

**INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VULIA"  
T I M I S O A R A  
FACULTATEA DE MECANICA**

**DUMITRESCU TEODOR**

**TEZA DE DOCTORAT**

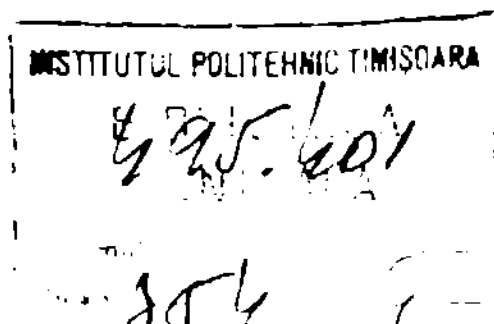
**OPTIMIZAREA PROCESELOR TEHNOLOGICE DE LIPIRE TARE A  
OTELURILOR CARBON PENTRU OBTINEREA IMBINARILOR CU  
REZISTENTA RIDICATA**

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

**CONDUCATOR ȘTIINȚIFIC**

**PROFESOR TRAIAN SALAGEAN  
MEMBRU CORRESPONDENT AL  
ACADEMIEI R.S.R.**

- 1985 -



## INTRODUCERE

Etapa actuală de dezvoltare tehnologică este caracterizată prin realizarea unor mașini cu performanțe ridicate (viteză, putere, capacitate de încălzire, etc.) în condițiile reducerii greutatei proprii, reducerii consumului de combustibil și a utilizării rașionale a materialelor scumpe și deficitare. În acest sens se extinde continuu domeniul de aplicare al pieselor cu structuri alveolare ușoare dar de mare rezistență, al pieselor bimetalice și al pieselor cu configurație geometrică complicată realizate prin lipire tare. Lipirea tare își găsește aplicație în domenii de vârf cum sînt: fabricarea de componente pentru avioane, vehicule aérospatiale, centrale nucleare electrice, sape de foraj și în construcția de autovehicule.

Rolul lipirii tari pînă în prezent a fost limitat la realizarea de îmbinări supuse la eforturi reduse în care aliajul de lipire a fost privit ca un adeziv.

Tehnica actuală bazată pe cunoașterea fenomenelor de bază ale proceselor de îmbinare prin lipire, dispunind de echipamente moderne (cuptoare de lipire cu atmosferă reducătoare sau vid, instalații cu inducție, etc.) permite realizarea unor repere din materiale similare sau disimilare cu caracteristici ridicate de rezistență.

Una dintre sarcinile de mare importanță pentru progresul economico-social pune în față cercetării științifice din țara noastră o constituie perfecționarea tehnologiilor, crearea și aplicarea industrială de noi tehnologii, care să asigure sporirea mai accentuată a productivității muncii, îmbunătățirea calității producției și reducerea consumurilor specifice de materiale și energie, creșterea substanțială a eficienței economice.

"Activitatea de cercetare trebuie să ducă la valorificarea superioră a bogățiilor naturale, la dezvoltarea economiei pe bază celor mai noi descoperiri ale științei și tehnicii" /1/.

Preocupările în domeniul lipirii metalelor sînt cunoscute în țara noastră din cele mai vechi timpuri, dar perioada actuală a impus înfrîngerea unui colectiv în cadrul IRII întrucît în vederea trecerii de la tratarea empirică a problemelor de lipire țară la abordarea științifică, modernă la nivelul tehnicii mondiale bazate pe cunoașterea și aprofundarea teoriei în domeniu, dezvoltarea prin cercetări proprii și implementarea rezultatelor în industrie.

Cercetări în vederea realizării și dezvoltării unor tehnologii moderne de lipire țară au fost efectuate și în cadrul colaborării internaționale cu specialiștii din țările membre URSS.

Lucrarea de doctorat a avut ca obiect rezolvarea unui număr mare de probleme, în cadrul următoarelor direcții:

- dezvoltarea bazelor teoretice ale lipirii țării și aliajilor,
- cercetarea experimentală a lipirii țării a aliajilor cu carbon în scopul măririi rezistenței îmbinărilor lipite.

Studial aprofundat al situației actuale pe plan mondial a constituit la fiecare problemă etapă preliminară de cercetare. Tesa de doctorat este structurată pe trei părți cu 5 capitole. În partea a patra se sintetizează contribuțiile originale aduse în cadrul lucrării, iar în partea a cincea se prezintă literatura studiată și utilizată, un număr de 14 titluri fiind lucrări publicate sau comunicate ale autorului și contracte de cercetare pentru industrie.

Tesa de doctorat, prima lucrare în domeniul lipirii

tari a metalelor care se elaborează în țara noastră, sintetizează cunoștințele actuale în domeniu și rezultatele cercetărilor și experimentărilor efectuate la ISIM Timișoara precum și pe echipamentele cele mai moderne de lipire existente la ICPTSC București, I. Autocamioane Brașov și I. Mecanică Pîndă Sîmbia, în scopul optimizării tehnologice la lipirea tare a oțelurilor carbon. Aplicația dezvoltării tehnicilor de investigare a microstructurii metalelor și aliajelor respectiv microscopul și microsonda electronică au permis autorului să studieze fenomenele care conduc la mărirea rezistenței îmbinărilor lipite către limita rezistenței materialului de bază.

Autorul aduce mulțumiri conducerii Institutului de Sudură și Incercări de Materiale pentru condițiile excelente create pentru desfășurarea activității de cercetare științifică și a formării profesionale a cadrelor. Totodată aduce mulțumiri colegilor și colaboratorilor din unitățile industriale amintite pentru condițiile create în vederea efectuării probelor necesare cercetărilor.

## 1. FENOMENE FUNDAMENTALE LA LIPIREA OTELURILOR CARBON

Lipirea este procedeul de asamblare nedemontabilă care se realizează prin stabilirea unor legături între rețelele cristaline ale materialelor de bază în stare solidă, prin intermediul aliajelor de lipire topite. Pentru a lipi două componente metalice este necesar ca:

- să se realizeze apropierea atomilor mărginași la distanțe de ordinul parametrului rețelei cristaline;
- să se introducă energie în sistem pentru a-l scoate din poziția de echilibru stabil.

Introducerea de energie termică în sistem are ca urmare încălzirea materialului de bază până la temperatura de lipire și topirea aliajului de lipire. Fenomenele care conduc la realizarea îmbinării lipite sînt:

- conectarea materialului de bază solid (aflat la temperatura de lipire) de către aliajul de lipire topit;
- întinderea aliajului de lipire topit pe materialul de bază;
- pătrunderea aliajului de lipire topit prin capilaritate în rosturile de lipire;
- fenomene de difuzie în îmbinările lipite;
- cristalizarea aliajului de lipire și formarea îmbinărilor lipite.

Ținînd seama că lipirea se realizează fără topirea materialelor: de bază prin interacțiunea aliajului de lipire cu acestea prin fenomene de difuzie, se apreciază că lipirea metalelor

este datorită fenomenelor superficiale la interfața sistemului. Datorită structurii specifice pe care o prezintă metalele în stare lichidă sau solidă, fenomenele superficiale se manifestă cu o intensitate deosebită de a celorlalte materiale.

Energia liberă a suprafeței este factorul de bază care dirijează fenomenele superficiale. Pentru caracterizarea stării energetice a suprafeței în practică se folosește noțiunea de tensiune superficială care reprezintă energia superficială a unității de suprafață /2/.

Proprietățile superficiale ale materialului se manifestă la suprafețele fiecărei faze.

În cazul metalelor principalele fenomene superficiale se manifestă la interfețele: solid - lichid, solid-gaz, și lichid - gaz.

Tensiunea superficială a metalelor topite este ca și în cazul altor substanțe lichide, o proprietate caracteristică fundamentală. Ea este o consecință directă a forțelor de atracție pe care le exercită particulele din interiorul metalului topit (ioni și electroni) asupra celor de la suprafață, care datorită acestui fapt posedă o energie liberă mai mare (energie superficială).

### 1.1. Umectarea

Stabilirea contactului intim între atomii aliajului de lipire lichid și atomii suprafeței solide a piccelor, se realizează prin fenomenul de umectare sau sudare. Umectarea este posibilă numai în cazul în care forțele de adesiune dintre lichid și solid sînt mai mari decît forțele de coeziune dintre particulele de lichid.

### 1.1.1. Mărimii fizicilor de legătură

Apropierea atomilor marginai ai celor două materiale de bază se realizează prin intermediul băii de aliaj de lipire topit, procesele fizice de adsorbție, fiind condiționate de forțele Van der Waals /2,3/. Mecanica cuantică demonstrează că în

cazul în care distanța  $r$  dintre doi atomi, este mai mare ca diametrul lor, forța de atracție dintre ei se reduce la forțele Van de Waals variind după legea:

$$F = \frac{\mu}{r^7} \quad (1.1)$$

Relația dintre energia potențială  $U$  și forța de legătură  $F$  este:

$$F = - \frac{dU}{dr} \quad (1.2)$$

rezultă că  $U = - \frac{\mu}{r^6} \quad (1.3)$

Constanta  $\mu$  din relația (1.3) poate fi calculată sau poate fi dedusă din date experimentale. Legea de interacțiune pentru cazul când distanța dintre atomi scade sub diametrul atomului ( $r \leq d$ ) este mai complicată și are forma:

$$U_t = -\frac{\mu}{r^m} + \gamma \frac{1}{r^n} \quad (1.4)$$

în care:  $\mu$ ,  $\gamma$ ,  $m$ ,  $n$  sînt constante pozitive, iar  $m < n$ .

Relația (1.4) arată situația reală care are loc la apropierea atomilor între ei. Energia potențială negativă crește aproximativ cu inversul puterii a șasea a distanței dintre centrele atomilor ( $m \sim 6$ ) când distanța dintre atomi este mai mare. Datorită sarcinilor electrice de același fel pe care le posedă particulele, apar forțe de repulsie la distanțe foarte mici. Pe măsură ce distanța dintre atomi scade, forțele de repulsie cresc, iar energia potențială de repulsie, reprezentată de relația (1.4) prin termenul pozitiv, crește foarte mult după o lege exponențială. Variațiile energiei potențiale  $U$  și a forței de atracție  $F$  în funcție de distanța dintre particule este dată în figura 1.

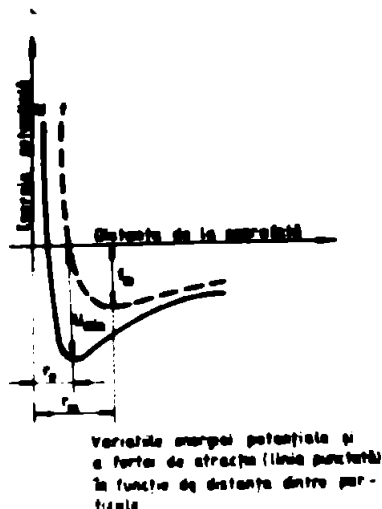


Figura 1.

Forța de atracție în cazul  
corpurilor metalice, repre-  
sentată de primul termen al  
relației (1.5) este dată de  
forțele de interacțiune  
coulombiene dintre un ion  
pozitiv oarecare și elec-  
troni negativi care for-  
mează mediul în care ionul  
este absorbit.

Forța de legătură interac-  
tională este dată de relația:

$$F = -n \cdot \mu \cdot r^{-(n+1)} + n \cdot \gamma \cdot r^{-(n+1)} \quad (1.5)$$

Sarcina electronilor, poate fi considerată concentra-  
tă la jumătatea distanței  $r$  dintre ionii pozitivi învecinați,  
ceea ce permite să se calculeze energia de legătură coulombiană  
printr-o formulă de același tip ca și în cazul unei rețele cu-  
bice, în care ionii de semn opus sînt situați la distanța  $r/2$

$$U_{\bullet} = - \frac{2 \alpha \cdot e^2}{r} \quad (1.6)$$

în care  $\alpha$  este o constantă de ordinul unității (constanta lui  
Madelung). Pentru rețeaua cubică  $\alpha = 1,7$ .

Energia potențială de atracție în cazul unui metal  
cu valența  $Z$ , care conține  $N$  ioni este:

$$U_{\bullet} = - \frac{2N \cdot \alpha \cdot e^2 \cdot Z^2}{r} \quad (1.7)$$

în care  $e$  este sarcina electronului ( $4,8 \cdot 10^{-18}$  u.e.m.).

La o distanță  $r$  mai mică decît cea critică  $r_0$  ( $r \leq r_0$ )



apar forțele de respingere care se datoresc așa cum s-a arătat mișcării electronilor colectivizați. Energia cinetică a electronilor colectivizați este egală cu:

$$U_r = \frac{\beta h^2 \cdot z^{5/3} \cdot N}{8 \cdot M \cdot r^2} \quad (1.8)$$

în care:

- $h$  - constanta lui Planck  $6 \cdot 10^{-27}$  (erg.s)
- $M$  - masa electronului  $9 \cdot 10^{-31}$  (g)
- $\beta$  - factor de corecție de ordinul lui 1.

Energia totală de legătură este egală cu:

$$U_t = \frac{A}{r} + \frac{B}{r^2} \quad (1.9)$$

în care  $A = 2, N \cdot \sqrt{e^2 \cdot z^2}$  (1.10)

$$B = \frac{h^2 \cdot z^{5/3} \cdot N}{8 \cdot M} \quad (1.11)$$

Relația dintre  $U_t$  și  $r$  exprimată prin formula (1.9) are aceeași formă ca aceea reprezentată în figura 1, pentru modelul biatomic al unui corp solid.

### 1.1.2. Tipurile de absorbție care se produc la interfața metal în stare solidă și metal lichid

Fenomenul de concentrare a unor particule componente a soluției (molecule, atomi) la suprafața metalului tepit poartă numele de absorbție. Prin adsorbția diverselor elemente metalice sau nemetalice metalele pot căpăta proprietăți specifice. Adsorbția pozitivă de molecule are loc întotdeauna pe suprafața metalelor solide, acestea concentrându-se pe suprafața de separare. Fenomenul se explică prin existența câmpurilor de forță a elementelor structurale ale suprafeței (ioni și electroni) care dau naștere la forțe de interacțiune de tip Van der Waals cu molecule

de metal topit. Acțiunea forțelor intermoleculare poate fi considerată exclusiv de natură fizică, adsorbția produsă fiind deci o adsorbție fizică, în cazurile când structura internă a moleculelor adsorbite nu se schimbă.

Adsorbția chimică se realizează dacă legătura din moleculele adsorbite se modifică în urma interacțiunii cu suprafața adsorbantului. Între adsorbția fizică și cea chimică nu se poate face întotdeauna o deosebire netă. Pentru delimitarea lor Lennard-Jones /2/ propune să se studieze variația energiei potențiale a moleculelor adsorbite în funcție de distanța dintre moleculele adsorbite și suprafața metalului adsorbant.

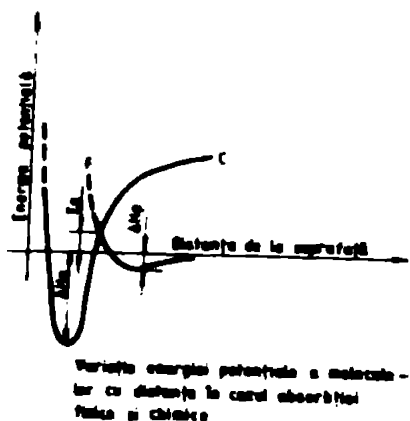


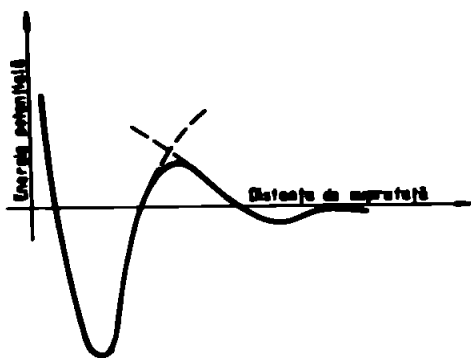
Figura 2.

Curba P de variație a energiei potențiale, în cazul adsorbției fizice (figura 2) scade la început pe măsură ce distanța se micșorează deoarece în această zonă acționează forțele de atracție Van der Waals. Valoarea energiei potențiale atinge un minim la distanța  $d_p$  de la suprafața metalului, egală cu suma razelor covalente

ale metalului solid și lichid plus dublul distanței de acțiune a forțelor Van der Waals (în total cea 3-4Å). După atingerea valorii minime dacă molecula se apropie mai mult de suprafața metalului curba potențialului crește din nou deasupra nivelului zero, datorită forțelor de repulsie care intră în acțiune. Minimul curbei potențiale reprezintă valoarea energiei de adsorbție fizică ( $-\Delta H_p$ ) și corespunde cu căldura degajată în acest proces. Curba C în cazul adsorbției chimice are un minim pronunțat al energiei potențiale ( $-\Delta H_a$ ) la o distanță  $d_0$ , egală cu suma razelor covalente ale moleculelor de aliaj topit și a metalului (cea 1,5-3 Å).

Minimul curbei potențiale reprezintă valoarea energiei de adsorbție chimică (egală cu căldura de adsorbție chimică).

Mecanica cuantică stabilește că în cazul în care curbele de energie potențială se intersectează, sistemul poate trece de pe o curbă pe alta, din care ocazî curba totală apare rotunjită, într-o măsură mai mare sau mai mică (figura 3).



Variația energiei potențiale totale în cazul adsorbției fizice urmată de adsorbția chimică

Energia de activare depinde de temperatură direct proporțional, deci se poate întâmpla ca la temperatura la care se găsește sistemul să nu se poată produce desorbția moleculelor de pe suprafața metalului.

### 1.1.3. Mecanismul umectării

**Figura 3.** Contactul fizic și exercitarea legăturilor chimice între atomii de aliaj de lipire și ai materialului de bază se obțin în stadiul umectării.

Atomii aliajului de lipire topit intră în sfera de acțiune a atomilor rețelei cristaline a materialului de bază și se răspîndesc într-o ordine cristalografică determinată de minimul valorii energiei interfaciale. Energia de activare determină caracterul legăturilor realizate respectiv fizice (la valori mici ale lui  $E_a$ ) și legături chimice (la valori ridicate ale lui  $E_a$ ). Formarea legăturilor chimice rezistente (metalice, covalente sau de tip combinat) conduce la micșorarea energiei superficiale interfaciale, la aceasta contribuind și pierderea unui număr de atomi din oțel și adsorbția de aliajul de lipire lichid. Stabilirea legăturilor chimice duce la redistribuirea atomilor în planul de adsorbție prin înlocuirea parțială a locurilor atomilor lichidului cu atomii ai suportului. Viteza unui astfel de schimb este deosebit de mare pe porțiunile activate ale suprafeței (în timpul deformațiilor elastice ale rețelei, în locul ieșirii dislocațiilor).

Redistribuirea atomilor pe granița interfațială poate să se desvolte apoi în heterodifuzie, care conduce la schimbarea compoziției chimice a aliajului de lipire și a materialului de bază în stratul de la interfață.

Unectarea este primul stadiu al interacțiunii fizico-chimice dintre aliajul de lipire topit și materialul de bază solid, care conduce la formarea îmbinării lipite. Semnul caracteristic al compoziției metalelor de a interacționa chimic este formarea între aliajul de lipire și materialul de bază de antec-tice, soluții solide sau combinații intermetalice. Astfel la cercetarea interacțiunii a diferite metale solide (Fe, Ni, Cu, Au, Ag) cu metale lichide (Ag, Zn, Pb, Cd, Sn, Al) s-a descoperit /2/ că unectarea se desfășoară în acele sisteme binare unde la temperatura experimentală se formează soluții solide sau inter-metalice. D.Gordon și V.Lane (2/ au stabilit de asemenea legătura reciprocă dintre curgerea metalului lichid și raportul raze-lor atomice de metalului lichid și a metalului solid respectiv că se produce curgerea când raportul este cuprins între 1,40 și 1,56. Aceasta se explică prin rearanjarea care se produce la unectare , a distribuirii atomilor, care conduce la abateri cu atât mai mari ale distribuției ei normale, cu cât mai mare este diferența razelor atomice.

#### 1.1.4. Stabilirea mărimii unghiului de contact

Energia de legătură sau lucrul mecanic de aderență  $W_a$  la interfața aliaj de lipire topit - material de bază solid care apare la unectare, poate fi determinată cu formula lui Duprech /2,3,4,5/.

$$W_a = \gamma_{sg}^l + \gamma_{lg}^l - \gamma_{sl}^l \quad (1.12)$$

unde  $\gamma_{sg}^l, \gamma_{lg}^l, \gamma_{sl}^l$  sînt energiile libere ale suprafețelor sau tensiunile superficiale ale fazelor participante (solid - lichid  $\gamma_{sl}^l$  solid - gaz  $\gamma_{sg}^l$  și lichid - gaz  $\gamma_{lg}^l$ ).

Comparând lucrul mecanic de aderență cu energia de legătură a atomilor în rețeaua cristalină a corpului solid, dacă se acceptă că influența volumelor interioare ale materialului de bază asupra efectelor de suprafață este neglijabilă diferenț, se consideră că legătura interfasică este asigurată numai de către atomii unei suprafețe care alcătuiesc un monostret, atunci lucrul mecanic de aderență raportat la un mol de substanță este :

$$q_a = 2,39 \cdot 10^{-11} W_a \cdot S_M \quad (1.13)$$

unde:

$q_a$  - energia legăturilor care acționează la interfață (kcal/mol)

$W_a$  - lucrul mecanic de aderență (erg/cm<sup>2</sup>)

$S_M$  - suprafața care este ocupată de monostretul de substanță în cm<sup>2</sup>

Energia totală de legătură a unui mol de substanță ținând seama că peste interfață acționează numai o parte a legăturilor fiecărui atom (de exemplu 1/3) este dată de relația:

$$Q_a = 3 \cdot q_a = 7,2 \cdot 10^{-11} W_a \cdot S_M \quad (1.14)$$

Mărimea suprafeței ocupată de un strat de substanță se determină cu relația:

$$S_M = k \cdot 10^8 \left( \frac{A}{\rho} \right)^{2/2} \quad (1.15)$$

unde:

A - greutatea atomică,

$\rho$  - densitatea

k - coeficient egal cu 1,1 pentru rețea C.F.C. și 1,3 pentru C.V.C.

Calculul energiei de legătură sînt dificile din lipsa pentru majoritatea sistemelor a unor date sigure despre valorile energiilor superficiale. Calcululele ar arătat că energia

de legătură, ca ordin de mărime, este apropiată de căldura de sublimare. De exemplu pentru cazul interacțiunii fierului cu cuprul topit energia de aderență calculată cu formula (1.14) este de 86 kcal/mol. Căldura de sublimare a cuprului este de 81,2 kcal/mol, iar a fierului de 96,7 kcal/mol.

Compararea acestor valori permite să se tragă concluzia că legăturile interatomice care se stabilesc cu ocazia umectării la interfața aliaj de lipire - material de bază nu se deosebesc esențial de legăturile metalice care acționează într-un metal de un anumit tip (omogen).

Unghiul de contact  $\theta$ , care se determină prin metoda picăturii în stare de repaus (figura 4) este calculat din condiția de echilibru a forțelor aplicate (energiile libere de fazelor) în punctul de contact:

$$\gamma_{AL} = \gamma_{SL} - \gamma_{LG} \cdot \cos \theta \quad (1.16)$$

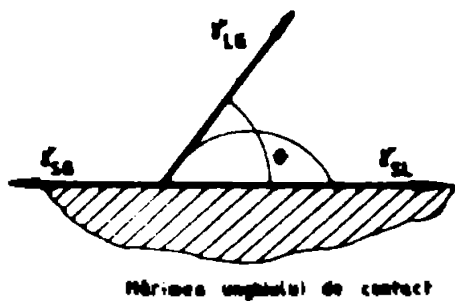


Figura 4.

- $0 < \theta < 45^\circ$  umectare foarte bună
- $45^\circ < \theta < 90^\circ$  umectare bună
- $\theta > 90^\circ$  umectare nesatisfăcătoare

Capacitatea de umectare exprimată prin valoarea unghiului de contact  $\theta$  depinde de o serie de factori, dintre care cei mai importanți sînt:

Introducînd această expresie în formula lui Duprech obținem lucrul mecanic de aderență:

$$W_a = \gamma_{LG}(1 + \cos \theta) \quad (1.17)$$

Rezultă valoarea unghiului de contact  $\theta$  a cărei interpretare este următoarea:

- solubilitatea reciprocă în contact, Metale care formează compuși chimici și au aceleași faze în diagrame de stare prezintă o umectare bună;
- introducerea în aliajul de lipit sau fluxul decașant a unor elemente care reduc valorile tensiunilor superficiale;
- temperatura pieselor, precum și starea de curățenie a suprafețelor destinate lipirii, au un efect puternic asupra umectării;
- procesul de oxidare al suprafețelor (la temperatura mediului ambiant și în timpul ciclului termic de lipire), determină de asemenea ușurința sau dificultatea lipirii.

#### 1.1.5. Procesul de oxidare al suprafețelor de oțel carbon

Procesul de lipire, respectiv umectarea materialului de bază de către aliajele de lipire topite sînt limitate sau chiar imposibil de realizat din cauza stratului de oxizi de pe suprafața materialului de bază format la temperatura mediului ambiant și care crește în grosime în timpul ciclului termic de lipire. Procesul de oxidare decurge astfel: atomii superficiali de fier atrag atomii de oxigen cu care intră în reacție formînd un strat de oxid de dimensiunea unei molecule. Ionii de metal, mai mici ca dimensiune, difuzează prin stratul oxidat (figura 5a) și reacția cu oxigenul are loc la limita dintre stratul de oxid și aer. Viteza de creștere a grosimii stratului de oxid este determinată de viteza de difuzie a atomilor de metal prin stratul de oxid. Stratul de oxid format la suprafața oțelurilor carbon este format din  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$  și  $Fe_3O_4$ . Zonele de oxizi la temperaturi joase ( $570^{\circ}C$ ) sînt alcătuite din  $Fe_2O_3$  și  $Fe_3O_4$  (figura 5.b) cu structură complexă, viteza de difuzie a atomilor de fier este mică. La temperatura mai ridicată de  $570^{\circ}C$ , la care au loc procesele de lipire tare, stratul de oxizi este format din:  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_3O_4$  și  $FeO$  (Figura 5.c).

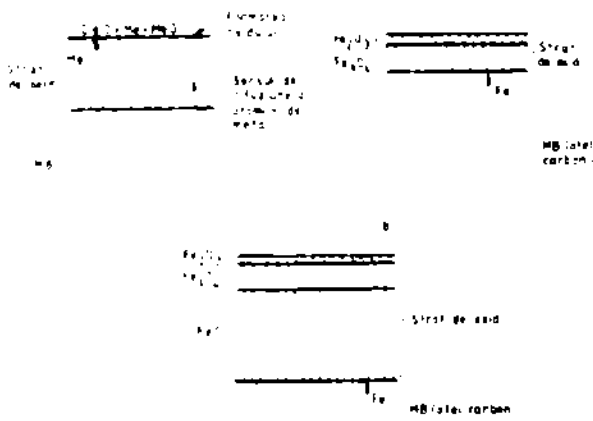


Figura 5: Procesul de oxidare a suprafețelor oțelurilor carbon

Stratul de oxid este alcătuit în cea mai mare parte din oxid feros ( $FeO$ ). Viteza de oxidare este mare datorită vitezei de difuzie mai mari a atomilor de fier prin rețeaua de  $FeO$ . Oxidul feros are o rețea cristalografică cubică cu fețe centrate. Existența locurilor goale în rețea ușurează

difuzia atomilor de fier prin rețeaua oxidului feros.

Pentru a evita formarea straturilor groase de oxizi este indicat să se crească condițiile pentru formarea oxidului feric, care are o rețea compactă, fără goluri, viteza de difuzie a atomilor de fier prin rețea fiind redusă.

Procesul (gradul) de oxidare al suprafețelor oțelurilor carbon respectiv al unui oțel aliat cu crom este ilustrat în figura 6 /6/. Din figură rezultă că formarea stratului de oxid este inevitabilă pentru ambele oțeluri, la oțelurile carbon fiind mult mai intensă.

Dezafectarea în bune condiții a procesului de unectare depinde de măsurile care se iau în sensul înlăturării stratului de oxizi și a eliminării posibilităților de formare a unor noi straturi de oxizi. Îndepărtarea straturilor de oxizi se realizează fie

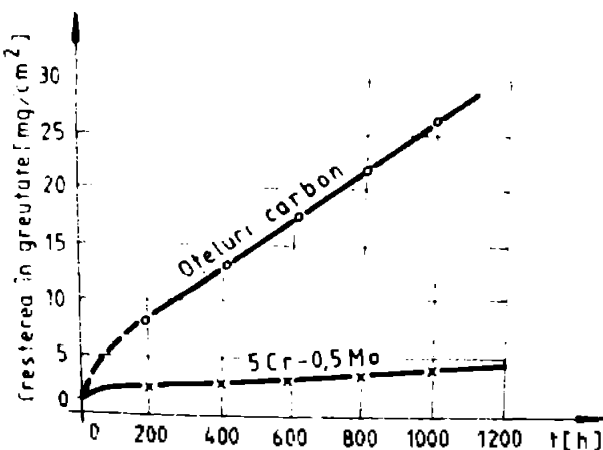


Figura 6: Gradul de oxidare al suprafețelor oțelurilor carbon și aliate

meccanic (prin șlefuire cu hirtie abrazivă sau sablare) sau chimic înainte procesului de lipire, fie prin intermediul fluxurilor deșepante sau atmosferelor reducătoare și vidului în timpul procesului de lipire.



## 1.2. Intinderea

Condiția ca aliajul de lipire topit să se întindă (sau să curgă) pe suprafața materialului de bază solid la temperatura de lipire se poate scrie sub forma:

$$\gamma_{SG} > \gamma_{LG} + \gamma_{SL} \quad (1.18)$$

Condiția întinderii aliajului de lipire topit pe suprafața materialului de bază se obține și din tendința sistemului spre micșorarea energiei libere:

$$\delta F = -\gamma_{SG}^L \cdot \delta F_1 + \gamma_{SL}^L \delta F_2 + \gamma_{LG}^L \cdot \delta F_3 < 0 \quad (1.19)$$

deoarece  $\delta F_1 = \delta F_2 = -\delta F_3$

rezultă că  $\gamma_{SG}^L > \gamma_{LG}^L + \gamma_{SL}^L$

Ținând seama că toate tensiunile superficiale sînt pozitive din relația lui Dupresch (1.12) rezultă că cca  $\theta \approx 70^\circ$  și că  $\gamma_{SG}^L > \gamma_{SL}^L$  și  $\gamma_{SG}^L > \gamma_{LG}^L$

Condiții optime pentru întinderea aliajului topit pe suprafața materialului de bază solid se creează prin creșterea energiei superficiale la granița fazelor solid-gaz și lichid-gaz și scăderea energiei superficiale la granița solid-lichid.

Energile superficiale interfasice scad datorită efectului fluxurilor decapante și a ridicării temperaturii de lucru, dar o legitate a unei astfel de variații nu a fost concret stabilită.

Capacitatea de întindere a aliajului de lipire topit pe materialul de bază solid presupune interacțiunea chimică dintre ele, respectiv diluarea reciprocă a metalului lichid și solid și formarea compuşilor intermetalici.

Intinderea aliajului topit pe suprafața materialului de bază decurge astfel:

*490 kel  
304 T*

- În primul stadiu caracterizat prin interacțiunea relativ slabă a aliajului de lipire cu materialul de bază aliajul se deplasează frontal pe suprafață, viteza de deplasare depinzând de rugozitatea și neregularitățile suprafeței.

- Stadiul deplasării frontale a aliajului topit în cazul interacțiunii fizico-chimice este mai intens, datorită creșterii temperaturii și prin diluția materialului de bază în aliajul de lipire topit. Faza mai ușor fuzibilă (eutectice, soluții solide etc.) se întinde pe suprafața materialului de bază sub formă de pirâie ramificate. Direcția pirâielor este determinată de caracterul diluției materialului de bază cu aliajul de lipire topit precum și de forțele de gravitație și capilaritate. Capacitatea de reacție a aliajului de lipire odată cu creșterea temperaturii crește, iar diluția materialului de bază se accentuează.

- Stadiul al treilea este caracterizat de apariția eroziunii chimice intensive a materialului de bază, care se amplifică în locurile de aglomerare a unei cantități mari de aliaj de lipire (de exemplu la racorduri).

Lipirea în cazul unei interacțiuni corespunzătoare între materialul de bază și aliajul de lipire topit trebuie să se realizeze la temperatura primului stadiu al întinderii aliajului de lipire și, în cazul în care este posibil, la timpuri reduse de menținere.

Stratul continuu de oxizi dintre metalul de bază solid și aliajul de lipire, împiedică întinderea aliajului de lipire. Se presupune că desprinderea peliculei de oxid de pe materialul de bază ca urmare a pătrunderii între ele a aliajului lichid se produce inițial datorită apariției unor gaze ca urmare a evaporării. Întrunderea aliajului de lipire lichid între materialul de bază și oxizii săi, desprinderea oxizilor de pe suprafață și scoaterea lor la suprafață permit realizarea îmbinării lipite.

Stadiile întinderii sînt deci următoarele:

- interacțiune slabă cu deplasare frontală a aliajului de lipire;
- interacțiune locală,
- interacțiune generală intensă a aliajului de lipire topit cu materialul de bază.

Forța sau presiunea de întindere se poate determina din relația lui Dupresch (1.12) (/2,3,4/.

$$P_f \gg P_a - 2 \gamma_L \quad (1.20)$$

Rezultă că întinderea se realizează atunci cînd adesiunea între lichid și solid va fi mai mare decît coeziunea ( $2 \gamma_L$ ) a lichidului.

Viteza de întindere poate fi determinată prin egalizarea forței  $F_1$  care tinde să întindă stropul de aliaj topit cu forța  $F_2$  caracteristică forței de vîscosități:

$$F_1 = 2 \cdot \bar{v} \cdot r \cdot \rho_2 = 2 \cdot \bar{v} \cdot r \cdot (\gamma_{SG} + \gamma_{LG} - \gamma_{SL}) \quad (1.21)$$

unde:

$$F_2 = \frac{4}{3} \cdot \bar{v}^2 \cdot \frac{d}{m} \cdot \eta \cdot r^4 \cdot \frac{dr}{dt} \quad (1.22)$$

- d - densitatea
- m - masa stropului
- $\eta$  - vîscozitatea
- r - raza stropului
- t - timpul

Prin egalizarea relațiilor (1.21) cu (1.22) și integrarea lor se obține relația (1.23) din care rezultă că raza suprafeței amestecate este direct proporțională cu masa stropului și invers proporțională cu vîscozitatea, lucru exprimat prin relația (1.24).

$$r^4 = r_0^4 + \frac{6}{\pi} \cdot \frac{m}{\eta} \cdot \frac{p_0^2}{d} \cdot t \quad (1.23)$$

$$r = \frac{m}{\eta} \quad (1.24)$$

### 1.3. Capilaritatea

datorită legăturilor slabe ale atomilor de suprafață în corpuri sferice o forță rezultantă perpendiculară pe suprafața și îndreptată spre interior. Ecuația generală pentru presiunea capilară, după Young și Laplace este:

$$p_k = \sigma_L \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (1.25)$$

unde  $r_1$  și  $r_2$  - razele principale ale curburii.

Pătrunderea prin capilaritate a aliajului de lipire topit între două plăci plane sau două țevi concentrice se realizează la lipirea tare când rostul de lipire este foarte redus.

$$r_1 = \frac{b}{2 \cos \varphi} \quad r_2 = \infty \quad (1.26)$$

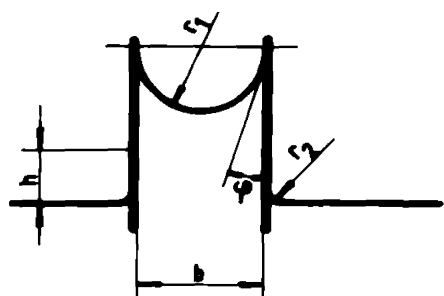
$$p_k = \frac{2 \cdot \sigma_L \cdot \cos \varphi}{b} \quad (1.27)$$

Rezultă că presiunea capilară crește cu micșorarea rostului (distanței dintre plăci). Căderea într-o fantă orizontală este teoretic nelimitată. La fante verticale presiunea se calculează din relația:

$$p \cdot H = g \cdot h \cdot d \quad (1.28)$$

unde:  $g$  - accelerația gravitațională  
 $h$  - înălțimea lichidului  
 $d$  - densitatea

Inălțimea maximă se obține când presiunea capilară este egală cu presiunea statică.



Determinarea înălțimii de ridicare prin capilaritate

Figura 7.

Înălțimea de ridicare în cazul plăcilor plane se poate calcula cu formula:

$$h_{\max} = \frac{2 \cdot \sigma_L \cdot \cos \varphi}{b \cdot g \cdot d} \quad (1.29)$$

Rezultă că înălțimea de ridicare prin capilaritate este cu atât mai mare cu cât crește tensiunea superficială și cu cât rostul este

mai mic și unghiul  $\varphi$  este mai mic. Viteza de pătrundere prin capilaritate într-o fantă orizontală este:

$$v = \frac{1}{6} \cdot \sigma_L \cdot \frac{\cos \varphi \cdot b}{\eta \cdot x} \quad (1.30)$$

#### 1.4. Licenția

Licenția este condiția limită de separație a fazei lichide de fază solidă. Funcție de compoziția aliajelor de lipire, topirea lor are loc într-un interval de temperatură (solidus, lichidus). Metalele pure au un singur punct de topire, aliajele eutectice au punctele solidus și lichidus la aceeași temperatură, dar apar aliaje cu un interval larg (plastic) de topire. Aliajele de lipire eutectice sînt de preferat cînd rostul de lipire este mic și ușor de controlat; cînd rostul este larg și variabil sînt utilizate aliaje plastice. În cazul cînd un aliaj cu interval larg de topire vine în contact cu gura rostului capilar, cînd părțile care urmează a fi lipite ating temperatura solidus a aliajului, o parte a aliajului se topește și pătrunde în rostul capilar, separat de partea încă netopită a aliajului care rămîne cu o compoziție diferită de cea a aliajului inițial.

Punctul de topire al porțiunii rămase netopite, este mai ridicat decît temperatura lichidus a aliajului inițial.

Punctul de topire al porțiunii rămase netopite, este mai ridicat decât temperatura lichidus a aliajului inițial. Aliajul netopit rămâne la gura rostului capilar, ca o piedică invizibilă, greu de îndălțurat, iar piesele trebuiesc încălzite la temperaturi mult mai ridicate decât cea de topire a aliajului inițial. Lăipirea cu un aliaj cu interval plastic de topire este realizabilă în funcție de proporția în care el se topete la cea lingă solidus. Lășunția ridică probleme dacă această proporție este mică.

### 1.5. Difuzia în procesul de lăipire

Compoziția chimică a metalului de adăos (aliajului de lăipire) zonei de cristalizare nu corespunde deobicei cu compoziția aliajului de lăipire inițial.

Causele acestei deficiențe sînt:

- dizolvarea metalului de bază în aliajul de lăipire topit;
- migrația aliajului de lăipire în metalul de bază;
- formarea compușilor intermetalici,
- evaporarea componentelor volatile din aliajul de lăipire.

Grădul de dezvoltare al acestor procese și influența lor asupra compoziției aliajului de lăipire depinde de: condițiile concrete de efectuare a lăipirii, de compozițiile chimice ale materialelor de bază și aliajului de lăipire.

Legea experimentală a diluției a fost formulată de către A.N.Scinkarev în forma /4/:

$$\frac{dq}{dt} = k \cdot (c_0^L - c) \cdot s \quad (1.33)$$

unde:  $\frac{dq}{dt}$  - cantitatea de substanță care se diluează în unitatea de timp

- s - suprafața corpului solid care este diluat,
- $c_0$  - concentrația soluției saturate,
- C - concentrația soluției la momentul dat,
- k - constanta vitezei de difuzie

$$\text{Luind în considerare că } Q = C \cdot V_L \quad (1.34)$$

unde  $V_L$  = volumul de lichid  
obținem :

$$c = c_0 \left[ 1 - \exp\left(-k \cdot \frac{s}{V_L} \cdot t\right) \right] \quad (1.35)$$

Rezultatele determinărilor experimentale ale concentrației de metal diluat în topitură la diferite momente, pot fi prezentate grafic approximate cu niște drepte, ale căror unghi de înclinare permite stabilirea mărimii constantei K, cunoscând raportul  $S/V_L$ .

Procesele de diluție a substanțelor solide în cele lichide au loc în două etape: prima este o reacție chimică la granița de separare a fazelor și constă în stabilirea legăturilor chimice (umectării) dintre atomi pe suprafața metalelor lichid și solid, precum și în trecerea atomilor prin granița interfațială. După stabilirea legăturilor chimice, apar condițiile de dezvoltare a proceselor de heterodifuzie, care duc la variația compoziției chimice în volumul metalelor care intră în contact.

Procesele de difuzie nu apar instantaneu ci după scurgerea unui interval de timp, egal cu perioada de relaxare a vîrfului energiei interfațiale (așa numită perioadă de retardare)

Stadiul al doilea al diluției constă în abateră atomilor de metal diluat de la granița interfațială în profunzimea lichidului. Astfel de abateră se produce în lichidul de difuzie și de convecție (atomi diluați se transformă în lichid în procesul deplasării sale). Convecția poate fi naturală sau artificială (forțată). Deplasarea lichidului se realizează prin variații locale ale densității sale care apar ca urmare a fluctua-

țiilor de temperatură, precum și a fluctuațiilor de compoziție, inevitabile la diluție. Teoria difuziei convective demonstrează că transferul convectiv în lichid asigură uniformizarea rapidă a compoziției sale și predomină în întregul volum cu excepția stratului fin de lângă interfața cu materialul de bază solid care se diluează. Variația mare a concentrației de atomi diluați în acest strat determină preponderanța masei de transfer difuziv. După limita stratului difuziv de separare, lichidul care se deplasează cuprinde substanța diluată, asigurând distribuția sa uniformă pe întregul volum. Dacă primul stadiu al procesului de diluție este cel mai lent (trecură atomilor prin granița interfațială), atunci pe parcursul diluției lichidul va avea o compoziție uniformă pe întreg volumul, a cărei dependență de timp este dată de relația (1.33).

Când cel mai lent stadiu este evacuarea atomilor diluați de la granița de separare în profunzimea lichidului, atunci relația menționată determină dependența temporală a concentrației de metal diluat în întregul volum de lichid cu excepția stratului difuziv de la interfața cu materialul de bază. Concentrația variază în acest strat practic liniar de la  $C_0$  până la nivelul mediu de lichid în volum la momentul dat  $C/t$ ). Conform teoriei lui Nernst valoarea constantei vitezei de diluție în acest caz este:

$$K = \frac{D}{\delta} \quad (1.36)$$

unde:  $D$  - coeficient de difuzie a atomilor diluați în aliajul topit

$\delta$  - grosimea stratului de difuzie de la interfața cu materialul de bază.

Valoarea grosimii stratului de difuzie poate fi obținută pe baza valorilor experimentale determinate pentru  $D$  și  $K$  sau prin măsurarea la analiză pe microscopul electronic. Asupra grosimii stratului de difuzie de la interfață o mare influență



o exercită viteză de deplasare a metalului lichid. Odată cu creșterea vitezei de deplasare valoarea lui  $\delta$  scade și viteza de diluție crește.

### 1.5.1. Dizolvarea metalului de bază în aliajul de lipire topit

Aliajele pentru lipirea oțelurilor carbon sînt de tipul BCu, BCuZn sau BCuAgZnCd /7-58/.

Conform diagramei de echilibru Fe-Cu (figura 8.a) la temperatura de lipire în jurul valorii de 1125° cea 3-4% Fe se dizolvă în cupru topit și Fe  $\delta$  în jurul aceleiași temperaturi poate desolva 7-8% Cu /8,9,10/.

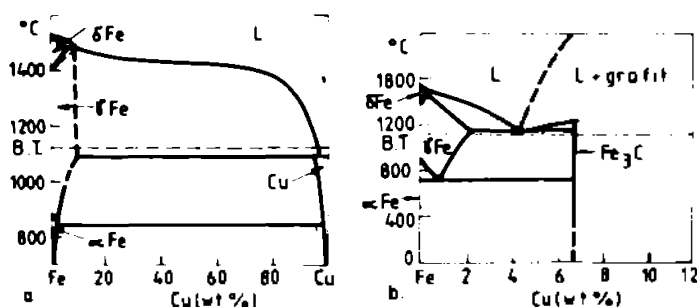


Figura 8. Diagramele de echilibru Fe-Cu și Fe-C

Faptul că solubilitatea mutuală a celor două metale Fe și Cu este redusă este un avantaj pentru un studiu sistematic al difuziei în procesele de lipire, deoarece interfețele dintre cele două metale nu dispar rapid ca în cazul solubilității complete.

În timpul procesului de lipire țare cantități mici din aliajul de lipire topit difuzează în materialul de bază solid și cantități relativ mai mari difuzează în aliajul de lipire topit.

La lipirea oțelurilor disimilare, la menținere de cea 4-5 min la temperatura de lipire, oțelurile cu conținut scăzut de carbon se dizolvă în cupru topit și în sațtere o depozitare a fierului din oțelul cu conținut ridicat de carbon. În cazul oțelurilor similare, oțelul se dizolvă în cupru topit pînă cînd fierul din cuprul topit atinge starea de echilibru la temperatura de lipire. Fierul din oțelurile cu conținut de carbon scăzut, în cazul oțelurilor disimilare, dizolvat în cupru topit la limita de separație difuzează în cuprul topit spre limita de separație a oțelului cu conținut ridicat de carbon și o atinge datorită

restului ingust al îmbinării. Astfel oțelul cu conținut scăzut de carbon din cuprul topit se combină cu carbonul oțelului cu conținut ridicat de carbon. Ca rezultat oțelul cu conținut ridicat de carbon din cuprul topit își depășește cantitatea de echilibru la temperatura de lipire. Excesul de fier cu conținut ridicat de carbon se depune după aceea sub formă de aliaj Fe-CuC cu cristale ecănșare din limita de separație a oțelului cu conținut ridicat de carbon la o temperatură de lipire constantă. Acest fenomen remarcat/12/ a fost denumit "dizolvarea și depunerea materialelor de bază". Studiile întreprinse au arătat că la îmbinarea oțelurilor carbon similare, materialul de bază care este dizolvat în cupru topit nu depășește cantitatea de echilibru a fierului în cupru indiferent de timpul de încălzire. De asemenea nu se recunoaște nici o altă microstructură deosebită decât o ușoară pătrundere a cuprului topit la limita grăunților și regiunea decarburată în apropierea interfețelor de lipire din oțel cu conținut scăzut de carbon. În cazul oțeluri disimilare, oțelul cu carbon scăzut este erodat de cuprul topit la interfața de lipire și faza columnară crește simțitor din oțelul cu conținut de carbon ridicat odată cu creșterea timpului de încălzire. În final se ajunge la legarea celor două oțeluri, carbonul din oțelul cu conținut ridicat de carbon difuzează spre oțelul cu conținut scăzut de carbon prin faza columnară astfel încât primul se decarburează și al doilea se carburează. Deci, la lipirea oțelurilor disimilare faza columnară crește întotdeauna de la oțelul cu conținut ridicat de carbon spre cel cu conținut scăzut de carbon. Creșterea este mai rapidă pe măsură creșterii diferenței conținutului de carbon între cele două oțeluri, de asemenea creșterea este mai rapidă pe măsură ce rostul de lipire este mai îngust.

Rezultate similare au fost realizate în cazul lipirii cu aliaje tip BCuZn și BCuAgZn. Precipitarea excesului de oțel în aliajul de lipire topit sau la interfața oțel-aliaj de lipire, apare după saturarea aliajului de lipire cu fier în faza de solidificare a aliajului bazat pe descreșterea solubilității cu descreșterea temperaturii.

### 1.5.2. Migrația aliajului de lipire în metalul de bază

Difuzia aliajului de lipire topit în rețeaua cristalină a materialului de bază este un proces extrem de lent și constă într-un transfer foarte mic al aliajului de lipire prin interfața aliaj de lipire- oțel, în timpul ciclului de lipire. Principalul mecanism de transfer al aliajului de lipire prin interfața cu oțelul se prezintă ca o pătrundere la limita grăunților, fiind un proces relativ rapid. Mecanismul pătrunderii la limita grăunților și interdependența cu alte fenomene metalurgice au fost cercetate teoretic, utilizând conceptele de difuzie ale lui Darken și conceptele distribuției fazelor ale lui Smith, și au putut fi evidențiate utilizând metalografia.

Termenul de migrare este utilizat ca fenomen care include toate procesele prin care aliajul de lipire (în cazul nostru en precdere cuprul saturat cu oțel la temperatura de 1125-1150°C) pătrunde în oțel. Aceasta include difuzia la limita grăunților rețelei cristaline și direct în rețeaua cristalină. Pătrunderea la limita grăunților de oțel a aliajelor de cupru din timpul ciclului de lipire este preferat deoarece nu apar spații deschise sau fisuri în metalul de bază și în procesele de sudare.

Numeroși cercetători din URSS au studiat pătrunderea la limita grăunților de oțel a cuprului lichid și aliajelor pe bază de cupru. Amis și Prohorenco au arătat că cuprul nu umectează oțelul feritic în timp ce oțelul perlitic este bine umectat. Ei au remarcat că fisurile care se formează la sudare sînt inițiate de același proces de umectare care se produce în timpul lipirii tari a oțelului /4,7,8/.

Brednes și Schwartzbart /8,9,10/ au contribuit cu o seamă de cunoștințe privitoare la tendința cuprului de a pătrunde la limita grăunților de oțel în timpul lipirii tari. Ei au remarcat că oțelul cu conținut scăzut de carbon, pătrunderea cuprului nu se produce imediat ci trebuie să aștepte difuzia carbonului către limitele grăunților.

Benke a dat o ecuație pentru pătrunderea prin difuzie a cuprului topit în oțel /8/

$$X^2 = 4Dt \quad (1.37)$$

unde: X - adâncimea de difuzie

t - timpul de încălzire

D - coeficient de difuzie

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{Q}{Rt}} \quad (1.38)$$

Cantitățile de cupru care pătrund la limita grăunților oțelului și cantitățile de cupru care difuzează în rețeaua cristalină a oțelului, sînt dificil de separat, chiar dacă se cunoaște valoarea exactă a coeficientului de difuzie D.

Fiecare grăunte de austenită care este suficient de aproape de interfața oțel-cupru va fi înconjurat de un film subțire de cupru lichid, fenomen accentuat cu cît pătrunde mai repede cuprul lichid la limita grăunților de austenită. Datorită pătrunderii cuprului lichid la limita grăunților austenitici, suprafața totală a interfeței oțel-cupru va crește mult.

Estimarea periodică a cantității totale de cupru care difuzează în rețeaua cristalină austenitică în unitatea de timp trebuie să includă cuprul care difuzează prin interfața oțel-cupru inițială plus cuprul care difuzează la limita grăunților în rețeaua cristalină a oțelului. Cantitatea de cupru totală difuzată este dependentă de adâncimea de pătrundere la limita grăunților care este la rîndul său de: temperatura de lucru, mărimea grăunților de austenită, viteza de încălzire, timpul de menținere la temperatură, compoziția chimică a oțelului și un mare număr de alți factori.

Figure 9 prezintă schematic fenomenul difuziei la limita grăunților în rețeaua cristalină.

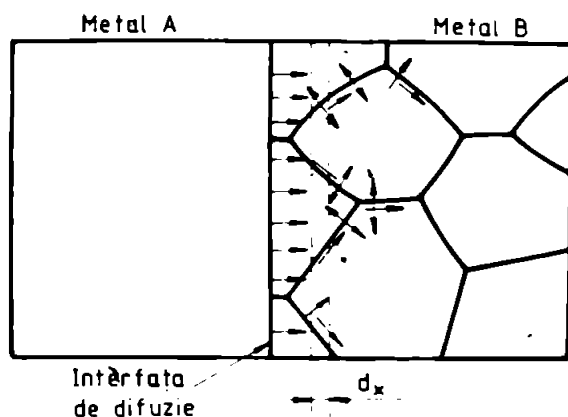


Figura 9 Reprezentarea schematicã a difuziei la limita grãunþilor și în reþeaua cristalinã

Mãsurãtorile efectuate în urma experimentãrilor întreprinse au arãtat cã fenomenul difuziei la suprafaþã și la limite grãunþilor se supune legilor lui Arrhenius, astfel încît este posibil sã scriem dependenþa lor la temperatura de forma /4/:

$$(1.39)$$

$$(1.40)$$

- unde:  $D_s$  și  $D_{2s}$  - sînt difuziile la suprafaþã și la limita grãunþilor  
 $D_{s0}$  și  $D_{2s0}$  - sînt constante (factori de frecvenþã)  
 $Q_s$  și  $Q_{LG}$  - sînt energiile de activare pentru difuzia la suprafaþã și la limita grãunþilor

Difuzia într-o piesã policristalinã nu poate fi definitã ca o simplã însumare a difuziei la suprafaþã și la limite grãunþilor. Difuzia la limita grãunþilor tinde sã progreseze mai rapid decît difuzia prin cristale, înãm acest efect este împiedicat deoarece cu cît crește concentraþia de atomi solvenþi la limita grãunþilor, se produce o pierdere uniformã de atomi dinspre limita grãunþilor prin metal pe fiecare parte a acestei limite. Natura acestui proces este indicatã în figura 9, fiind reprezentat un cupru de difuzie compus din douã metale A și B. Sãgeþile scurte reprezintã deplasarea atomilor A în matricea B. Grupul de sãgeþi paralele între ele și perpendiculare pe interfaþa susãturii reprezintã componenta în volum a difuziei. Sãgeþile paralele la limita grãunþilor indicã mișcarea atomilor de-a lungul acestor limite, iar cele perpendiculare, pe limitele grãunþilor reprezintã difuzia dinspre aceste limite în cristale. Pentru scurteþea rezultatelor mãsurãtorilor difuziei din reþea la

utilizarea probelor policristaline, trebuie să folosim temperaturi înalte de lipire și probe cu granulatie grosolană.

### 1.5.3. Formarea compuşilor intermetalici

Fiecare element <sup>este capabil de</sup>  $\sqrt{a}$  forma cu un metal un compus intermetalic, îl va realiza dacă concentrația acestui element în aliajul de lipire topit este suficient de ridicată. Sub această "concentrație critică" elementul dat, la o temperatură dată, nu poate forma un compus intermetalic. Efectele asupra proprietăților mecanice ale îmbinărilor, care conțin compuşii intermetalici, depind de cantitatea geometrie și distribuția compuşilor /10,11/.

În urma studiilor și experimentărilor întreprinse a rezultat că nu toți constituenții aliajelor de lipire se comportă la fel, la formarea compuşilor intermetalici cu materialul de bază. Unele dintre elemente sînt mai active și ar putea forma compuşii intermetalici cu materialul de bază în măsura în care aliajul de lipire este topit și începe să pătrundă în spațiul capilar, în timp ce alte componente nu formează compuşii intermetalici de loc sau îi formează doar în anumite condiții de temperatură și concentrație.

Pentru a înțelege mai bine rolul compuşilor intermetalici în îmbinările lipite s-au studiat factorii fundamentali care determină "concentrația critică limită". Aceasta a presupus luarea în considerare a diagramelor de faze, a energiilor libere ale formării compuşilor intermetalici, a energiilor libere molare parțiale ale soluției unielement dat în aliajul de lipire topit la o anumită temperatură și concentrație, a vitezelor de difuzie în straturile de compuşii intermetalici și a altor factori. Datele experimentale au permis explicarea mecanismului complex al formării straturilor de compuşii intermetalici pe interfața oțel-aliaj de lipire și corelația lor cu proprietățile mecanice ale îmbinărilor lipite.

Anterior am prezentat că la baza tuturor aliajelor pentru lipirea oțelurilor carbon sau elementelor Cu, Zn, Ag, Cd, Au, Si, Mn, etc. Dintre acestea elementul de bază în realizarea

"legăturii" este cuprul care permite formarea unor faze columnare de tip Fe-Cu-C. Fazele respective se dezvoltă cu precădere în cazul lipirii oțelurilor disimilare având ca sens de dezvoltare de la oțelurile cu conținut mai ridicat de carbon către cele cu conținut mai redus și dezvoltarea lor este funcție de temperatura de lipire și timpul de menținere. Faza columnară se dezvoltă și la lipirea oțelurilor similare în proporție mai redusă, ea a fost remarcată la lipirea oțelurilor cu aliajele BCu, BCuZn și BCuAgZn, favorizând mărirea rezistenței îmbinărilor lipite. Studiile întreprinse au relevat că la lipirea tare difuzia cuprului la limite grăunților de oțel nu duce la fisurarea materialului de bază, au relevat de asemenea că energia de activare pentru difuzia la limita grăunților, a cuprului topit în oțel depinde de conținutul de carbon a oțelului, invers proporțional cu creșterea conținutului de carbon.

Elementele care însoțesc cuprul în aliajele de lipire menționate, cu posibilitatea de a forma compuși intermetalici cu elemente ale materialelor de bază, acționând asupra proprietăților îmbinărilor lipite. Hume - Pethery / 10 / accentuează că atunci când un constituent electropozitiv (în cazul nostru fierul) formează o serie de compuși intermetalici cu diferite elemente de natură electronegativă (Si, Sn, Zn, etc) Elementul cel mai electronegativ (Si) ca regulă, formează compuși intermetalici mai stabili (căldura de formare a  $FeSi (\beta)$ :  $-44,298 = 19,2 \pm 1,5$  kcal/mol) cu cel mai înalt punct de topire (punctul de topire al  $FeSi = 1410^{\circ}C$ ), iar cel mai slab element electronegativ (Zn), ca regulă formează cei mai instabili compuși intermetalici cu cel mai scăzut punct de topire (Faza  $\gamma$  are punctul de topire  $782^{\circ}C$ ). Concluzia este că sursă trebuie să aibă o afinitate mult mai scăzută pentru fier decât siliciul. Datele termochimice prezentate arată că din elementele: Si, Zn, Sn, siliciul are afinitatea cea mai ridicată pentru fier și cea mai mică pentru argint. Rezultă de asemenea că siliciul trebuie să aibă o limită a concentrației critice mică în sistemul de aliaje de lipire și oțel. Lăudă în considerare similitudinea diagrame-

lar fazele binare Fe-Sn și Fe-Sn, se poate presupune că afinitatea fierului pentru staniu sau pentru zinc sînt aproximativ egale. Deoarece argintul are o afinitate mult mai mare pentru zinc decît pentru staniu se poate spune că limita concentrației critice a staniului în sistemul de aliaje (Ag-Sn) - oțel trebuie să fie între cele două valori extreme ale limitelor concentrațiilor critice ale siliciului și zincului.

Înțelegînd din condiții de echilibru se poate stabili că atunci cînd un element dat din aliajul de lipire formează un compus intermetalic cu un element dat (K) din materialul de bază la o temperatură de lipire dată, energia liberă de formare a compusilor este mai mare decît energia liberă molară parțială a soluției elementului (K) în aliajul de lipire. Concentrația la care energiile libere sînt teoretic egale, definește "limita concentrației critice". Aceste concepte termodinamice determină diagrame fazei de echilibru și ar putea să determine structura și compoziția inhibării lipite la temperatura de lipire, dacă lipirea ar fi un proces în echilibru. Cînd însă această condiție, structura inhibării lipite la temperatura camerei depinde de schimbările care apar în timpul răcirii de la temperatura de lipire. Astfel pot apărea mai faze care sînt instabile la temperatura de lipire și dacă solubilitatea materialului de bază în aliajul de lipire decorește cu temperatura pot precipita la interfața material de bază (oțel) - aliaj de lipire două faze de oțel saturat cu aliaj de lipire.

### 1.6. Cristalizarea la lipire

Cristalizarea la lipire decurge în concordanță cu legile de bază ale solidificării metalelor și aliajelor. Se adaugă acestea condițiile procesului cu particularitățile /16"/:

- prezența unui suport solid care intră în contact cu topitura,
- un volum mic de topitură și o geometrie deosebită



a băii cristalizate, care se prezintă sub formă de peliculă de fluid cu o grosime infimă dispusă între două suprafețe metalice solide;

- o mare viteză și neuniformitate a procesului de cristalizare.

Toate aceste particularități influențează asupra procesului de cristalizare, distribuția componentelor și forma structurii cusăturilor lipite.

### 1.6.1. Formarea germenilor

Procesul de solidificare a metalului lichid începe odată cu formarea centrelor de cristalizare adică a germenilor care la dimensiuni determinate dobândesc capacitatea de creștere constantă. Valoarea supraîncălzirii, la lipire, nu depășește câteva grade, rare ori zece grade, aceasta conduce nu la o formare spontană a germenilor ci la o cristalizare pe germeni pregătiți. Rolul unor astfel de germeni îl pot juca particulele unor amestecuri insolubile, incluziuni de flux, impurități, etc.

### 1.6.2. Creșterea orientată a cristalelor

Creșterea orientată a cristalelor este remarcată la studiul metalografic al îmbinărilor lipite, unde se constată că structura lipiturii la interfața cu un material de bază are grăunți comuni în cusătura lipită. Cristalizarea cuprului pe suprafața fierului se produce în cele mai favorabile condiții pentru creșterea cristalelor. Cuprul la temperatura de lipire 1100-1150°C are un tip de rețea de cristalizare identic cu al Fe  $\gamma$ . Orientarea cristalizării cuprului și aliajelor sale se remarcă bine pe granulele de susținută la lipirea oțelurilor carbon.

### 1.7. Concluzii

Parcurgind pe scurt fenomenele fundamentale la lipirea oțelurilor carbon putem conchiziiona că realizarea îmbinării lipite decurge astfel:

a) - Cele două componente de lipit se poziționează una față de alta astfel încât să se realizeze apropierea atomilor marginii îndistante de ordinul parametrului rețelei cristaline;

b) - se introduce energie termică în sistem, pentru a încălzi materialele de bază și materialele de adeziv (fluxul decapant și aliajul de lipire);

c) - se stabilește contactul fizic și exaceritarea legăturilor chimice între atomii aliajului de lipire topit și ai materialelor de bază în timpul umectării; după îndepărtarea peliculei de oxizi de pe suprafața materialelor de bază și a aliajului de lipire și protejarea bazei de aliaj topit de către fluxul decapant topit sau atmosfera reducătoare sau vid;

d) - datorită temperaturii de lipire și a fluxului decapant sau atmosferei reducătoare se creează condiții optime pentru întinderea aliajului topit pe suprafața materialelor de bază, prin creșterea energiei superficiale la granița fazelor solid-gaz și lichid-gaz și scăderea energiei superficiale la granița solid-lichid;

e) - pătrunderea aliajului topit prin capilaritate în rețurile capilare ale îmbinărilor topite (realizate prin apropierea corespunzătoare a componentelor), ținând seama de posibilitatea apariției lacunelor;

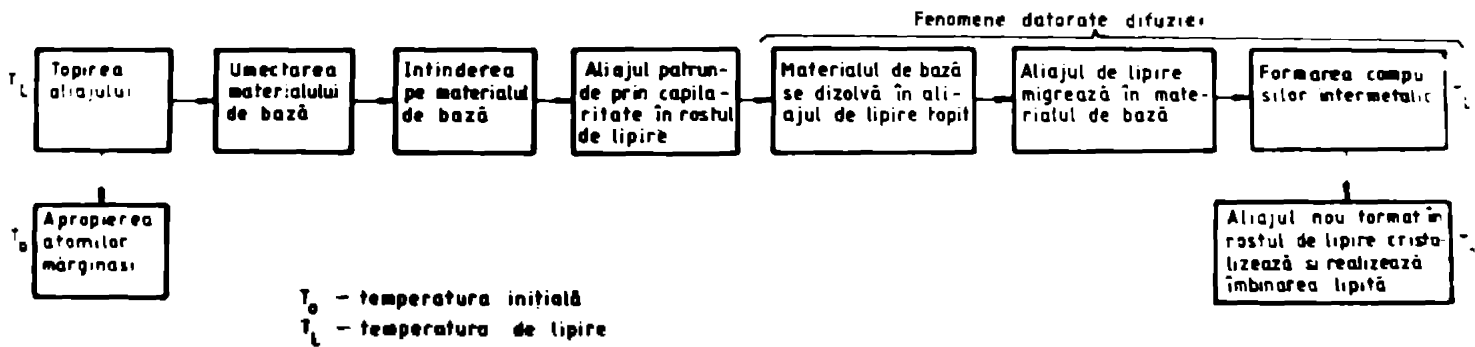
f) - dizolvarea metalului de bază în aliajul de lipire topit;

g) - migrația aliajelor de lipire în materialele de bază;

h) - formarea compuşilor intermetalici datorită fenomenelor de difuzie la interfața materiale de bază - aliaj de lipire (ca și la f și g);

1) - cristalizarea băii de aliaj topit și realizarea îmbinării lipite.

Succesiunea fenomenelor fundamentale care duc la realizarea unei îmbinări lipite este prezentată în schema din figura 10.



Succesiunea fenomenelor fundamentale care conduc la realizarea unei îmbinări lipite

Figure 10.

## **2. FACTORII CARE INFLUENTEAZA PROCESUL DE LIPIRE**

Realizarea unei îmbinări lipite este dependentă de mărirea capacității aliajelor de lipire de a intra în interacțiune cu materialele de bază. După cum am prezentat în capitolul anterior realizarea îmbinării lipite este dependentă de felul în care aliajul de lipire unctează materialul de bază, se întinde pe acesta, pătrunde prin capilaritate în rosturile dintre piesele de lipite, difuzează și prin cristalizare realizează îmbinarea lipită. Rezistența îmbinărilor lipite este însă determinată de o serie de factori care influențează procesul de lipire dintre care menționez:

### **Factori fizico-chimici:**

- materiale de bază,
- aliaje de lipire,
- fluxul de capant sau atmosfera reductoare,
- rugozitatea suprafeței.

### **Factori constructivi:**

- tipul îmbinării,
- mărirea rostului de lipire,
- mărirea suprafeței de lipit.

### **Factori tehnologici:**

- influența pregătirii suprafeței,
- influența regimului tehnologic.

### **2.1. Factori fizico-chimici**

Factorii fizico-chimici constituie grupa cea mai importantă dintre factorii care influențează procesul de lipire.

### 2.1.1. Influența materialelor de bază

Tutte metalele și aliajele lor pot fi îmbinate prin lipire tare utilizând materiale de adeziv (aliaje de lipire, fluxuri deoxidante sau atmosfere reductoare) adecvate și un procedeu de lipire corespunzător. Unele dintre materialele de bază prezintă fenomene metalurgice deosebite (oxidare pronunțată, stabilitate a oxizilor, precipitare de carburi, fisurare, șoc afectate termic, etc.) care influențează procesul de lipire necesitând asigurarea unor condiții deosebite pentru lipire cum ar fi prelucrări mecanice înainte de lipire (rectificare, șlefuire) atacuri chimice (deoxidări, neutralizări), acoperiri galvanice ale suprafețelor în scopul micșorării gradului de oxidare (cuprări, nichelări) și asigurarea unor atmosfere puternic reductoare ( $H_2$ ) sau vid în timpul procesului de lipire (71,72, 73, 81-90/).

#### Considerații generale

În lucrare sînt studiate procesele de lipire tare ale oțelurilor carbon.

Oțelurile carbon de construcție cuprind oțelurile carbon obișnuite (STAS 500/2-80) și oțelurile carbon de calitate (STAS 880-80). Oțelurile carbon obișnuite sînt folosite curent fără tratamente termice la construcții metalice, construcții de mașini în care nu reclamă proprietăți deosebite. Oțelurile carbon de calitate sînt oțeluri carbon la care se garantează compoziția chimică și caracteristicile mecanice corespunzătoare tratamentului termic aplicat. Aceste oțeluri au limite mai stricte pentru conținutul de carbon, limitarea conținutului de incluziuni metalice, o anumită mărime a grăuntelui de austenită. Oțelurile carbon de calitate se întrebunțează în construcții mecanice pentru piese supuse la sollicitări deosebite.

În experimentările întreprinse în cadrul tezei a fost ales ca material de bază OL60 pentru îmbinările din oțeluri similare și OLC85A respectiv OLC10 pentru îmbinări din oțeluri disimilare.

Stabilitatea oxizilor

După cum am menționat la punctul 1.1.5. în procesul de lipire pe suprafața materialelor de bază se formează straturi de oxizi sau compoziții oxidice dependente calitativ și cantitativ de: tipul materialului de bază, temperatura de încălzire, viteza de încălzire, atmosfera de lucru, timpul de menținere la temperatura ridicată.

Reacția de oxidare a suprafeței este /41/:



unde:

Me - metalul

n - 1 mol de  $\text{O}_2$

În tabelul 2 sînt date căldurile specifice necesare formării anumitor oxizi pe suprafața metalelor. Rezultă că unele metale ca Ag au valori scăzute ale căldurii necesare formării oxizilor lor, deci acești oxizi pot fi considerați instabili și ușor de înlăturat /4,5,7/.

TABELUL 2.

Tipul de oxid	Reacția de formare a oxidului	Căldura specifică de formare a oxidului pe 1 mol de $\text{O}_2$ /kg/
$\text{Al}_2\text{O}_3$	$2\text{Al} + 3/2 \text{ O}_2$	1116,2
$\text{Ag}_2\text{O}$	$2\text{Ag} + 1/2 \text{ O}_2$	61,1
$\text{CuO}$	$\text{Cu}_2\text{O} + 1/2 \text{ O}_2$	341,0
$\text{Cu}_2\text{O}$	$2\text{Cu} + 1/2 \text{ O}_2$	343,3
$\text{NiO}$	$\text{Ni} + 1/2 \text{ O}_2$	489,0
$\text{CdO}$	$\text{Cd} + 1/2 \text{ O}_2$	520,8
$\text{FeO}$	$\text{Fe} + 1/2 \text{ O}_2$	540,2
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$3\text{Fe} + 2\text{O}_2$	560,1
$\text{MnO}$	$\text{Mn} + 1/2 \text{ O}_2$	774,6
$\text{ZnO}$	$\text{Zn} + 1/2 \text{ O}_2$	698,3
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$2\text{Cr} + 3/2 \text{ O}_2$	751,9

Oxizii de Cu, Co, Ni sînt stabili și mai greu de descompus, înăi cea mai mare stabilitate e au oxizii de Cr, Mn, Al, Be extrem de greu de descompus. /4,7/. Oxizii formați de obicei pe suprafața oțelurilor sînt soluții solide ale oxizilor metalelor cuprinse în oțel sau oxizi simpli ai elementelor, după cum am arătat în punctul 1.

### Zona influențată termic

Temperatura de lipire afectează unele proprietăți materialelor de bază. Oțelurile obținute prin deformare plastică la rece sau care au suportat un tratament termic sub temperatura de recristalizare își modifică proprietățile datorită ciclului termic de lipire. Mărimea zonei la care au apărut modificări structurale datorită ciclului termic depinde de procedul de lipire utilizat. Zona influențată termic este mai largă și mai puțin definită la lipire decât la alte procedee.

### Rezistența la tracțiune

Materialul de bază influențează rezistența îmbinărilor lipite numai în măsura în care rostul de lipire este atît de îngust încît zona de difuzie la interfața aliaj de lipire - oțel contribuie la preluarea eforturilor.

### 2.1. Influența aliajelor de lipire

Proprietățile aliajelor de lipire date de compoziția lor chimică pot influența în mod considerabil rezistența îmbinărilor lipite. Alegerea aliajelor de lipire în vederea realizării unei îmbinări lipite se face ținînd seama de următorii factori:

- materialul sau materialele de bază (în scopul realizării interacțiunii fizico-chimice),
- condițiile de utilizare a îmbinării (coroziune, temperatură, etc.),
- procedeul de încălzire utilizat (viteza de încălzire, mediul sau atmosfera reductoare, etc.),
- temperatura de lipire și de lucru.

Tinând seama de materialele de bază și de procedeele de lipire utilizate, aliajele de lipire utilizate la lipirea tare a oțelurilor carbon sînt următoarele cuprinse în tabelele 2 și 3.

Analiza aliajelor pentru lipire tare a oțelurilor carbon ilustrează că principalele tipuri de aliaje utilizate sînt: /4, 5, 7-77, 70, 76, 80, 85, 89, 91, 97, 98/:

- cuprul,
- alame pentru lipire (Cu-Zn)

TABELUL 2.

Procedeu de lipire tare	Aliaj pentru lipire																						
	Cu	Ag	Cu-Zn	Cu-Sn	Ag-Cu	Cu-Ag-Zn	Cu-Ag-Sn	Cu-Ag-Zn-Cd-Ni	Cu-Ag-Zn-Cd	Co-Cr-B	Ni-Cr-B	Ni-Cr-Si-B	Ni-Si-B	Ag-Pd-Mn	Ni-Pd-Mn	Cu-Pd-Ni-Mn	Pd-Ni	Cu-Ni	Cu-Pd	Ag-Pd	Ag-Cu-Pd	Au-Ni	Au-Cu
arzător acetonic	N	P	R	R	P	R	N	R	R	P	R	R	R	R	R	P	P	N	R	R	R	P	P
cupător	R	P	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
în inductie	P	N	R	R	R	R	P	R	R	P	R	R	R	R	R	P	P	P	R	R	R	P	P
în rezistență	P	P	P	N	P	R	P	R	R	P	P	P	P	R	R	P	P	P	R	R	R	P	P
în vid	R	P	N	N	P	N	P	N	N	P	R	R	R	R	R	R	P	P	P	P	R	P	P
în baie de oțel topit	P	N	R	N	P	P	P	P	P	N	N	N	N	N	N	N	P	P	P	P	P	P	P
în baie de săruri	P	N	P	R	P	P	P	P	P	N	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P

R - se recomandă se cunoaște că este utilizat în general

P - posibil dar nu se utilizează în general

N - nu se recomandă utilizarea

WB - oțel carbon oțel slab aliat

- aliajele cu conținut de argint:

- Ag-Cu
- Cu-Ag-Zn (Sn)
- Cu-Ag-Zn-Cd (Ni, Mn)



TABELUL 3.

	Al și aliaje ale Al	Mg și aliaje ale Mg	Cu și aliaje ale Cu	Oțel carbon și oțel slab	Feră	Oțel inoxidabil	Ni și aliaje ale Ni	Ti și aliaje ale Ti	Ba, Zr, V și aliaje reactive	V, W, Mo, Cb și aliaje refract.	Oțel de scule
Al și aliaje ale Al	BAIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg și aliaje ale Mg	X	B Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu și aliaje ale Cu	X	X	B Ag, BAu BCuP BCuZn	-	-	-	-	-	-	-	-
Oțel carbon și oțel slab	BAIS	X	B Ag, BAu BCu Zn	B Ag, BAu BCu Zn BNi	-	-	-	-	-	-	-
Feră	X	X	B Ag, BAu BCu Zn	B Ag BCu Zn	B Ag BCu Zn	-	-	-	-	-	-
Oțel inoxidabil	BAIS	X	B Ag, BAu	B Ag, BAu BCu, BNi	B Ag, BAu BCu, BNi	B Ag, BAu BCu, BNi	-	-	-	-	-
Ni și aliaje ale Ni	X	X	B Ag, BAu BCu Zn	B Ag, BAu BCu BCu Zn BNi	B Ag, BCu BCu Zn	B Ag, BAu BCu, BNi	B Ag, BAu BCu, BNi	-	-	-	-
Ti și aliaje ale Ti	BAIS	X	B Ag	B Ag	B Ag	B Ag	B Ag	Y	-	-	-
Ba, Zr, V și aliaje reactive	X	X	B Ag	B Ag, BNi	B Ag, BNi	B Ag, BNi	B Ag, BNi	Y	Y	-	-
V, W, Mo, Cb și aliaje refractare	X	X	B Ag	B Ag, BCu BNi	B Ag, BCu BNi	B Ag, BCu BNi	B Ag, BCu BNi	Y	Y	Y	-
Oțel de scule	X	X	B Ag, BAu BCu Zn BNi	B Ag, BAu BCu BCu Zn, BNi	B Ag, BAu BCu Zn BNi	B Ag, BAu BCu BNi	B Ag, BAu BCu BCu Zn, BNi	X	X	X	B Ag, BAu BCu BCu Zn, BNi

X - nu se recomandă, cu ajutorul procedeelor speciale de lipire pot fi lipite

Y - în general aceste combinații nu pot fi lipite

Alegerea aliajelor pentru lipire în funcție de materialul de bază

- aliaje ale nichelului Ni-Cr-B (Si)
- aliajele aurului,
- aliaje ale paladiului.

Ținând seama de faptul că aliajele nichelului, ale aurului și paladiului se utilizează doar în scopuri speciale, nu sînt în producția din țara noastră, precum și din considerente economice oțelurile carbon se vor lipi usual cu aliaje de tip BCu, BCuZn, și BCuAgZnCd.

**Aliajul BCu**

Cuprul este utilizat cu precădere pentru lipirea tare în atmosferă reducătoare a oțelurilor carbon /35-55/ calitatea cuprului recomandat pentru lipirea tare este cupru electrolitic fără impurități de arsenic sau fosfor care formează compuși fragili în îmbinare.

Tabelul 4 cuprinde principalele tipuri de aliaje de lipire tip BCu utilizate pentru lipirea tare a oțelurilor carbon conform standardului american AWS A 58-69.

**TABELUL 4.**

Simbolul aliajului	Compoziția chimică %				
	C	P	Pb	Al	Alte elemente
BCu 99,9	99,9 min	0,075	0,02	0,01	0,10
ACu 99,0	99,0 min	—	—	—	0,30
BCu 86,5	86,5 min	—	—	—	0,50

Aliajele tip BCu conform standardului englez BS 1845-77 sînt date în tabelul 5.

**TABELUL 5.**

Simbolul aliajului	Compoziția chimică %						
	Cu	Zn	Mn	Ni	P	B	Alte impurități
Cu 2	99,9	—	—	—	—	—	0,04
Cu 3	99,95	—	—	—	—	—	0,03
Cu 5	99,0	—	—	—	—	—	0,10
Cu 6	99,85	—	—	—	0,013-0,050	—	0,06
Cu 7	rest	—	—	2,5-3,5	—	0,02-0,05	0,15
Cu 8	rest	0,2	1,5-2,5	—	—	—	Fe 0,1 Pb 0,02 Al 0,01

Confera standardului francez NF-481-362 aliajul de lipire trebuie să aibe 99,9 % Cu și impuritățile admise sînt: Fe 0,05%, Pb max. 0,01% și Al max. 0,01%.

Standardul german DIN 8513 Teil 1 menționat pentru lipirea tare a oțelurilor carbon aliajul cu Cu 99,9% și cu impuritate admisele P = 0,015 - 0,040%.

Deoarece în țara noastră nu este un standard care să exprime cuprul pentru lipire tare, analizăm standardele menționate ca aloc din STAS 270-76, tipurile (calitatea) de cupru utilizabile la lipirea tare, exprimate în tabelul 6.

**TABEL 6.**

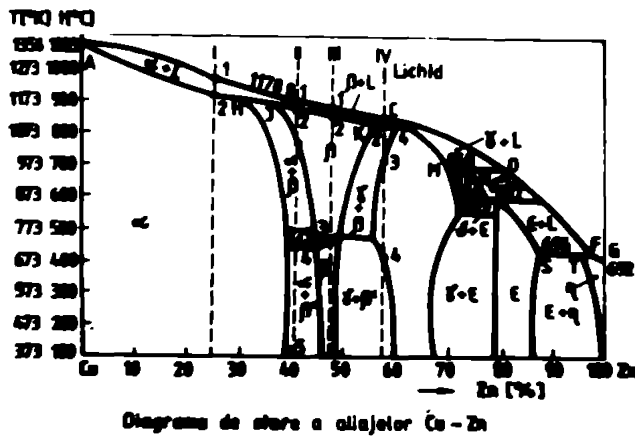
Calitatea	Compoziția chimică %										
	Cu min	Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	Al	P
Cu 9	9,99	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	-
Cu 7	99,7	0,002	0,005	0,01	0,05	0,2	0,01	0,05	0,01	0,005	0,04
C 5	99,5	0,003	0,003	0,05	0,05	0,4	0,05	0,05	0,01	0,1	-

### Aliaje de lipire (aliajele Cu-Sn)

Sub denumirea de aliaje de lipire sînt cuprinse o serie de aliaje avînd ca bază sistemul Cupru-Zinc la care sînt adăugate elemente de aliere în scopul îmbunătățirii caracteristicilor fizico-chimice și mecanice /30-70/.

Deoarece conținutul în elemente de aliere este relativ mic (5-10%) structura alamelor de lipire este alcătuită în general din același constituenți structurali și cu alamele binare și unele soluții solide  $\alpha$  și  $\beta$  /14/. Elementele de aliere se găsesc dizolvate în rețeaua cristalină a soluției solide. Numai în cazuri rare apar alți constituenți structurali. Diagrama de

stare a aliajelor Cu-Zn este dată în figura 11. Elementele de aliere a alamelor se pot clasifica în două mari categorii din punct de vedere al acțiunii asupra structurii alamelor și implicit asupra proprietăților:



- elemente care îngustează (limitează) domeniul  $\alpha$  adică micșorează solubilitatea zincului în cupru (Si, Al, Sn, Fe și Mn);
- elemente care măresc domeniul  $\gamma$ , adică măresc solubilitatea zincului în cupru (Ni, Co și Ag).

Figura 11.

### Alamele cu siliciu

În aliajele Cu-Zn siliciul are o puternică influență asupra solubilității zincului în cupru.

Ele au proprietăți bune de rezistență la coroziune și caracteristici mecanice ridicate. Mărirea conținutului de siliciu, mărește fragilitatea îmbinării datorită apariției compusului  $Cu_4Si$  în faza fragilă.

Alamele de staniu. Fiind un element care mărește domeniul fazei  $\alpha$  staniul micșorează solubilitatea zincului în cupru și contribuie la evitarea evaporării zincului la încălzire. Staniul în proporție de 0,5% se dizolvă în soluția solidă  $\alpha$  dar depășind limita de 1-2% Sn pot apărea în structura alamei pe lângă fragil  $Cu_3Sn$  și  $Cu_2Sn$ . Tabelele 7-12 cuprind principalele tipuri de alame pentru lipire recomandate de normele naționale și aliajele Cu-Zn conform STAS 204-80.

Aliajele de lipire tip Cu-Zn conform standardului american AWS A 58-69.

**TABELUL 7.**

Simbolul aliajului	Compoziția chimică %								Total alte elemente
	Cu	Zn	Sn	Ni	P	Pb	Sb	Si	
RBCuZnA	57-61	rest	0,25-1,0	-	0,25	0,05	0,01	0,04-0,025	0,50
RBCuZnD	46-50	rest	-	9-11	0,25	0,05	0,01	0,04-0,25	0,50

**Alamele de lipire conform standardului austriac AS 1167-81.**

**TABELUL 8.**

Simbolul aliajului	Compoziția chimică %									
	Cu	Si	Mn	Pb	Sn	Fe	Ni	P	Zn	Al
C <sub>1</sub>	57-64	0,5	-	0,05	1,0	-	-	0,25	rest	0,03
C <sub>2</sub>	56-63	0,3	1,25	0,05	1,10	1,25	1,0	0,25	rest	0,03
C <sub>3</sub>	45-53	0,5	0,5	0,05	0,5	0,5	8-11	0,25	rest	0,03
C <sub>4</sub>	min. 9%	2,4-4,5	-	0,03	-	0,25	-	0,25	rest	0,03
C <sub>5</sub>	49-52	-	-	0,05	0,20	0,15	-	0,25	rest	0,03

**Alamele de lipire conform standardului englez B.S. 1845-77 sînt date în tabelul 9.**

**TABELUL 9.**

Simbolul aliajului	Compoziția chimică %							Alte elemente
	Cu	Zn	Sn	Si	Mn	Ni		
Cz 3	59-61	rest	0,1	-	-	-	Pb 0,02 Al 0,01 Sb 0,01 Ar 0,01 Bi 0,01 Fe 0,25	
Cz 6	58,5-61,5	rest	0,2	0,2-0,4	-	-		
Cz 6A	58,5-61,5	rest	0,2-0,5	0,2-0,4	-	-		
Cz 7	58,5-61,5	rest	0,2	0,15-0,4	0,05-0,25	-		
Cz 7A	58,5-61,5	rest	0,2-0,5	0,15-0,4	0,05-0,25	-		
Cz 8	46-50	rest	0,2	0,15-0,4	0,2	8-11		

Aliajele de lipire tip Cu-Zn conform normei franceze NF-A81-362 sînt cuprinse în tabelul 10.

TABELUL 10.

Simbolul aliajului	Compoziția chimică %									
	Cu	Ag	Zn	Ni	Mn	Si	Sn max	Fe max	Pb max	Al max
B/SBCu 60 Zn Si	59-61	-	rest	≤ 0,4	1,0	0,1-0,3	1,2	0,4	0,03	0,01
B/SbCu 59 Zn Ag Si	58-59	0,8-1,2	rest	-	0,3	0,1-0,3	0,5	-	0,03	0,01
B/SBCu 49 Zn Ni Si	47-51	-	rest	8-11	1,0	0,1-0,5	0,5	0,2	0,03	0,01
B/SBCu 48 Zn Ni Ag Si	45-50	0,7-1,4	rest	8-11	0,2	0,1-0,4	-	-	0,03	0,01

Aliajele de lipire conform standardului german DIN 8513 sînt date în tabelul 11.

TABELUL 11.

Simbolul aliajului	Compoziția chimică %								
	Cu	Zn	Si	Sn	Mn	Fe	Ni	Ag	Impurități
L-Cu Zn 40	59-62	rest	0,1-0,3	0-0,5	0-0,3	0-0,3	0-0,2		
L-Cu Zn 39 Sn	56-62	rest	0,05-0,2	0,5-1,5	0,2-1,0	0-0,5	0-1,5	0-1,0	Pb 0,03 Al 0,005
L-Cu Zn 46	53-55	rest	-	-	-	-	-	-	
L-Zn-Cu 42	41-43	rest	-	-	-	-	-	-	
L-CuNi 10Zn 42	46-50	rest	0,1-0,3	-	-	-	8-11	-	

Tabelul 12 cuprinde aliajele de lipire conform STAS 204-80.

TABELUL 12.

Simbolul aliajului	Compoziția chimică %				Impurități % max.				Temperatura de topire °C
	Cu	Si	Sn	Zn	Pb	Fe	Sb	Sn	
BCu 60 Zn Si	58-62	0,2-0,3	-	rest	-	-	0,5	0,3	900
BCu 60 Zn Si Sn	59-61	0,2-0,3	0,8-1,2	rest	-	-	-	-	900

Alamele de lipire trebuie să conțină sub 40% Zn, în caz contrar îmbinările devin fragile. Elementele de aliere introduse în alamele de lipire au următoarele influențe/ 39/:

- Staniul reduce temperatura de topire a alamei și crește fluiditatea. Analiza aliajelor prezentate a arătat că în majoritatea cazurilor staniu este sub 1%. Aliajele din normele australiană, franceză și germană au 1,2 - 1,5% Sn, dar pentru prevenirea apariției compunilor fragili s-a introdus nichel sau 1% care mărește stabilitatea zincului.

- Siliciul adăugat în proporție de 0,1 - 0,5% reduce posibilitatea formării porozității datorită hidrogenului sau evaporării zincului.

Staniul și siliciul au și rol de dezoxidanți și măresc caracteristicile mecanice ale îmbinării lipite.

- Argintul adăugat până la 15% mărește fluiditatea aliajului, mărește solubilitatea gazelor în cordoșul îmbinării și îmbunătățește proprietățile electrice și termice ale lipiturii. Nichelul mărește plasticitatea și rezistența îmbinărilor.

Alamele pentru lipire se utilizează pentru lipirea oțelurilor carbon cu toate procedeele: flacără oxiacetilenică, inducție sau în cuptor cu atmosferă reductoare. Trebuie utilizate cu grijă să nu se supraîncălzească deoarece vaporizarea zincului din îmbinare duce la porozitate.

În funcție de tensiunea superficială a fiecărui aliaj de lipire și în urma experimentărilor efectuate și conform literaturii de specialitate rosturile de lipire se aleg conform tabelului 13 /4,5,7,15/

TABELUL 13.

Rosturi de lipire recomandate [mm]

Aliaj de lipire	Material de bază			
	Cupru	Aliaje de cupru	Aliaje ale fierului	Aluminiu și aliajele sale
BAu	0,025 - 0,10	0,025 - 0,10	0,025 - 0,10	—
BCu	—	—	0 - 0,075	—
BCu - Zn	0,075 - 0,375	0,075 - 0,375	0,05 - 0,25	—
BCu - P	0,075 - 0,375	0,075 - 0,375	—	—
B Ag - Cu - P	0,05 - 0,30	0,05 - 0,30	—	—
B Ag - Cu - Zn - Cd	0,03 - 0,25	0,03 - 0,25	0,025 - 0,15	—
BNi	—	—	0,075 - 0,375	—
BAl	—	—	—	0,125 - 0,6

Aliaje cu conținut de argint

Aliaje de lipire cu conținut de argint se utilizează pe scară largă cu toate că sînt scumpe, deoarece se disting printr-o comportare foarte bună la lipire, prin proprietăți mecanice și electrice ridicate și prin rezistență ridicată la coroziune. Aliajele cu conținut de argint permit reducerea temperaturii de lucru, micșorarea roșturilor de lipire, aduc economii importante de energie, material de adăos și adătorită economiei de muncă devin rentabile în special la fabricație de serie.

Studiile și cercetările întreprinse au evidențiat următoarele aspecte privind compoziția aliajelor de lipire tare cu conținut de argint:

- aliajele pentru lipire au în general compoziție eutectică sau apropiată, pentru a se asigura temperatura cât mai scăzută de topire și interval mic de topire, fluiditate ridicată;



- aliaje pe bază de argint cel mai frecvent utilizate pentru lipirea tuturor metalelor ferose și neferose sînt aliajele ternare de tipul Ag-Cu-Zn și cuaternare Ag-Cu-Zn-Cd sau ele unesc bine suprafețele acestora, umplu perfect rosturile de lipire, au capacitate ridicată de rezistență la coroziune, iar finisările obținute rezistă la însoviere, vibrații, șocuri și deformare plastică. Figura 12 prezintă diagrama de echilibru ternară Ag-Cu-Zn în care sînt marcate izotermele temperaturilor lichidus.

Aliajele ternare care conțin mai puțin de 25% zinc sînt susceptibile la transformarea eutectică, adică se comportă asemănător cu aliajele binare Ag-Cu.

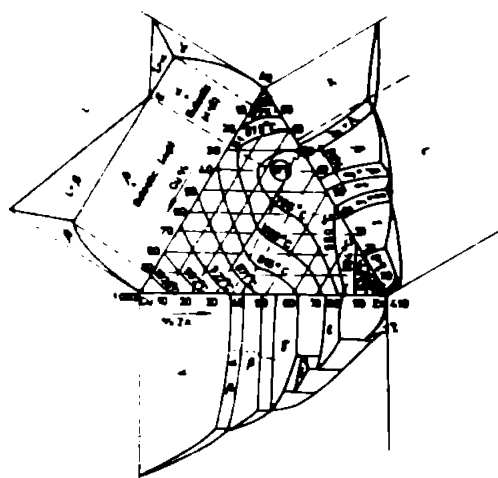


Diagrama de echilibru ternară Ag-Cu-Zn

Figura 12.

Aliajele cu mai mult zinc sînt susceptibile la transformări peritectice din care rezultă faze intermetalice, care derivă de la fazele corespunzătoare din sistemele binare Cu-Zn și Ag-Zn. Adăsurile de zinc în aliajele Ag-Cu coboară temperaturile eutectice și măresc valoarea raportului Ag-Cu în eutectie. Cele mai coborîte temperaturi

de topire se obțin pentru aliajele din domeniul încercării pe diagrama ternară. Ele corespund aproximativ unei eutectice ternare cu temperatura de topire de  $677^{\circ}\text{C}$  și compoziția chimică : 60% Ag, 16% Cu și 24% Zn.

Zincul mărește intervalul de solidificare al aliajelor mai bogate în cupru sau mai bogate în argint față de compoziția eutectică deoarece coboară mai mult suprafața solidus decât suprafața lichidus. Coborîrea suprafețelor lichidus și scăderea mai accentuată a temperaturilor de sfîrșit de solidificare se pot realiza prin adăsurile de cadmiu sau staniu. Un adăos de 10% cadmiu coboară temperatura de topire pînă la  $625^{\circ}\text{C}$ .

Influența individuală a elementelor de aliere din aliajele de lipire tare cu conținut de argint este următoarea:

- staniul micșorează temperatura de topire și îmbunătățește fluiditatea,
- siliciul reduce porozitatea și împiedică arderea și vaporizarea zincului,
- fosforul acționează ca deoxidant și coboară temperatura de topire lichidă a aliajelor;
- cadmiul înlocuiește cuprul și reduce temperatura de topire a aliajelor, îmbunătățește fluiditatea dar micșorează rezistența mecanică a lipiturii;
- manganul îmbunătățește proprietățile mecanice;
- nichelul îmbunătățește rezistența mecanică și rezistența la coroziune;
- fierul mărește duritatea lipiturii,
- plumbul mărește porozitatea dacă depășește 0,1%.

Aliajele cu conținut de argint pentru lipire tare cu cea mai mare răspândire au fost exprimate în tabelul 14.

TABELUL 14.

Simbolul aliajului	Compoziția chimică %					Temperatura de topire	
	Ag	Cu	Zn	Cd	Alte elemente	solidus °C	lichidus °C
BCu55ZnAg	4-60	54,0-56,0	rest	—	—	820	870
BCu48ZnAg	11-13	47-49	rest	—	—	800	830
BCu50ZnAgCd	11-13	49-51	rest	5-9	—	620	825
BCu44ZnAg	19-21	43-45	rest	—	0 <sup>S</sup> -0,2	690	810
BCu40ZnAgCd	19-21	39-41	rest	13-17	—	605	765
BCu41ZnAg	24-26	40-42	rest	—	—	700	800
B <sub>Ag</sub> 30CuZnCd	29-31	27-29	rest	19-23	—	600	690
B <sub>Ag</sub> 34CuZnCd	33-35	21-23	rest	18-22	—	610	680
B <sub>Ag</sub> 40ZnCdCu	39-41	18-20	rest	18-22	—	595	630
B <sub>Ag</sub> 45CuZn	43-45	29-31	rest	—	—	675	735
B <sub>Ag</sub> 45CdCuZn	44-46	16-18	rest	18-22	—	620	835
B <sub>Ag</sub> 50CdZnCu	49-51	14-16	rest	15-19	—	620	640
B <sub>Ag</sub> 67ZnCuCd	66-68	10-12	rest	8-12	—	635	720
B <sub>Ag</sub> 50ZnCuCdNi	49-51	14,5-16,5	rest	14-18	Ni 25-35	645	690
B <sub>Ag</sub> 49ZnCuCdNi	48-50	15-17	rest	—	Ni 4-5 Mn 65-85	625	705
BCu38AgZnNi	26-28	37-39	rest	—	Ni 5-6 Mn 85-105	680	830

Analizând aliajele turnare și custerare cuprinse în tabelul 14, utilizând temperaturile de topire lichidus și solidus ale aliajelor au fost trasate diagramele din figura 13,

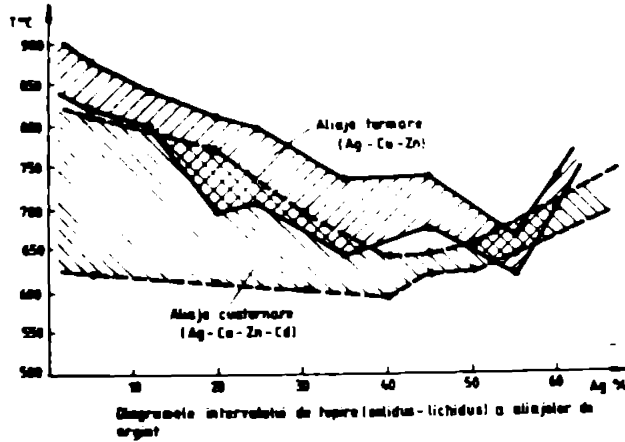


Figura 13.

Diagramele intervalului de topire lichidus-lichidus a aliajelor de argint. Din diagrame se remarcă următoarele:

- aliajele custerare au temperaturi de topire atât solidus cât și lichidus mai scăzute decât aliajele turnare;
- intervalul de topire la aliajele custerare cu 10-30% Ag este foarte larg, fapt care le face utilizabile unde resturile de lipire sînt largi sau variabile. Figura 14 reprezintă grafic rezistența la tracțiune a îmbinărilor lipite avînd ca material de bază un oțel OL 37 și aliaje de lipire pe bază de argint turnare și custerare.

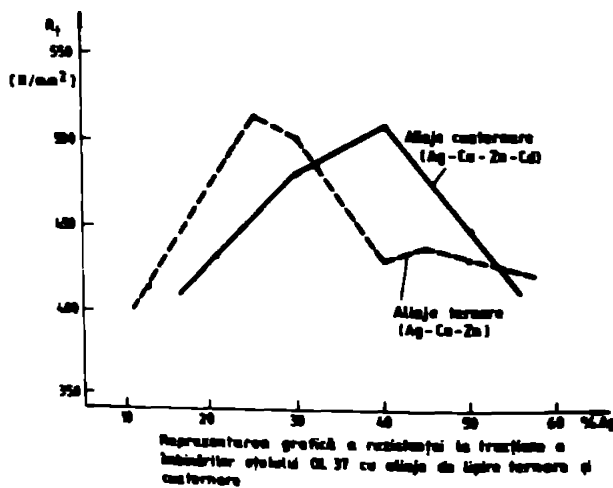


Figura 14.

Din diagrame se remarcă faptul că aliajele de lipire turnare și custerare dau rezistența la tracțiune apropiate, fapt care favorizează utilizarea aliajelor custerare cu titru mai scăzut în locurile celor turnare.

### 2.1.3. Influența fluxului de aer sau atmosferei redusătoare

Realizarea lipirii țări între două componente din

oțel carbon în cupla cu un aliaj de lipire tip BCu, BCuZn sau BCuAgZnCd, nu se poate face fără înlăturarea stratului de oxid de pe sondele de îmbinat și asigurarea condițiilor de lipire astfel încât materialele de bază și baia de aliaj topit să nu fie oxidate în timpul ciclului de lipire /54, 57,60 și 69/. După cum am arătat la lipirea țării a oțelurilor carbon datorită încălzirii, formarea stratului de oxizi este inevitabilă și este în dezvoltare continuă.

Înlăturarea stratului de oxid este posibilă prin:

- decaparea în acizi și introducerea rapidă în atmosferă inertă în vederea lipirii;
- utilizarea fluxurilor decapante;
- lipire în atmosfere reducătoare.

#### Fluxuri decapante

Fluxurile decapante trebuie să fie capabile să asigure condițiile de lipire adică /36, 37, 52, 61, 62/:

- să se topească cu cea 50°C înainte de topirea aliajului de lipire (punctul de topire lichidus);
- să devină activ adică să dezvolte ușor oxizi metalici de pe metalul de bază și aliajul de lipire facilitând formarea unei legături între aceștia fără să aibă acțiuni chimice nefavorabile asupra lor (coroziune);
- să protejeze perfect suprafețele metalice formând o peliculă densă pe materialul de bază și pe baia de aliaj de lipire topit pentru ca în timpul ciclului termic de lipire să evite oxidarea lor;
- să fie stabile din punct de vedere chimic într-un domeniu larg de temperatură și într-un interval de timp suficient, funcție de viteza de încălzire;
- să nu aibe în stare topită o viscozitate și o tensiune superficială mică pentru ca la lipire să moacă suprafața de bază sub forma unor pelicule subțiri;

- restarile de flux care rãmân pe imbinãri dupã lipire trebuie sã fie șgar de înlãturat și nu trebuie sã provoace corozionul imbinãrii.

Proprietãți fizico-chimice ale fluxurilor decapante

Reacția de dezoxidare a suprafeței materialului de bazã care are loc datoritã fluxului decapant, începe de la moleculele aflate la suprafață care din cauza numărului redus de legãturi de coeziune sînt instabile.

Reacția va decurge corect numai dacã între temperatura de lucru  $\theta_2$  și viteza de dezoxidare  $v_d$  se respectã o anumitã relație. Pentru ilustrarea fenomenelor în figura 15 este datã dependența  $\theta_2 = f(v_d)$  pentru trei fluxuri decapante. Viteza reacției de dezoxidare la temperatura de lucru trebuie sã fie superioarã sau cel puțin egalã cu viteza de lipire, iar temperatura la care se îndepãrteazã pelicula de oxizi trebuie sã fie inferioarã temperaturii de lucru /66/.

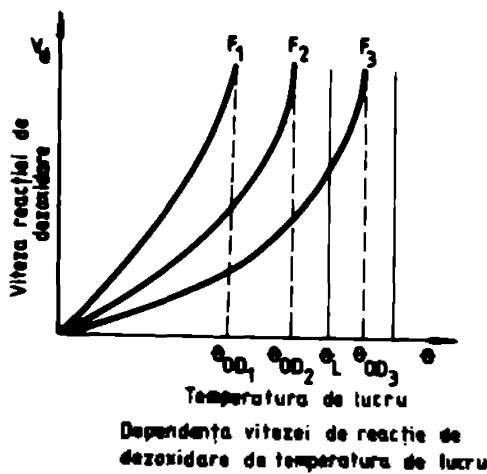


Figura 15.

sã nu se termine cu mult timp înainte de lipire, deoarece între procesul de lipire și cel de dezoxidare este o duratã de timp prea mare, apare pericolul ca oxizii sã se formeze din nou.

Fluxul  $F_2$  are o reacție de dezoxidare optimã pentru cã viteza de reacție este mare în apropiere de temperatura de

Accestã temperaturã cu cea  $50^{\circ}\text{C}$  mai micã decit este temperatura optimã de dezoxidare  $\theta_{00}$  a fluxului decapant.

Fluxul decapant  $F_1$  are o reacție de dezoxidare care decurge cu o vitezã mare începînd de la temperaturi mai joase decit  $\theta_2$ . Viteza de lipire trebuie sã fie mare, pentru ca dezoxidarea

lucru fapt care asigură o dezoxidare corespunzătoare înainte de lipire.

Fluxul P3 are viteză de reacție mare la temperaturi care depășesc temperatura de lucru, dezoxidarea poate fi incompletă și în lipitură pot rămâne oxizi.

În afară de viteză de reacție, în procesul de dezoxidare de o deosebită importanță este stabilitatea termică în timp a fluxului decapant. Evaluarea stabilității termice se face astfel: pe epruvete din materialul de bază cu dimensiunile de 30x30x1 mm se aşază cca 50 mg flux decapant, după care se introduce în cuptor și se încălzește la temperatura de lipire. La anumite intervale de timp se aplică aliajul de lipire. Suprafața de întindere a aliajului de lipire măsurată după anumite intervale de timp la care se aplică aliajul de lipire pe suprafața oțelului reprezintă o măsură a stabilității termice a fluxului decapant. Figura 16 reprezintă diagrama stabilității în timp a cinci fluxuri decapante, utilizând ca materiale de adăos aliajele de lipire cu 30 și respectiv 40% Ag.

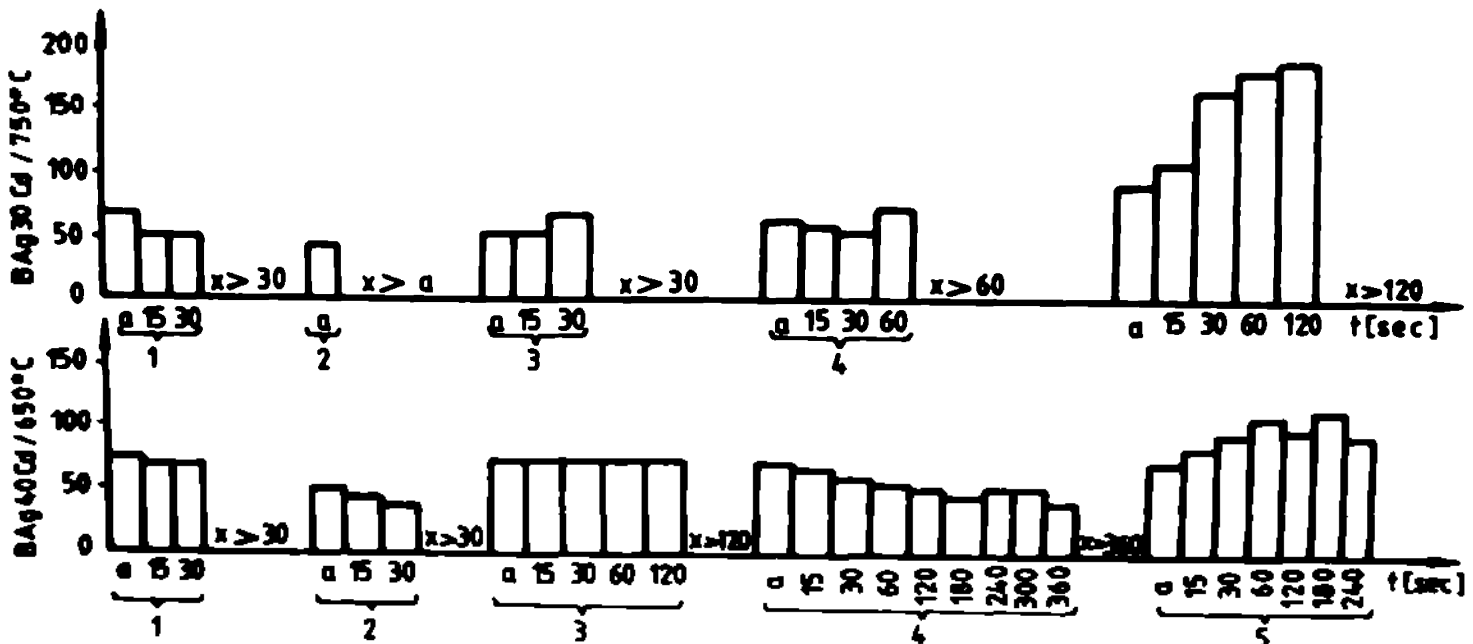


Diagrama stabilității fluxurilor decapante

Figura 16.

Notațiile din figură sînt următoarele:

a - timpul pînă la stingerea temperaturii de lucru a aliajului de lipire /s/

15, 30, ... - intervalele de timp la care se aplică aliajul de lipire /s/

1,2,...5 - fluxuridecapante

Viteza de reacție de deoxidare a fluxului 1 este mare, dar stabilitatea termică este redusă, la supraîncălzire sau la o durată de lipire mai mare acest flux este sensibil, își pierde acțiunea decapantă.

Stabilitatea este și mai redusă la fluxul decapant 2. Celelalte trei fluxuri decapante 3,4,5 sînt mai stabile în timp, fluxul 5 atîngînd valorile cele mai mari pentru stabilitatea termică, fiind cel mai indicat pentru lipire.

### Studiul constituenților fluxurilor decapante

Fluxurile decapante pentru lipirea oțelurilor carbon conform standardelor din RFG, RDG și USA sînt prezentate informativ în tabelul 15.

**TABELUL 15.**

Fluxuri pentru lipirea tare a oțelurilor

STAS sau normă	Tipul Fluxului decapant	Componenti activi	Domeniul de temperatură de utilizare [°C]	Forma de utilizare
DIN BS11	F - SH 1	Compusi ai borului Fluoruri simple și complexe	550 - 800	pastă pulbere
	F - SH 2	Compusi ai borului	750 - 1000	pastă pulbere
	F - SH 3	Compusi ai borului Silicați Fosfați	> 1000	pastă pulbere
	F - SH 4	Fluoruri Cloruri	600 - 1000	pastă pulbere
TGL 14 907	SHG 1	Fluoruri simple Fluoruri complexe	550 - 750	pastă pulbere
	SHG 2	Compusi ai borului	750 - 1000	pastă pulbere soluție
	SHG 3	Compusi ai borului Silicați Fosfați	> 1000	pulbere pastă
A W S	1	Cloruri Fluoruri	370 - 640	pulbere
	2	Cloruri Fluoruri	480 - 650	pulbere
	3	Acid boric Borax Fluoruri Fluorborati, Diluant	570 - 670	pulbere pastă soluție
	4	Cloruri Fluoruri Borati Diluant	560 - 670	pulbere pastă
	5	Borax Acid boric Borati Diluant	760 - 1200	pulbere pastă soluție

Ele sînt amestecuri care au la bază următorii compuși chimici: compuși ai borului, fluoruri simple și complexe, cloruri, silicați și fosfați. Compușii borului de importanță deosebită sînt boraxul ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) și acidul boric ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ).

Boraxul, în stare topită are o reacție acidă avînd comportare în procesul de lipire ca un amestec de metaborat de sodiu și trioxid de bor /66/, /68/.

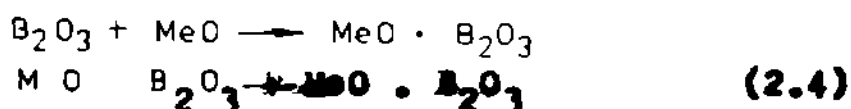


Partea activă o are  $\text{B}_2\text{O}_3$  care produce cu oxizii de pe oțel borazi. Metaboratul dizolvă borazi formati și îi îndepărtează permițînd accesul trioxidului de bor în cantități suficiente la stratul de oxid. Boraxul dizolvă oxizii de Fe, Cu, Zn, Ag, și Cd.

Acidul boric ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) la încălzire pierde progresiv apa conform reacției:



transformîndu-se la topire ( $580^\circ\text{C}$ ) în trioxid de bor care la răcire produce o masă sticloasă. Cu oxizii metalelor grele trioxidul de bor formează borazi de tipul



sau combinații complexe de tipul :  $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{Me}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{MeO}$

Acidul boric se poate utiliza singur sau în amestec cu alți compuși ca flux decapant.

Clorurile, fluorurile simple și complexe se utilizează la fabricarea fluxurilor decapante pentru lipirea oțelurilor cu aliaje cu conținut de argint cu temperatură de lipire sub  $750^\circ\text{C}$ , ele coboară temperatura de topire a fluxurilor. Acțiunea decapantă a fluorurilor și clorurilor constă în formarea acizilor



HF și HCl care transformă oxizii metalelor în fluoruri și cloruri și care la rândul lor sînt dizolvate în excesul de flux decapant. Formarea HF și HCl este determinată de faptul că la încălzire, fluorurile și clorurile se topesc formînd o topitură cu o viscozitate scăzută care se descompune complet în ioni. Topitura va avea mare viteză de reacție în prezența hidrogenului formînd HF și HCl, compuși chimici cu acțiune decapantă puternică. Fluxurile decapante pe bază de fluoruri și cloruri la temperatura de lucru mai mare de  $800^{\circ}\text{C}$  au o mare capacitate de întindere și reacție dar întrucît se întind prea mult nu asigură protecția necesară contra unei noi oxidări a lipiturii. Aceasta face ca acești compuși să intre în compoziția fluxurilor utilizate la temperaturi de lucru sub  $800^{\circ}\text{C}$  și să se întrebunîțeze cu adăsurii de borax sau acid boric. Dintre cloruri și fluoruri importante deosebită prezintă: NaF, KF, LiF,  $\text{KHF}_4$ ,  $\text{NaSiF}_6$ , LiCl, KCl,  $\text{BaCl}_2$  și  $\text{CaCl}_2$ .

Studiul cuplului flux decapant - alame de lipire -  
- oțel carbon

În vederea elaborării unui flux decapant pentru lipirea tare a oțelurilor carbon în cuplu cu alame de lipire au fost studiate și analizate fluxurile decapante pentru lipirea

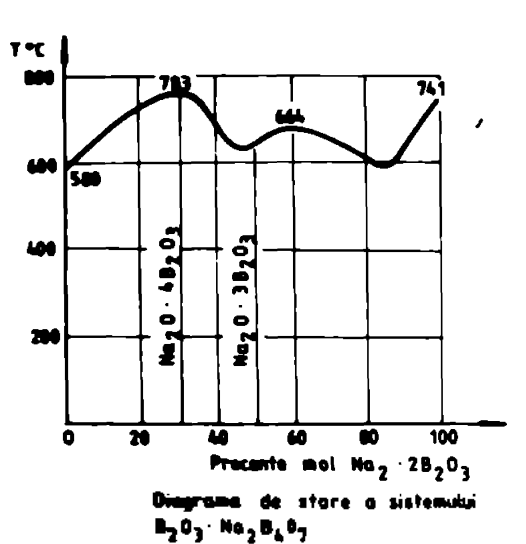


Figura 17.

tare prezentate de standardele străine și publicațiile de specialitate. Rezultatele foarte bune se obțin cu fluxuri decapante formate din amestecuri de acid boric și borax, a căror temperatură de topire depinde de variația conținutului procentual al compoziției amestecului și se poate determina pe baza diagramei de stare a sistemului  $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  din figura 17. În diagramă se arată că temperaturile cele mai ridicate de topire le au fluxurile cu un conținut de 20-40%

$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  și 80 - 60%  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

Studiul cuplului flux decapant - aliaje cu conținut  
de argint - oțel carbon

În vederea lipirii oțelurilor carbon în cuplu cu aliajele de lipire cuaternare (Cu-Ag-Zn-Cd) având conținuturi cu argint cuprindes între 20 - 40% au fost elaborate fluxuri decapante având ca modele de referință fluxurile din import CLA 531, Silox P500, Castolin 1802 și FSH1. Analizele spectrale ale fluxurilor decapante menționate au determinat următoarele componente ale fluxurilor:

- flux CLA 531

- borax hidratat
- fluoroborat de potasiu
- acid boric
- clorură de sodiu

- flux Silox P 500

- borax (hidratat și deshidratat)
- fluoroborat de potasiu
- fluorură de potasiu
- acid boric

- flux Castolin 1802

- borax (hidratat și deshidratat)
- fluoroborat de potasiu
- fluorură de potasiu
- clorură de potasiu
- clorură de sodiu

- flux FSH 1

- fluorură de potasiu
- fluoroborat de potasiu
- acid boric
- amestec  $\text{HBO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3$

Studiul comparativ al fluxurilor decompante și experimentările întreprinse au permis elaborarea unui flux FDI pe bază de: borax tehnic și fluoroborat de potasiu ( $KBF_4$ ).

### Atmosfera reductoare

Succesul lipirii în atmosferă reductoare este bazat pe reacțiile chimice care au loc între pelicula de oxid de pe suprafața materialului de bază (oțelului carbon) și gazul reductor, rezultând înlăturarea (reducerea) peliculei de oxid /30, 69, 70/. Utilizarea atmosferei reductoare împiedică formarea oxizilor pe suprafața metalului de bază sau a băii de aliaj topit în timpul ciclului termic de lipire.

**TABELUL 16.**

atmosfera reductoare pentru lipire țară

Tipul atmosferei	Punct de rouă [°C]	Compoziție aprox. în %						Tipul abajului de lipire	Tipul materialelor de bază
		CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>		
Exo I	25	8...15	4...7	10...18	2...3	0,6...1,2	rest	B <sub>2</sub> Ag, B <sub>2</sub> CuP B <sub>2</sub> CuZn	Oțel carbon, Cu, Ni, monel, bronzuri, metale prețioase (Ag, Au)
Exo II	0	8...15	4...7	10...18	0,6	0,6...1,2	rest	B <sub>2</sub> Cu, B <sub>2</sub> Ag B <sub>2</sub> CuZn B <sub>2</sub> CuP	Oțeluri carbon, oțeluri slab aliate cu Cr și Mn, monel, nichel
Mono CH <sub>4</sub>	-50	10...20	0,5	12...22	0,04	1	rest	B <sub>2</sub> Cu, B <sub>2</sub> Ag B <sub>2</sub> CuZn B <sub>2</sub> CuP	Oțeluri carbon, oțeluri slab aliate cu Cu și Mn, metale prețioase (Ag, Au)
NH <sub>3</sub> amoniac dissociat	-	-	-	75	-	-	rest	B <sub>2</sub> Ag, B <sub>2</sub> CuP B <sub>2</sub> CuZn B <sub>2</sub> Cu, B <sub>2</sub> Ni	Oțeluri carbon, oțeluri slab aliate cu Cr, Mn, Ni, aliaje Cr-Ni
Mono H <sub>2</sub>	-15	-	-	3...5	0,2	-	rest	B <sub>2</sub> Ag, B <sub>2</sub> CuP B <sub>2</sub> CuZn B <sub>2</sub> Cu, B <sub>2</sub> Ni	Oțeluri carbon cu C=0,3% oțeluri slab aliate cu Cr, Mn, Ni, aliaje Ni-Cr
Endo	-10 la +10	15...25	0,5	22...50	-	1	25...69	B <sub>2</sub> Ag, B <sub>2</sub> CuP B <sub>2</sub> CuZn B <sub>2</sub> Cu, B <sub>2</sub> Ni	Oțeluri carbon, oțeluri slab aliate, aliaje Ni-Cr
Argon sau Heliu	-	-	-	-	-	-	-	B <sub>2</sub> Ag, B <sub>2</sub> CuP B <sub>2</sub> CuZn B <sub>2</sub> Cu, B <sub>2</sub> Ni	Cu, oțeluri carbon și slab aliate, Ti, Zr, Hf ⊙
Vid aprox. 2 Torr	-	-	-	-	-	-	-	B <sub>2</sub> CuP, B <sub>2</sub> Ag	Cu
Vid 0,5 + 2 Torr	-	-	-	-	-	-	-	B <sub>2</sub> Cu, B <sub>2</sub> Ag	Cu, oțel carbon
Vid 0,001 + 0,5 Torr	-	-	-	-	-	-	-	B <sub>2</sub> Cu, B <sub>2</sub> Ag	Oțel carbon și slab aliat Cu
Vid 1 + 10 <sup>-3</sup> Torr	-	-	-	-	-	-	-	B <sub>2</sub> Ni, B <sub>2</sub> Au B <sub>2</sub> AlSi	Oțel inox, aliaje refractare, Al, Ti, Zr

⊙ Componentele de lipit trebuie să fie foarte curate și atmosfera foarte pură

Lipirea tare în atmosferă reducătoare are ca domeniu de aplicare realizarea structurilor alveolare pentru schimbătoare de căldură, unde fluxul decapant nu poate pătrunde și nu se poate înlătura după lipire, ducând la obturarea anumitor orificii și la corodarea pieselor în funcționare. Tabelul 16 prezintă atmosferele reducătoare și vidul necesare lipirii oțelurilor în cuplu cu diferite aliaje de lipire.

Principalele elemente cuprinse în atmosferele reducătoare sînt:

- Hidrogenul ( $H_2$ ) - este foarte activ pentru reducerea celor mai multe tipuri de oxizi metalici la temperaturi ridicate. Dezavantajul este că provoacă fragilizarea diferitelor materiale de bază.

- Oxidul de carbon ( $CO$ ) este activ pentru reducerea mai multor oxizimetalici de exemplu oxizii de fier, nichel, cupru la temperaturi ridicate. Oxidul de carbon este toxic și necesită utilizarea ventilației și recuperarea gazului la ieșire și arderea sa.

- Dioxidul de carbon ( $CO_2$ ) - servește ca diluant al atmosferei de lipire cu condiția ca să se creeze un raport convenabil de  $CO$  și  $CO_2$  în cuptor.

- Azotul ( $N_2$ ) Prezența azotului în atmosferă reducătoare este admisă, ca diluant al atmosferei reducătoare. Se va evita utilizarea azotului unde este posibilă formarea nitru-rilor.

- Vaporii de apă ( $H_2O$ ) Cantitatea de vaporii de apă prezenți în atmosfera reducătoare din cuptor, indică punctul de rouă (dew point) - respectiv temperatura la care umiditatea prezenți în gaz face ca apa să se condenseze.

Dintre atmosferele reducătoare cea mai activă este atmosfera de hidrogen uscat. Reacție de reducere a oxidului este /40, 45/:



Datorită reversibilității reacției, în prezența unei cantități mari de vapori de apă, în captor, se oxidează suprafața. Diagramele din figura 18 reprezintă punctele de rouă pentru descompunerea diferiților oxizi metalici și temperaturile de descompunere.

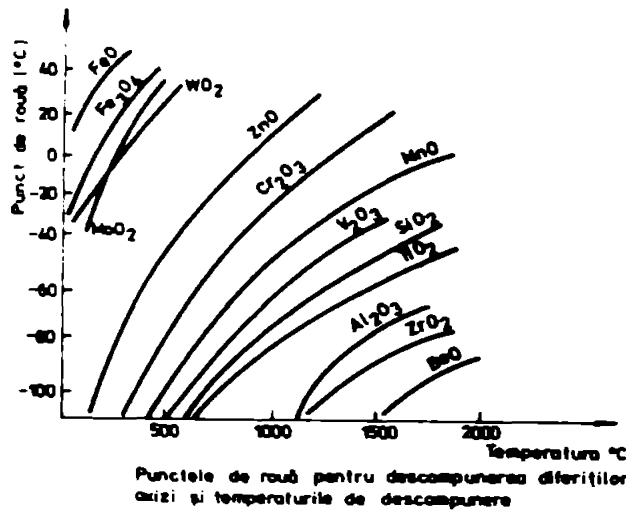


Figura 18,

ca avantaj înălturarea completă a oxizilor. Pentru lipirea tare a oțelurilor carbon se poate utiliza ca vid de  $1 \cdot 10^{-1}$  -  $1 \cdot 10^{-2}$  torr.

Experimentările de lipire tare efectuate în cadrul țenei au fost făcute în captor cu atmosferă reductoare de tipul : CO(20%) + H<sub>2</sub> (40%) + H<sub>2</sub> (40%)

#### 2.1.4. Influența rugozității suprafeței

Ținând seama că în practică multe dintre piesele care urmează să se lipească sînt prelucrate mecanic prin șechiere, șlefuire cu hîrtie abrazivă sau rectificate avînd la suprafața de îmbinat diferite rugozități, au fost analizate efectele acestora asupra rezistenței îmbinărilor lipite. Din studiile întreprinse a rezultat că rugozitatea influen-

Studiile și experimentările întreprinse au arătat că atmosfera reductoare favorizează realizarea unor îmbinări cu rezistență mărită, datorită dezoxidării uniforme a suprafețelor oțelului și permite lipirea unor componente cu rost foarte mic de lipire.

Poate multe lipiri tari se realizează în vid, avînd

țează calitativ realizarea îmbinării în special când este mare deoarece aliajul de lipire topit datorită tensiunii sale superficiale nu poate pătrunde în rosturile capilare /67, 92-95/. În vederea ilustrării calitative și cantitative a rugozității suprafeței au fost efectuate mai multe experimentări care au arătat că rugozitatea optimă este cca  $120 \mu$  m.

## 2.2. Factorii constructivi

Factorii constructivi influențează într-o măsură importantă rezistența îmbinărilor lipite, fiind în corelație cu factorii fizico-chimici. Dintre factorii constructivi cei mai importanți sînt:

- tipul îmbinării,
- mărimea rostului de lipire,
- mărimea suprafeței de lipire.

### 2.2.1. Influența tipului îmbinării

Îmbinările frecvent utilizate la lipire tare sînt cap la cap, oblice, prin suprapunere și în formă de T.

Îmbinarea cap la cap se alege totdeauna când piesele trebuie lipite fără mărirea secțiunii. Dacă rostul de lipire va fi mai mare de 0,5 mm, la suprafața îmbinării lipite se formează o creștătură sub influența contracției prin solidificare a aliajului topit. Efectul de creștătură micșorează foarte mult rezistența la încovoiere a îmbinării.

Îmbinările oblice se folosesc pentru realizarea pieselor supuse la solicitări de încovoiere sau când îmbinările lipite urmează a fi prelucrate mecanic sau deformate plastic. Capacitatea portantă a îmbinărilor oblice depinde de mărimea unghiului și este maximă la un unghi de  $60^\circ$  deoarece suprafața de lipire crește /75, 76, 77, 100/.

Îmbinarea prin suprapunere este nu numai tipul cel mai sigur de îmbinare, dar și cel mai simplu de realizat în producție, deoarece pentru realizarea ei nu sînt necesare de

regulă dispozitive auxiliare. Ea se folosește mai ales pentru îmbinarea tablelor subțiri și a țevilor. Capacitatea portantă a îmbinărilor prin suprapunere depinde în primul rând de mărimea suprapunerii (1). Capacitatea portantă maximă posibilă a îmbinării prin suprapunere se obține atunci când îmbinarea lipită este la fel de rezistentă la alunecare ca și secțiunea ce mai slabă a materialului de bază fiind valabilă relația:

$$R_{MA} \cdot l \cdot b = R_{MB} \cdot L \cdot b$$

de unde mărimea suprapunerii este :  $l = \frac{R_{MB}}{R_{MA}} \cdot h$

unde:

h - grosimea tablelor

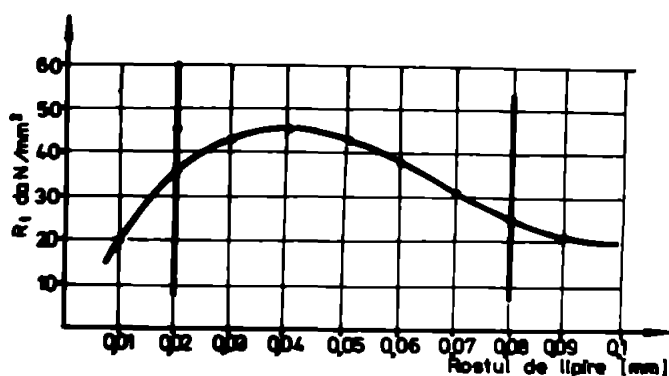
$R_{MB}$  și  $R_{MA}$  sînt rezistențele la tracțiune ale materialului de bază respectiv aliajului de lipire.

### 2.2.2. Influența rostului de lipire

Rosturile întrebuițate la lipirea oțelurilor au valori cuprinse între 0,01 - 0,5 mm și mai mari în cazul construcțiilor cu gabarit mare. Mărimea rostului de lipire este dependentă de materialul de bază, aliajul de lipire, mediul dezoxidant și procedul de lipire (respectiv viteza și durata de încălzire). La lipirea oțelurilor carbon se utilizează rosturile de lipire menționate în tabelul 13, în funcție de aliajul de lipire folosit.

Rosturile de lipire se iau la valcarea maximă pentru lipirea cu fluxuri decompante care datorită tensiunii superficiale mari nu pot pătrunde în rosturi de lipire mici, lăsînd suprafețele parțial lipite. Rostul se alege la limita inferioară pentru lipirea în atmosferă reducătoare sau vid. La alegerea rosturilor de lipire se va ține seama că la valori mari apare efectul de crestătură, apar retasuri, structura aliajului în îmbinare fiind specifică de turnare la solidificare, ceea ce la scăderea rezistenței mecanice a îmbinărilor lipite. Figura 19

ilustrează influența rostului la lipire asupra rezistenței la tracțiune a unor piese din oțel lipite cu aliaj tip BCu (73, 74, 76, 83).



Influența rostului de lipire asupra rezistenței la tracțiune a unor piese de oțel lipite cu aliaj tip BCu

Figura 19.

- $r_c$  - rostul la cald
- $r_r$  - rostul la rece
- $\alpha$  - coeficientul de dilatare liniară a MB
- $T_c$  - temperatura de lipire
- $T_r$  - temperatura mediului ambiant

Valorile informative pentru dilatarea oțelului carbon sînt date în tabelul 17.

TABELUL 17.

Intervalul de temperatură	$\alpha \cdot 10^{-6}$
500 - 600°C	14,5
600 - 700°C	14,7
700 - 800°C	17
800 - 1000°C	16,5

Reprezentarea grafică a influenței rostului de lipire asupra înălțimii de ridicare prin capilaritate a aliajului topit este dată în figura 20. Din diagramă rezultă că înălțimea maximă



pentru ridicarea aliajului de lipire topit prin capilaritate între două plăci plane paralele se obține pentru rosturi sub 0,1 mm. Pe măsură ce rostul crește se intensifică efectul de creșterea în îmbinare care duce la scăderea rezistenței mecanice a îmbinărilor.

### 2.2.3. Influența mărimii suprafeței de lipit

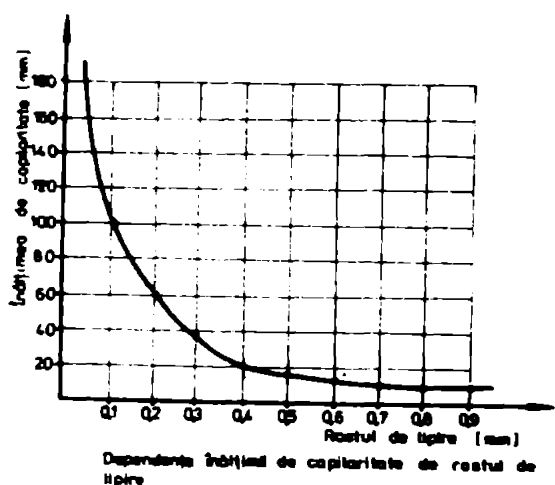


Figura 20.

suprafețele mari de lipire aliajul de lipire se întinde cu prioritate în jurul marginilor sau în jurul zonei centrale unde temperatura este mai ridicată. În zonele cu temperatură mai scăzută aliajul se solidifică între piesele de lipit (lipitură rece). Realizarea unei lipiri corespunzătoare pe suprafețe mari este dependentă de uniformitatea încălzirii, de rugozitatea suprafeței, de utilizarea atmosferei reducătoare în locul fluxurilor decompante, etc. /47, 69, 99/. Influența mărimii suprafeței asupra rezistenței la tracțiune este dată în figura

21, pentru cazul îmbinărilor lipite din oțel cu aliaj  $BiAg30CuZn$ .

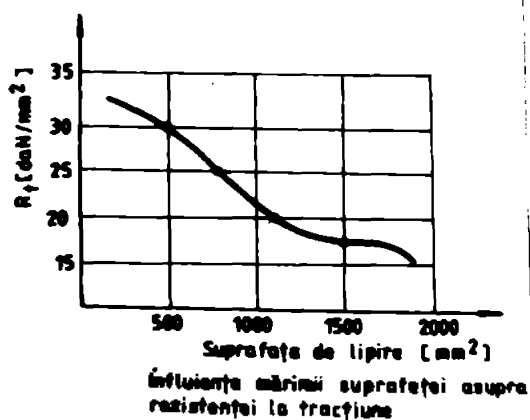


Figura 21.

Creșterea suprafeței de lipire duce la scăderea rezistenței îmbinărilor lipite, prin mărirea probabilității apariției zonelor nelipite (cu defecte). Defectele apar de tip retrăsuri, incluziuni de gaz sau flux, agură, lipituri reci apar în proporție mare. La

### 2.3. Factori tehnologici

Dintre factorii tehnologici o importanță deosebită asupra rezistenței îmbinărilor lipite o au următorii /82, 88, 99-119/:

- pregătirea suprafeței,
- mediul desoxidant,
- regimul tehnologic.

### 2.3.1. Influența pregătirii suprafeței

Pregătirea suprafeței în vederea lipirii presupune înlăturarea oricăror urme de grăsimi sau impurități de pe suprafață prin degresări, înlăturarea sau nișorarea stratului de oxid de pe suprafață și asigurarea unei rugozități corespunzătoare.

#### Degresarea și decaparea suprafeței

Insuficiența curățire, degresare și o slabă înlăturare a stratului de oxid de pe suprafață reduce posibilitatea ca aliajul de lipire să umecteze suprafața materialelor de bază și deci piesele nu se lipesc sau se lipesc nesatisfăcător.

Piese în starea lor de livrare după prelucrări mecanice sînt acoperite adesea cu o peliculă de oxid metalici sau alte impurități. Aderența acestei pelicule este creată prin absorbție chimică sau fizică. Operația preliminară indispensabilă în numeroase cazuri degresarea poate elimina grăsimile care se află pe suprafață și în porii metalelor de bază. Industria se utilizează băi cu solvenți sau vapori de solvenți de tip tricloroetilenă, percloroetilenă.

Degresarea în unele cazuri se poate face utilizînd o soluție alcalină (de exemplu o soluție de 2-3% fosfat trisodic sau silicat de sodiu în apă de cea 80°C). Decaparea este destinată înlăturării stratului de oxid de pe suprafața materialului de bază, ea poate fi executată în băi acide. Oxizii superficiali se pot elimina adesea cu soluții alcaline sau acide. Acizii cei mai utilizați sînt: acidul clorhidric, sulfuric, azotic, ortofosforic, fluorhidric sau amestecuri de acizi. Alegerea lor depinde de natura materialelor de bază și de starea suprafeței. Rugozitatea suprafeței a fost tratată la punctul 2.1.5.

### 2.3.3. Influența regimului tehnologic

Regimul tehnologic deseori are o influență hotărâtoare asupra rezistenței îmbinărilor lipite. Dintre factorii tehnologici mai importanți sînt: temperatura de lipire (de lucru), timpul de menținere, presiunea, viteza de răcire.

#### Temperatura de lipire

Alegerea corectă a temperaturii de lipire asigură o umectare bună a oțelului de către aliajul de lipire topit, o umplere completă a rosturilor de lipire și interacțiunea aliajului de lipire topit cu oțelul.

La temperaturi prea scăzute aliajul de lipire topit formează "perle" și lipituri reci (solidificarea aliajului de lipire în îmbinare fără interacțiune cu materialul de bază) rezultînd îmbinări cu rezistență mecanică scăzută.

Temperaturi de lucru prea ridicate duc la evaporarea diferitelor elemente din aliajul de lipire ducînd la modificarea compoziției chimice a aliajului de lipire și deci la modificarea proprietăților acestuia.

#### Timpul de menținere

Alegerea timpului pentru menținerea pieselor la temperatura de lipire trebuie făcută astfel încît să fie cît mai scurt, dar să asigure o încălzire corespunzătoare la temperatura de topire lichidă a aliajului în zona de lipire și o menținere suficientă astfel încît aliajul topit să poată umple în întregime rosturile capilare ale îmbinărilor. Timpul de menținere este dependent de gabaritul pieselor de lipit ținînd seama și de gabaritul dispozitivelor de fixare și de puterea sursei de încălzire.

Timpul de menținere se alege astfel încît să asigure realizarea proceselor de difuzie integral și implicit a formării compușilor intermetalici în îmbinare. Timpul de menținere se va alege deci în limite foarte largi de la cîteva seci de secunde (unde puterea sursei de încălzire este mare și gabaritul pieselor

este mic) la câteva zeci de minute (în cazul lipirii pieselor cu gabarit mare).

### Presiunea

Presiunea exercitată asupra îmbinării lipite favorizează întrepătrunderea cristalină a suprafețelor de lipit, ducând la micșorarea la minim a rostului capilar de lipire, făcând posibilă realizarea unei îmbinări lipite cu rezistență mărită. Presiunea în timpul procesului de lipire trebuie aleasă astfel încât să nu ducă la apariția deformațiilor în piesele lipite.

### Viteza de răcire

Viteza de răcire influențează structura și prin urmare rezistența îmbinărilor lipite. Creșterea vitezei de răcire poate duce la mărunțirea granulatiei, redistribuirea componentelor în zona de topire, care duce la mărirea rezistenței îmbinărilor lipite.

## 2.4. Defecte ale lipiturilor

Rezistența îmbinărilor lipite este dependentă și de întinderea zonelor cu defecte în îmbinările lipite. Defecte tipice care duc la scăderea rezistenței îmbinărilor lipite sînt: porii, fisurile, incluziunile de flux și zgură, zone nelipite (din lipsa aliajului pătrunzînd insuficient în îmbinare sau zone cu aliaj solidificat între piesele de lipit - lipituri reci).

În procesul de răcire a îmbinărilor lipite din cauza scăderii solubilității gazelor, se produce degajarea din flux și aliajul de lipire cu formarea porozității în îmbinare datorită imposibilității sau eliminării parțiale a gazelor.

Fisurile în îmbinările lipite pot apărea sub acțiunea tensiunilor și deformațiilor piesei sau lipiturii în procesul de răcire.

Apariția incluziunilor de flux sau agură în lipitură are loc datorită neuniformității deplasării frontului lichid.

Formarea zonelor nelipite are loc datorită alegării unor rosturi de lipire necorespunzătoare, orificii necerisite, încălzire insuficientă sau neuniformă, nemectarea materialului de bază de către aliajul de lipire topit.

### 2.5. Concluzii

Studiul factorilor de influență asupra procesului de lipire tare și asupra rezistenței mecanice a îmbinărilor lipite a scos în evidență necesitatea cunoașterii concrete a influenței factorilor singuri și a interdependenței acestora.

Lipirea tare a oțelurilor carbon nu a fost promovată și extinsă ca procedeu de îmbinare în construcția de mașini și alte ramuri industriale din următoarele motive:

- insuficiența cunoașterii a procesului de lipire, a posibilităților tehnologice, a factorilor de influență, asupra procesului de lipire,

- lipsa unor echipamente specializate pentru lipirea tare,

Din studiul factorilor care influențează procesul de lipire se evidențiază următorii:

- fluxul decapant sau atmosfera reducătoare,
- rugozitatea suprafeței,
- mărimea rostului de lipire,
- regimul tehnologic.

Cercetările experimentale efectuate în continuare vor urmări să evidențieze influența factorilor singuri și interdependența lor asupra măririi rezistenței mecanice a îmbinărilor lipite.

### **3. CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND MARIREA REZISTENȚEI ÎMBINĂRILOR LIPITE**

#### **3.1. Obiective și metodică a cercetărilor experimentale**

Procesul de lipire tare a oțelurilor carbon, prezintă complexitate deosebită, după cum s-a prezentat în capitolele 1 și 2, este prea puțin studiat în literatură deși determină în mod hotărâtor performanțele procedeului în sensul măririi rezistenței îmbinărilor lipite. Aceasta a necesitat aprofundarea în capitolul 1, a studiului teoretic al fenomenelor fundamentale care conduc la realizarea unei îmbinări prin lipire tare, iar în capitolul 2 au fost analizați factorii care influențează procesul de lipire în sensul măririi rezistenței.

Studiul literaturii de specialitate a relevat că realizarea pieselor din oțel prin procedee de lipire tare este relativ restrânsă, motivată fiind de cunoașterea insuficientă a procesului și performanțelor tehnologiilor de lipire tare, a necunoașterii interdependenței dintre diferiți factori tehnologici care duc la mărirea rezistenței îmbinărilor lipite către limite rezistenței materialelor de bază.

Aprofundarea aspectelor teoretice ale procesului de lipire tare și studiul experimental al influențelor diferiților factori tehnologici deschide perspectiva realizării unor îmbinări lipite cu rezistență mecanică mărită, conducând la realizarea unor piese cu configurație geometrică complexă, prin lipirea tare a elementelor.

Prin lipire tare se vor putea realiza îmbinări lipite a oțelurilor carbon dizimilare cu conținut ridicat de carbon dificil sau imposibil de sudat.

Cercetările experimentale ale procesului de lipire tare a oțelurilor carbon, efectuate de alți cercetători au vizat următoarele aspecte:

- alegerea unor materiale de adeziv pentru lipirea diferitelor oțeluri,
- mecanizarea lipirii tari a unor repere din industria automobilelor, bicicletelor, etc.;
- studierea fenomenelor și tehnologiilor moderne de lipire tare în vid, în cuptoare cu atmosferă reductoare, cu inducție.

În prezentul capitol sînt prezentate cercetările experimentale efectuate pentru mărirea rezistenței la tracțiune  $R_t$  a îmbinărilor lipite ale elementelor din oțel carbon OL60 în cuplu cu diferite materiale de adeziv. În afară de probele efectuate pe oțeluri similare s-au utilizat pentru experimentări cupluri de materiale disimilare cu conținuturi diferite de carbon respectiv OL60 cu OLC10 (STAS 880-80) și OL60 cu OLC5A (STAS 795-80). Cercetările experimentale s-au desfășurat după următorul program experimental:

- Alegerea materialelor pentru experimentări
- alegerea materialelor de bază
- alegerea materialelor de adeziv
  - alegerea aliajelor de lipire
  - alegerea fluxului decapant sau atmosferei reductoare
- Experimentări în vederea evidențierii influențelor diferiților factori tehnologici asupra mării rezistenței la tracțiune a îmbinărilor lipite
  - influența mării restului de lipire /r/
  - influența rugozității suprafeței / $R_a$ /
  - influența timpului de meșiere /t/
  - influența conținutului de carbon din îmbinările oțelurilor disimilare  $\Delta C$

- Analiza rezultatelor experimentale
- Determinarea rezistenței la tracțiune a îmbinărilor lipite
- analiza repartiției elementelor chimice de-a lungul îmbinărilor lipite utilizând microsonda electronică cu calculator

### 3.2. Alegerea materialelor pentru experimentări

#### 3-2.1. Alegerea materialelor de bază

Materialele de bază pentru experimentări au fost alese astfel încât  $R_t$  a materialului de bază să fie mai ridicată decât a îmbinărilor lipite utilizând ca aliaje pentru lipire BCu 99,9, BCu58InSnSi și BCuAg30ZnCd.

În vederea studierii influenței materialului de bază și în mod special a conținutului de carbon asupra rezistenței îmbinărilor lipite au fost utilizate oțelurile:

- OL60 (STAS 500/2-80) cu C=0,40% și  $R_t = 60-72 \text{ kgf/mm}^2$
- OLC85A (STAS 795-80) cu C = 0,82-0,9%  $R_t = 115 \text{ kgf/mm}^2$
- OLC10 (STAS 880-80) cu C = 0,07-0,13%  $R_t = 65-81 \text{ kgf/mm}^2$

#### 3.2.2. Alegerea materialelor desdăcuș

##### 3.2.2.1. Alegerea aliajelor de lipire

Analizând tabelele 2 și 3 din capitolul 2 rezultă că pentru lipirea tare a oțelurilor carbon între ele se pot utiliza următoarele categorii de aliaje de lipire:

- BCu
- BCuIn
- BCuAgZnCd
- BIn
- BAg
- BCuPd
- BPaIn



Dintre aliajele care fac posibilă realizarea unei îmbinări lipite a oțelurilor carbon din motive economice au fost alese pentru experimentări aliajele:

- BCu9 (STAS 270-76) Tabelul 6 cap.2.
- BCu60ZnSiSn (STAS 204-80) Tabelul 12.
- BA<sub>30</sub>CuZnCd (STAS 8971-77) Tabelul 14.

### 3.2.2.2. Alegerea fluxului de topit sau atmosferei redoxante

Realizarea lipirii tari între două componente din oțel carbon în cuplu cu unul dintre aliajele BCu, BCuZn sau BCuAgZnCd, nu se poate realiza fără înlăturarea stratului de oxid de pe suprafețele de îmbinare și asigurarea condițiilor de lipire astfel încât materialul de bază și baia de aliaje topit să nu se oxideze în timpul ciclului de lipire.

Rezultatele probelor de întindere efectuate conform STAS 1227-82 a aliajului tip BCu60ZnSi pe OL60 în intervalul de temperatură 800-1000°C cu diferite amestecuri de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Ba<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> sînt date în figura 22. Rezultă că acidul boric singur prezintă la toate temperaturile de încercare, o umectare slabă care crește cu ridicarea temperaturii. Amestecuri cu conținut de borax între 20-40% la toate temperaturile au o umectare corespunzătoare. Umectarea scade la 950-1000°C. Fluxurile cu peste 60% borax în amestec cu acid boric au o umectare redusă.

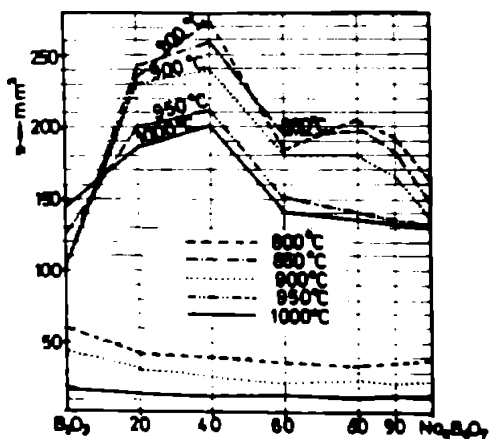


Figure 22.

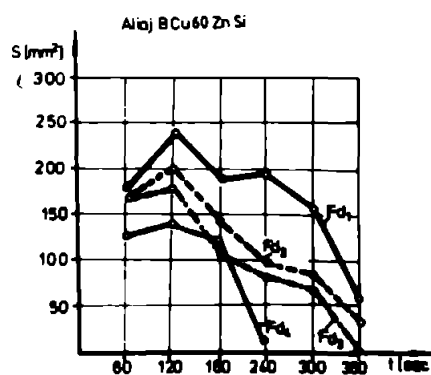


Figure 23.

În figura 23 sînt date rezultatele probelor de întindere a aliajului BCu60ZnSi în cuplu cu patru fluxuri decapante din amestecuri de  $B_2O_3 - Na_2B_4O_7$  la temperatura de  $950^\circ C$ .

Figura 24 prezintă rezultatele probelor de întindere efectuate cu aliaj tip BCu60ZnSiSn pe OL60 în cuplu cu patru fluxuri decapante pe bază de borax și acid boric.

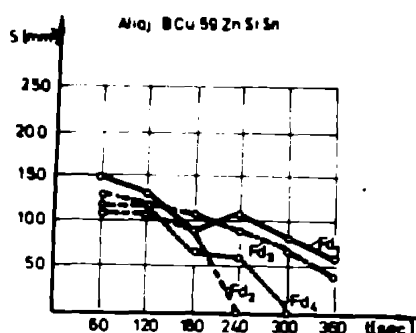


Figura 24.

cuprime în tabelul 18.

Pentru lipirea probelor din oțel în cuplu cu aliaje cu conținut de argint cu 20-30-40% Ag a fost elaborat un flux ( $P_5 - PD_1$ ) decapant avînd ca model de referință fluxurile din import:

- $P_1$  - GLA531
- $P_2$  - Castolin 1802
- $P_3$  - Silox F500
- $P_4$  - JEM 1

Amestecul pentru toate probele efectuate cu cele 5 fluxuri a fost foarte bun și unghiurile de contact avînd valori

Suprafețele de întindere ale aliajelor s-au măsurat prin planimetrare. Pentru toate aliajele testate amestecarea fiind cuprinsă între  $11^\circ$  și  $17^\circ$ .

Rezultatele experimentărilor de determinare a suprafețelor de întindere pentru alamele de lipire cu staniu și siliciu în cuplu cu patru tipuri de fluxuri sînt

TABELUL 18

Mărci alame aprovezate	Timp (sec)					
	90	120	180	240	300	360
	Suprafața de întindere (mm <sup>2</sup> )					
1A	160	240	180	192	190	78
1B	150	130	95	106	66	55
2A	175	190	110	85	65	—
2B	105	170	85	—	—	—
3A	175	200	145	100	85	55
4A	125	145	115	—	—	—
4A	130	125	75	85	—	—

cuprime între 5° și 7°. Testarea stabilității fluxurilor s-a efectuat prin introducerea probelor în cuptor având cea 0,24 g de flux.

Timpii de menținere a fost de la 60 sec. la 780 sec. Analizând stabilitatea fluxurilor testate s-a remarcat că stabilitatea scade cu creșterea temperaturii de lucru. Fluxul decapant caracterizat printr-o bună stabilitate termică este eficient cel puțin două minute după topire, la temperatura de lucru.

Determinările efectuate cu cele cinci fluxuri decapante testate au condus la rezultatele cuprime în tabelul 19.

Stabilitatea termică a fluxurilor decapante a fost verificată pentru cuplurile OL60 cu cele cinci fluxuri și cu aliajele  $\text{BAg40CuZnCd}$ ,  $\text{BAg30CuZnCd}$  și  $\text{BCuAg20ZnCd}$ .

Reprezentarea grafică a stabilității termice a fluxurilor decapante în cuplu cu aliajele cu 20-30-40% Ag este dată în figurile 25, 26, 27.

Rezultatele experimentărilor de stabilitate a fluxurilor în cuplu cu aliajele de argint sînt date în tabelul 19.

TABELUL 19.

Marcajul eprovetelor	Timp (sec.)											
	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720
12 A	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22 A	280	250	200	150	—	—	—	—	—	—	—	—
32 A	270	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42 A	250	230	150	200	—	—	—	—	—	—	—	—
52 A	270	250	230	170	—	—	—	—	—	—	—	—
13 A	240	300	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23 A	280	300	375	270	230	—	—	—	—	—	—	—
33 A	310	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
43 A	210	280	320	300	200	250	230	—	—	—	—	—
53 A	250	275	280	250	230	200	—	—	—	—	—	—
14 A	200	150	100	90	105	80	—	—	—	—	—	—
24 A	190	170	150	140	150	180	130	140	120	90	100	—
34 A	170	90	180	130	110	120	120	100	70	40	—	—
44 A	150	140	180	180	150	190	200	180	180	170	200	130
54 A	180	150	180	180	170	150	130	125	140	150	100	—

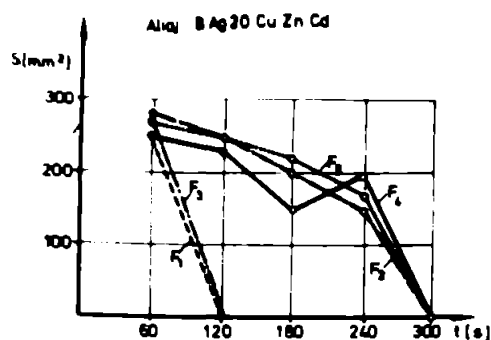


Figure 25.

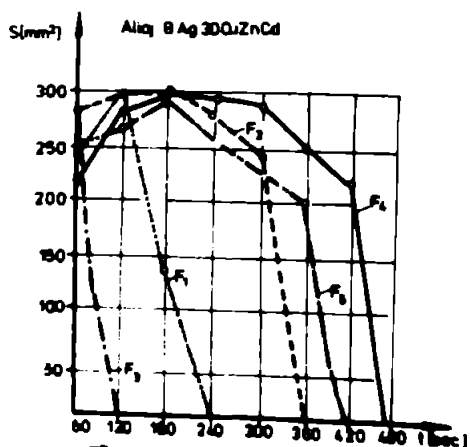


Figure 26.

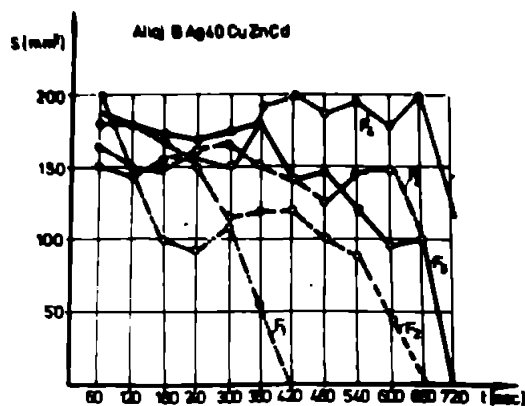


Figure 27.

Reprezentarea grafică arată că fluxurile de referință și fluxul elaborat la ISIM - FDI asigură întinderea oțelurilor cu conținut de argint 20-30-40% Ag. Stabilitatea termică pentru toate fluxurile testate scade prin ridicarea temperaturii de lucru.

Atmosfera reductoare de lucru pentru lipirea oțelurilor carbon a fost de tipul: ENDO

### 3.3. Experimentări în vederea evidențierii influențelor diferiților factori tehnologici asupra măririi rezistenței la tracțiune a îmbinărilor lipite

#### 3.3.1. Influența mărimii restului de lipire

Pentru evidențierea influenței diferiților factori tehnologici asupra măririi rezistenței diferiților factori tehnologici asupra măririi rezistenței la tracțiune a îmbinărilor lipite au fost executate probe conform STAS 10.897-77 din bare rotunde din oțel OL60, având pe fața de sabinare patru proeminente obținute prin prelucrarea cu înălțimea diferită cuprinsă între 0,06 și 1,2 mm.

Înainte de operația de lipire, suprafețele de sabinare ale barelor au fost decapate. În vederea lipirii cu flacără oxiacetilenică sau cu inducție, barele se fixează coaxial într-un dispozitiv. Dispozitivul trebuie să asigure menținerea verticală și coaxială a barelor precum și dilatarea liberă în cursul lipirii. Restul de lipire se asigură între fețele frontale prin introducerea unor plăcuțe distanțiere din oțel cu grosimea variabilă. La încălzirea în cuptor cu atmosferă reductoare epruvetele sunt fixate câte 5 bucăți într-un dispozitiv și parcurs ciclul termic de lipire.

Pentru alegerea numărului de experimentări la un nivel de încredere  $\alpha = 0,95$  rezultă că sunt necesare 18 determinări /L20/ cu același parametru.

Rezultatele experimentărilor întreprinse cu aliajul BCu pe epruvete din OL60 fiind prelucrate cu rugozitatea de 120 microni și timp de menținere 8 minute sînt date în tabelul 20. Figura 28 redă reprezentarea grafică a dependenței rezistenței la tracțiune a probelor lipite din oțel OL60 în funcție de rostul de lipire. Din figură rezultă că rostul optim este 0,06 - 0,1 mm fapt pentru care în experimentările ulterioare se alege rostul de lipire de 0,1 mm.

În tabelul 21 sînt cuprinse rezultatele experimentărilor efectuate cu aliaj de lipire tip BCu60ZnSiSn pe probe din oțel OL60 cu suprafețele prelucrate avînd rugozitatea de 120 microni și timpul de menținere de 8 minute. Reprezentarea grafică a dependenței  $R_t = f(r)$  este în figura 29, este remarcată scăderea rezistenței la tracțiune cu creșterea rostului de lipire.

Pentru evidențierea influenței rostului de lipire asupra rezistenței la tracțiune a probelor lipite au fost utilizate două procedee de lipire respectiv inducție și flacără oxiacetilenică. Rezultatele experimentărilor sînt cuprinse în tabelele 22 și 23, iar reprezentarea grafică a dependenței  $R_t = f(r)$  este dată în figura 30.

Pentru experimentări a fost utilizat aliajul BCuAg30CuZnCd aliajul cel mai utilizat în economia națională pentru lipirea oțelurilor carbon.

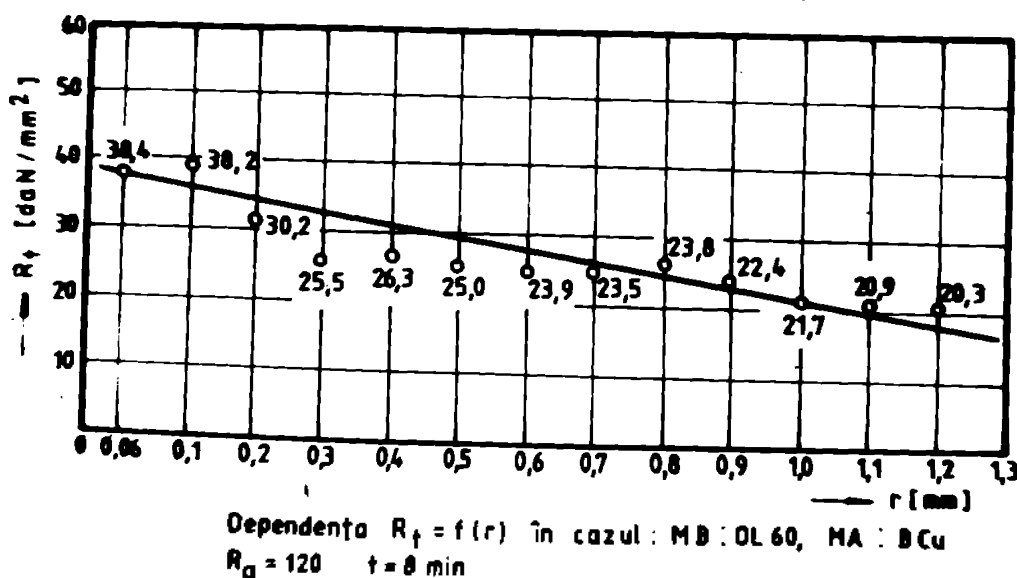


Figura 28.

TABELUL 20.

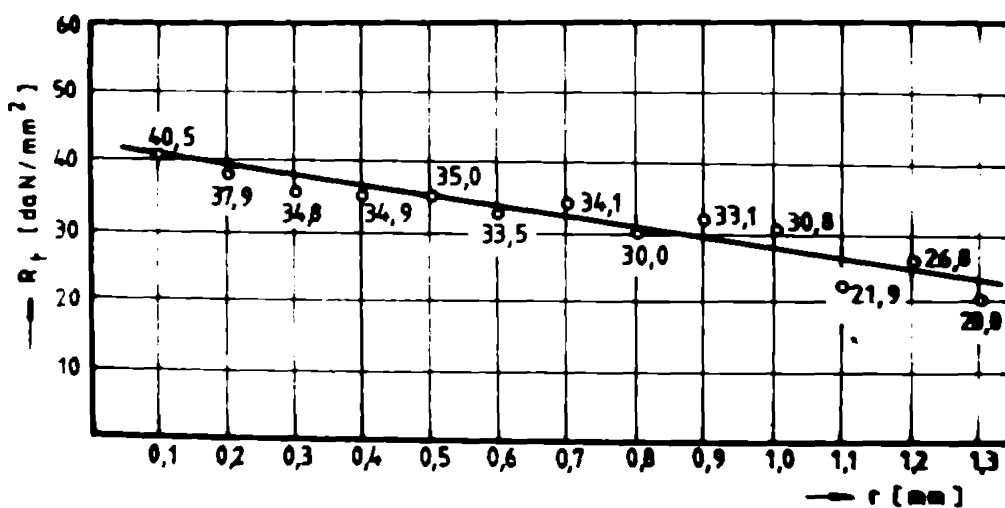
$R_p = f(r)$   $R_0 = 120$  MB • OL 60  $t = 8 \text{ min}$  MA = BCu

Nr crt inspec	Valori ale lui $R_p = f(r)$ (daN/mm <sup>2</sup> )												
	0,06	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
1	40,5	37,3	30,9	26,2	23,4	20,4	22,4	20,8	20,6	19,6	19,3	7,8	10,5
2	41,3	36,4	27,4	26,0	25,6	24,0	21,7	21,3	25,3	20,8	22,2	18,3	25,9
3	40,7	35,2	31,2	26,2	28,4	26,3	21,3	21,9	26,2	24,4	23,6	22,4	27,4
4	38,7	36,2	30,1	27,4	27,3	25,2	23,4	20,6	21,2	25,3	20,4	21,7	22,6
5	37,1	39,3	31,6	25,5	26,7	24,1	21,5	26,5	22,6	22,1	21,3	28,8	19,4
6	38,9	40,6	32,4	25,1	26,6	23,8	22,6	24,3	23,2	22,7	20,9	29,1	11,7
7	36,3	41,2	29,5	25,7	24,9	27,3	24,3	21,8	23,8	23,2	20,2	23,4	11,3
8	37,6	38,5	28,4	24,3	25,3	26,5	25,5	22,7	24,3	24,5	24,1	22,5	21,7
9	34,3	38,3	29,9	27,1	28,8	25,5	26,1	22,5	25,6	20,3	28,5	11,4	18,1
10	35,1	38,9	30,1	22,8	27,5	23,9	23,8	21,2	25,2	20,6	26,4	18,7	18,6
11	42,5	39,5	30,7	26,3	26,5	24,6	26,8	26,9	20,9	24,2	28,9	28,8	19,2
12	38,1	36,1	32,3	25,2	23,9	22,8	26,3	26,3	25,4	22,5	21,2	23,2	20,1
13	37,6	36,4	28,1	27,7	24,8	26,7	25,2	25,4	23,1	23,7	20,8	21,6	22,3
14	35,8	35,8	30,4	26,2	28,7	25,4	25,9	23,3	26,2	23,4	21,7	20,4	23,4
15	41,2	36,7	31,6	26,8	28,5	26,9	26,4	23,8	25,7	22,9	28,6	22,9	27,2
16	39,5	40,8	28,8	24,3	23,9	24,7	23,4	24,2	24,3	28,3	23,4	22,3	27,9
17	37,8	40,3	31,5	24,7	27,4	23,2	22,1	25,5	24,4	28,4	24,5	23,3	28,0
18	38,2	38,9	30,7	25,3	25,2	22,7	21,5	23,9	20,2	21,9	28,6	18,4	17,1
7	38,4	38,2	30,2	25,5	26,3	25,0	23,8	23,5	23,8	22,4	21,7	28,8	28,3

TABELUL 21.

$R_p = f(r)$   $R_0 = 120$  MB • OL 60  $t = 8 \text{ min}$  MA = BCu Zn

Nr crt inspec	Valori ale lui $R_p = f(r)$ (daN/mm <sup>2</sup> )												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
1	42,8	37,3	33,8	35,2	35,5	34,7	33,8	30,1	29,8	28,2	24,1	26,2	18,3
2	42,2	36,0	33,4	36,2	33,4	35,8	31,8	30,1	28,0	29,9	23,5	28,4	22,0
3	42,4	35,2	32,1	34,1	34,8	34,9	31,5	32,3	29,5	32,4	24,4	18,6	21,2
4	41,5	36,2	35,2	34,7	35,0	36,8	30,8	28,1	30,8	32,8	21,5	18,4	11,9
5	39,8	38,3	35,8	35,4	36,5	36,1	31,9	28,4	29,9	31,7	21,2	17,3	20,0
6	39,3	37,6	35,1	36,1	35,2	35,5	35,4	30,6	34,4	33,2	20,8	26,7	17,1
7	40,2	41,2	34,4	35,5	37,2	32,4	30,2	28,8	29,1	30,1	21,7	24,6	10,5
8	39,6	38,5	33,8	32,4	34,2	34,1	35,1	31,5	35,0	28,8	20,6	24,9	20,9
9	41,3	38,3	35,8	33,7	33,4	30,8	35,8	30,7	33,8	28,1	23,4	25,3	21,4
10	48,4	38,9	35,3	33,3	33,8	28,6	35,8	28,9	34,2	27,5	24,5	28,8	22,6
11	39,2	38,9	34,2	34,1	32,5	29,8	34,7	27,4	34,1	29,3	20,6	27,5	19,4
12	39,7	40,3	37,2	37,1	35,6	30,0	34,9	31,2	32,4	29,8	19,3	26,5	18,7
13	39,5	40,8	35,8	35,7	36,2	35,4	36,8	30,6	35,1	27,4	22,6	23,9	18,3
14	39,8	36,7	36,5	36,4	35,5	30,1	36,1	31,1	36,5	32,2	23,2	24,8	21,7
15	40,2	35,8	35,0	34,9	34,8	35,2	35,5	32,4	34,8	33,5	20,4	28,7	18,1
16	41,4	36,5	34,8	34,7	34,2	35,8	34,4	29,5	36,9	31,7	21,3	28,5	18,6
17	41,9	36,1	33,4	33,3	36,3	36,2	32,1	28,4	35,7	32,8	20,9	23,9	19,2
18	39,2	39,6	35,5	35,4	35,3	29,9	36,2	29,9	34,8	33,9	20,2	27,4	20,1
7	41,5	37,9	34,8	34,9	35,0	33,5	34,1	30,0	33,1	30,8	21,9	26,4	20,0



Dependenta  $R_p = f(r)$  în cazul: MB: OL 60, MA: BCuZn  
 $R_a = 120$   $t = 8$  min

Figura 29.

TABELUL 22.

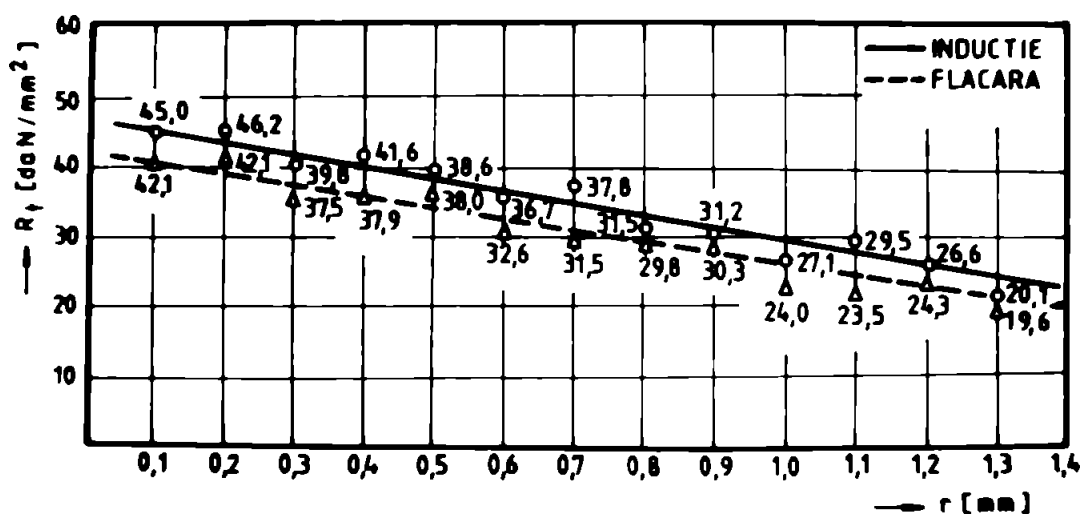
$R_p = f(r)$   $R_a = 120$  MB = OL 60  $t = 8$  min MA = BCuAgZnCd P = inductie

Nr. cif. tabel	Valeri ale lui $R_p = f(r)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
1	42,6	43,9	37,9	38,7	42,3	36,6	39,5	33,4	32,0	31,5	28,4	26,5	23,2
2	42,1	47,2	38,2	38,9	35,7	38,7	34,1	31,3	30,5	32,0	30,4	25,1	19,3
3	41,4	48,3	38,1	41,4	34,5	38,3	36,3	31,5	29,2	28,4	31,6	27,4	19,9
4	43,1	48,7	39,5	44,2	36,8	33,4	35,7	31,0	32,1	28,7	30,2	26,3	18,8
5	42,9	47,9	41,2	43,4	37,5	34,1	36,7	33,9	32,3	29,1	32,4	25,2	19,9
6	40,6	43,8	40,1	43,3	38,3	37,4	40,7	32,3	31,2	32,4	29,1	24,9	22,3
7	39,7	43,2	39,3	41,2	38,1	38,8	40,1	33,6	30,7	30,6	28,7	28,4	18,4
8	40,4	48,6	40,8	40,8	38,9	40,0	38,8	31,2	30,8	31,2	28,4	27,6	21,7
9	44,1	48,2	41,3	44,4	40,2	32,7	34,9	29,9	31,2	30,4	32,2	26,6	23,2
10	43,0	46,9	41,2	43,3	41,5	32,9	38,1	29,7	29,6	28,4	31,5	25,0	21,1
11	44,1	45,6	41,6	42,2	40,7	33,7	38,4	33,5	33,6	30,6	30,6	25,7	20,2
12	42,4	46,3	42,3	42,7	38,3	34,8	41,1	29,3	31,1	28,8	28,0	23,9	19,6
13	41,7	44,7	37,4	39,3	37,8	37,4	37,5	31,1	32,5	28,5	28,5	27,8	18,2
14	41,5	43,0	39,1	43,8	36,0	38,8	39,2	31,8	31,8	27,4	27,4	26,5	21,9
15	43,8	48,7	39,6	39,8	41,3	39,4	36,1	31,6	29,2	27,9	27,9	28,0	22,6
16	42,3	47,1	39,4	40,3	39,8	36,7	35,1	30,9	28,3	29,5	29,5	25,8	18,5
17	40,1	45,9	39,7	41,2	37,9	38,3	35,9	33,7	33,7	28,4	28,4	24,3	18,7
18	42,0	43,6	40,1	39,7	38,5	38,6	37,2	29,7	32,6	27,8	27,8	23,8	19,3
19	42,1	46,2	39,8	41,6	38,6	36,7	37,8	31,5	31,2	27,1	29,5	26,6	20,1

TABELUL 23.

$R_p = f(r)$     $R_a = 120$    MB = OL 60    $t = 8 \text{ min}$    MA = BCuAgZnCd   P = flacără oxi

$R_p$ [daN/mm <sup>2</sup> ]	Valori ale lui $R_p = f(r)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
1	42,4	42,9	35,1	32,9	37,8	28,8	32,7	30,0	33,1	22,4	21,3	25,9	22,2
2	39,7	44,0	40,5	38,9	37,4	30,0	32,1	29,6	28,2	23,6	22,5	23,1	19,0
3	43,6	42,3	40,2	40,3	39,1	31,5	30,6	28,7	28,9	21,7	26,1	25,4	18,3
4	41,4	41,6	38,8	40,8	40,8	31,9	29,3	28,6	29,6	21,8	25,6	24,6	17,9
5	42,0	41,6	38,1	36,7	35,4	32,8	32,2	31,2	27,8	24,4	24,7	24,1	21,3
6	42,7	43,7	39,1	35,8	37,2	34,9	32,4	31,7	32,5	24,2	24,1	22,4	17,7
7	40,2	42,2	34,8	36,5	37,7	35,8	31,3	30,9	33,8	23,7	21,3	26,6	18,2
8	42,2	40,0	37,6	36,1	40,1	33,2	30,8	30,6	33,1	22,8	22,0	27,1	18,8
9	41,7	42,0	38,7	39,6	40,7	35,7	33,8	32,3	30,1	24,4	23,6	26,8	19,7
10	42,1	42,7	39,5	38,3	40,3	28,3	28,4	27,7	27,2	23,7	25,1	25,5	21,8
11	38,4	42,2	35,2	38,5	38,3	28,9	29,3	29,5	27,4	23,6	25,9	24,4	20,5
12	37,8	41,5	36,1	41,2	37,5	29,2	31,6	28,0	29,6	24,5	24,3	22,3	20,1
13	39,9	43,2	35,4	37,4	37,7	35,6	32,9	26,3	28,5	25,7	21,9	23,5	17,1
14	41,6	42,9	36,6	39,3	36,9	33,5	31,7	30,0	28,2	26,2	21,6	25,1	18,2
15	39,3	40,8	40,4	36,2	36,2	34,3	33,2	31,6	33,1	27,3	21,7	22,5	21,5
16	43,4	39,8	39,5	35,2	34,3	33,6	29,7	32,3	31,4	26,5	22,5	23,6	20,8
17	40,2	40,5	34,8	36,0	34,7	35,6	32,1	29,1	30,5	24,7	25,8	23,7	21,2
18	42,8	44,2	34,6	37,3	41,7	33,2	32,9	29,7	32,2	23,8	23,8	21,9	18,3
$\bar{r}$	41,2	42,1	37,5	37,9	38,0	32,6	31,5	29,8	30,3	24,0	23,5	24,3	19,4



Dependența  $R_p = f(r)$  în cazul: MB: OL 60, MA: BCuAg 30 CuZnCd  
 $R_a = 120$     $t = 8 \text{ min}$

Figure 30.



### 3.3.2. Influența rugozității suprafeței

Experimentările privind influența rugozității suprafeței au fost efectuate <sup>execuțind</sup> probe de lipire conform STAS 10.897-77 din bare rotunde din oțel OL60 cu diferite rugozități ale suprafeței obținute prin polizare, aşchiere cu diverse procedee.

Rezultatele experimentărilor întreprinse cu aliaje BCu pe epruvete din OL60 fiind cuprinse în tabelul 24 și reprezentarea grafică este dată în figura 31. Pentru experimentări s-a utilizat roștul de lipire de 0,1 mm, iar timpul de menținere a fost de 8 minute. Din diagrama  $R_t = f(R_a)$  rezultă că rugozitatea optimă este 120 microni (realizată prin frezare).

Rezultatele experimentărilor efectuate cu alama de lipire tip BCu60ZnSi3n, utilizând epruvete din OL60, cu roștul de lipire 0,1 mm și timpul de menținere 8 minute sînt cuprinse în tabelul 25. Dependența  $R_t = f(R_a)$  este dată în diagrama din figura 32. Se remarcă de asemenea că rezistențe superioare ale rezistenței la tracțiune se obțin atunci cînd rugozitatea suprafeței este 60 respectiv 120 microni.

Rezultatele experimentărilor întreprinse cu aliajul de argint tip BCuAg30ZnCd în aceleași condiții de roșt și timp de menținere au fost cuprinse în tabelul 26. Diagrama din figura 33 reprezintă dependența  $R_t = f(R_a)$  rezultînd valorile maxime ale rezistenței la tracțiune pentru rugozitatea de 120 microni.

Din experimentările întreprinse cu toate cele trei tipuri de aliaje de lipire a rezultat că rugozitatea optimă este 120 microni și că valori ridicate ale rezistenței la tracțiune se obțin și pentru valorile de 60 respectiv 240 microni.

Experimentări întreprinse pe oțeluri carbon tip OLCB5A și OLC10 au condus la rezultate asemănătoare respectiv la faptul că rugozitatea optimă este 120 microni.

### 3.3.3. Influența timpului de menținere

Din studiul teoretic al proceselor de lipire a rezultat

oă timpul de menținere la temperatură favorizează difuzia elementelor la interfața aliaj de lipire oțel făcînd posibilă formarea unor compuși intermetalici nefragili care determină creșterea rezistenței îmbinărilor lipite.

Timpul de menținere luat în considerare în experimentările întreprinse este timpul post lipire la temperatură cu 75-100°C mai scăzută decît temperatura de lipire.

În funcție de temperatura de menținere experimentările au fost efectuate astfel:

TABELUL 25.

$R_f = f(R_g)$   $r = 0,1$   $t = 8 \text{ min}$  MB = DL60 MA = BCuZn

Nr. crt. exper.	Valori ale lui $R_f = f(R_g)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]					
	35	60	120	240	400	600
1	31,0	37,2	42,0	33,4	30,1	27,4
2	28,4	37,0	42,2	34,3	31,3	28,8
3	31,5	39,2	42,4	38,1	29,7	27,5
4	30,0	41,5	41,5	33,2	33,7	28,7
5	31,9	35,8	39,8	32,7	31,2	30,4
6	35,4	37,6	39,3	32,4	32,6	28,5
7	30,2	38,1	40,2	39,9	31,9	32,0
8	35,1	40,5	39,6	38,6	29,3	30,6
9	35,0	41,3	41,3	37,2	28,4	31,5
10	36,2	40,7	40,4	33,9	33,8	32,2
11	32,1	38,9	39,2	33,5	32,7	28,4
12	34,4	37,7	39,7	34,6	30,8	28,7
13	35,5	38,1	39,5	37,2	31,3	29,1
14	36,1	37,3	39,8	38,6	32,4	32,4
15	36,0	36,6	40,2	39,2	32,2	30,2
16	34,9	34,3	41,4	36,5	29,3	30,6
17	34,7	35,5	40,9	38,1	30,6	31,4
18	35,8	42,1	39,2	38,4	32,1	28,4
$\bar{x}$	33,8	38,3	40,5	36,1	31,3	29,8

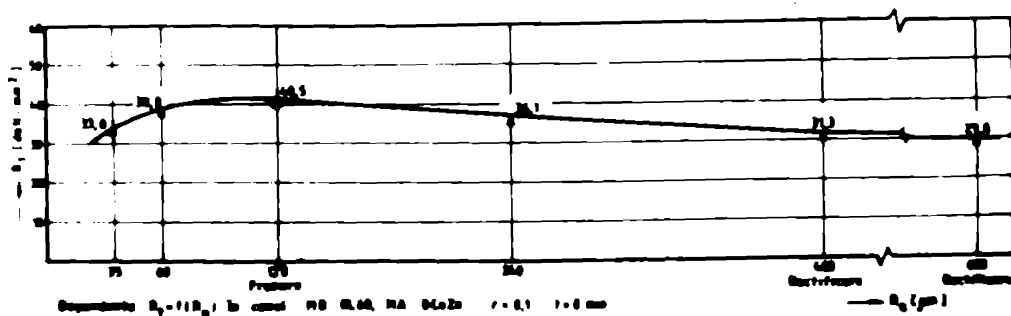
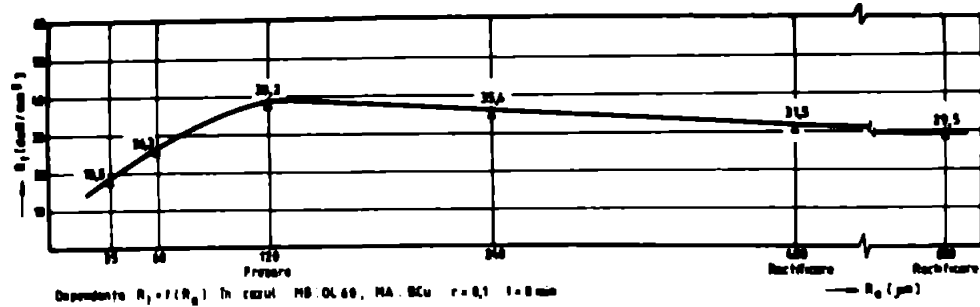


Figura 32.

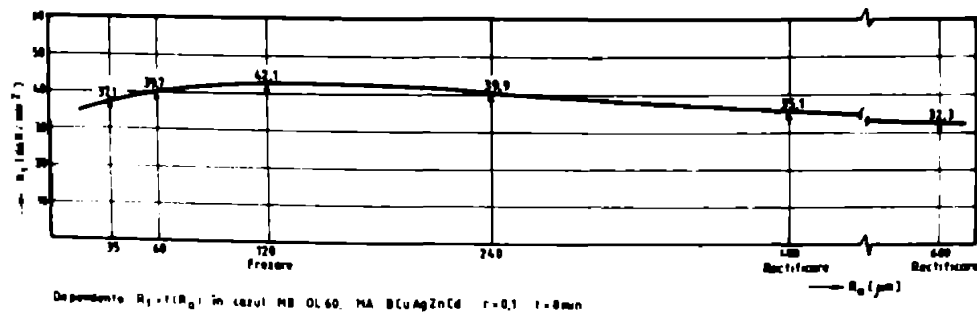
**TABELUL 24.**

$R_f = f(R_a)$   $r = 0,1$   $t = 8 \text{ min}$  MB = OL 60 MA = BCu

Nr. Crt. Oper.	Valori ale lui $R_f = f(R_a)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]					
	35	60	120	240	400	600
1	15,7	27,5	37,3	37	29,7	27,8
2	16,8	26,5	36,4	35,2	33,3	28,4
3	21,3	23,9	35,2	35,3	30,9	29,5
4	15,6	24,8	38,2	34,5	31,6	27,9
5	19,2	28,7	39,3	35,6	31,8	27,4
6	20,1	28,5	40,6	34,7	31,3	28,5
7	18,0	23,9	41,2	34,1	29,1	28,0
8	18,2	27,4	38,5	36,2	33,5	30,6
9	19,6	25,2	38,3	35,6	33,4	31,5
10	20,5	23,4	38,9	33,1	31,3	32,2
11	16,3	25,6	39,5	33,0	31,5	28,6
12	17,4	28,4	36,1	38,2	31,0	28,7
13	15,9	27,3	36,6	37,1	33,9	29,1
14	21,6	26,7	35,8	36,3	32,3	32,4
15	21,9	26,6	36,7	35,4	33,6	30,2
16	20,3	24,9	40,8	37,5	31,9	31,6
17	16,0	25,3	40,3	36,1	29,2	30,4
18	18,8	28,8	38,9	34,3	29,7	28,4
7	18,5	26,3	38,2	35,4	31,5	29,5



**Figura 31.**



**Figura 33.**

TABELUL 26.

$R_T = f(R_0)$   $r = 0,1$   $t = 8 \text{ min}$  MB = OL 60 MA = BCuAgZnCd

Nr. crt. exper.	Valori ale lui $R_T = f(R_0)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]					
	35	60	120	240	400	600
1	34,8	40,4	42,6	38,0	35,6	29,0
2	39,1	37,5	42,1	38,3	33,5	29,8
3	38,3	39,1	41,4	38,2	34,9	29,5
4	37,2	37,8	43,1	39,6	35,1	28,9
5	34,4	37,4	42,9	41,3	36,6	32,6
6	38,7	38,2	40,6	40,2	35,9	34,9
7	37,7	39,9	39,7	39,4	37,3	35,7
8	38,4	37,3	40,4	40,9	34,3	33,2
9	39,8	38,4	44,1	41,4	35,4	35,7
10	40,1	39,3	43,0	40,2	36,4	28,3
11	34,7	42,5	44,1	39,8	34,3	28,9
12	35,7	41,2	42,4	39,5	34,9	33,6
13	35,0	41,8	41,7	39,7	35,6	35,6
14	36,2	42,8	41,5	39,2	36,3	33,2
15	40,1	39,9	43,8	37,5	35,7	34,3
16	39,1	38,7	42,3	42,4	32,6	33,5
17	34,3	41,5	40,1	41,7	33,9	35,6
18	34,3	41,2	42,0	41,3	33,5	29,2
$\bar{x}$	37,1	39,7	42,1	39,9	35,1	32,3

- menținerea la temperatura de 650<sup>0</sup>C a probelor din oțeluri similare OL60 și disimilare lipite cu aliajul BCuAg30Zn Cd, menținând constante rosturile de 0,1 mm și rugozitatea suprafeței la 120 microni.

Rezultatele experimentărilor întreprinse sînt cuprinse în tabelul 27, iar dependența  $R_T = f(t)$  este dată în figura 34. Din diagramă rezultă că timpul de menținere de 16 minute realizează o îmbinare cu rezistență la tracțiune similară cu timpii de 30, 45 și 100 minute.

Experimentările întreprinse pe cupluri de oțeluri OL60 cu OLC85A respectiv OLC10 cu aliaj de argint în aceleași condiții ca la probele din oțeluri similare au condus la aceleași rezultate.

- menținerea la temperatura de 900<sup>0</sup>C a probelor din oțeluri similare OL60 și disimilare cu oțeluri OLC85A și OLC10 cu alame de lipire tip BCu60Zn8SnSi, menținând constante rosturile de 0,1 mm și rugozitatea suprafeței la 120 microni.

Rezultatele experimentărilor întreprinse sînt cuprinse în tabelul 28, dependența  $R_t = f(t)$  este dată în figura 35. Din diagramă rezultă că după 8 minute se obține o rezistență la tracțiune de  $40,5 \text{ daN/mm}^2$  rezistență care se menține și la timp de menținere de 100 minute.

- menținerea la temperatura de  $975^\circ\text{C}$  a probelor din oțeluri similare și disimilare lipite cu aliaje tip BCu 99,9 menținând constantă rugozitatea suprafeței de 120 micrometri și variind valorile resturilor de lipire respectiv 0,1; 0,3; și 0,5 mm.

În figura 36 sînt reprezentate grafice ale rezultatelor experimentărilor întreprinse. Pe diagramă sînt făcute notațiile:

$$- \Delta C = 0,85 - 0,11$$

Reprezintă îmbinarea a două probe din oțeluri disimilare respectiv OLC 85 A cu C = 0,85% și OLC 10 cu C = 0,11%

$$- \Delta C = 0,85 - 0,4$$

Reprezintă îmbinarea a două probe din oțeluri disimilare respectiv OLC 85 A cu C = 0,85% și OLC 0 cu C = 0,40%

$$- \Delta C = 0,85 - 0,85\%$$

Reprezintă îmbinarea a două probe din oțeluri similare respectiv OLC 85 A cu oțel OLC 85 A cu C = 0,85%

În tabelele 29-33 sînt cuprinse rezultatele experimentărilor întreprinse cu diferite resturi de lipire și diferite conținuturi de carbon.

Din diagramă rezultă următoarele aspecte:

- valori superioare ale rezistenței la tracțiune ale probelor lipite se obțin în cazul lipirii probelor din oțeluri disimilare cu diferență maximă în conținut de carbon respectiv 0,85 - 0,11% C.

TABELUL 27.

$R_p = R_p(t)$   $r = 0,1$   $R_a = 120$   $MB = OL60$   $MA = \text{BCuAgZnCd}$

Nr. crt. exper.	Valori ale lui $R_p = f(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	8	16	30	100
1	32,1	42,6	44,9	44,4	43,8
2	35,6	42,1	44,2	44,1	44,4
3	37,0	41,4	43,5	43,6	43,6
4	34,9	43,1	43,1	42,7	43,3
5	35,1	42,9	42,9	42,5	40,6
6	36,8	40,6	44,3	44,9	45,8
7	36,5	39,7	43,5	41,8	44,3
8	35,5	40,4	43,2	45,3	43,6
9	34,9	44,1	48,5	40,4	43,2
10	32,4	43,0	46,5	41,3	41,9
11	36,1	44,1	45,3	41,7	43,8
12	35,8	42,4	44,9	42,2	42,2
13	35,1	41,7	43,5	44,5	43,4
14	30,2	41,5	43,4	46,8	43,5
15	34,8	43,8	43,3	44,1	43,6
16	29,0	42,3	42,1	40,8	45,0
17	31,5	40,1	43,7	46,2	45,4
18	30,8	42,0	41,8	45,7	46,6
$\bar{x}$	34,1	42,1	43,7	43,5	43,8

TABELUL 28.

$R_p = R_p(t)$   $r = 0,1$   $R_a = 120$   $MB = OL60$   $MA = \text{BCuZn}$

Nr. crt. exper.	Valori ale lui $R_p = f(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	8	16	30	100
1	34,8	42,8	41,5	41,3	39,7
2	29,0	42,2	41,2	41,7	38,5
3	31,5	42,4	38,8	42,4	39,8
4	30,8	41,5	39,8	37,5	38,2
5	31,9	39,8	42,8	38,0	41,2
6	35,4	39,3	41,8	38,3	40,4
7	35,8	40,2	41,2	38,2	40,2
8	34,7	39,6	42,5	39,6	39,9
9	34,9	41,3	40,4	41,3	40,3
10	36,8	40,4	37,5	40,4	41,6
11	36,1	39,2	39,1	39,2	39,2
12	35,5	39,7	37,8	40,9	38,6
13	34,4	39,5	37,4	41,4	38,8
14	32,2	39,8	38,2	40,2	38,5
15	34,1	40,2	39,9	39,8	37,3
16	35,8	41,4	37,3	39,5	41,4
17	35,1	40,9	38,3	39,7	42,3
18	30,2	39,2	39,4	39,2	41,7
$\bar{x}$	34,0	40,5	39,7	39,9	39,9

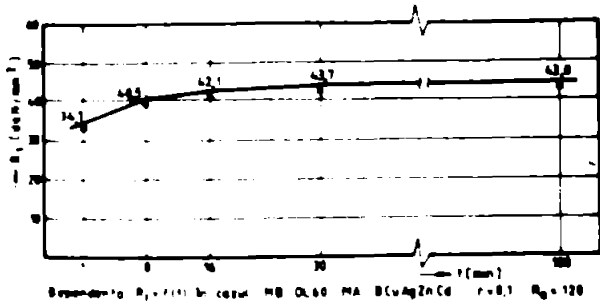


Figura 34.

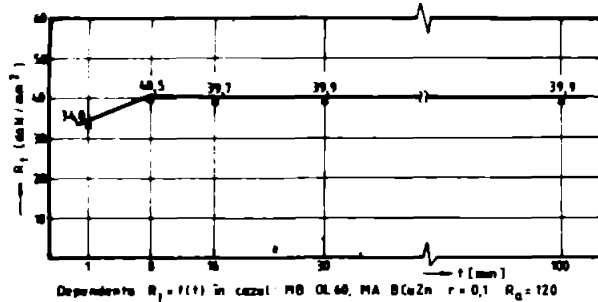


Figura 35.

TABELUL 29.

$R_1 = R_2(t)$   $r = 0,1$   $R_0 = 120$   $\Delta C = 0,05 - 0,11$  BCu

Nr. crt. / grup	Valori ale lui $R_1 = f(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	5	10	30	100
1	43,4	55,3	58,9	63,2	63,7
2	43,1	51,7	63,5	60,5	64,5
3	42,4	53,3	61,4	61,3	62,8
4	44,7	52,9	59,3	60,1	59,6
5	43,3	50,5	58,7	60,6	65,1
6	41,8	55,1	62,1	59,8	60,9
7	42,7	53,0	60,5	61,5	61,3
8	42,0	52,8	61,0	64,1	61,5
9	42,1	54,1	58,3	63,2	62,3
10	42,3	51,9	58,7	60,45	61,7
11	42,5	54,3	62,4	59,7	63,2
12	41,8	51,9	60,1	61,3	61,9
13	42,7	55,3	61,5	62,5	64,6
14	42,1	54,7	59,5	62,6	63,1
15	42,4	51,4	60,7	59,8	59,0
16	42,1	52,1	62,0	64,1	61,6
17	42,7	54,1	59,1	63,2	61,7
18	42,4	52,0	60,7	61,4	62,1
$\bar{r}$	42,7	54,1	62,1	61,4	62,1

TABELUL 30.

$R_1 = R_2(t)$   $r = 0,3$   $R_0 = 120$   $\Delta C = 0,05 - 0,11$  BCu

Nr. crt. / grup	Valori ale lui $R_1 = f(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	5	10	30	100
1	38,2	45,5	51,8	58,5	62,3
2	37,8	45,8	52,6	59,8	63,4
3	39,5	49,7	50,1	60,2	58,9
4	41,2	50,3	56,3	61,5	59,6
5	35,8	44,9	55,8	60,8	59,2
6	37,6	48,5	54,9	61,6	63,5
7	38,1	48,6	54,3	58,3	62,1
8	40,5	44,8	51,9	59,6	61,5
9	41,3	54,7	52,3	61,2	60,4
10	40,7	46,3	50,8	61,5	58,2
11	38,7	47,1	54,5	61,6	58,8
12	37,9	48,3	55,2	60,3	59,5
13	38,1	48,8	54,8	57,6	59,1
14	37,3	43,8	53,8	58,9	64,2
15	36,6	49,8	52,6	59,8	62,3
16	36,3	43,1	51,9	58,8	62,6
17	35,5	44,3	54,3	64,4	63,1
18	42,1	46,7	51,8	61,9	62,9
$\bar{r}$	38,4	46,7	53,2	60,8	61,2

TABELUL 31.

$R_1 = R_2(t)$   $r = 0,5$   $R_0 = 180$   $\Delta C = 0,09 - 0,11$  BCu

Nr. crt. / grup	Valori ale lui $R_1 = f(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	5	10	30	100
1	31,8	41,3	48,8	56,2	62,4
2	30,8	38,4	44,3	49,7	61,7
3	30,4	38,7	43,3	49,1	61,8
4	32,8	41,1	43,2	52,3	63,6
5	32,6	41,7	43,5	54,4	64,1
6	31,6	40,3	44,8	51,7	49,1
7	30,8	37,4	44,2	51,3	49,7
8	30,2	38,1	43,5	52,8	60,5
9	31,4	41,5	43,1	53,7	60,2
10	32,5	42,1	41,8	54,5	61,6
11	34,8	40,2	43,7	54,3	60,9
12	32,1	40,9	42,1	51,9	60,3
13	33,3	41,5	43,3	52,0	60,1
14	30,8	39,3	43,4	53,2	62,2
15	31,6	39,4	43,5	49,1	62,7
16	34,7	40,7	44,8	50,4	63,6
17	53,2	42,0	45,3	50,4	64,2
18	34,6	42,3	46,5	51,8	61,5
$\bar{r}$	32,5	40,5	43,7	51,8	61,5

TABELUL 32.

$R_1 = R_2(t)$   $r = 0,1$   $R_0 = 120$   $\Delta C = 0,05 - 0,11$  BCu

Nr. crt. / grup	Valori ale lui $R_1 = f(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	5	10	30	100
1	32,7	42,3	44,5	48,3	55,4
2	33,9	41,7	47,8	53,5	51,3
3	35,6	42,4	48,9	51,4	49,8
4	37,4	37,5	49,3	58,2	54,6
5	34,5	38,8	48,5	58,9	51,5
6	34,9	38,3	44,4	51,7	54,2
7	35,1	38,2	43,8	49,8	54,9
8	36,4	39,6	49,2	53,7	52,0
9	37,7	41,3	48,8	48,5	58,8
10	32,1	40,4	47,5	52,3	52,2
11	33,6	39,3	46,2	53,5	48,3
12	34,4	39,7	46,9	51,7	55,9
13	34,7	39,5	45,3	51,1	54,8
14	37,8	39,8	43,4	50,3	52,8
15	35,2	40,2	49,3	45,5	60,4
16	32,1	41,4	47,7	52,2	51,6
17	38,6	40,9	44,5	50,9	54,7
18	35,1	39,2	44,2	50,8	58,6
$\bar{r}$	35,1	40,0	44,8	51,4	52,4

TABELUL 33.

$R_1 = R_2(t) \quad r = 0,3 \quad R_0 = 120 \quad \Delta C = 0,05 - 0,4 \quad \text{BCu}$

Nr. crt. exper.	Valori ale lui $R_2(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	8	16	30	100
1	27,3	32,7	35,8	44,3	48,2
2	29,1	30,1	39,4	47,8	47,9
3	32,4	37,3	42,2	48,3	47,7
4	32,8	36,5	41,4	50,2	49,8
5	31,7	34,4	37,3	49,9	51,3
6	33,2	33,2	37,9	47,4	50,4
7	30,1	34,8	41,8	46,8	48,9
8	28,0	37,1	42,3	45,3	49,4
9	28,1	32,8	40,3	47,9	48,2
10	27,5	33,3	36,3	47,7	47,3
11	29,3	34,8	37,7	48,5	45,8
12	29,4	37,6	39,6	48,4	44,5
13	27,4	36,9	39,1	49,3	47,1
14	32,2	35,4	37,2	47,8	46,8
15	33,5	35,2	40,1	46,3	48,1
16	31,7	32,2	41,8	48,8	45,5
17	32,4	33,8	38,5	45,2	49,8
18	33,9	35,6	37,4	44,9	49,3
$\bar{x}$	30,7	35,2	38,9	47,2	47,7

TABELUL 34.

$R_1 = R_2(t) \quad r = 0,5 \quad R_0 = 120 \quad \Delta C = 0,05 - 0,4 \quad \text{BCu}$

Nr. crt. exper.	Valori ale lui $R_2(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	8	16	30	100
1	24,4	29,2	36,4	41,7	39,7
2	25,3	28,3	38,5	43,2	39,9
3	23,8	31,4	38,1	44,5	43,4
4	24,7	30,8	33,2	44,8	45,2
5	24,9	31,9	33,9	44,1	44,4
6	28,4	35,4	37,2	46,8	44,3
7	28,1	35,8	38,6	44,2	42,2
8	27,5	34,7	38,9	45,7	41,8
9	27,8	34,9	37,4	44,4	45,4
10	26,9	34,8	32,7	44,1	44,3
11	24,3	34,5	33,5	43,6	43,2
12	19,5	33,5	34,6	42,7	43,7
13	28,4	34,4	37,3	47,5	48,3
14	28,4	32,1	38,6	44,9	44,8
15	23,2	38,2	39,2	41,8	48,8
16	13,9	35,8	36,5	45,3	41,3
17	24,7	35,1	38,1	40,4	42,2
18	26,0	30,2	38,4	41,3	40,7
$\bar{x}$	26,2	33,4	36,5	43,5	42,6

TABELUL 35.

$R_1 = R_2(t) \quad r = 0,1 \quad R_0 = 120 \quad \Delta C = 0,05 - 0,05\% \quad \text{BCu}$

Nr. crt. exper.	Valori ale lui $R_2(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	8	16	30	100
1	22,5	29,7	24,5	37,4	39,2
2	23,7	33,3	33,4	36,8	38,3
3	21,8	30,9	34,8	39,6	37,1
4	21,9	31,6	34,2	38,5	37,4
5	24,5	31,8	36,5	37,4	37,3
6	24,3	31,3	35,8	36,2	36,2
7	23,8	29,1	37,3	37,3	38,3
8	22,9	30,5	34,4	37,4	39,9
9	24,5	33,4	33,2	39,9	36,5
10	23,8	32,3	33,8	38,7	36,8
11	23,7	31,5	32,5	38,1	37,8
12	24,5	31,8	35,6	37,2	37,7
13	25,7	33,9	34,2	36,1	36,4
14	24,2	32,1	35,5	37,3	37,4
15	27,3	39,4	34,8	39,1	35,8
16	24,7	31,9	34,2	36,4	37,3
17	24,9	29,2	34,3	37,3	38,1
18	23,1	29,7	35,3	38,1	36,1
$\bar{x}$	24,7	31,5	34,9	37,9	37,5

TABELUL 36.

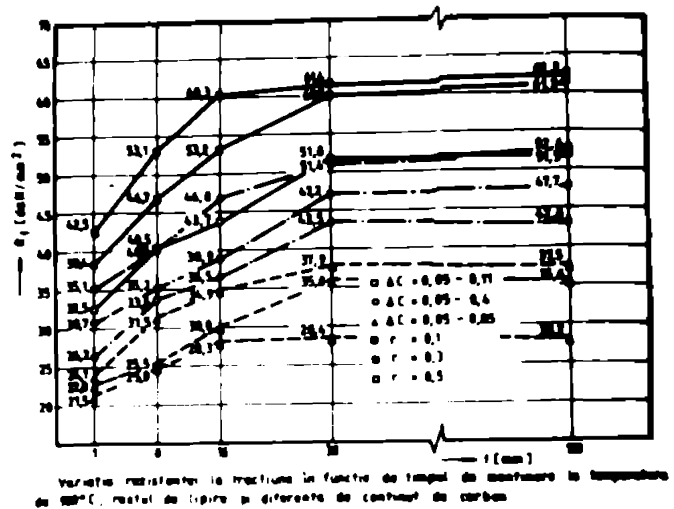
$R_1 = R_2(t) \quad r = 0,3 \quad R_0 = 120 \quad \Delta C = 0,05 - 0,05\% \quad \text{BCu}$

Nr. crt. exper.	Valori ale lui $R_2(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	8	16	30	100
1	29,7	26,3	27,4	37,8	39,8
2	24,5	24,8	29,8	39,4	38,2
3	28,3	24,3	27,5	36,3	38,7
4	19,8	27,4	29,9	36,8	36,1
5	22,5	25,5	31,4	38,7	36,3
6	25,1	25,1	28,5	38,8	37,1
7	24,3	25,7	32,8	34,1	37,8
8	23,1	24,3	30,6	37,2	33,8
9	24,5	27,1	31,5	33,4	32,2
10	21,5	22,8	32,2	35,1	37,8
11	25,5	24,3	28,4	35,8	34,3
12	24,9	25,2	28,7	38,8	34,7
13	20,2	27,7	29,1	37,2	38,8
14	21,8	28,2	32,4	34,3	34,8
15	22,7	24,8	30,2	35,4	35,9
16	23,4	24,3	30,4	37,5	35,3
17	19,9	24,7	31,6	34,1	34,4
18	20,8	25,5	28,4	34,3	35,8
$\bar{x}$	22,8	25,5	30,8	35,8	35,4

TABELUL 37.

$R_1 = R_2(t) \quad r = 0,3 \quad R_0 = 120 \quad \Delta C = 0,05 - 0,05\% \quad \text{BCu}$

Nr. crt. exper.	Valori ale lui $R_2(t)$ [daN/mm <sup>2</sup> ]				
	1	8	16	30	100
1	23,7	24,7	27,4	27,8	38,8
2	24,5	28,8	28,8	35,4	38,2
3	25,3	26,7	27,5	36,3	38,7
4	19,8	27,4	29,9	34,8	36,1
5	22,5	25,5	31,4	35,7	34,3
6	25,1	29,1	28,5	39,8	37,1
7	24,3	25,7	32,8	34,1	37,8
8	23,1	24,3	30,6	37,2	33,8
9	24,5	27,1	31,5	33,4	32,2
10	21,5	22,8	32,2	35,1	37,8
11	25,5	24,3	28,4	35,8	34,3
12	24,9	25,2	28,7	38,8	34,7
13	20,2	27,7	29,1	37,2	38,8
14	21,8	28,2	32,4	34,3	34,8
15	22,7	24,8	30,2	35,4	35,9
16	23,4	24,3	30,4	37,5	35,3
17	19,9	24,7	31,6	34,1	34,4
18	20,8	25,5	28,4	34,3	35,8
$\bar{x}$	22,8	25,5	30,8	35,8	35,4



Variația rezistenței la tracțiune în funcție de timpul de scufundare la temperatură de 300°C, restul de lignin și diferenta de carbon

Figura 36.



- Timp de menținere în cuptor la temperatura de  $975^{\circ}\text{C}$  care asigură formarea compuşilor intermetalici în îmbinare este de 30 minute.

### 3.4. Analiza rezultatelor experimentale

#### 3.4.1. Determinarea rezistenței la tracțiune a îmbinărilor lipite

Determinarea rezistenței la tracțiune a îmbinărilor lipite a fost realizată efectuând probe conform STAS 10.897-77 și ținând seama de influența diferitelor factori asupra rezistenței la tracțiune a îmbinării.

Rezultatele experimentărilor întreprinse în vederea evidențierii influenței mărimii restului de lipire în condițiile menținerii constante a rugozității suprafeței și timpului de menținere sînt date în tabelul 20 pentru cuplul  $\text{NB:OL60}$ ,  $\text{NA:BCu}$  în tabelul 21 pentru cuplul  $\text{NB:OL60}$ ;  $\text{NA:BCuZn}$ , în tabelele 22 și 23 pentru cuplul  $\text{NB:OL60}$ ;  $\text{NA:BCuAgZnCd}$  utilizînd procedeele de lipire tare cu inducție și cu flacără oxiacetilenică.

Reprezentările grafice ale rezistenței la tracțiune în funcție de restul de lipire sînt date în figurile 28, 29, și 30, din care rezultă scăderea rezistențelor la tracțiune a probelor lipite cu creșterea restului de lipire.

Rezistența la tracțiune a probelor lipite este dependentă și de rugozitatea asigurată probelor de lipit rezultatele experimentărilor întreprinse cu aliajele  $\text{BCu}$ ,  $\text{BCuZn}$  și  $\text{BCuAgZnCd}$  sînt cuprinse în tabelele 24, 25 și 26, iar reprezentările grafice a funcției  $R_t = f(R_p)$  sînt date în figurile 31, 32 și 33.

Reprezentările grafice arată un aspect asemănător arată că rugozitatea suprafeței obținută prin frezare 120 microni dă posibilitatea unei întinderi responsabilă a aliajului pe suprafața oțelului carbon și a realizării îmbinărilor cu rezistența la tracțiune cea mai ridicată.

Cel mai important factor care contribuie în mod substanțial la ridicarea rezistenței la tracțiune a îmbinărilor lipite se regăsește în timpul de menținere la o temperatură apropiată de temperatura de delipire.

Tabelele 27 și 28 prezintă rezultatele experimentărilor, întreprinse în vederea ilustrării influenței timpului de menținere asupra probelor din OLC60 în cuplu cu aliajele BCuAgInCd și BCuZn. Din diagrame rezultă că menținerea probelor lipite la o temperatură apropiată de temperatura de lipire conduce la scăderea rezistenței mecanice a îmbinărilor lipite. Experimentările efectuate cu cupluri de oțeluri disimilare au condus la rezultate apropiate. Experimentările întreprinse privind influența timpului de menținere asupra îmbinărilor lipite din oțeluri disimilare în cuplu cu aliaj tip BCu au condus la rezultate interesante.

Rezultatele încercărilor de tracțiune a probelor lipite sînt cuprinse în tabelele 29-37. Figura 36 redă variația rezistenței la tracțiune funcție de timpul de menținere la temperatura de 900 - 950°C utilizînd probe din oțeluri disimilare cu suprafața prelucrată cu rugozitatea de 120 microni și utilizînd rosturi de lipire de 0,1 - 0,3 și 0,5 mm. Din reprezentarea grafică rezultă o creștere substanțială a rezistenței la tracțiune de la cea 21,5 daN/mm<sup>2</sup> la 62,3 daN/mm<sup>2</sup>.

Sînt remarcate creșteri minime ale rezistenței la cuplul OLC85 - OLC85 la toate valorile de rosturi de lipire. Valorile cele mai ridicate se obțin pentru cuplul OLC10 - OLC85, avînd valoarea rosturilor de lipire 0,1 mm.

#### 3.4.2. Analiza repartiției elementelor chimice de-a lungul îmbinărilor lipite

Analiza repartiției elementelor chimice de-a lungul îmbinărilor lipite a fost efectuată cu ajutorul microsondei electronice. În studiul proceselor de difuzie ce guvernează fenomenele metalurgice ce apar în timpul lipirii, microsonda

electronică, singurul mijloc de investigație care poate da informații complete, privind distribuția spațială, calitativ și cantitativ a elementelor care intervin în procesul de lipire tare (respectiv material de bază, aliaj de lipire, interfața material de bază - aliaj de lipire). Compararea acestor imagini obținute în diverse faze ale procesului de lipire, menținând constanți anumii factori și variind alții, permite aprofundarea mecanismelor și explicarea fenomenelor care au efect hotărâtor asupra calității îmbinărilor lipite.

Mijloacele clasice de investigație a îmbinărilor lipite se rezumă la studiul metalografic prin microscopie optică și electronică a unor probe pregătite și atacate metalografic în mod corespunzător. Metodele de difracție cu raze X, pentru identificarea fazelor nu se pot aplica la acest gen de îmbinare datorită volumului extrem de mic de material care stă la dispoziție max. 0,5 mm. Prin metalografie obișnuită se pot pune în evidență eventuale compuzii, sau zonele de dilatație ale elementelor aliajelor de lipire cu materialul de bază. De aceea pentru analiza îmbinărilor lipite metodele clasice oferă numai informații incomplete, neputând obține informații privind repartiția elementelor chimice în îmbinare, la interfațe cu materialul de bază și compuzii chimice care apar.

În vederea analizei repartiției elementelor chimice ale îmbinărilor lipite realizate s-a efectuat un studiu cu ajutorul microsondei electronice de calculator. Microsonda utilizată este de tip JEOL - Japonia, comanda întregii aparatură fiind realizată de un calculator electronic tip PDP-8m. S-a utilizat un program de analiză care prevede deplasarea probei cu pas constant după o direcție aleasă de operator, în condițiile unui fascicul fix focalizat pe probă și având diametrul 1-2  $\mu$ m. Intensitatea fascicului de electroni s-a păstrat constantă cu valoarea  $8 \cdot 10^{-8}$  A, tensiunea de accelerare a fascicului a fost de 25 kV.

Programul debutează cu solicitarea condițiilor de efectuarea analizei: numărul de pași, intervalul dintre punctele de măsurare, timpul de măsurare în secunde de secundă, elementul ce se analizează. După fixarea probei, demararea programului, calculatorul comandă deplasarea probei pe direcția dorită cu pas constant, efectuează măsurarea intensității radiației X corespunzătoare elementului cercetat, stochează valorile citite, după care afișează valoarea maximă măsurată și tipărește o diagramă care reflectă repartiția elementului studiat în mod semicantitativ, de-a lungul direcției investigate. O variantă a programului permite și calcularea concentrației relative a elementului cercetat după ce s-a măsurat etalonul.

Rezultatele analizei privind repartiția elementelor chimice de-a lungul îmbinării lipite din oțeluri similare OL60 + OL60 lipite cu inducție CIF în cuplu cu aliajul BCuAg30Zn Că sînt date în figura 37.

Din figura 37.a rezultă distribuția fierului în zona interfețelor și în îmbinarea lipită.

Sînt reamintite următoarele:

- ținînd seama că restul de lipire este 0,3 mm rezultat și din figură s-a ales un număr de 26 pași la distanță de  $15 \mu$  m unul față de celălalt pe axa X;

- fierul difuzează în mică măsură în îmbinarea lipită cea 0,25 - 1,48% datorită temperaturii de lipire scăzută cea  $750^{\circ}\text{C}$ .

În figura 37.b este dată distribuția cuprului la interfețe și în zona îmbinării. Au fost luți 28 de pași cu distanță de 15  $\mu$  m între ei, cu timp de măsurare 0,1 sec. Din diagramă rezultă că la rîndul său cuprul difuzează în mică măsură în oțel respectiv de ordinul 0,25 - 0,5%.

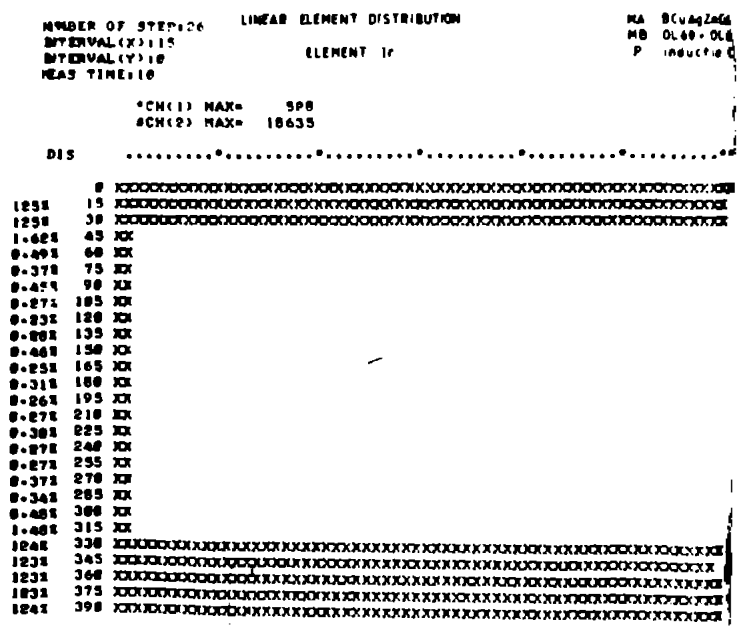
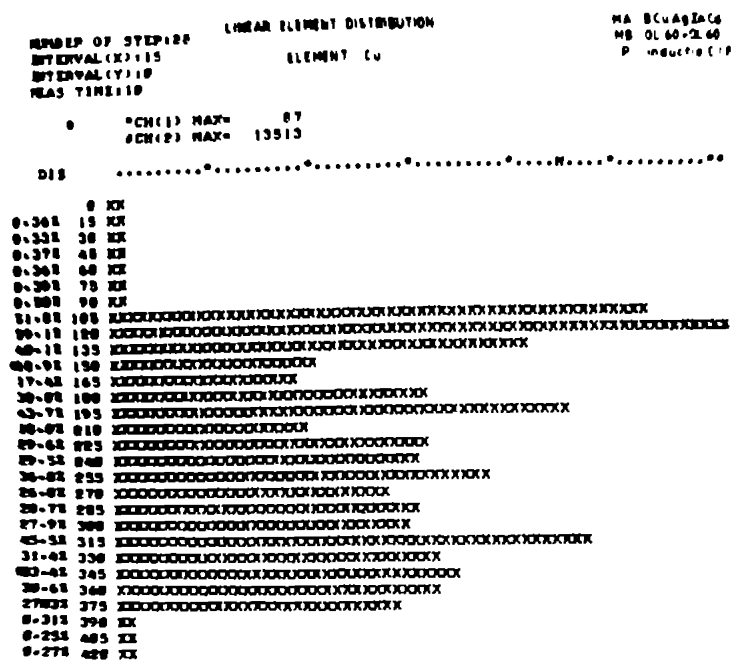
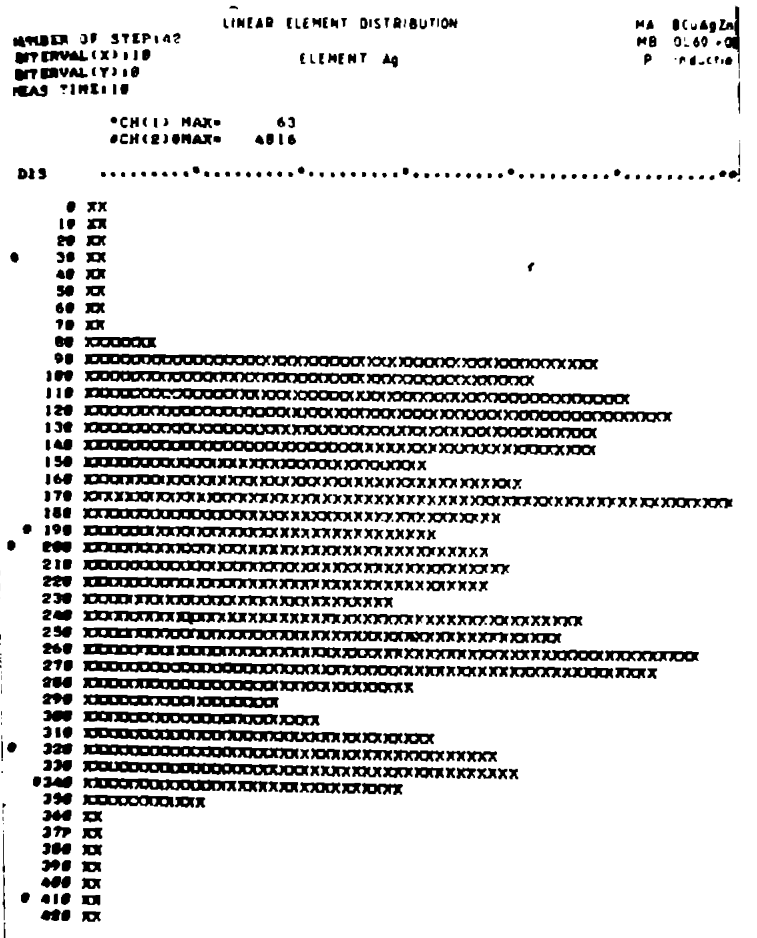
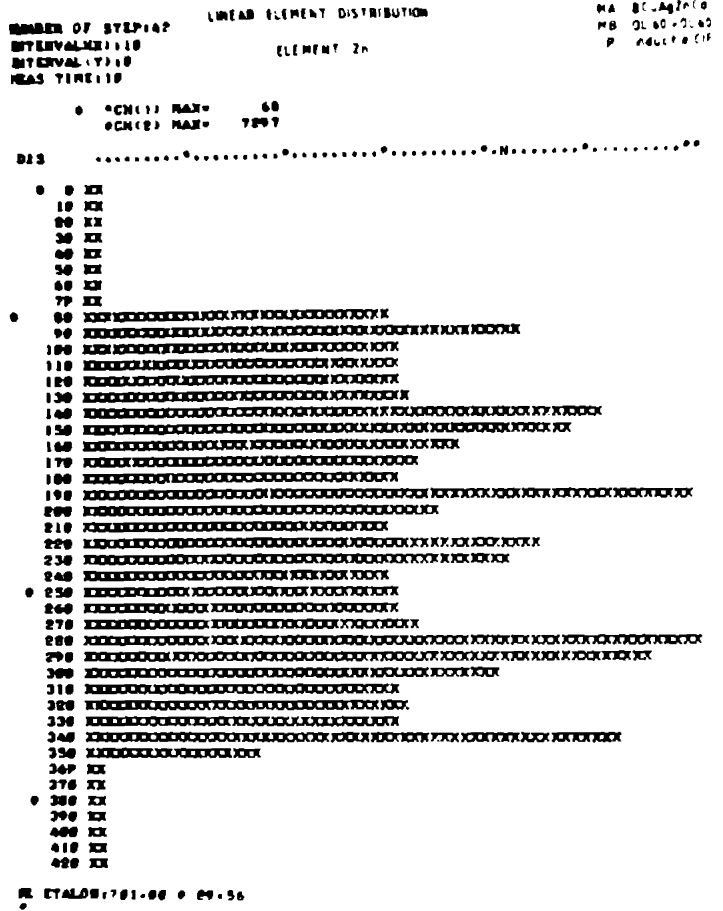


Figure 37.

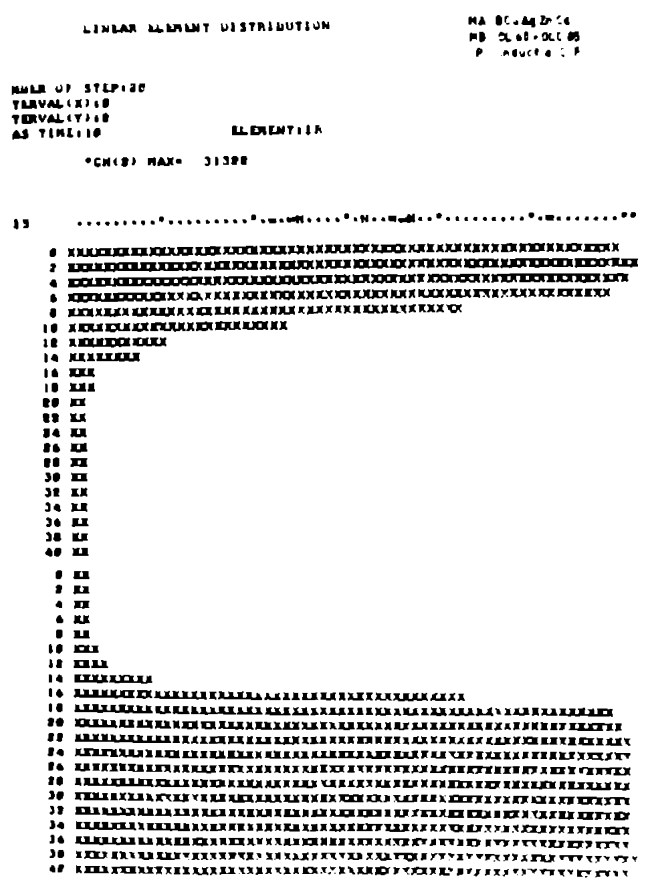
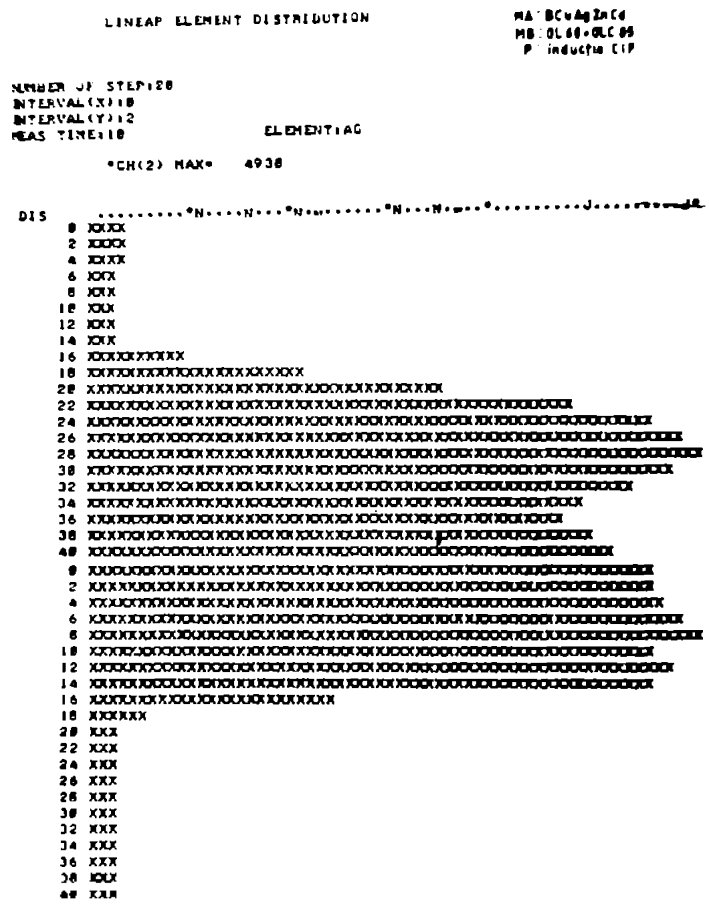
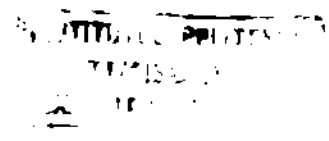


Figure 30.



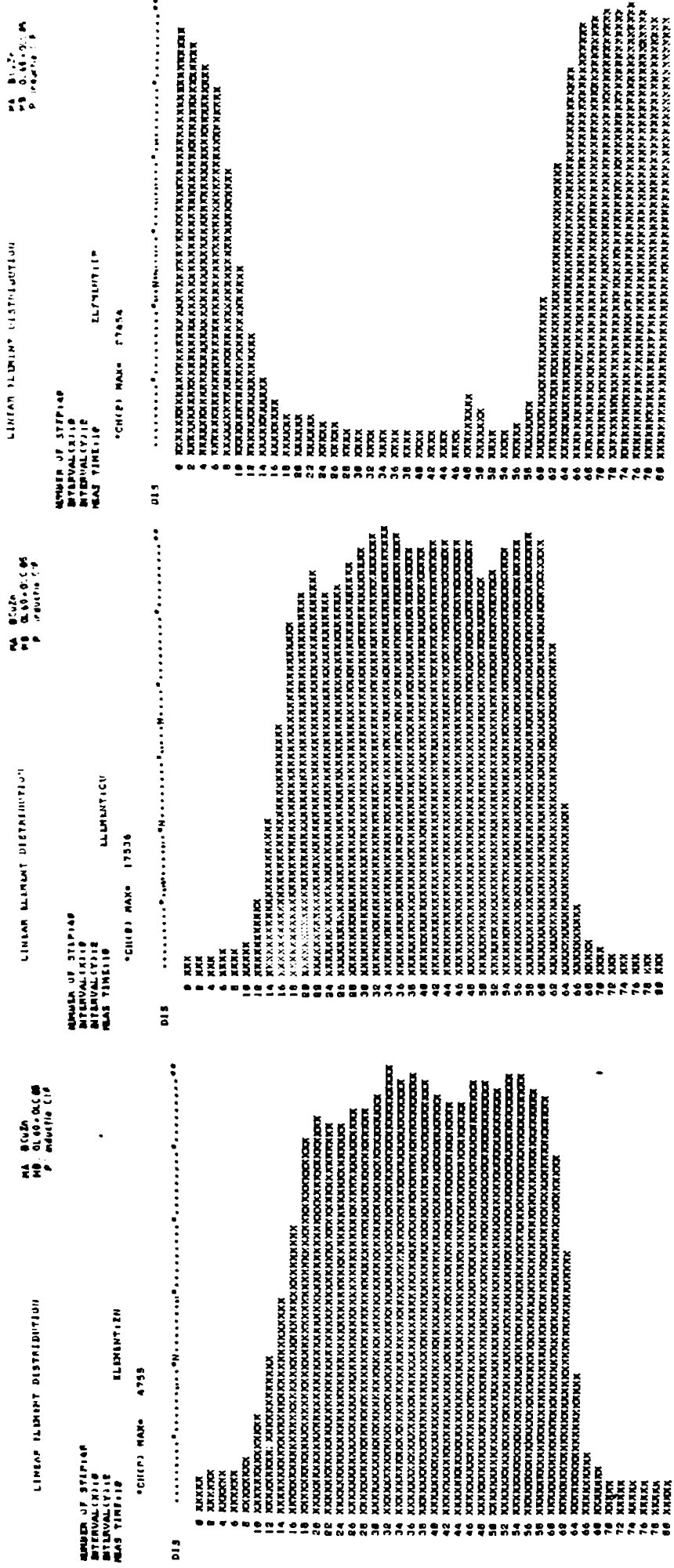


Figure 39.

MEMBER 10  
UNIAS ELEMENT DISTRIBUTION  
MA 0.0  
MB 0.0  
P 0.0

5  
 NUMBER OF STEPS 6  
 INTERVAL(1) 10  
 INTERVAL(2) 10  
 INTERVAL(3) 10  
 MEAS TIME(1) 0.00 0.00 0.00

NUMBER OF STEPS 6  
 INTERVAL(1) 10  
 INTERVAL(2) 10  
 MEAS TIME(1) 0.00 0.00 0.00

\*CH(1) MAX= 445  
 \*CH(2) MAX= 24151

DIS .....\*

1000 0  
 1001 5  
 1002 10  
 1003 15  
 1004 20  
 1005 25  
 1006 30  
 1007 35  
 1008 40  
 1009 45  
 1010 50  
 1011 55  
 1012 60  
 1013 65  
 1014 70  
 1015 75  
 1016 80  
 1017 85  
 1018 90  
 1019 95  
 1020 100  
 1021 105  
 1022 110  
 1023 115  
 1024 120  
 1025 125  
 1026 130

MEMBER 10  
UNIAS ELEMENT DISTRIBUTION  
MA 0.0  
MB 0.0  
P 0.0

6  
 NUMBER OF STEPS 6  
 INTERVAL(1) 10  
 INTERVAL(2) 10  
 INTERVAL(3) 10  
 MEAS TIME(1) 0.00 0.00 0.00

NUMBER OF STEPS 6  
 INTERVAL(1) 10  
 INTERVAL(2) 10  
 MEAS TIME(1) 0.00 0.00 0.00

\*CH(1) MAX= 337  
 \*CH(2) MAX= 15864

DIS .....\*

1000 0  
 1001 5  
 1002 10  
 1003 15  
 1004 20  
 1005 25  
 1006 30  
 1007 35  
 1008 40  
 1009 45  
 1010 50  
 1011 55  
 1012 60  
 1013 65  
 1014 70  
 1015 75  
 1016 80  
 1017 85  
 1018 90  
 1019 95  
 1020 100  
 1021 105  
 1022 110  
 1023 115  
 1024 120  
 1025 125  
 1026 130

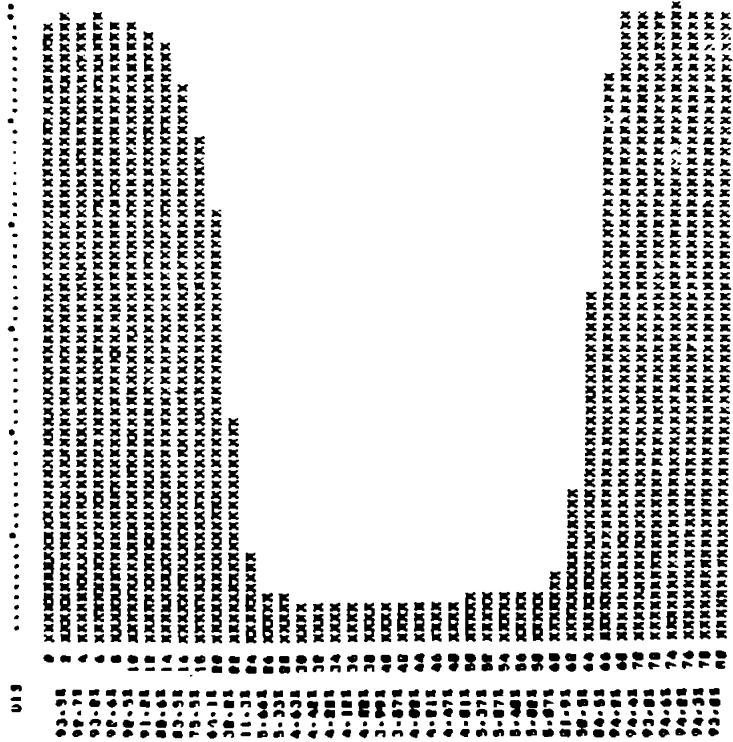
Figure 40.



MS 010  
MB 0100.01045  
P (upper sim)MLC

LINEAR ELEMENT DISTRIBUTION

NUMBER OF STEPS 149  
INTERVAL(S) 10  
INTERVAL(Y) 1-8  
NEAR TIME(S) 8  
\*CH(8) MAX= 38794



MS 010  
MB 0100.01045  
P (upper sim)MLC

LINEAR ELEMENT DISTRIBUTION

NUMBER OF STEPS 149  
INTERVAL(S) 10  
INTERVAL(Y) 1-8  
NEAR TIME(S) 8  
\*CH(8) MAX= 89819

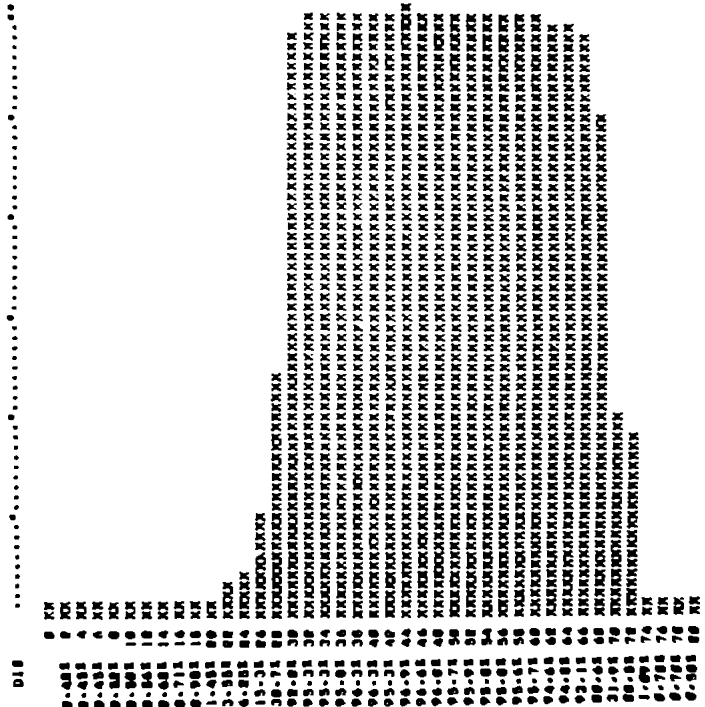


Figure 41.

NO 85  
 NO 86  
 P. 11 10-1991

.....  
 .....

.....  
 .....

.....  
 .....

.....

.....  
 .....

NO 85  
 NO 86  
 P. 11 10-1991

.....  
 .....

.....  
 .....

.....  
 .....

.....

.....  
 .....

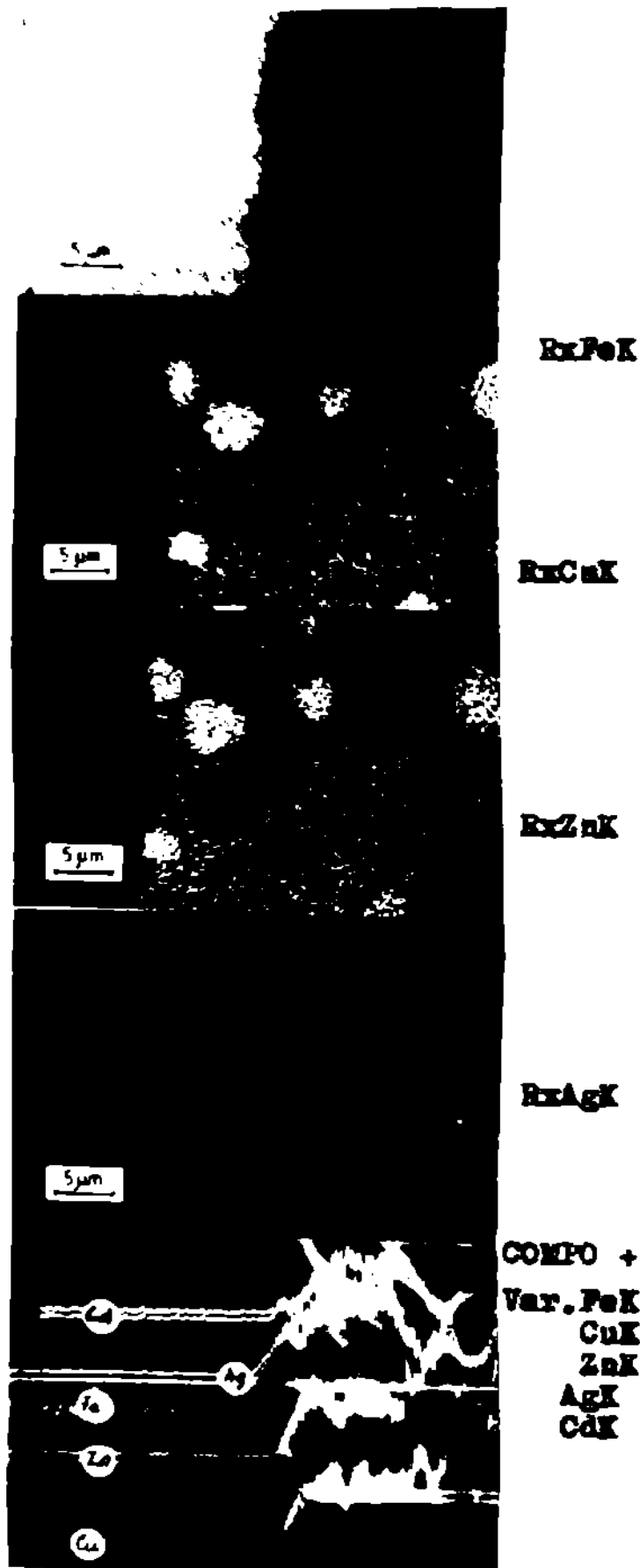


Figure 43.

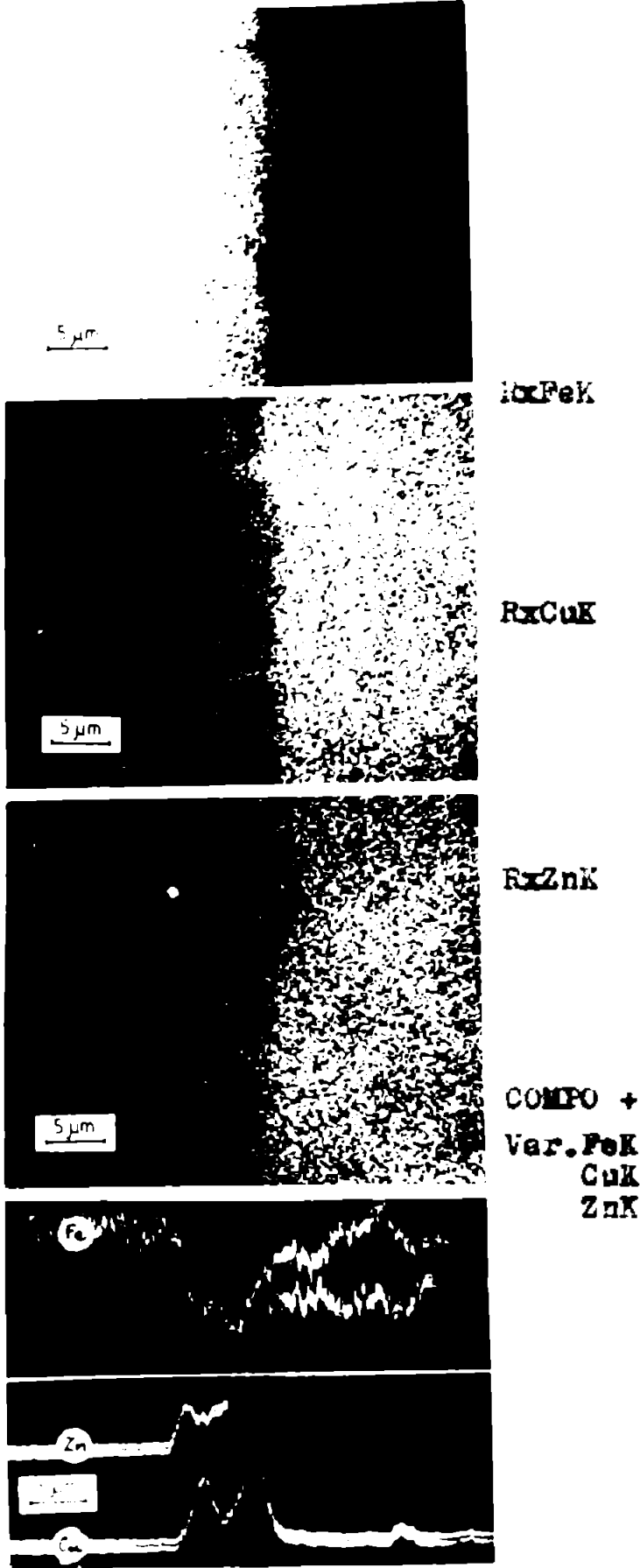


Figura 44.

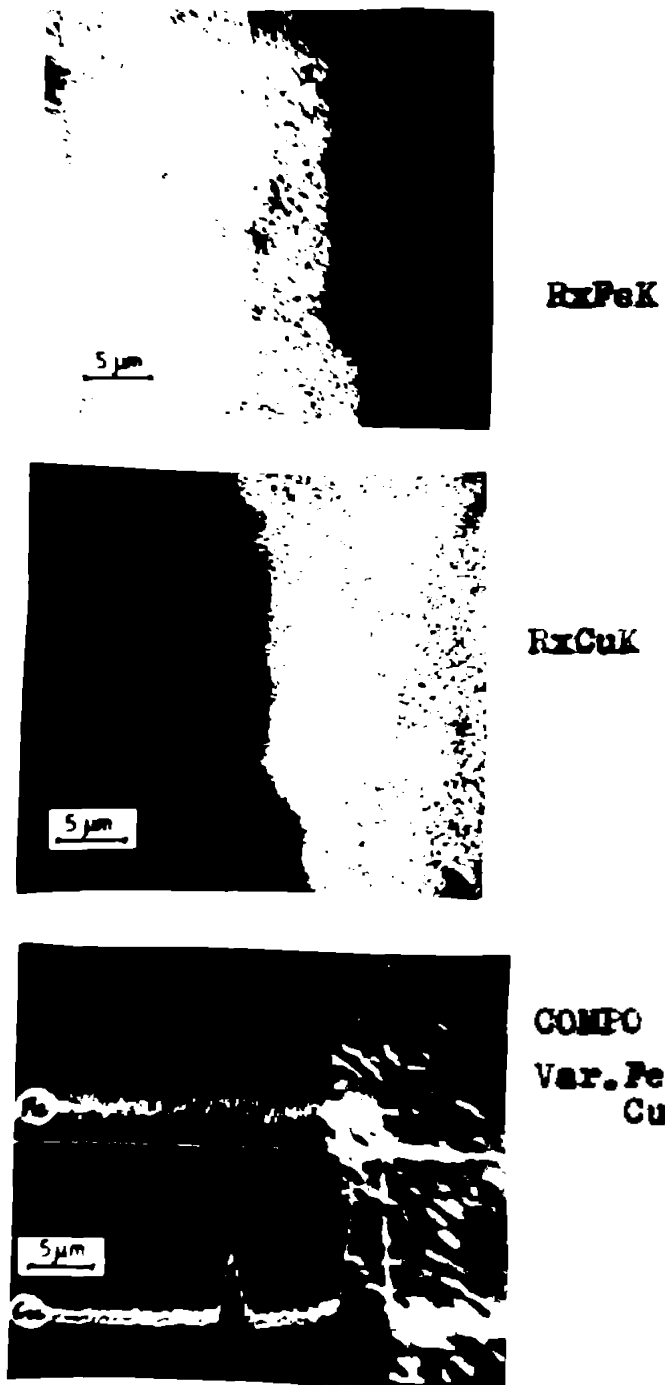
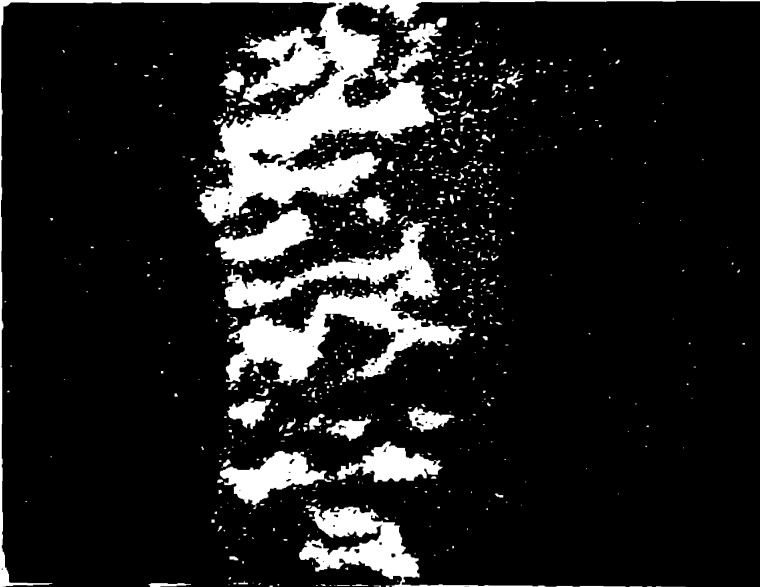


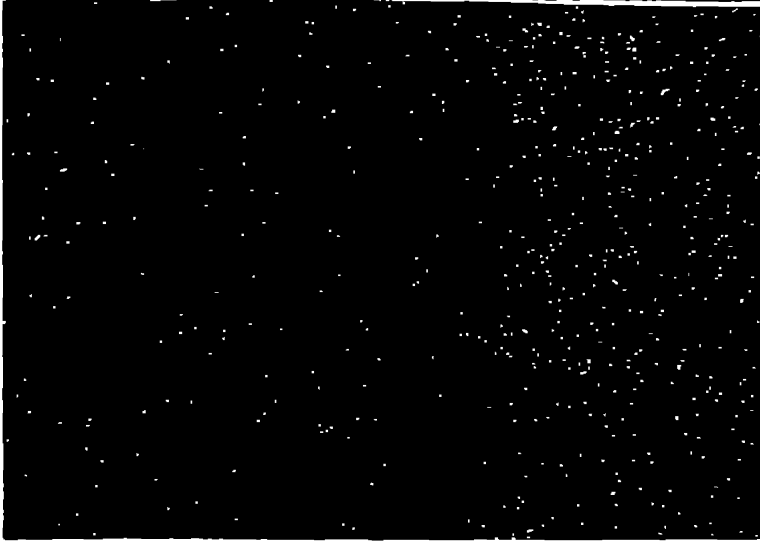
Figure 45.



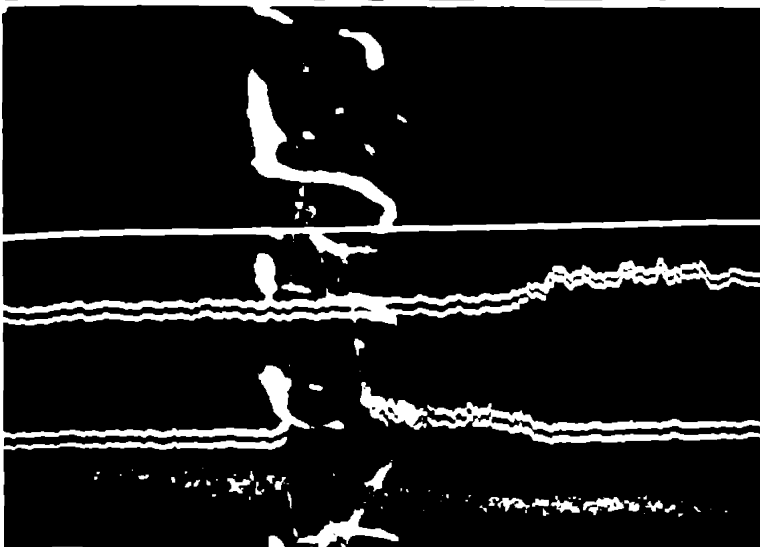
a)  $R_{xFeK}$   
500:1



b)  $R_{xCuK}$   
500:1

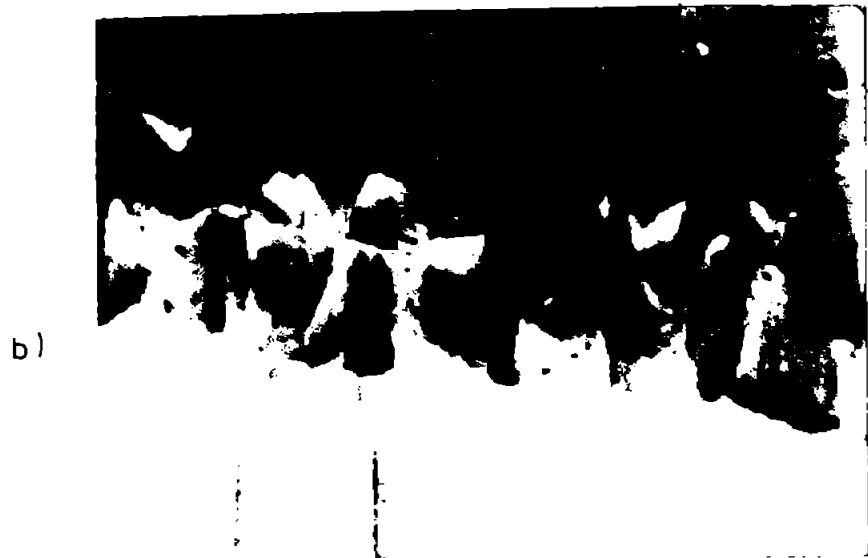


c)  $R_{xCCK}$   
500:1



d) COMPO +  
Var.  $FeK$   
 $CuK$   
 $CK$   
500:1

Figura 46.



**Figure 47.**

Pentru realizarea distribuției liniare a zincului și argintului s-au folosit 42 de puncte de măsurare situate la cîte  $10 \mu\text{m}$  unul față de celălalt cu timp de măsurare tot 0,1 sec. Rezultatele sînt cuprinse în figurile 37.c și d. Sînt remarcate repartiții asemănătoare cu repartiția cuprului. Micile variații de concentrație care apar în interiorul stratului de aliaj de lipire se pot atribui în primul rînd neomogenităților inerente ale aliajului la scară microscopică (domeniul în care s-a făcut măsurătoarea cuprinde  $1 \mu\text{m}^3$ ), respectiv eventualelor impurități sau golurilor macroscopice care sînt atinse de fascicol în momentul analizei. De remarcă că informația se culege nu numai strict de la suprafață ci și gîde la adîncimi variînd între 1-3  $\mu\text{m}$ . La unele probe este posibil să se fi format compuși la scară microscopică inaccessibili la mărimi de 1000X dar care modifică local concentrația elementelor de bază.

În figura 38 sînt date distribuțiile elementelor Fe, Cu, Ag, Zn într-o îmbinare de oțeluri de înălțare OL60+OLC85. Ținînd seama că rostul de lipire este de cea 0,40 mm s-a recurs la măsurare de la interfețe mijlocul intervalului fiind constant ca valori de măsurare. În acest sens se regăsesc de 2x20 de pași situați la  $2 \mu\text{m}$  unul față de celălalt cu timp de măsurare 0,1 sec.

Din figura 38.a se rezultă distribuția fierului la interfețele materiale de bază OL60, OLC85 cu aliajul de lipire. Se remarcă o delimitare mai lentă către oțelul mai moale OL60.

În figurile 48b, c, d sînt date variațiile distribuțiilor liniare ale elementelor Cu, Ag și Zinc, sînt remarcate distribuții foarte asemănătoare pentru cupru și zinc. Se distinge variația lentă la interfața cu oțelul moale și variația bruscă de concentrație la interfața cu oțelul OLC85.

Figura 39 prezintă distribuția elementelor într-o îmbinare de oțeluri de înălțare respectiv OL60-OLC85, realizată cu aliaj de lipire. Din diagrama rezultă o variație asemănătoare a cuprului și zincului cu difuzia la interfața oțel aliaj



de lipire ușor asimetrică, datorită oțelurilor disimilare și mai accentuată ca mărime decât în cazul lipirii cu aliaje de argint.

În Figura 40.a și b sînt date distribuțiile cuprului respectiv fierului într-o îmbinare de oțeluri similare OL60 și aliaj tip BCu realizată în cuptor cu atmosferă protecție KNO<sub>3</sub>. Se remarcă o difuzie mai pronunțată atât a fierului cît și a cuprului, decât la aliajele BCuZn, BCuAgZnCd, datorită temperaturii de lipire ridicate.

Figura 41 redă distribuția elementelor fier și cupru într-o îmbinare de oțeluri disimilare OL60 și OLCB5 lipite cu aliaj tip BCu în cuptor cu atmosferă KNO<sub>3</sub>. Distribuția este asemănătoare cu cea din figura 40 cu o ușură asimetrie.

În figura 42 este dată distribuția elementelor fier și cupru într-o îmbinare de oțeluri disimilare lipite cu aliaj tip BCu în cuptor cu atmosferă KNO<sub>3</sub> și menținute la temperatura de 975°C după lipire timp de 16 minute. Din diagrame se pot remarcă următoarele:

- rostul de lipire a scăzut foarte mult respectiv este de cea 0,04 mm;
- difuzia cuprului în fier și a fierului în cupru este foarte pronunțată;

Studiul la microsondă a îmbinărilor lipite sub formă imaginilor de compoziție prezentat în figura 43 redă în stînga oțelului și în dreapta aliajul de lipire BCuAgZnCd. Suprapusă peste această imagine se poate constata variația elementelor principale. Analizele s-au efectuat de-a lungul liniei centrale care străbate oțelul și aliajul de lipire. Din toate curbele de variație se observă clar că elementele analizate: Cu, Fe, Ag, Cd, Zn, prezintă în zona de trecere variații lente atestînd, existența unui proces de difuzie în ambele sensuri.

Figurile a,b,c,d cuprind imagini de raze X ale principalelor elemente. Difuzia fierului se extinde pe o porțiune de cea 2-3  $\mu$ m, sesizabilă prin scăderea progresivă a densității punctelor de imagine.

În aliajul de lipire se remarcă prezența unui compus binar Cu-Zn în aliajul BCu<sub>g</sub>ZnCd (prin lipsa acestuia din zona repartiției argintului). Argintul este repartizat uniform (cu excepția zonelor menționate) între particulele elementelor Cd, Zn, Cu.

Figura 44 redă distribuția elementelor la interfața oțel - aliaj BCuZn rezultând o difuzie mai pronunțată (peste  $5\mu$  m) a cuprului și zincului în oțel și respectiv a fierului în aliajul de lipire. Din distribuțiile (b și c) ale cuprului și zincului rezultă clar că aceste difuzează cu precădere la limita grăunților și că difuzia cuprului și zincului este asemănătoare fiind posibilă ca și anterior formarea unui compus Cu-Zn.

Din figura 45 este redată distribuția elementelor într-o îmbinare de oțeluri similare OL60 cu aliaj BCu. Din imaginea COMPO rezultă că difuzia cuprului în fier este mai pronunțată ajungând la cca  $10\mu$  m și respectiv difuzia fierului în cuptor este apropiată ca valoare.

Studiile întreprinse cu ajutorul microsondei au pus în evidență și variația carbonului, dar în îmbinările de oțeluri similare este foarte slabă ca reprezentare.

În figura 46 este dată distribuția elementelor Cu, Fe, C într-o îmbinare de oțeluri disimilare de tip OLC10 - OLC5A cu aliaj de lipire BCu, realizată într-un cuptor cu atmosferă H<sub>2</sub>O și menținute îmbinările lipite 30 de minute la  $975^{\circ}\text{C}$  în cuptor. Din figura de compoziție ca și din celelalte figuri rezultă formarea unui compus Fe-Cu-C care unește cele două oțeluri disimilare. Compus care explică scăderea rezistenței la tracțiune a îmbinărilor lipite menținute la temperatură peste 16 minute după lipire. Din distribuția carbonului rezultă că are loc o difuzie a carbonului de la oțelul OLC5A către oțelul cu carbon redus OLC10 prin lipitură înlesnind formarea unui compus cu fierul și cupru.

Pentru ilustrarea compusului format la îmbinarea oțelurilor disimilare cu cupru s-a utilizat și metoda Nomarski. Metoda introdusă în Franța în 1932 a fost preluată de către câteva firme în care se produce aparatură adaptabilă, la microscopie optice curente în vederea evidențierii micilor diferențe de înălțime existente în probe.

Microscopia Nomarski se bazează de fapt pe contrastul interferențial diferențial în lumină polarizată și are particularitatea de a forma imagini deosebite de plastice care dau impresia de relief. Aceasta se obține prin aceea că pe partea stângă și dreaptă a constituenților apar diferențe de fază optice diferite care conduc la luminarea părții din stînga și întunecarea pe partea opusă. Se creează astfel impresia de umbrire ca și fiind structura ar fi iluminată dintr-o parte. Imagini asemănătoare cu efect de umbrire se cunosc în microscopia electronică de transmisie cu replică. Avantajul metodei este în capacitatea acesteia de a releva cele mai mici diferențe de nivel față de planul probei.

În figura 47 a și b sînt date imaginile obținute cu metoda Nomarski la mărirea de 350x respectiv 500x, rezultînd ca și în studiul pe microsonda electronică compusul intermetalic Fe-Cu-C ca un compus cu duritate mai ridicată decît a oțelurilor lipite în zona îmbinării.

### 3.5. Calculul difuziei intergranulare în îmbinările lipite

După cum s-a remarcat din studiul cu ajutorul microsondei electronice asupra îmbinărilor lipite difuzia este mai evidentă de-a lungul legăturilor grăunțurilor.

Analizele matematice ale cineticii difuziei la legăturile grăunțurilor pornesc de la ecuațiile de bază și calculul este efectuat în următoarele condiții:

- legătura este perpendiculară la suprafața probei

și lățimea ei este mică și constantă;

- coeficientul de difuzie intergranulară  $D_1$  este mult mai mare decât cel în volum;

-  $D$  și  $D_1$  se presupune independenți de concentrație.

După a doua lege a lui Fick /4,7,21, 120/ avem:

$$D_1 \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial c}{\partial t} \quad (3.1.) - \text{difuzie intergranulară}$$

$$D \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial c}{\partial t} \quad (3.2) - \text{difuzie în volum}$$

Lățimea legăturii fiind foarte mică, se poate presupune că concentrația în legătură nu depinde decât de  $y$  și ecuația difuziei intergranulare (3.1) devine pentru  $x = \pm \frac{\delta}{2}$ .

$$D_1 \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{2D}{\delta} \cdot \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial t} \quad (3.3.)$$

$D_1 \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}$  - reprezintă variația de concentrație asociată difuziei în legătură. Pierderea de materie de fiecare parte a legăturii pentru  $x = \pm \frac{\delta}{2}$  este datorită difuziei în volum. Variația de concentrație pe unitatea de timp  $\partial c / \partial t$  este obținută împărțind fluxul de materie  $f$  din ecuația

$$f = - D \frac{\partial c}{\partial x}$$

cu valoarea corespunzătoare  $1 \text{ cm}^2$  de suprafață a legăturii, adică 1. Cum se deplasează aceeași cantitate de substanță în fiecare parte:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = - \frac{f}{\delta} = \frac{2D}{\delta} \cdot \frac{\partial c}{\partial x}$$

Sistemul de ecuații devine:

$$D_1 \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{2D}{\delta} \cdot \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial t}, \quad \text{pentru } x = \frac{\delta}{2}$$

$$D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial c}{\partial y^2} - \frac{\partial c}{\partial t} \quad |x| > \frac{\delta}{2} \quad (3.4)$$

Această ecuație poate fi rezolvată fixându-se condițiile la limite și presupunându-se că concentrația variază continuu de o parte și de alta a legăturii.

Deoarece considerăm că se poate neglija regiunea vecină suprafeței unde apare și difuzia în volum, ne interesează situația de la distanțele mari  $y$  unde difuzia intergranulară este predominantă. Ecuația a doua din sistem se simplifică, devenind

$$D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t} \quad (3.5)$$

Concentrația în legătură nefiind funcție decât de  $y$  și  $D_1 > D_v$ , difuzia în legătură poate fi considerată ca instantanee.

Introducând noi variabile în sistem:

$$x_1 = \frac{x}{\delta} \quad y_1 = \frac{y}{\delta \left(\frac{D_1}{D}\right)^{1/2}} \quad t_1 = \frac{Dt}{\delta^2} \quad (3.6)$$

Cele două ecuații ale sistemului (3.4) devin:

$$\frac{\partial c}{\partial t_1} = \frac{\partial^2 c}{\partial y_1^2} + \frac{2 \partial c}{\partial x_1} \quad \text{pentru } \frac{x}{\delta} = \frac{\delta}{2} \quad \text{adică } x_1 = 1/2$$

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x_1^2} = \frac{\partial c}{\partial t_1} \quad (3.7)$$

Legătura fiind foarte subțire, prima ecuație se aplică și pentru  $x_1 = 0$ . Considerându-se că la  $t > 0$  concentrația inițială la suprafață (pentru  $x = 0$ ) este  $C_0$  și rămâne neschimbată în timpul procesului, se ajunge la următoarea soluție generală pentru concentrația unui punct în apropierea limitei grăunților :

$$C = C_0 \exp. \left[ - \left( \frac{4}{\pi t_1} \right)^{1/4} y_1 \right] \operatorname{erf.} C \left( \frac{x_1}{2\sqrt{t_1}} \right) \quad (3.8)$$

unde  $\operatorname{erf} C$  reprezintă funcția eroare.

Integrând pentru a găsi concentrația mijlocie  $\bar{C}$  în legătură pentru penetrarea  $y$  și trecând din nou în variabilele  $t$  și  $y$  după (3.6) se obține :

$$\bar{C} = 4 \left( \frac{Dt}{\pi} \right)^{1/2} \cdot C_0 \exp \left[ \frac{\left( \frac{2D}{D_i} \right)^{1/2}}{(\pi Dt)^{1/4}} \cdot y \right] \quad (3.9)$$

Soluția lui Fisher rămâne foarte des utilizată în studiile de difuzie intergranulară în special pentru tehnicile de microsecționare.

Logaritmand:

$$\lg \bar{C} = - \left[ \left( \frac{2D}{D_i \sigma} \right)^{1/2} \cdot \frac{\lg C}{(\pi Dt)^{1/4}} \right] y + \lg \left[ 4 \cdot C_0 \left( \frac{Dt}{\pi} \right)^{1/2} \right] \quad (3.10)$$

Se remarcă variația liniară a logaritmului concentrației medii  $\bar{C}$  în funcție de penetratia  $y$  și că măsura pantei drepte astfel obținută permite să se calculeze  $D_i$  dacă se cunoaște coeficientul de difuzie în volum  $D$  și se fixează valoarea lui  $\sigma$  (de exemplu  $5 \cdot 10^{-8}$  cm).

Din curbele de echiconcentrație rezultă unghiul  $\theta$ . Coeficientul de difuzie intergranulară  $D_i$  poate fi atunci determinat măsurând unghiul  $\theta$  al tangentei la curba  $C(x, y)$  -ct.

Derivind ecuația lui  $C$  și avînd  $dy / dx = -\operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \theta \right)$

$$\text{sau} \quad \cotg \theta = \frac{\sigma \left( \frac{D_i}{\sigma} \right)^{1/2}}{(4\pi Dt)^{1/4}} \quad (3.11)$$

$$\frac{D_i}{D} = \frac{1}{\sigma} \cdot 2(\pi Dt)^{1/2} \cotg^2 \theta$$

$$D_i = \frac{2D}{\sigma} \sqrt{\pi Dt} \cotg^2 \theta \quad (3.12)$$

Coeficientul de difuzie  $D_1$  se poate determina experimental pornind de la:

- măsuri de penetrare pentru o concentrație dată;
- unghiul  $\theta$ , caracterizând curbele de echiconcentrație,
- concentrația medie  $\bar{C}$  în straturi subțiri paralele la suprafață.

Pentru calculul aproximativ al coeficientului de difuzie intergranulară a cuprului în fier să considerăm difuzia în fierul gaze la  $750^\circ\text{C}$  timp de o oră și că

$$D = 3 \cdot 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$\delta = 5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$$

$$t = 3,6 \cdot 10^3 \text{ s}$$

În cazul experimentărilor făcute, înspre interior se ating concentrații de cupru de 5-10% ( $C/C_0 = 0,05 - 0,10$ ) iar timpul este relativ scurt (60 min) astfel că unghiul de unectare  $\theta = 2 \cdot 10^0$  / Adde.Y, Philibert, J. La diffusion dans les solides, pl.682 fig.12.8 /  $\cotg \theta = f(\beta)$  și p.703 fig.12.19  $\theta = f(\beta)$  pentru  $C/C_0$

$$\cotg^2 \theta = \frac{\beta}{\sqrt{\pi}} = \frac{\delta \cdot D_1}{2D\sqrt{\pi Dt}} = \frac{5 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^5}{2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^{-13} \cdot 3,6 \cdot 10^3} = 0,86 \cdot 10$$

$$\cotg \theta = 0,3 \Rightarrow \theta \approx 6^\circ$$

Coeficientul de difuzie intergranulară a cuprului în fierul gaze va fi aproximativ:

$$D_1 = \frac{2D}{\sqrt{\pi Dt}} \cotg^2 \theta = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^{-13}}{3,14 \cdot 3 \cdot 10^{-13} \cdot 3,6 \cdot 10^3} \cdot 5 \cdot 10^{-8}$$

$$D_1 = 6,3 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$$

Determinarea experimentală aproximativă a coeficientului de difuzie intergranulară a cuprului se poate efectua pe baza studierii adâncimii de pătrundere.

Studiul pe microsondă a îmbinărilor lipite cu diferite aliaje de lipire a evidențiat că după cea 8 minute la temperatura de  $1150^{\circ}\text{C}$  la limita grăunților de oțel pînă la cea 5-10  $\mu\text{m}$  au pătruns cuprul și zincul din aliajul de lipire și după cea 8 minute la  $1150^{\circ}\text{C}$  cuprul din aliajul BCu a pătruns la limita grăunților de oțel pînă la cea 10 - 15  $\mu\text{m}$ .

### 3.6. Concluzii

- În baza programului experimental stabilit au fost efectuate serii de experimentări de lipire tare de oțeluri similare și disimilare în următoarele condiții:

- Materiale de bază:  
OL60, OLC10 și OLC5A
- Materiale de adăos:  
BCu, BCuZn, BCuAgZnCd
- Factori de influență studiați experimental:
  - mărirea rostului de lipire,
  - mărirea rugozității suprafeței,
  - mărirea timpului de menținere după lipire,
  - diferența de conținut de C a oțelurilor.

Din încercările întreprinse a rezultat că influențe semnificative se remarcă la îmbinarea oțelurilor disimilare lipite cu BCu.

- Studiarea pe microsonda electronică a îmbinărilor lipite a evidențiat repartiția diferitelor elemente în îmbinările lipite, difuzia la interfața oțel aliaj de lipire și în final după tratamentul termic de menținere la temperatură după lipire formarea compoziției intermetalice Fe-Cu-C, evidențiat și prin studiul pe microscop cu metoda Komaruki.



#### 4. OPTIMIZAREA PROCESELOR TEHNOLOGICE DE LIPIRE TARE A OTELURILOR CARBON PENTRU OBTINEREA IMBINARILOR CU REZISTENȚA RIDICATĂ

În prezent stabilirea proceselor tehnologice de lipire tare a oțelurilor carbon se realizează prin testări respectate de realizarea îmbinărilor lipite pornind de la capacitățile de unectare a aliajelor de lipire în cuplu cu un flux deșapant pe un oțel carbon. Pornind de la actualul stadiu al cunoștințelor în cadrul lucrării în baza fundamentării științifice a mecanismului lipirii tari a oțelurilor, a studierii factorilor de influență asupra rezistenței îmbinărilor lipite, a fost studiată posibilitatea optimizării proceselor tehnologice.

În vederea volumului mare de calcul pe care-l implică prelucrările statistice ale rezultatelor experimentale au fost elaborate programe specializate de calcul automat scrise în limbaj FORTRAN-IV.

##### 4.1. Verificarea normalității sirurilor de rezultate experimentale

Verificarea normalității rezultatelor experimentale a încercărilor de tracțiune ale sprusțelor lipite cu aliaje tip BCu, BCuIn, BCuAgInCd în condițiile menținerii constante a rugozității de  $120 \mu$  și variind mărimea rosturilor de lipire, timpul de menținere la temperatură cu cea  $75^{\circ}\text{C}$  mai scăzută decât temperatura de lipire și utilizând probe din oțeluri similare și disimulare s-a efectuat cu ajutorul criteriului compus conform GOST 8.207-76, "Măsurări directe cu observații multiple. Metode de prelucrare a rezultatelor observațiilor. Verificarea normalității rezultatelor observațiilor".

ale Criteriul compus se aplică astfel: la un număr de rezultate  $\checkmark$  observațiilor  $n < 50$  normalizarea distribuției lor se verifică cu ajutorul criteriului omann:

**Criteriul 1:** Se calculează raportul  $\tilde{d}$

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{A}|}{n \cdot S^*} \quad (4.1)$$

unde  $S^*$  este estimarea deplasată a abaterii medii pătratice, calculată după formula:

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{A})^2}{n}} \quad (4.2.)$$

Rezultatele observațiilor unei grupe se pot considera ca distribuite normal, dacă:

$$d_{1-q_{1/2}} \leq \tilde{d} \leq d_{q_{1/2}} \quad (4.3.)$$

unde  $d_{1-q_{1/2}}$  și  $d_{q_{1/2}}$  - sînt cantilele de distribuție

care se obțin după  $n$ ,  $q_{1/2}$  și  $(1-q_{1/2})$ ;  $q_1$  este nivelul de importanță dinaintea alea, al criteriului.

**Criteriul 2.** Se poate considera că rezultatele observațiilor aparțin unei distribuții normale, dacă cel mult  $m$  diferențe  $(X_i - A)$  au depășit valoarea  $Z_{p/2} \cdot s$ , unde  $s$  - este estimarea abaterii medii pătratice calculabilă după formula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{A})^2}{n-1}} \quad (4.4)$$

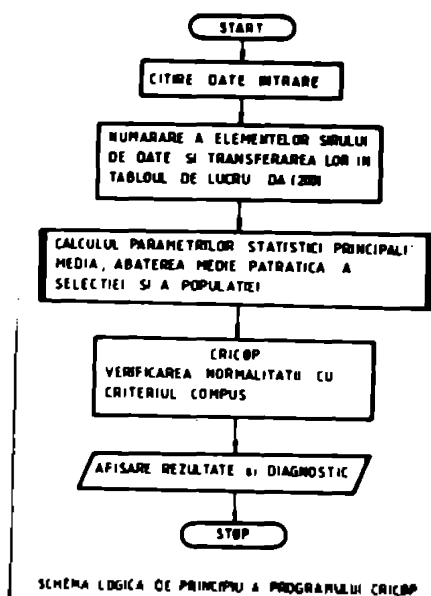
unde:  $Z_{p/2}$  - cantile superioară de distribuție a funcției Laplace normale, corespunzătoare probabilităților  $p/2$

Valorile lui  $p$  se determină după nivelul de importanță  $q_2$  ales și numărul de rezultate ale observațiilor  $n$ . La un nivel de importanță deosebit de cele prevăzute - valoarea lui  $p$  se află prin interpolare liniară. În cazul cînd, la verificarea normalității distribuției rezultatelor unei grupe de observații pentru criteriul 1, a fost ales nivelul de importanță rezultat al criteriului compus va fi:

$$q \leq q_1 + q_2$$

Dacă unul din criterii nu se respectă, atunci se consideră că distribuția rezultatelor grupei de observații nu este normală.

Schema logică de principiu a programului CRICOP, program de verificare automată a normalității cu Criteriul Compus este dată în figura 48.



Rezultatele experimentale testate cu acest program au concluzionat că experimentele s-au încadrat în curba de normalitate Gauss în toate cazurile pentru nivelele de semnificație 1,2,5% și în majoritatea cazurilor și pentru nivelul de semnificație de 10%.

Figura 48. Spre exemplificare sînt prezentate verificările normalității datelor experimentale cuprinse în tabelul 31 pentru cazul lipirii oțelurilor disimilare OLC10 ou OLCB5A cu aliaj BCu avînd rost de lipire 0,5 mm și rugozitatea suprafeței  $R_a = 120 \mu\text{m}$ , în figurile 49-53.

În mod similar au fost efectuate verificările pentru rezultatele experimentale cuprinse în tabelele 21-37.

31.6 34.9 30.6 32.8 31.6 31.4 30.9 30.3 31.4 30.9  
34.8 31.1 33.3 30.7 31.6 30.7 33.3 34.6 0.0 0.0

41.1 30.4 38.7 41.1 41.7 40.2 37.6 38.1 41.8 42.1  
40.2 40.9 41.5 39.3 39.4 40.7 42.0 42.3 0.0 0.0

VALORILE PARAMETRELOR STATISTICE PRINCIPALI

VALORILE PARAMETRELOR STATISTICE PRINCIPALI

VAL. MEDIE = 32.2778  
ABATEREA MEDIE PATRATICA DE SELECTIE: S = 1.6288  
ABATEREA MEDIE PATRATICA A POPULATIEI: SI = 1.6788

VAL. MEDIE = 40.3889  
ABATEREA MEDIE PATRATICA DE SELECTIE: S = 1.4240  
ABATEREA MEDIE PATRATICA A POPULATIEI: SI = 1.4774

VERIFICAREA NORMALITATII CU CRIT. COUSQU  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 2%

VERIFICAREA NORMALITATII CU CRIT. COUSQU  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 2%

D1 = 4877.40 D2 = 9082.60  
D = 8741.13  
SE VERIF. CRIT. 1  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 1%

D1 = 4877.40 D2 = 9082.60  
D = 8674.43  
SE VERIF. CRIT. 1  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 1%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.330P = .98  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 10%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.330P = .98  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 10%

D1 = 7263.20 D2 = 8837.60  
D = 8741.13  
SE VERIF. CRIT. 1  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 1%

D1 = 7263.20 D2 = 8837.60  
D = 8674.43  
SE VERIF. CRIT. 1  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 1%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.330P = .98  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 10%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.330P = .98  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 10%

Figura 49.

42.7 44.3 43.8 43.2 43.8 44.9 44.2 43.8 43.1 41.0  
43.7 42.1 43.3 43.6 43.8 44.0 40.3 46.8 0.0 0.0

32.4 31.7 31.9 33.6 34.1 49.1 49.7 50.8 50.3 51.4  
30.9 48.3 49.1 52.2 52.7 53.4 54.3 51.8 0.0 0.0

VALORILE PARAMETRELOR STATISTICE PRINCIPALI

VALORILE PARAMETRELOR STATISTICE PRINCIPALI

VAL. MEDIE = 43.7884  
ABATEREA MEDIE PATRATICA DE SELECTIE: S = 1.0974  
ABATEREA MEDIE PATRATICA A POPULATIEI: SI = 1.1289

VAL. MEDIE = 51.5000  
ABATEREA MEDIE PATRATICA DE SELECTIE: S = 1.7130  
ABATEREA MEDIE PATRATICA A POPULATIEI: SI = 1.7427

VERIFICAREA NORMALITATII CU CRIT. COUSQU  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 2%

VERIFICAREA NORMALITATII CU CRIT. COUSQU  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 2%

D1 = 4877.40 D2 = 9082.60  
D = 7443.46  
SE VERIF. CRIT. 1  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 1%

D1 = 4877.40 D2 = 9082.60  
D = 8237.55  
SE VERIF. CRIT. 1  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 1%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 12=2.330P = .98  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 10%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.330P = .98  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 10%

D1 = 7263.20 D2 = 8837.60  
D = 7443.46  
SE VERIF. CRIT. 1  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 1%

D1 = 7263.20 D2 = 8837.60  
D = 8237.55  
SE VERIF. CRIT. 1  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 1%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.600P = .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SIGNIFICATIE SI = 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 12=2.330P = .98  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 10%

SE VERIF. SI CRIT 2 .REPARTITIE NORMALA  
NR.DIF.DEPASITE = 02=2.330P = .98  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SIGNIFICATIE SI = 10%

Figura 51.

Figura 52.

11.7 49.1 52.3 54.4 51.7 51.3 52.4 53.7 54.3  
11.9 52.0 53.2 49.1 50.4 50.4 51.4 0.0 0.0

VALORILE PARAMETRILOR STATISTICE PRINCIPALI  
\*\*\*\*\*

VAL. MEDIE = 51.8000  
VALOREA MEDIE PATRATICA DE SELECȚIE S = 1.7091  
VALOREA MEDIE PATRATICA A POPULAȚIEI S1 = 1.7587

VERIFICAREA NORMALITĂȚII CU CRIT. COMPUȘ  
\*\*\*\*\*  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SEMNIFICATIE Q1= 2%

D1= 6877.40 D2= 9082.60  
D= 8256.33  
SE VERIF. CRIT. 1  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SEMNIFICATIE Q2= 1%

SE VERIF. SI CRIT 2 REPARTITIE NORMALA  
NR. DIF. DEPASITE= Q2=2.600P= .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SEMNIFICATIE Q2= 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 REPARTITIE NORMALA  
NR. DIF. DEPASITE= Q2=2.400P= .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SEMNIFICATIE Q2= 5%

SE VERIF. SI CRIT 2 REPARTITIE NORMALA  
NR. DIF. DEPASITE= Q2=2.330P= .98  
SE TESTEAZA CRIT. 1 PT. NIV. DE SEMNIFICATIE Q1=10%

Q1= 7243.20 D2= 8837.40  
D= 8256.33  
SE VERIF. CRIT. 1  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SEMNIFICATIE Q2= 1%

SE VERIF. SI CRIT 2 REPARTITIE NORMALA  
NR. DIF. DEPASITE= Q2=2.600P= .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SEMNIFICATIE Q2= 2%

SE VERIF. SI CRIT 2 REPARTITIE NORMALA  
NR. DIF. DEPASITE= Q2=2.600P= .99  
SE TESTEAZA CRIT. 2 PT. UN NIV DE SEMNIFICATIE Q2= 5%

SE VERIF. SI CRIT 2 REPARTITIE NORMALA  
NR. DIF. DEPASITE= Q2=2.330P= .98

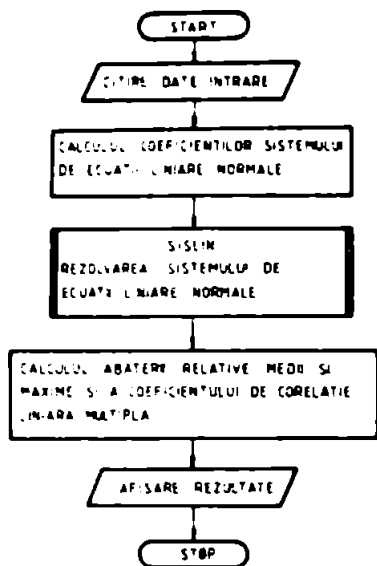
Figure 53.

#### 4.2. Verificarea corelațiilor $R_y = f(x)$

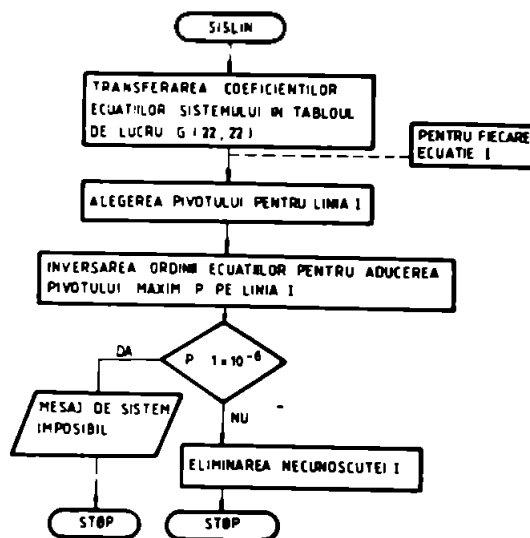
Rezultatele experimentale ale variației rezistenței la tracțiune funcție de mărimea restului de lipire obținute în tabelele 20, 21, 22 și 23 au permis emiterea ipotezei de corelație liniară.

Ipoteza a fost verificată cu ajutorul programului de calcul automat CORRELIM.

Program de calcul al Coeficienților Regresiiilor Liniare simple sau Multiple și al coeficienților de corelație corespunzători.



SCHEMA LOGICĂ DE PRINCIPIU A PROGRAMULUI CORELIN



SCHEMA LOGICĂ DE PRINCIPIU A SUBRUTINEI SISLIN

Figura 54.

NUMĂRUL	COEFICIENT	VALORILE
1	10	1.00
2	20	1.00
3	30	1.00
4	40	1.00
5	50	1.00
6	60	1.00
7	70	1.00
8	80	1.00
9	90	1.00
10	100	1.00
11	110	1.00
12	120	1.00
13	130	1.00
14	140	1.00
15	150	1.00
16	160	1.00
17	170	1.00
18	180	1.00
19	190	1.00
20	200	1.00

NUMĂRUL	COEFICIENT	VALORILE
21	210	1.00
22	220	1.00
23	230	1.00
24	240	1.00
25	250	1.00
26	260	1.00
27	270	1.00
28	280	1.00
29	290	1.00
30	300	1.00

COEFICIENTII POLINOMIILOR DE GRADUL 1

C 0 = 30.0000  
C 1 = -10.0000

ABATEREA RELATIVĂ MEDIE = 0.00000000  
ABATEREA RELATIVĂ MAXIMĂ = 0.00000000  
COEFICIENTUL DE CORELAȚIE LINIARĂ MULTIPLĂ = 0.00000000

COEFICIENTII POLINOMIILOR DE GRADUL 2

C 0 = 30.0000  
C 1 = 30.0000  
C 2 = 30.0000

ABATEREA RELATIVĂ MEDIE = 0.00000000  
ABATEREA RELATIVĂ MAXIMĂ = 0.00000000  
COEFICIENTUL DE CORELAȚIE LINIARĂ MULTIPLĂ = 0.00000000

Figura 56.

Figura 55.

Tot în cadrul acestui program se testează și corelația de tip parabolic.

Principalele etape ale programului sînt cuprinse în schema logică din figura 54. Programul apelaază a subrutină de rezolvare a Sistemelor liniare ale ecuațiilor algebrice a căror schemă logică de principiu este cuprinsă în figura 55.

Rezultatele prelucrării datelor din tabelele 20-23 cu acest program sînt cuprinse în figurile 56, 57, 58 și 59.

VARIABILA DEPENDENTA		VARIABILE INDEPENDENTE				
NR. LAP	Y	X1	X2	X3	X4	X5
1	40.0500					
2	37.9000	.10				
3	34.8000	.20				
4	34.9000	.30				
5	35.0000	.40				
6	32.5000	.50				
7	24.1000	.60				
8	20.0000	.70				
9	23.1000	.80				
10	20.8000	.90				
11	21.9000	1.00				
12	24.8000	1.20				
13	20.0000	1.30				

DOMENIUL EXPLOZAT  
X1 MIN= .10 MAX= 1.30

.....  
X1 X2 R X1.X2  
.....  
1 1 .1000000E+01  
.....

.....  
X1 R Y.X1  
.....  
1 1 .1000000E+01  
.....

COEFICIENTII POLINOMULUI DE GRADUL 1  
.....  
C 0 = 41.25770  
C 1 = -13.57144  
ABATEREA RELATIVA MEDIE = .49182E+01 X  
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .20224E+02 X  
IN PUNCTUL NR. 11  
Y = 21.9000  
X = 1.10  
COEFICIENTUL DE CORELATIE MULTIPLA R1 = .9037043E+00  
T1 = .700

366E+01  
S2Y1 = .48404E+01 S2Y = .37319E+02

COEFICIENTII POLINOMULUI DE GRADUL 2  
.....  
C 0 = 38.33211  
C 0 = 1 = -1.949047  
C 1 = -8.201694  
ABATEREA RELATIVA MEDIE = .44864E+01 X  
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .17999E+02 X  
IN PUNCTUL NR. 11  
Y = 21.9000  
X = 1.10  
COEFICIENTUL DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .9507944E+00  
T1 =

547  
902E+01  
S2Y1 = .48447E+01 S2Y = .41044E+02

Din prelucrarea automată a rezultatelor experimentale cu programul CORELIK se remarcă intensitatea corelațiilor liniare ale acestor date, relevate prin coeficienții de corelație liniară a căror valori sînt cuprinse între 0,85 - 0,95. În cadrul acestui program s-a efectuat și verificarea ipotezei unei corelații de tip parabolic, respectiv de coeficienții de corelație ale căror valori sînt inferioare celor de corelație liniară.

Din analiza prelucrării automate a datelor experimentale privind variația rezistenței la tracțiune în funcție de mărimea rostului de lipire a rezultat că variațiile sînt liniare descreștătoare conform experimentelor.

Figure 57.

NR. PUNTE	VARIABILA DEPENDENTA	VARIABILE INDEPENDENTE				
	Y	X1	X2	X3	X4	X5
1	41.2000	.10				
2	42.1000	.20				
3	37.0000	.30				
4	37.0000	.40				
5	38.0000	.50				
6	32.0000	.60				
7	31.5000	.70				
8	29.0000	.80				
9	28.2000	.90				
10	24.0000	1.00				
11	23.5000	1.10				
12	24.3000	1.20				
13	30.7000	1.30				

DIVERGENTIA EXP. GRAT  
 X1 MIN= .10 MAX= 1.30  
 X

```

*****
X1 X2 R X1,X2
*****
1 1 .1000000E+01
*****

X1 R Y,X1
*****
1 11 .9748744E+00
*****

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2
*****
C 0 = 44.88077
C 1 = -18.37913
ABATEREA RELATIVA MEDIU = .....
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .....
IN PUNCTUL NR. 10
Y = 24.0000
X = 1.00
COEFICIENTIA DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .....
Y1 = .181347E+02
R2YX = .26822E+01 R2Y = .00072E+02
*****

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2
*****
C 0 = 43.43449
C 1 = -14.39001
C 2 = -3.762723
ABATEREA RELATIVA MEDIU = .43758E+01
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .000000E+00
IN PUNCTUL NR. 10
Y = 24.0000
X = 1.00
COEFICIENTIA DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .96400E+00
Y1 = .1110647E+02
R2YX = .28021E+01 R2Y = .64428E+02
  
```

Figura 58.

NR. PUNTE	VARIABILA DEPENDENTA	VARIABILE INDEPENDENTE				
	Y	X1	X2	X3	X4	X5
1	42.1000	.10				
2	44.2000	.20				
3	39.0000	.30				
4	41.4000	.40				
5	38.4000	.50				
6	34.7000	.60				
7	37.0000	.70				
8	31.5000	.80				
9	31.2000	.90				
10	27.1000	1.00				
11	29.5000	1.10				
12	30.7000	1.20				

DIVERGENTIA EXP. GRAT  
 X1 MIN= .10 MAX= 1.30  
 X

```

*****
X1 X2 R X1,X2
*****
1 1 .1000000E+01
*****

X1 R Y,X1
*****
1 11 .9248532E+00
*****

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2
*****
C 0 = 47.29617
C 1 = -18.39813
ABATEREA RELATIVA MEDIU = .57432E+01
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .14841E+02
IN PUNCTUL NR. 13
Y = 20.1000
X = 1.30
COEFICIENTIA DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .92400E+00
Y1 = .184347E+02
R2YX = .34159E+01 R2Y = .61372E+02
*****

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2
*****
C 0 = 44.78224
C 1 = -7.92387
C 2 = -7.467531
ABATEREA RELATIVA MEDIU = .80072E+01
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .80072E+01
IN PUNCTUL NR. 13
Y = 20.1000
X = 1.30
COEFICIENTIA DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .928274E+00
Y1 = .851343E+01
R2YX = .48422E+01 R2Y = .47316E+02
  
```

Figura 59.

### 4.3. Verificarea existenței $R_2 = f(R_1)$

Rezultatele experimentale ale variației rezistenței la tracțiune funcție de rugozitatea suprafeței cu permis cauterizării ipotetice de corelație neliniară de tip parabolic, ipotetice respinse în urma prelucrării rezultatelor cu programul CORRELIM.



S-a emis apoi ipoteza unei corelații de tip exponențial ipoteză respinsă în urma calculului cu program specializat de calcul. S-a concluzionat testarea corelației de tip două drepte.

Rezultatele calculelor corelațiilor de acest tip sînt cuprinse în tabelul 38.

Ca exemplu privind modul de calcul al coeficienților dreptelor și punctului de intersecție se dă cazul  $R_p = f(R_{Cu})$  pentru lipire cu aliaj BCuZn.

Coeficienții corelației liniare de formă:

$$y = a + bx$$

Se calculează cu relațiile:

$$b = \frac{\sum y_i \sum x_i - n \sum y_i x_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2}$$

$$a = \frac{\sum x_i \cdot \sum y_i x_i - \sum x_i^2 \cdot \sum y_i}{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2}$$

TABELUL 38.

Valori experimentale		Coeficienții dreptelor				Coordonatele punctului de intersecție a dreptelor		
$X_1$	$Y_1$	$D_1$		$D_2$		$D_1$	$\varphi_1$	$D_2$
		$a_1$	$b_1$	$a_2$	$b_2$	X		Y
1	2	3	4	5	6	7		8
18,5	35	32,44	0,017	42,0	-0,022	102,8		3,7
26,3	60							
38,2	120							
35,4	240							
31,5	400							
29,5	600							

TABELUL 38 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8
33,8	35						
38,3	60						
40,5	120	35,66	0,055	44,56	-0,0021	117,0	42,1
36,1	240						
31,3	400						
29,8	600						
37,1	35						
39,7	60						
42,1	120	11,49	0,225	39,9	0,018	137,2	42,37
39,3	400						
35,1	400						
32,3	600						

Coefficientul de corelație se calculează cu relația:

$$r_{xy} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[ n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[ n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (4.4)$$

Coordonatele punctului de intersecție a dreptelor  $D_1$  și  $D_2$  se calculează cu relațiile:

$$X = \frac{a_1 - a_2}{b_2 - b_1} \quad Y = \frac{a_1 b_2 - a_2 b_1}{b_2 - b_1} \quad (4.5)$$

Utilizând datele din tabelul 24 conform relațiilor de mai sus se obțin :

Coefficienții dreptei  $D_1$  :

$$b_1 = \frac{112,6 \times 215 - 3 \times 8341}{(215)^2 - 3 \times 19.225} = 0,071$$

$$a_1 = \frac{215 \times 8341 - 19.225 \times 112,6}{215^2 - 3 \times 19.225} = 32,438$$

Coefficientul de corelație al dreptei  $D_1$  este:

$$r_1 = \frac{3 \times 8341 - 112,6 \times 215}{3 \times 19.225 - 46.225} = \frac{3 \times 4249,58 - 12.678,76}{-} = 0,91$$

Coeficienții dreptei  $D_2$  sînt:

$$b_2 = \frac{137,7 \times 1360 - 4 \times 43.924}{(1360)^2 - 4 \times 592.000} = 0,022$$

$$a_2 = \frac{1360 \cdot 43.924 - 592.000 \times 137,7}{(1360)^2 - 592.000 \times 4} = 42$$

Coeficientul de corelație al dreptei  $D_2$  este:

$$r_2 = \frac{4 \times 43.924 - 1360 \times 137,7}{4.592.000 - 1360^2} = \frac{4 \times 4811,19 - (137,7)^2}{-} = 0,05$$

Coordonatele punctului de intersecție calculate conform relațiilor menționate sînt:

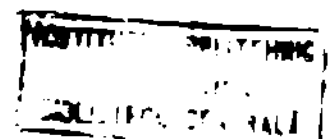
$$X = \frac{-42 + 32,44}{-0,022 - 0,071} = 102,79$$

$$Y = \frac{32,438(-0,022) - 42(0,071)}{-0,022 - 0,071} = 39,74$$

Din analiza corelațiilor liniare rezultă că rugozitatea care conferă valori maxime ale rezistenței la tracțiune se situează în toate cazurile testate în jurul valorii de  $120 \mu m$ .

#### 4.4. Verificarea corelațiilor $R_t = f(t)$

Rezultatele experimentale ale variației rezistenței la tracțiune în funcție de timpul de menținere peșt lipire cuprinse în tabelele 27 și 28 au evidențiat caracterul neliniar al corelațiilor confirmat și de testarea cu programul CORELIN, coeficienții de corelație liniară sau parabolică corespunzători avînd valori sub 0,8 așa cum reiese din figurile 60 și 61.



VARIABILA DEPENDENTA		VARIABILE INDEPENDENTE				
GR. EXP.	Y	X1	X2	X3	X4	X5
1	34,0000	1,00				
2	40,0000	0,00				
3	39,7000	10,00				
4	39,0000	20,00				
5	39,0000	30,00				

SUMA Y = 191,7000  
 SUMA X1 = 41,0000  
 SUMA X2 = 50,0000  
 SUMA X3 = 60,0000  
 SUMA X4 = 70,0000  
 SUMA X5 = 80,0000

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 1

C 0 = 37,7000  
 C 1 = -0,000000E-01  
 ADITIEA RELATIVA MEDIE = -0,0000E+00  
 ADITIEA RELATIVA MAXIMA = -0,0000E+00  
 IN FUNCTIA DE X1  
 Y = 34,0000  
 X = 1,00  
 COEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA R1 = -0,000000E+00  
 R1 = -0,000000E+00  
 R2 = -0,000000E+00  
 R3 = -0,000000E+00  
 R4 = -0,000000E+00  
 R5 = -0,000000E+00

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2

C 0 = 38,0000  
 C 1 = -0,000000E-01  
 C 2 = -0,000000E-02  
 ADITIEA RELATIVA MEDIE = -0,0000E+00  
 ADITIEA RELATIVA MAXIMA = -0,0000E+00  
 IN FUNCTIA DE X1  
 Y = 34,0000  
 X = 1,00  
 COEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA R2 = -0,000000E+00  
 R1 = -0,000000E+00  
 R2 = -0,000000E+00  
 R3 = -0,000000E+00  
 R4 = -0,000000E+00  
 R5 = -0,000000E+00

Figura 60.

VARIABILA DEPENDENTA		VARIABILE INDEPENDENTE				
GR. EXP.	Y	X1	X2	X3	X4	X5
1	30,1000	1,00				
2	43,1000	0,00				
3	43,7000	10,00				
4	43,0000	20,00				
5	43,0000	30,00				

SUMA Y = 202,9000  
 SUMA X1 = 41,0000  
 SUMA X2 = 50,0000  
 SUMA X3 = 60,0000  
 SUMA X4 = 70,0000  
 SUMA X5 = 80,0000

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 1

C 0 = 40,0713  
 C 1 = -0,770771E-01  
 ADITIEA RELATIVA MEDIE = -0,0000E+00  
 ADITIEA RELATIVA MAXIMA = -0,0000E+00  
 IN FUNCTIA DE X1  
 Y = 37,1000  
 X = 1,00  
 COEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA R1 = -0,000000E+00  
 R1 = -0,000000E+00  
 R2 = -0,000000E+00  
 R3 = -0,000000E+00  
 R4 = -0,000000E+00  
 R5 = -0,000000E+00

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2

C 0 = 38,0000  
 C 1 = -0,000000E-01  
 C 2 = -0,000000E-02  
 ADITIEA RELATIVA MEDIE = -0,0000E+00  
 ADITIEA RELATIVA MAXIMA = -0,0000E+00  
 IN FUNCTIA DE X1  
 Y = 30,1000  
 X = 1,00  
 COEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA R2 = -0,000000E+00  
 R1 = -0,000000E+00  
 R2 = -0,000000E+00  
 R3 = -0,000000E+00  
 R4 = -0,000000E+00  
 R5 = -0,000000E+00

Figura 61.

Considerind corelatie tip doua drepte, coeficientii calculati in relatiile prezentate anterior au condus la rezultatele cuprinse in tabelul 39.

Analiza corelatiilor tip 2 drepte releva ca incepind cu timpul de mentinere de 8 minute se obtin valori ridicate ale rezistentei la tractiune.

In continuare pentru rezultatele experimentale efectuate cu aliaj BCu pe oțeluri similare și disimilare în condițiile menținerii rugozității constante și varierii restului de lipire, timpului de menținere postlipire și a diferenței de conținut de carbon a probelor lipite, au fost efectuate verificările

TABELUL 30.

Valoriș experimentale		Coeficienții dreptelor				Coordonatele punctă lui de intersecție a dreptelor		
$X_1$	$Y_1$	$D_1$		$D_2$		$D_1$ X	$\theta_1$	$D_2$ Y
		$a_1$	$b_1$	$a_2$	$b_2$			
1,0	34,0							
8,0	40,5							
16,0	39,7	33,44	0,543	42,51	0,014	19,026		42,776
30,0	39,9							
100,0	39,9							
1,0	34,1							
8,0	42,1							
16,0	43,7	33,07	0,928	40,1	-0,0026	7,55		40,09
30,0	43,5							
100,0	43,8							

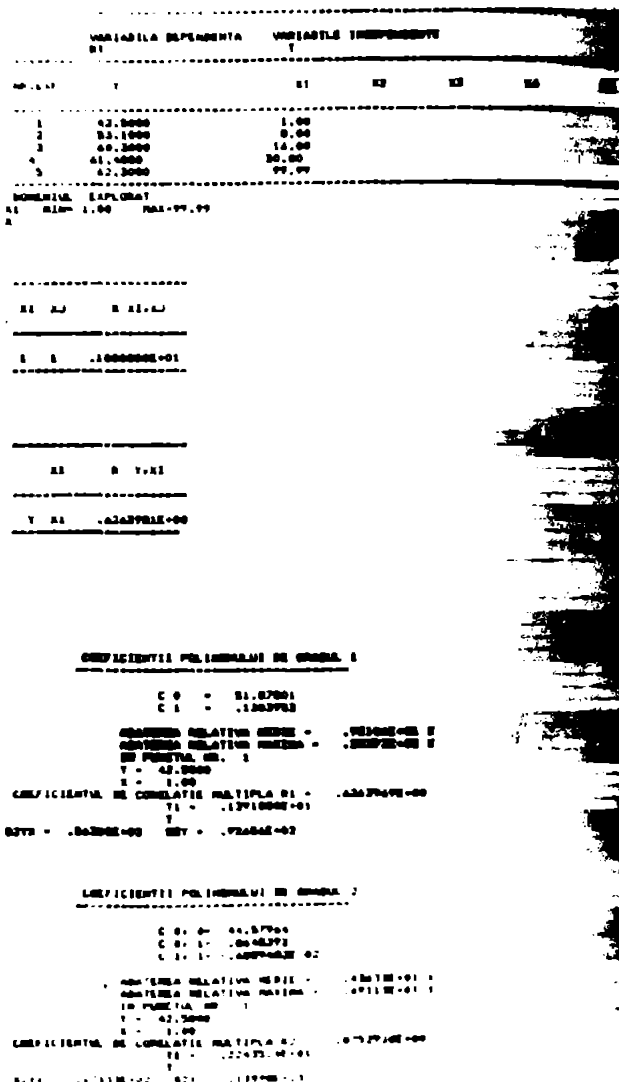


Figure 62.

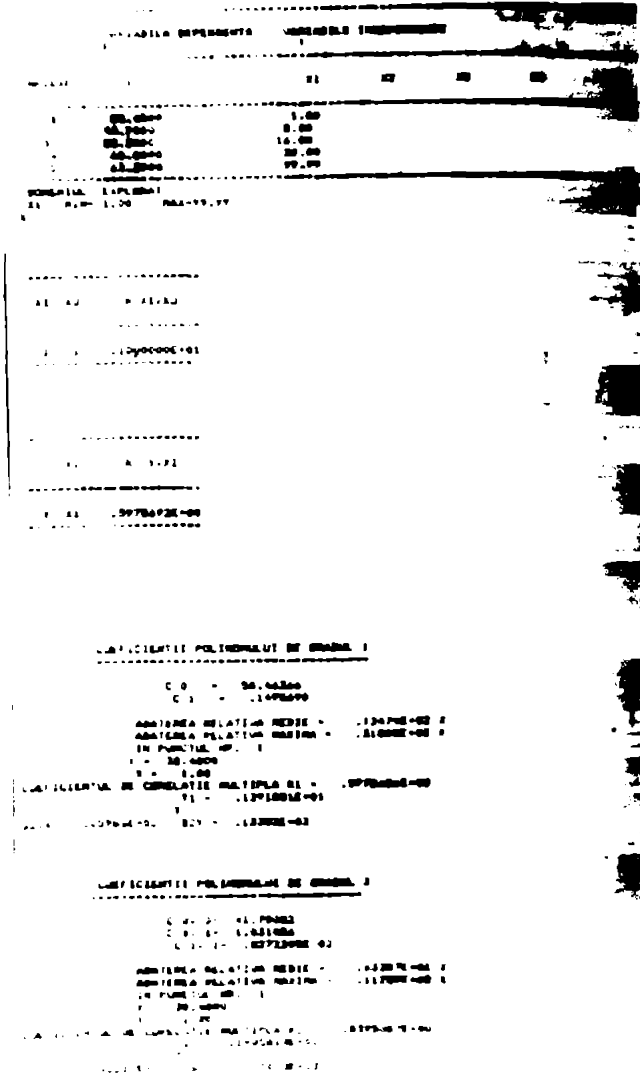


Figure 63.

VARIABILA DEPENDENTA		VARIABILE INDEPENDENTE				
NR. LUP	Y	X1	X2	X3	X4	X5
1	20.0000	1.00				
2	40.0000	8.00				
3	60.0000	16.00				
4	80.0000	24.00				
5	100.0000	32.00				

NUMARUL EXPLORAT  
X1 NIM= 1.00 MAX=99.99

X1 X2 R X1 X2

1 1 .1000000E+01

X1 R Y X1

Y X1 .7232427E+00

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 1

C 0 = 39.48926  
C 1 = .1444817

ABATEREA RELATIVA MEDIU = .92880E+01 %  
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .30040E+02 %  
IN PUNCTUL NR. 1  
Y = 20.0000  
X = 1.00

COEFICIENTUL DE CORELATIE MULTIPLA R1 = .7289442E+00  
T1 = .1024807E+01  
S1Y = .41247E+02 S2Y = .87227E+02

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2

C 0 = 32.30442  
C 0 1 = .8410804  
C 1 1 = -.2818994E+02

ABATEREA RELATIVA MEDIU = .17040E+01 %  
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .48284E+01 %  
IN PUNCTUL NR. 2  
Y = 40.0000  
X = 8.00

COEFICIENTUL DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .9081040E+00  
T1 = .731288E+01  
S1Y = .19444E+01 S2Y = .12804E+02

VARIABILA DEPENDENTA		VARIABILE INDEPENDENTE				
NR. LUP	Y	X1	X2	X3	X4	X5
1	20.0000	1.00				
2	40.0000	8.00				
3	60.0000	16.00				
4	80.0000	24.00				
5	100.0000	32.00				

NUMARUL EXPLORAT  
X1 NIM= 1.00 MAX=99.99

X1 X2 R X1 X2

1 1 .1000000E+01

X1 R Y X1

Y X1 .7819015E+00

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 1

C 0 = 40.81420  
C 1 = .1407824

ABATEREA RELATIVA MEDIU = .92880E+01 %  
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .30040E+02 %  
IN PUNCTUL NR. 1  
Y = 20.0000  
X = 1.00

COEFICIENTUL DE CORELATIE MULTIPLA R1 = .7819015E+00  
T1 = .1998808E+01  
S1Y = .42871E+02 S2Y = .70082E+02

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2

C 0 = 34.08874  
C 0 1 = .7871741  
C 1 1 = -.570488E+02

ABATEREA RELATIVA MEDIU = .1827E+01 %  
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .51247E+01 %  
IN PUNCTUL NR. 3  
Y = 60.0000  
X = 16.00

COEFICIENTUL DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .963125E+00  
T1 = .70920E+01  
S1Y = .15247E+01 S2Y = .11240E+02

VARIABILA DEPENDENTA		VARIABILE INDEPENDENTE				
NR. LUP	Y	X1	X2	X3	X4	X5
1	30.7000	1.00				
2	32.2000	8.00				
3	38.9000	16.00				
4	47.2000	24.00				
5	47.2000	32.00				

NUMARUL EXPLORAT  
X1 NIM= 1.00 MAX=99.99

X1 X2 R X1 X2

1 1 .1000000E+01

X1 R Y X1

Y X1 .7792224E+00

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 1

C 0 = 38.44428  
C 1 = .1449692

ABATEREA RELATIVA MEDIU = .86440E+01 %  
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .15922E+02 %  
IN PUNCTUL NR. 1  
Y = 30.7000  
X = 1.00

COEFICIENTUL DE CORELATIE MULTIPLA R1 = .7792224E+00  
T1 = .2180549E+01  
S1Y = .29014E+02 S2Y = .73981E+02

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2

C 0 = 29.67042  
C 0 1 = .7309991  
C 1 1 = .5499448E 02

ABATEREA RELATIVA MEDIU = .10427E+01 %  
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .79922E+01 %  
IN PUNCTUL NR. 3  
Y = 38.9000  
X = 16.00

COEFICIENTUL DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .9931972E+00  
T1 = .119449E+02  
S1Y = .75464E+00 S2Y = .11093E+03

VARIABILA DEPENDENTA		VARIABILE INDEPENDENTE				
NR. LUP	Y	X1	X2	X3	X4	X5
1	24.2000	1.00				
2	23.6000	8.00				
3	24.5000	16.00				
4	43.2000	24.00				
5	42.6000	32.00				

NUMARUL EXPLORAT  
X1 NIM= 1.00 MAX=99.99

X1 X2 R X1 X2

1 1 .1000000E+01

X1 R Y X1

Y X1 .6906222E+00

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 1

C 0 = 22.60444  
C 1 = .1289842

ABATEREA RELATIVA MEDIU = .10470E+02 %  
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .28164E+02 %  
IN PUNCTUL NR. 1  
Y = 24.2000  
X = 1.00

COEFICIENTUL DE CORELATIE MULTIPLA R1 = .6906222E+00  
T1 = .1678104E+01  
S1Y = .34307E+02 S2Y = .46902E+02

COEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2

C 0 = 24.84882  
C 0 1 = .7307228  
C 1 1 = .5746377E+02

ABATEREA RELATIVA MEDIU = .19047E+01 %  
ABATEREA RELATIVA MAXIMA = .46670E+01 %  
IN PUNCTUL NR. 2  
Y = 23.6000  
X = 8.00

COEFICIENTUL DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .9824244E+00  
T1 = .6426744E+01  
S1Y = .17466E+01 S2Y = .10842E+03

VARIABILA DEPENDENTA		VARIABILE INDEPENDENTE				
S1		T				
NO. S1	T	X1	X2	X3	X4	X5
1	24.1000	1.00				
2	31.5000	8.00				
3	39.9000	16.00				
4	47.3000	24.00				
5	54.7000	32.00				

REGISTRUL EXPLOAT  
S1 S10= 1.00 S11=99.99

---

S1 S2 R S1:S2

---

S1 S1 .100000E+01

---

S1 R Y:S1

---

T S1 .420078E+00

**CHEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 1**

C 0 = 30.20410  
C 1 = .701924E-01

ABATENA RELATIVA MEDIA = .10024E+02 E  
ABATENA RELATIVA MAXIMA = .26400E+02 E  
IN PUNCTUL NR. 1  
T = 24.1000  
X = 1.00

CHEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA S1 = .480707E+00  
T1 = .1422970E+01  
T  
S1S1 = .28662E+02 S1T = .43056E+02

**CHEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2**

C 0 = 25.18200  
C 0 1 = .6134701  
C 1 1 = .4910700E-02

ABATENA RELATIVA MEDIA = .28700E+01 E  
ABATENA RELATIVA MAXIMA = .70150E+01 E  
IN PUNCTUL NR. 1  
T = 24.1000  
X = 1.00

CHEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA S2 = .931977E+00  
T1 = .303600E+01  
T  
S1S1 = .43731E+01 S1T = .64284E+02

**Figura 68.**

VARIABILA DEPENDENTA		VARIABILE INDEPENDENTE				
S1		T				
NO. S1	T	X1	X2	X3	X4	X5
1	22.0000	1.00				
2	26.0000	8.00				
3	30.0000	16.00				
4	35.0000	24.00				
5	40.0000	32.00				

REGISTRUL EXPLOAT  
S1 S10= 1.00 S11=99.99

---

S1 S2 R S1:S2

---

S1 S1 .100000E+01

---

S1 R Y:S1

---

T S1 .740625E+00

**CHEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 1**

C 0 = 26.20713  
C 1 = .1891204

ABATENA RELATIVA MEDIA = .10024E+02 E  
ABATENA RELATIVA MAXIMA = .10707E+02 E  
IN PUNCTUL NR. 1  
T = 22.0000  
X = 1.00

CHEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA S1 = .740625E+00  
T1 = .194200E+01  
T  
S1S1 = .10000E+01 S1T = .48490E+00

**CHEFICIENTII POLINOMIALI DE GRADUL 2**

C 0 = 21.00000  
C 0 1 = .5991273  
C 1 1 = .6409221E-02

ABATENA RELATIVA MEDIA = .15227E+01 E  
ABATENA RELATIVA MAXIMA = .26070E+01 E  
IN PUNCTUL NR. 2  
T = 22.0000  
X = 0.00

CHEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA S2 = .999770E+00  
T1 = .117740E+02  
T  
S1S1 = .10000E+01 S1T = .68536E+02

**Figura 70.**

VARIABILA DEPENDENTA		VARIABILE INDEPENDENTE				
S1		T				
NO. S1	T	X1	X2	X3	X4	X5
1	1.0000	1.00				
2	1.0000	8.00				
3	1.0000	16.00				
4	1.0000	24.00				
5	1.0000	32.00				

REGISTRUL EXPLOAT  
S1 S10= 1.00 S11=99.99

---

S1 S2 R S1:S2

---

S1 S1 .100000E+01

---

S1 R Y:S1

---

T S1 .262074E+00

**CHEFICIENTII POLI...**

C 0 =  
C 1 =

ABATENA RELATIVA MEDIA =  
ABATENA RELATIVA MAXIMA =  
IN PUNCTUL NR. 1  
T = 22.0000  
X = 1.00

CHEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA =  
T1 =  
T  
S1S1 = S1T =

**CHEFICIENTII POLI...**

C 0 =  
C 0 1 =  
C 1 1 =

ABATENA RELATIVA MEDIA =  
ABATENA RELATIVA MAXIMA =  
IN PUNCTUL NR. 1  
T = 22.0000  
X = 1.00

CHEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA =  
T1 =  
T  
S1S1 = S1T =

**Figura 69.**

ipoteselor de corelație liniară, respectiv corelație parabolică prezentate în figurile 62-70, rezultatul corelației de tip neliniar parabolic pentru toate cazurile.

#### 4.5. Optimizarea proceselor tehnologice de lipire tare a oțelurilor carbon

Din experimentele întreprinse s-a constatat că rezistența la tracțiune a îmbinărilor lipite din oțeluri similare și disimilare cu aliaje BCn, BCnZn, BCnAgZnCa este dependentă de rostul de lipire, rugozitatea suprafeței, timpul de menținere la temperatură după lipire și diferența de conținut de carbon a oțelurilor de lipit. Experimentările întreprinse au demonstrat că în cazul utilizării aliajului tip BCn rezultatele au valori sporite ale rezistențelor la tracțiune mergând până aproape de limita rezistenței la tracțiune a materialelor de bază fapt pentru care la optimizarea proceselor tehnologice de lipire tare au fost alese rezultatele acestor experimentări.

De asemenea ținând seama că rugozitatea suprafeței de cea  $120 \mu$  m a condus la cele mai ridicate rezistențe la tracțiune a îmbinărilor lipite a fost aleasă drept constantă de proces.

Drept criteriu de optimizare se consideră valoarea maximă a rezistenței la tracțiune a îmbinărilor lipite de oțeluri carbon. S-a constatat din cele analizate în cadrul experimentărilor (urmare a studierii factorilor de influență) că în procesul de lipire tare, se pot considera drept variabile de decizie:

- r - mărimea rostului de lipire
- t - timpul de menținere post lipire
- $\Delta C$  - diferența conținutului de carbon a celor două oțeluri de lipit

În determinarea rezistenței la tracțiune,  $R_t$ .

Se alege ca relație funcțională între rezistența de tracțiune și variabilele de decizie, o funcție patrată de formă:

$$f(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^n b_i X_i + C = \frac{1}{2} X^T A \cdot x + b X^T + C$$



unde:

$n$  - este numărul punctelor experimentale

$A$  - este o matrice simetrică de dimensiuni  $n \times n$

Identificarea coeficienților  $a_{ij}$ ,  $b_1$ ,  $c$  ( $i, j=1..n$ ) se face conform metodei celor mai mici pătrate, în cadrul programului de calcul CORELYM, pe baza rezultatelor experimentale conținute în tabelele 29-37.

Se obține astfel conform figurii 71 funcția obiectivă:

$$R_t = 54,8 - 28,56r + 0,51t - 36,69 \quad c - 40,62.r^2 - \\ 0,08r.t + 42,6.r. \quad c - 0,0037.t^2 - 0,08t. \quad c + \\ + 1,96 \quad c^2 \quad (4.6.)$$

Adecvanta modelului obținut se testează cu testul  $F$  al lui Fisher:

$$F = \frac{\sqrt{ad^2}}{R_t^2} \quad (4.7)$$

unde dispersia adecvanțelor  $\sqrt{ad^2}$  se calculează cu relația:

$$\sqrt{ad^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{to} - R_{te})^2}{\sqrt{ad}} \quad (4.8)$$

unde:

$R_{to}$  - valoarea rezistenței la tracțiune calculată conform relației (4.6)

$R_{te}$  - valoarea rezistenței la tracțiune obținută experimental

$\sqrt{ad}$  - numărul gradelor de libertate, egal cu diferența între numărul de date experimentale folosite în corelare și numărul de constante de calcul

NR. LR	Y	X1	X2	X3	X4	X5
1	42.3000	.10	1.00	.11		
2	31.1000	.10	8.00	.11		
3	40.3000	.10	14.00	.11		
4	41.4000	.10	20.00	.11		
5	42.3000	.10	100.00	.11		
6	34.4000	.30	1.00	.11		
7	40.7000	.30	8.00	.11		
8	33.3000	.30	14.00	.11		
9	40.8000	.30	20.00	.11		
10	31.2000	.30	100.00	.11		
11	27.6000	.50	1.00	.11		
12	31.5000	.50	8.00	.11		
13	31.5000	.50	14.00	.11		
14	40.5000	.50	20.00	.11		
15	43.7000	.50	100.00	.11		
16	31.8000	.10	1.00	.40		
17	31.3000	.10	8.00	.40		
18	30.1000	.10	14.00	.40		
19	40.0000	.10	20.00	.40		
20	40.8000	.10	100.00	.40		
21	30.7000	.30	1.00	.40		
22	30.2000	.30	8.00	.40		
23	30.9000	.30	14.00	.40		
24	47.2000	.30	20.00	.40		
25	47.7000	.30	100.00	.40		
26	24.2000	.30	1.00	.40		
27	31.6000	.30	8.00	.40		
28	34.5000	.30	14.00	.40		
29	43.2000	.30	20.00	.40		
30	43.4000	.30	100.00	.40		
31	23.8000	.30	1.00	.05		
32	28.3000	.30	8.00	.05		
33	30.0000	.30	14.00	.05		
34	30.8000	.30	20.00	.05		
35	35.6000	.30	100.00	.05		
36	21.5000	.30	1.00	.05		
37	25.0000	.30	8.00	.05		
38	28.3000	.30	14.00	.05		
39	28.4000	.30	20.00	.05		
40	28.2000	.30	100.00	.05		
41	2.1000	.10	1.00	.05		
42	31.2000	.10	8.00	.05		
43	31.7000	.10	14.00	.05		
44	31.9000	.10	20.00	.05		
45	31.2000	.10	100.00	.05		

NUMERUL EXPLORAT  
 X1 MIN= .10 MAX= .30  
 X2 MIN= 1.00 MAX= 99.99  
 X3 MIN= .11 MAX= .33

MI	KJ	R MI,KJ
1	1	.1000000E+01
1	2	-.474442E-04
1	3	-.707271E-04
2	2	.1000000E+01
2	3	-.530434E-04
3	3	.1000000E+01

MI	R V,MI
V X1	-.4347241E+00
V X2	-.3279044E+00
V X3	-.628882E+00

COEFICIENTII POLINOMIALII DE GRADUL 1

C 0 = 24.0000  
 C 1 = -27.0000  
 C 2 = -10.0000  
 C 3 = -24.2000

ABATAREA RELATIVA MEDIE = .12900E+02  
 ABATAREA RELATIVA MAXIMA = .20100E+02

IN PUNCTUL NR. 40  
 Y = 24.1000  
 X = .10 1.00 .05

COEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .004700E+00

T1 = .000000E+01  
 T2 = .422227E+01  
 T3 = .007464E+01

SEV = .06712E+00 SEV = .12779E+00

COEFICIENTII POLINOMIALII DE GRADUL 2

C 0 0 = 54.02812  
 C 0 1 = -20.54250  
 C 0 2 = .5130615  
 C 0 3 = -24.47231  
 C 1 0 = -40.42300  
 C 1 1 = .7891844E-01  
 C 1 2 = 42.40927  
 C 2 0 = -.2478243E-02  
 C 2 1 = .8227154E-01  
 C 2 2 = 1.938072

ABATAREA RELATIVA MEDIE = .91174E+01  
 ABATAREA RELATIVA MAXIMA = .30387E+02

IN PUNCTUL NR. 10  
 Y = 30.1000  
 X = .10 14.00 .40

COEFICIENTII DE CORELATIE MULTIPLA R2 = .0779207E+00

T1 = .000272E+01  
 T2 = .457480E+01  
 T3 = .709407E+01

SEV = .04244E+00 SEV = .16144E+00

Figura 71.

$R_t^2$  - este dispersia datelor experimentale

Se obtine:

$$\sqrt{ad}^2 = 38,29$$

cu  $\gamma_{ad} = 42$  grade de libertate (conform figurii 71)

$$R_t^2 = 161,64$$

$$\gamma_{R_t} = 45$$

Rezultă că:

$$F = \frac{38,29}{161,64} = 0,24$$

Valoarea totală a raportului F corespunzătoare gradelor de libertate

$\gamma_{ad}$  și respectiv  $\gamma_{R_t}$  și

pragul de semnificație

$$\alpha = 0,05$$

este cuprinsă între 1,66 și 1,65. Deci valoarea F calculată este inferioară valorii F tabelate și în consecință modelul este adecvat.

Soluționarea problemei de extrem se obține în condițiile restrictive exprimate în relațiile:

$$0,06 \leq r \leq 0,5 \quad (4.9)$$

$$0,1 \leq \Delta c \leq 1,6$$

$$t > 0$$

Identificarea optimului  $X^*$  ( $r^*$ ,  $t^*$ ,  $\Delta c^*$ ) se face utilizând metoda căutării exhaustive pentru determinarea valorilor lui  $r^*$  și  $\Delta c^*$  și analitic pentru determinarea valorii optime a variabilei  $t$ . În consecință se efectuează secțiunea  $\Delta c = \text{const}$ , obținându-se valoarea maximă a rezistenței la tracțiune  $R_t = 60,3 \text{ daN/mm}^2$  pentru valorile  $r^* = 0,1 \text{ mm}$  și  $\Delta c^* = 0,11$  (respectiv  $0,85 - 0,11$ ).

TABELUL 40.

TABELUL 41.

$\Delta c = 0,85-0,11$			$\Delta c = 0,85-0,4$		
$r$ /mm/	$t$ /min/	$R_t$ /daN/mm <sup>2</sup> /	$r$ /mm/	$t$ /min/	$R_t$ /daN/mm <sup>2</sup> /
0,1	1	48,5	0,1	1	31,2
	8	52,6		3	42,4
	16	55,2		16	45,4
	30	60,0		30	46,64
	100	60,3		100	46,8
0,3	1	40,4	0,3	1	33,3
	8	43,6		3	36,7
	16	46,7		16	40,6
	30	51,0		30	39,2
	100	50,7		100	41,7
0,5	1	29,2	0,5	1	24,9
	8	32,1		3	27,8
	16	35,1		16	44,8
	30	37,2		30	34,3
	100	38,7		100	31,3

TABELUL 42.

$\Delta c = 0,85 - 0,85$								
$r$ /mm/	$r$ /min/	$R_t$ /daN/mm <sup>2</sup>	1	2	3	1	2	3
0,1	1	24,1	0,3	1	17,3	0,5	1	25,6
	8	26,8		8	21,7		3	28,6
	16	27,4		16	24,4		16	27,7
	30	23,7		30	27,4		30	35,1
	100	28,5		100	21,7		100	32,8

Introducând valorile obținute la  $c = 0,85-0,11$ ,  
 $r = 0,1 \text{ mm}$   $t = 100 \text{ min}$   $R_t = 60,3 \text{ daN/mm}^2$  în relația (4.6) se  
obține:

$$R_t = -0,04 t^2 + 0,5 t + 52,205$$

valoarea lui  $t^*$  se obține din relația:

$$\frac{\partial R}{\partial t} = -0,008 t + 0,5$$

de unde :  $t^* = \frac{0,5}{0,008} = 62,5 \text{ min}$

Valoarea optimă (maximă) a rezistenței la tracțiune  
a îmbinărilor lipite din oțel se obține deci din

$$R_t^* (r^*, t^*, \Delta c^*) = 67,83 \text{ daN/mm}^2$$

în următoarele condiții:

$$\begin{aligned} R_a^* &= 120 \text{ m} \\ r^* &= 0,1 \text{ mm} \\ t^* &= 62,50 \text{ min} \\ \Delta c^* &= 0,85 - 0,11\% \text{ C} \end{aligned}$$

De remarcat că punctul de optim  $X^*$  (0,1; 67,8; 0,11)  
este situat în interiorul domeniului fezabil delimitat de condi-  
țiile restrictive (4.9).

#### 4.6. Tehnologie optimizată de lipire tare a oțeluri- lor carbon

Elaborarea tehnologiei optimizate de lipire tare  
a oțelurilor carbon are ca scop realizarea unor piese din oțe-  
lari cu conținut ridicat de carbon dificil sau imposibil de  
sudat, cu configurație geometrică complicată urmărindu-se mări-  
rea rezistenței la tracțiune a îmbinărilor lipite, reducerea  
manoperei de prelucrare prin șabare a pieselor, mărire produc-

tivității de fabricare.

Parametrii tehnologici utilizați la lipire s-au stabilit pe baza experimentărilor întreprinse și a optimizării rezultatelor acestora următorii:

Temperatura de lipire: 1100 - 1150°C

Timp de menținere în timpul lipirii: 1 - 1,5 min.

(se va ține seama de gabaritul piesei, grosimea pereților)

Temperatura de menținere după lipire: 975-1000°C

Atmosfera de lucru din cuptor: vid  $10^{-1}$  -  $10^{-3}$  torr, atmosferă reductoare KHD.

La prelucrarea pieselor se vor obține:

- rugozitatea suprafețelor ca 120  $\mu$ m
- restul de lipire 0,06 - 0,1 mm.

Materialele de adăos: folie de cupru cu grosimea 0,06 - 0,1 mm

Materialele de bază. După cum a reieșit din experimentările întreprinse este necesar ca diferența de conținut de carbon dintre piesele de lipit să fie cât mai mare astfel încât prin difuzia carbonului de la oțelul cu conținut ridicat spre oel cu conținut scăzut de carbon să se formeze compusul intermetalic Fe-Cu-C care mărește rezistența îmbinării lipite.

În acest sens apar două posibilități de realizarea unor îmbinări între oțeluri disimilare:

- la lipirea efectivă a unor oțeluri disimilare,
- la lipirea unor oțeluri similare prin introducerea între cele două piese a unei piese intermediare (sub formă de platbandă) cu grosimea de 1 - 5 mm din oțel disimilar.

În baza rezultatelor obținute în cadrul experimentărilor întreprinse se concluzionează că tehnologia de lipire tare elaborată poate fi aplicată la realizarea unor piese din industria construcțiilor de mașini sau alte ramuri industriale pentru obținerea unor piese lipite de înaltă rezistență din oțeluri carbon.

#### 4.3. Concluzii

În vederea optimizării proceselor tehnologice de lipire tare a oțelurilor carbon au fost efectuate experimentări de lipire tare a oțelurilor similare și disimilare, în cuplul cu aliaje de lipire BCu, BCuZn și BCuAgZnCd variind mărimile: rosturilor de rugozității suprafeței, timpului de menținere după lipire, diferenței conținutului de carbon, a probelor lipite.

Asupra rezultatelor experimentale au fost efectuate următoarele verificări:

- verificarea normalității girurilor de rezultate, efectuată cu ajutorul criteriului compas (conf. GOST 8.207-76).

Rezultatele experimentale testate cu acest criteriu s-au încadrat în curba de normalitate Gauss în toate cazurile pentru nivele de semnificație 1,2,5% și în majoritatea cazurilor și pentru nivele de semnificație 10%.

- verificarea corelațiilor  $R_t = f(r)$ , ipoteza de corelație liniară a fost verificată cu ajutorul programului de calcul automat CORELIN, din prelucrarea datelor s-a remarcat intensitatea corelațiilor luiare (coeficienții de corelație cuprinsi între 0,85 - 0,95). Ipoteza de corelație neliniară de tip parabolic a fost respinsă.

- verificarea corelațiilor  $R_t = f(R_p)$  s-a efectuat prin calculul corelațiilor tip două trepte rezultând că rugozitatea care conferă valori mari ale rezistenței la tracțiune se situează în toate cazurile în jurul valorii de 120  $\mu$ m.

- verificarea corelațiilor  $R_t = f(t)$  pentru cazul lipirii cu aliaje BCuZn și BCuAgZnCd a fost testată prin calculul corelațiilor tip două trepte, rezultând creșterea rezistenței la tracțiune la timp de menținere de peste 8 minute;

Verificarea corelațiilor  $R_t = f(t)$  pentru lipirea cu aliaj BCu s-a efectuat cu programul CORELIN, rezultând pentru cazurile testate corelații neliniare de tip parabolic;

- Optimizarea proceselor tehnologice de lipire tare a oțelurilor carbon, a avut la bază programul de calcul CORELIM al corelației multiple al rezultatelor experimentale cuprinse în tabelele 29-37.

S-a obținut funcția obiectiv (4.6), i s-a testat adecvanta cu testul F al lui Fischer, s-au impus condițiile restrictive (4.9), identificându-se optimați prin metoda căutării exhaustive pentru determinarea valorilor lui F și c și analitic pentru determinarea valorii optime a variabilei t.

Optimul a fost determinat în punctul:

$$x^* (0,1; 62,5; 0,85-0,11).$$

- A fost elaborată o tehnologie optimizată de lipire tare a oțelurilor carbon.

## 5. CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PROBLEME DE VIITOR

Necesitatea asigurării economiei naționale cu mașini având performanțe tot mai ridicate competitive pe plan mondial cu greutate tot mai redusă și rezistențe mecanice superioare presupune realizarea din piese cu structuri alveolare, piese cu configurație geometrică complexă, piese bimetalice din materiale cu conținut ridicat de carbon difiциl sau imposibil de sudat. Realizarea acestora în multe din cazuri este posibilă prin procedee de lipire tare.

Pînă în prezent lipirea nu a fost utilizată la realizarea pieselor de rezistență și mai mult la îmbinări de etanșare, la lipirea plăcuțelor dure pe cuțitele de scule așchietoare. Insuficiența aplicare a procedeeilor de lipire tare la realizarea pieselor în construcția de mașini s-a datorat în special necunoașterii performanțelor procedeeilor de lipire și lipsei de echipamente specializate de lipire tare.

Pornind de la studii unei aplicații a procedeeilor de lipire pe baze empirice, în urma unor experimentări simple în cadrul lucrării se fundamentează științific fenomenele fundamentale care conduc la realizarea unei îmbinări lipite, factorii care contribuie la mărirea rezistenței îmbinărilor lipite. Prin experimentările întreprinse a fost posibilă stabilirea unei relații matematice a procesului din care au putut fi determinați parametri optimi în vederea obținerii unei rezistențe mecanice superioare a îmbinărilor lipite.

În baza lucrării elaborate se pot preciza următoarele considerații finale, contribuții originale și recomandări pentru viitor.



### 5.1. Consideratii finale

1. Lucrarea prezintă în capitolul I fenomenele fundamentale (măstarea, întinderea, capilaritatea difuzia) care conduc la realizarea îmbinărilor lipite.

2. Capitolul II al lucrării pune în evidență principalii factori care influențează rezistența mecanică a îmbinărilor lipite. Dintre aceștia cu influență semnificativă s-au remarcat:

- restul de lipire,  $r$ ,
- rugozitatea suprafeței,  $R_a$
- timpul de menținere post lipire:  $t$
- diferența în conținut de carbon a materialelor de bază:

$c$

3. Cercetările experimentale surprinse în capitolul III au urmărit să evidenționeze influențele factorilor menționați în cazurile lipirii oțelurilor carbon OL60, OLC10, OLC5A cu aliajele de lipire BCu, BCuSn, BCuAgZnCl. Rezistența la tracțiune ale probelor lipite ridicate s-au remarcat la lipirea oțelurilor disimilare (OLC10 - OLC5A) la temperatură ridicată 1150°C cu aliaj BCu și menținere la temperatură post lipire peste 8 minute.

4. Rezultatele experimentelor datorită volumului mare de calcul pe care-l implica prelucrarea lor statistică au fost testate prin calcul automat în baza unor programe specializate de calcul scrise în limbaj FORTRAN IV. Testările au arătat normalitatea rezultatelor, au fost verificate corelațiile liniare și neliniare de tip parabolic, precum și corelații de tip două drepte. În final în baza corelației multiple a factorilor a fost posibilă obținerea unei funcții obiectiv, căreia i s-a verificat adecvarea modelului cu testul F al lui Fisher. Soluționarea problemei de optim a fost obținută impunând condiții restrictive de rest, timp pozitiv și utilizarea oțelurilor carbon disimilare ca probe.

Identificarea optimului s-a făcut utilizând metoda căutării exhaustive pentru determinarea valorilor lui  $r$  și  $e$  și dualitate pentru determinarea valorii optime a timpului de menținere post lipire.

În aceste condiții s-a identificat un optim pentru:

- rugozitatea suprafețelor  $R_a = 120 \text{ } \mu\text{m}$
- restul de lipire  $r = 0,1 \text{ mm}$
- timpul de menținere post lipire  $t = 62,50 \text{ min.}$
- diferență de conținut de carbon a probelor lipite  $e = 0,05 - 0,11$

5. Rezultatele experimentelor întreprinse studiate cu ajutorul microsondei electronice au pus în evidență următoarele aspecte:

- difuzia elementelor la interfața oțel - aliaj de lipire cu trecere la limita grăunților;
- formarea unui compus intermetalic Fe-Cu-C care duce la mărirea rezistenței îmbinărilor lipite;
- compusul a fost pus în evidență și pe microscop cu metoda Nomarski ilustrând faptul că este un compus cu duritate relativ mai mare decât oțelurilor îmbinate.

6. În baza studiilor și experimentărilor întreprinse s-a elaborat o tehnologie optimizată de lipire tare a oțelurilor carbon cu aplicabilitate în realizarea pieselor pentru construcția de mașini.

### 5.2. Contribuții originale

Antorul consideră drept contribuții originale

a. Stabilirea unor corelații între rezistența la tracțiune a îmbinărilor lipite și mărirea resturilor de lipire ( $r$ ), rugozitatea suprafețelor ( $R_a$ ), timpul de menținere post lipire ( $t$ ) și diferența de conținut de carbon a materialelor de bază ( $e$ ), în baza programului experimental.

b. Evidențierea cu ajutorul microsondei electronice a transformărilor din îmbinările lipite, formarea compuzilor intermetalici.

c. Stabilirea pe baza programelor de calcul automat a normalității rezultatelor experimentale, verificarea corelațiilor liniare, neliniare de tip parabolic, a corelațiilor neliniare de tip două drepte și a corelației multiple care a condus la soluționarea problemei de optim.

d. Elaborarea de tehnologii de lipire tare a pieselor din oțel și oțel inoxidabil care au permis realizarea unor schimbătoare de căldură cu structură alveolară (din oțel inoxidabil și oțel carbon) pentru motoarele Diesel cu putere între 500 - 1500 CP, realizarea supapelor de faza pentru nave adiacente, precum și pentru realizarea unor repere ale autoturismelor OLICIT și ale locomotivelor Diesel electrice. Prin aplicarea în practică a cercetărilor întreprinse se estimează următoarele efecte economice: numai prin realizarea în țară a schimbătoarelor de căldură după tehnologia propusă rezultă o economie valutară de peste 200.000 \$/an.

### 5.3. Probleme de viitor

Problemele care se describ pe baza cercetărilor efectuate și apartului original adus sînt următoarele:

5.3.1. Cercetări pentru diminuarea defectelor în îmbinările lipite.

5.3.2. Cercetarea influenței temperaturilor ridicate și a temperaturilor scăzute asupra îmbinărilor lipite.

5.3.3. Cercetarea la obosală a îmbinărilor lipite.

5.3.4. Elaborarea unor metodeologii de optimizare a proceselor de lipire pentru alte cupluri de materiale.

**2.1.2.5. Reducerea în continuare a componentelor deficitare din aliajele de lipire, prin elaborarea de noi aliaje și studiul întezării elementelor deficitare în vederea menținerii calității îmbinărilor lipite.**

## C U P R I N S

### INTRODUCERE

#### 1. FENOMENE FUNDAMENTALE LA LIPIREA OTELURILOR CARBON

##### 1.1. Umeectarea

##### 1.1.1. Mărimea forțelor de legătură

##### 1.1.2. Tipurile de adsorbție care se produc la inter- fața metal în stare solidă și metal lichid

##### 1.1.3. Mecanismul umectării

##### 1.1.4. Stabilirea mărimii unghiului de contact

##### 1.1.5. Procesul de oxidare al suprafețelor de oțel carbon

##### 1.2. Intinderea

##### 1.3. Capilaritatea

##### 1.4. Lichuația

##### 1.5. Difuzia în procesul de lipire

##### 1.5.1. Dizolvarea metalului de bază în aliajul de lipire topit

##### 1.5.2. Migrația aliajului de lipire în metalul de bază

##### 1.5.3. Formarea compuşilor intermetalici

##### 1.6. Cristalizarea la lipire

##### 1.6.1. Formarea germeniilor

##### 1.6.2. Creșterea orientată a cristalelor

#### 2. FACTORII CARE INFLUENŢEAZĂ PROCESUL DE LIPIRE

##### 2.1. Factorii fizico-chimici

##### 2.1.1. Influența materialelor de bază

##### 2.1.2. Influența aliajelor de lipire

- aliajul BCu

- aliaje Cu-Zn (alame de lipire)

- aliaje cu conținut de argint

**2.1.3. Influența fluxului decapant sau atmosferei  
reducătoare**

- Fluxul decapant
- Atmosfera reducătoare

**2.1.4. Influența rugozității suprafeței**

**2.2. Factorii constructivi**

**2.2.1. Influența tipului îmbinării**

**2.2.2. Influența rostului de lipire**

**2.2.3. Influența mărimii suprafeței de lipit**

**2.3. Factorii tehnologici**

**2.3.1. Influența pregătirii suprafeței**

**2.3.2. Influența mediului deoxidant**

**2.3.3. Influența regimului tehnologic**

**3. CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND MĂRIREA REZISTENȚEI  
IMBINARILOR LIPITE**

**3.1. Obiective și metodică a cercetărilor experimentale**

**3.2. Alegerea materialelor pentru experimentări**

**3.2.1. Alegerea materialelor de bază**

**3.2.2. Alegerea materialelor de adăos**

**3.3. Experimentări în vederea evidențierii influențelor  
diferiților factori tehnologici asupra măririi resis-  
tenței la tracțiune a îmbinărilor lipite**

**3.3.1. Influența mărimii rostului de lipire**

**3.3.2. Influența rugozității suprafeței**

**3.3.3. Influența timpului de menținere**

**3.4. Analiza rezultatelor experimentale**

**3.5. Calculul difuziei intergranulare în îmbinările  
lipite**

**3.6. Concluzii**

#### **4. OPTIMIZAREA PROCESELOR TEHNOLOGICE DE LIPIRE TARE A OTELURILOR CARBON PENTRU OBTINEREA INELURILOR CU REZISTENȚA MARIȚĂ**

**4.1. Verificarea normalității girurilor de rezultate  
experimentale**

**4.2. Verificarea corelației  $R_t = f(r)$**

**4.3. Verificarea corelațiilor  $R_t = f(R_n)$**

**4.4. Verificarea corelațiilor  $R_t = f(t)$**

**4.5. Optimizarea proceselor tehnologice de lipire  
tare a oțelurilor carbon**

**4.6. Tehnologie optimizată de lipire tare a  
oțelurilor carbon**

**4.7. Concluzii**

#### **5. CONSIDERAȚII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PROBLEME DE VIITOR**

**5.1. Considerații finale**

**5.2. Contribuții originale**

**5.3. Probleme de viitor**

#### **BIBLIOGRAFIE**

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

1. CEAUȘESCU, N. Raport la cel de-al XIII-lea Congres al Partidului Comunist Român, Ed. Politică, București, 1984
2. DOBRESCU, L. Fenomene de suprafață la metale și aliaje București, Ed. Academiei, 1970
3. MARONKA, G. Stand der Theorie des Lötens und weitere Aufgaben in LIS - Mitteilungen 1977/4, p.466 - 476
4. DOLGOV, I. S. SIDORIN, I. U. F. Vaprosi formirovaniia painovo sva. Moskva, MIR, 1973
5. X X X Metalovedenie paiki Moskva Magistrovie, 1976
6. TRUSCULESCU, M. Studii metalelor București, Ed. Didactică și pedagogică, 1977
7. LASHKO, N. LASHKO, S. Brazing and Soldering of metals, Moscow MIR, 1979
8. BREDS, N. SCHWARTZBART, H. Metallurgy of bonding in brazed joints. Part. I. Base metal/filler metal interaction excluding compound formation, in : Welding Journal 1958/10, p.493-499
9. BREDS, N. SCHWARTZBART, H. Metallurgy of bonding in brazed joints. Part II Migration of the Filler Metal into the base Metal. IN : Welding Journal 1958/8, p.305-315
10. BREDS, N. SCHWARTZBART, H. Metallurgy of bonding in brazed joints. Part III The Role of Intermetallic Compounds in Brazed Joints, IN : Welding Journal 1960/2 p.49-56
11. MILLER, V. R. SCHNAECKER, A. E. Interfacial composition of Silver Filler Metals With copper, Brass and Steel, IN: Welding Journal 1978/10.



12. YOSHIDA, T. OHMURA, H. Dissolution and Deposit of Base Metal in Dissimilar Carbon Steel Brazing, IN : Welding Journal 1980/10
13. GERU, N. Metalurgie fizică. Institutul Politehnic București, 1980
14. GADEA, S. PETRESCU, M. Metalurgie fizică și studiul metalelor. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1979
15. ARUTIUNOV, Ia. Ișledovanie zabitnosti visoti pogiatia pri pisa ot valicini zamača pri paika, IN : Svarocinoc Proisvodstvo 1970/2
16. XIUMSYN, U. M. Poverhuostie ivalenia pri kristallisații paianih evov IN : Svarocinoc proisvodstvo 1970/1
17. ROBERTS, P. M. Early evolution of brazing I, IN : Welding and Metal Fabrication 1974/8 p.286 - 290
18. ROBERTS, P. M. Early evolution of brazing II, IN : Welding and metal Fabrication 1974/11 p.412-416
19. GEORGE, N. T. NATARAJAN, R. A new approach to the brazing of steel, in : Welding Journal 1979/10, p.39-40
20. MACKAY, C. A. Some science in the art of soldering in : Welding Journal 1979/6, p.37-47
21. VERMESAN, G. DIFUZIA Ed. Didactică - I. P. Cluj Napoca, 1980
22. SHERRON, P. G. DIFFUSION in solids McGraw-Hill, New York, 1973
23. SCHWARTZ, M. M. Modern Metal Jointing Technique John Wiley and Sons, New York, 1969
24. ROBERTS, P. M. Some copper-base brazing alloys and their uses in : Welding and Metal Fabrications 1974/1-p.14-20
25. KOSKAC, L. The physical and chemical properties of the filler materials for brazing and soldering in : Welding and Metal Fabrication 1976/4, p.294-295
26. X X X Materials - alloy types and fluxes in : Welding Journal 1972/8 , p.571-573

27. REAL, R.E. Filler metals and solders, IN : Welding Journal 1975/10, p.725-728
28. ROBERTS, P.M. Recent developments in cadmium free silver brazing alloys, IN : Welding Journal 1978/10, p.23-30
29. SIEMERT, T.A. Brass alloy spreading on steel IN : Welding Journal, 1978/2, p.31a - 37a
30. KAWAKATSU, I. OSAWA, T. Furnace brazing of steel with brass filler metal in : Welding Journal 1977/2, p.56-60
31. CERNOCH, W.J. ZIMMERMANN, W.J. Pastenlötten, eine neue wirtschaftliche Füge methode in der Massenfertigung: in: Schweißen und Schneiden 1973/7, p.245-246
32. MORETON, J. Copper and its alloys, flame hazards in welding, brazing and soldering in : Metal Construction 1977/1, p.33-34
33. X X X A key to brazing success in : Welding Engineer, 1974/4, p122-25
34. LAMPE, B.T. Room temperature against properties of some solder alloys, IN : Welding Journal 1976/10, p.330a - 340
35. TUTURKALIAZH, N. Pripoi s niskoi sprugostiu para, ne soderjajouie gragotennih metalov, IN : Svarocnoe Proizvodstvo, 1976/12, p.39-41
36. DUMITRESCU, T. Cercetări privind reducerea consumului de argint destinat lucrărilor de lipire prin înlocuirea unor aliaje pe bază de argint și reducerea argintului din unele aliaje. Memoria IBIM, 1976
37. DUMITRESCU, T. Îmbunătățirea tehnologiei de lipire tare a elementelor de radiator. Memoria IBIM?, 1977
38. SORTEA, S. Metale și aliaje neferoase de turnătorie, Ed. Seriaul Românească, Craiova, 1981
39. SADEA, S. PROTOPOPESCU, M. aliaje neferoase, Editura Tehnică București, 1965

40. X X X Brazing manual AWS, inc. Miami - Florida, 1976
41. BROKER, H.R. BEATSON, E.V. Industrial Brazing, London, 1975
42. X X X Guide de Soudage. Tome III Brasage et soudobrasage Paris, 1976
43. DUCROS, L. Le graissage, Ed. Baillier, Paris, 1970
44. ANDREWS, D.R. Soldering, brazing, welding and adhesives. Univ. of Aston Birmingham, England, 1968
45. X X X Metals Handbook, vol. 8
46. KOHLER, R. Standardisierte LÖte und Flussmittel in der DDR, in : Schweißtechnik 1976/8
47. WUICH, W. LÖten, Vogel-Verl. Wien 1972
48. BERESDORF, D. RÜBEL, W. Löttechnik für den Praktiker technisch-wissenschaftliche Abhandlung des Zentralinstitutes für Schweißtechnik der DDR, Halle, nr. 67/1978
49. SHEER, B.Sh. Issledovanie sostava gaza b proba pisanja in : Svarocinoe Proizvodstvo 1976/5, p. 54-56
50. PETRUKIN, O. O vlianii stepeni vakumirovaniia na sostavnost' propoav IN : Svarocinoe Proizvodstvo 1975/5 p. 19-21
51. Prospects ale firmelor:  
MESSER - GRIESHEIM, RPG  
SILOX - OGUSA - RPG  
JOHNSON - MATTEKY METALS LIMITED, SUA  
INTERWELD - AUSTRIA  
WALL COLMONOY - CANADA  
EUTECTIC CASTOLIN - ELVETIA
52. DUMITRESCU, T. Aliaje pentru lipirea oțelurilor, Referat nr. 1,
53. X X X Quelques applications intéressantes du brasage par capillarité aux alliages d'argent, IN : Pratique du soudage 1978/8, p. 142-46

54. SECOSAN, I. DUMITRESCU, T. Cercetări experimentale privind elaborarea unui aliaj cu conținut redus de argint și stabilirea cuplului aliaj de lipire, flux decapant pentru lipirea tare a reperelor de la locomotive Diesel și aparate electrice. Referat la Sesiunea de comunicări și referate științifice, ediția II-a Sântierul Naval Brăila, 1979
55. DUMITRESCU, T. NUSU, St. Dezvoltarea actuală a aliajelor cuaternare de lipire de tip Ag-Cu-InCd. Referat la Sesiunea pentru tineret 1980 - Timișoara
56. DUMITRESCU, T. Igiena surzii la locurile de lipire. Referat la sesiunea de comunicări Tehnologii actuale și de perspectivă, implicații tehnice și umane, Brașov, 1979
57. DUMITRESCU, T. SECOSAN, I. Considerente privind posibilitățile de reducere a consumului de argint pentru lipirea tare. Referat la Sesiunea de comunicări științifice Cîntarea României, ISIN 1978
58. BARANOVA, L.V. Latvanski propoi s napelnitelom dlia avtomatizatsionnoi paiki stali. IN : Avtomatizatskaja Svarka 1983/4, p.55-58
59. BELIAEV, V.N. Vysokotemperaturnaja paika nredi s niskonglerodistoi staliin, IN : Avtomatizatskaja Svarka, 1983/3, p.73-75
60. FEMIN, E.I. ZHURBA, A.F. Nekotorie tehnologičeskie svoistva berataih filinov IN : Avtomatizatskaja Svarka, 1973/4, p.27-29
61. STORCHAJ, E.I. Primenenie oničesko-encostnogo metoda dlia issledovania proțesa filinovanija IN : Svaroicnoe Proizvodstvo 1975/6, p.45-47
62. MOSEKOVA, G.E. OPARINA, R.A. Vlijanija filina na poverhnoșnee natiacenie pripoia IN : Svaroicnoe Proizvodstvo 1975/7, p.11-12

63. SCHILLINGER, D.E. ADDISON, H.J. Effect of fluxes on steel joints brazed with silver base filler metal, IN : Welding Journal 1976/10, p.302-308
64. KRELL, A. Kriterien zur Beurteilung von Hartlötlösungsmitteln, IN : Schweißtechnik 1970/8
65. NEKITESCU, C.D. Chimie generală, Ed. Tehnică, București, 1963
66. SECORSAN, I. DUMITRESCU, T. Studii asupra fluxuri decapante pentru lipirea țării a oțelurilor carbon și inoxidabile, Memoriu ISIM 1979-1980
67. OKAMOTO, I. Flow of Brazing Filler Metal and Flux in : Transaction of Japan Welding Research Institute 1975/2, p.105-107
68. RUBIN, W. Some recent advances in flux technology IN : Welding Journal 1982/10, p.39-44
69. X X X Brazing fluxes and atmospheres, IN : Welding Journal 1982/10, p.55-56
70. KAWAKATSU, I. OSANA, I. Furnace brazing of steel with brass filler IN : Welding Journal 1977/2, p.56-60a
71. VITKE, K.A. VERKHOSHKAIA, A. Materialines modelirovanie pri izmenenii kinetiki obrazovaniia paimovo soedineniia IN : Avtomaticheskaiia Svarka, 1975/8, p.31-33
72. X X XVIIlinnie ugleroda na strukturu i svoistva soedinenii paimarsh propoza - 1000 IN : Svarocinoe Proizvodstvo 1973/7, p.12-13
73. LASKO, S.V. Vibor criteriev opanki rastekmenosti propoia. IN : Avtomaticheskaiia Svarka, 1975/6, p.33-36
74. NINAR, V.I. LOTSHANOV, I. Osobnosti smolivania stalei propoiaimi pri nagreve v vakume. IN : Svarocinoe Proizvodstvo 1975/5- p.35-36
75. NICAUT, P. Les applications du braçage en construction de automobiles; IN : Soudage et Technique Connexe 1972/9-10, p.357-65

76. KAWAKATSU, I. OSANA, T. Wettability of silver brazing alloy for carbon Steel. IN : Transaction Japan Welding Society 1973/1, p.113-118
77. CRISTE, K.O. New technique for metal bonding and cleaning. IN : Welding Journal, 1972/12, p.599a - 601 a
78. KUHURICH, H. Löttechnischer Arbeitsschiebe, IN : KIS - Mitteilungen 1975/5 - p.359-366
79. ZIMMERMANN, K.Fr. Stand und Entwicklung Ständenzen des Hartlötens in Schweißen und Schneiden, 1972/9, p.357-360
80. SHAFIRO, A.E. KARAKOZOV, KH.S. Svoistvoeti haraktera razrugaia nekupiliarnih pallianih soedinenii ot tehnologii paiki stali latunim pripoem IN : Svarocinoe Proizvodstvo, 1979/4, p.27-29
81. NEUMANN, A. HITTMANN, B. Beitrag zur systematischen Gestaltung von Lötverbindungen, IN : Schweißtechnik, 1973/8, p.351-353
82. HULA, V. Einfluss der Lötbedingungen auf die Riegwechselfestigkeit von Lötverbindungen an hochfesten Stählen, IN: Schweißen und Schneiden 1976/4, p.121-125
83. HITTMANN, B. Die Bemessung der spaltbreite von Lötverbindungen IN : Schweißtechnik 1975/1, p.36-38
84. HUBEL, W. Einfluss von Grenzflächenreaktionen auf das Lötverfahren: IN : KIS - Mitteilungen 1973/4, p.363-69
85. SOLTAN, S. Löten von Stahl mit Kupfer unter Vakuum IN : Schweißtechnik 1978/9, p.393-397
86. LIRNIK, L.M. Vliianie vzaimovliasi teplofiziceschih parametrov raznorodnih materialov na precinosti Soedinenia pri ih paike, IN : Svarocinoe Proizvodstvo, 1972/6, p.4-5
87. BODSANOVA, V.V. LASCHKO, S.V. O himicheskoj neodnorodnosti pallianih sploev: IN : Svarocinoe Proizvodstvo 1964/4, p.10-12

88. MAHLER, W. Einfluss von Beimengungen in niedrigschmelzenden Hartloten auf Zugfestigkeit und Biegewinkel von Lötverbindungen Ausbildung von Zwischenschichten, Bruchverhalten, IN: Schweißen und Schneiden 1970/3, p.98-101
89. SAPIRSTKIN, I. HOWES, H.M. Mechanical properties of soldered joints in copper alloys. IN : Welding Journal 1969,/8, p.357-360
90. MEDVEDEVA, Yu.A. Massivanie grafitu i stali mednini pripolami, IN : Svarocinoe Proizvodstvo, 1973/7, p.35-36
91. WUICH, W. Festigkeitsverhalten von Kupferlötverbindungen IN: Schweißtechnik 1971/9, p.409-11
92. SERENSKIN, S.V. NACHVTOW, N.A. KAWAKATSU, I. Effectes of Surface preparations of Base Metal on the Brazed Joint Strength, IN : Transactions of the Japan Welding Society, 1972/1, p.77-82
93. SUEZANA, Yu. Investigation of Roughness Effects on the Tensile Strength of Brazed Joint. IN : Transaction of The Japan Welding Society 1972/9, p.17
94. SUEZANA, Yu. Effects of surface Roughness on the Fatigue Strength of Brazed Joint, IN : Transaction of the Japan Welding Society 1976/9, p.25
95. CHATFIELD, C.H. Fatigue Strength of Silver Alloy Brazed Joints in Steel, IN : Welding Journal 1958/1-p.37
96. BRZDZ, N. MILLER, F.M. Use of AWS standard shear test strength for evaluations brazing parameters in : Welding Journal 1968/10, p.481-96
97. SAVAGE, W.F. NIPPES, E.F. Intergranular Attack of Steel by molten copper. IN : Welding Journal 1978/1-p.9-16a
98. SAVAGE, W.F. NIPPES, E.F. Copper contamination cracking in the weld heat affected zone. IN : Welding Journal, 1978/5, p.145-152a

99. SCHILLINGER, D.R. ADDISON, H.I. Relationships among Brazing Defects and Brazing Conditions IN : Welding Journal 1975/10 p.321-329s
100. DUBOVIK, A.S. Primenenie svarnopajanih soedinenii v proberostruenii: IN : Svarocinoe Proizvodstvo 1975/12, p.25-26
101. KUBEL, W. Einfluss von Grenzflächenreaktionen auf das Lötverfahren, IN ZIS Mitteilungen, 1973/4, p.363-9
102. HEWITT, A.D. Technology of oxy-fuel gas processes I & II General principles involved in : Welding and Metal Fabrication 1972/p9, p.318-322, & 1973/10, p.347-350
103. BERTHEZ, P. Recherche d'un type d'essai caractérisant la fragilité des brasures, IN : Sondage et Technique Conexe, 1977/11-12, p.347-446
104. WOLF, H.J. Untersuchungen zum Erwärmungsverfahren von Rohr-Rohr-Lötverbindungen bei induktiver HF-Erwärmung, IN : Schweißtechnik 1972/8, p.367-369
105. BARFIELD, C.J. Vacuum brazing, IN : Welding and Metal Fabrication, 1968/8, p.280-84
106. RADZIVVHIY, V.M. LOTSMANOV, N. Palka v vakuumno niskelegirovanih stali, IN : Svarocinoe Proizvodstvo, 1972/11, p.26-27
107. BAKER, C.J. The application of vacuum brazing as a repair technique for aero-engine-components, IN : Welding Journal 1971/8, p.559-66
108. NOVAC, M.L. SCHNEZ, G. Induction brazing of turbine blades including evil design, IN : Welding Journal, 1971/8,
109. X I X The fundamentals of brazing design, p.13-14, IN : Welding Engineer 1974/p4.
110. OLSHENIKH, V.I. LEBKOV, Yu.A. Opredelenie dlin9 nablaski obrastov dlia neprotivleniia stress palarn9h soedinenii. IN: Svarocinoe Proizvodstvo 1975/5, p.39-40



111. IVANOVA, T.N. Complex fiziceskih svoystv rasplavov kak Kriterii svoystv pripoev, IN : Svarocnoe Proizvodstvo, 1972/1-p.5-6
112. JEFFERSON, T.B. Designing for better brazements. IN : Welding Engineer, 1974/4, p.9-11
113. DUMITRESCU, T. Elaborarea tehnologiei de lipire tare in vid a pieselor componente a elementelor de rulare din otel inoxidabil Memoria ISIM 1982
114. TAROATA, Gh. DUMITRESCU, T. Tehnologia sudur de lipire tare a elementelor de la echipamente hidraulice miniere. Memoria ISIM 1983.
115. LEBSCHIEDER, R. KOHN, K. Strength of High temperature Brazed Joints Influence of Brazing Parameters. IN : Welding Journal, 1979/10-p.296
116. GROSSER, V. KEMMER, . Vormontierung durch Presspassung beim Hochtemperaturschutzgaslöten von Stahl mit Kupferlot, IN: ZIS - Mitteilungen, 1979/4, p.386-93
117. BERNDORF, G. HUBEL, W. Schutzgaslöten ein hochproduktives Fertigungsverfahren, IN : Schweißtechnik 1980/3, p.109-111
118. BITTMANN, B. Erwierungsvergang beim Schutzgaslöten in Förderband in Förderbau - Hartlotlöten, IN : Schweißtechnik, 1975/8, p.342-345
119. RAPSCH, M. FRANZ, K. Hartloten unter Schutzgas in elektrisch beheizten Industrieöfen, IN : ZIS - Mitteilungen, 1973/4-p.438-453
120. COLAN, H. Cercetări privind influența și difuzia cuprului în oțeluri și aliaje fier-carbon sinterizate. Teză de doctorat, I.P.Ciuj, 1971
121. CONSTANINESCU, I. GOLUMBOVICI, D. MILITARU, C. Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice. Aplicații din construcții de mașini, Ed. Tehnică, 1980, București

122. SNIGELSKI, O. VOINAROSCHI, A. Optimizarea proceselor in industria chimică, Ed. Tehnică, 1978, București
123. TODORAN, I. Testarea matematică a datelor experimentale, Ed. Academiei RSR, București, 1976
124. SALAGEAN, T. Optimizarea proceselor de sudare, Curs bibliografat pentru studenți, Institutul Politehnic "Traian Vuia" 1984
125. SALAGEAN, T. Statistica in sudură. Buletin de informare, ODPT, nr.3, 1973
126. GLUCK, A. Metode matematice in industria chimică, Editura Tehnică București, 1971