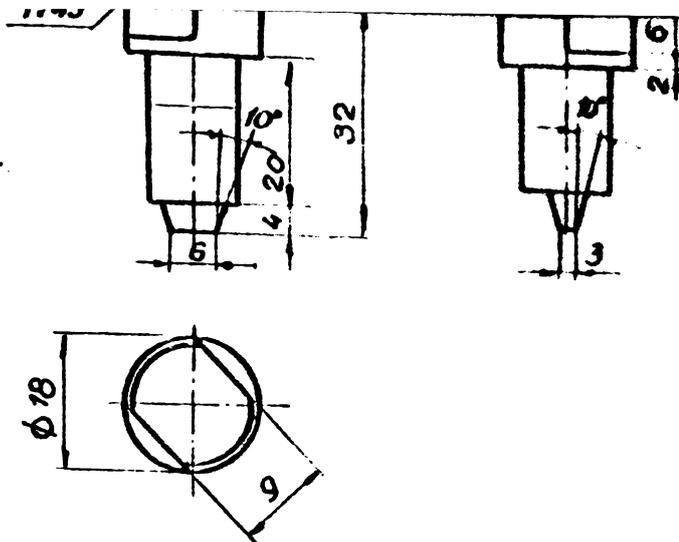
**DISPOZITIV PENTRU SUDAT BARE
 DE Al 5x60 cu 5.30mm**

A4/210.

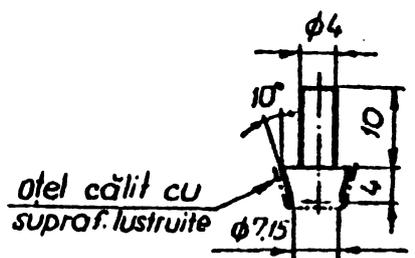


Proiectat	Conf. Both D.	<i>Both</i>	Material:		02-09-01				
Desenat	Ing. Rădulescu	<i>Rm</i>	OL 50						
Verificat	Conf. Both D.	<i>Both</i>	STAS 5500-53						
Contr. STAS	Ing. Rădulescu	<i>Rm</i>							
Aprobat	Prof. Popovici	<i>Uu</i>							
I.P.T.V.T. Catedra U.T.S.			Scara:		CORP DISPOZITIV INFERIOR				
			1:1						
			Data: 10.11.1975						

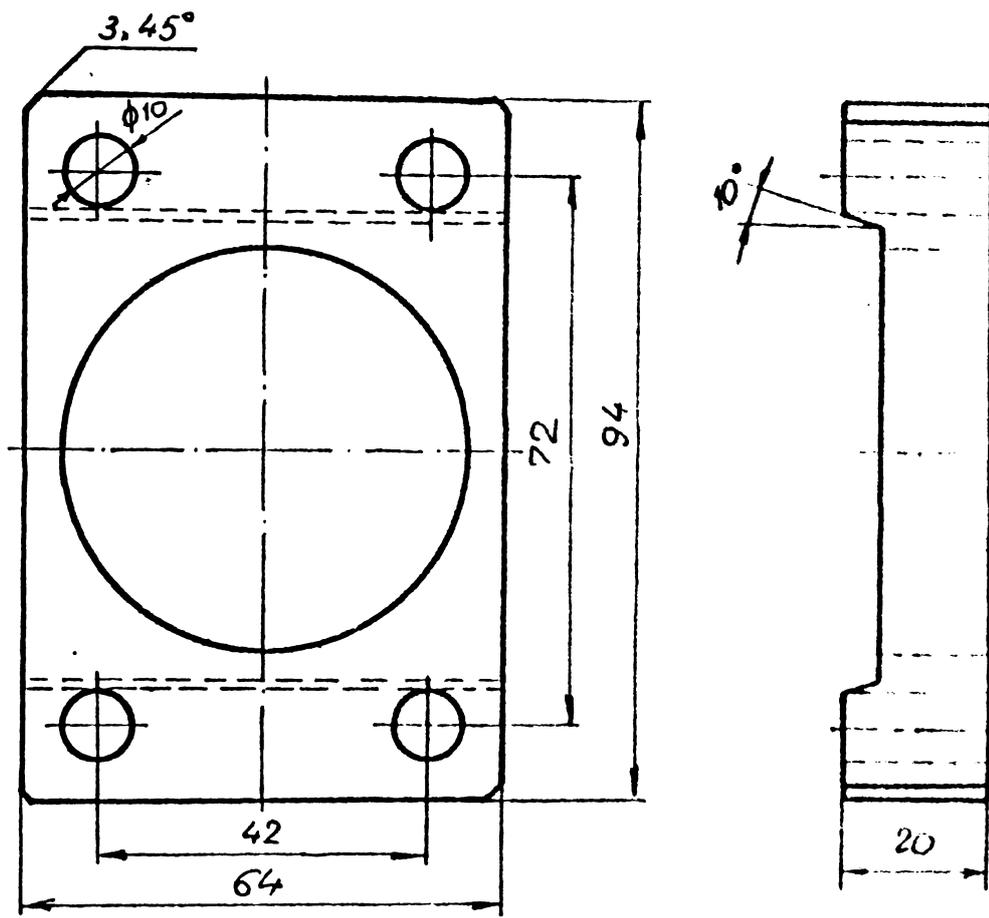
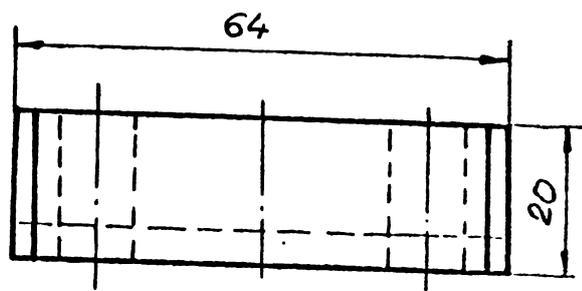
(311 297)



Proiectat	Conf. Both D.		Material:	02-08-03
Desenat	ing. Rădulescu T.			
Verificat	Conf. Both D.			
Contr. STAS	ing. Rădulescu T.			
Probat	Prof. Popovici V.		Masa netă:	
I.P.T.V.T. FAC. MECANICA			Scara:	POANSON
			1:1	
			Data:	Dispozitiv de sudat conductori de $\phi 12$ cu 4×12 mm
				A5 (210.148)



Proiectat	Conf. Both D.	Both	Material: OSC15 sau C7 călit, revenit	02-09-02
Desenat	ing. Rădulescu T.	Rădulescu T.		
Verificat	Conf. Both D.	Both		
Contr. STAS	ing. Rădulescu T.	Rădulescu T.		
Probat	Prof. Popovici V.	Popovici V.	Masa netă:	
I.P.T.V.T. Catedra U.T.S.			Scara:	POANSON
			1:1	
			Data:	10.11.2005
				A5 (210.148)



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Proiectat	Conf. Both D.	<i>Both</i>
Desenat	Ing. Radulescu I.	<i>R</i>
Verificat	Conf. Both D.	<i>Both</i>
Contr. STAS	Ing. Radulescu I.	<i>R</i>
Aprobat	Prof. Popovici V.	<i>V</i>

Material:
 OL 50
 STAS 5500-53

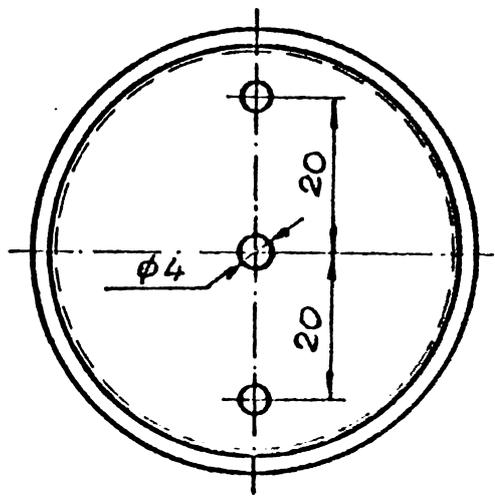
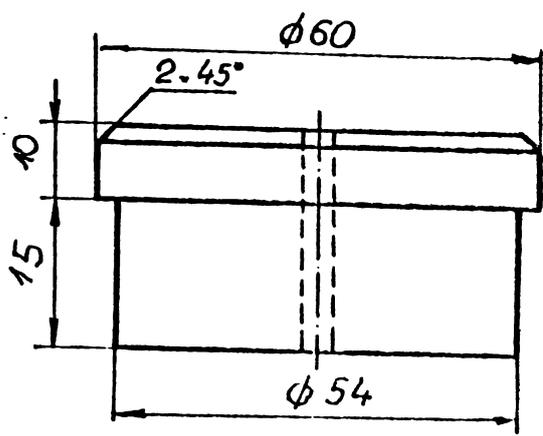
02-09-03

I.P.T.V.T.
Catedra U.T.S.

Scara
1:1
 Data: 10.11.1975

CORP DISPOZITIV SUPERIOR

A4/210.2



Proiectat	Conf. Both D.	<i>Both</i>	Material: DLC 35 STAS 4272-70 normalizat	02-09-04					
Desenat	Ing. Rădulescu I.	<i>Kad</i>							
Verificat	Conf. Both D.	<i>Both</i>							
Contr. STAS	Ing. Rădulescu I.	<i>R</i>							
Aprobat	Prof. Popoviciu	<i>UA</i>		PORTPOANSON					
I.P.T.V.T.			Scara 1:1						
Catedra U.T.S.			Data:						