

# **STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND LIMITAREA APARIȚIEI ȘI DEZVOLTĂRII EXCRESCENȚELOR DE TIP WHISKERS LA ALIAJELE DE LIPIRE PE BAZĂ DE STANIU**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica din Timișoara  
în domeniul INGINERIEI MATERIALELOR  
de către

**Mat. Georgiana Melcioiu**

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing. Viorel-Aurel Șerban  
Referenți științifici: Prof.univ.dr. Ion Mitelea  
Prof.univ.dr.ing. Mihail Constantin Mangra  
Prof.univ.dr.ing Mircea Horia Țierean

Ziua susținerii tezei: 25.04.2014

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Automatică                               | 9. Inginerie Mecanică                      |
| 2. Chimie                                   | 10. Știința Calculatoarelor                |
| 3. Energetică                               | 11. Știința și Ingineria Materialelor      |
| 4. Ingineria Chimică                        | 12. Ingineria sistemelor                   |
| 5. Inginerie Civilă                         | 13. Inginerie energetică                   |
| 6. Inginerie Electrică                      | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor                 |
| 8. Inginerie Industrială                    | 16. Inginerie și Management                |

Universitatea Politehnica Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul Școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2014

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
Tel./fax 0256 403823  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijin parțial din grantul strategic POSDRU/CPP107/DMI1.5/S/77265, ID 77265 cofinanțat din Fondul Social European "Investește în oameni", în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltare Resurse Umane 2007-2013. Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Ingineria Materialelor și Fabricației al Universității Politehnica Timișoara.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat Prof.Dr.Ing. Viorel-Aurel Șerban pentru sprijinul, suportul, disponibilitatea, timpul acordat și îndrumările pe care le-a oferit în tot acest timp de trei ani în care a fost elaborată lucrarea. Mulțumiri deosebite aduc comisiei de îndrumare pentru suportul acordat. Aduc mulțumiri deosebite și recunoștință D-l Ș.L. Dr.Ing. Codrean Cosmin pentru îndrumările, sugestiile și observațiile făcute atât la realizarea părții experimentale pe parcursul celor trei ani de activitate dar și la redactarea tezei. Mulțumiri speciale doresc să aduc pentru suportul acordat colegilor și profesorilor de la departamentul de Știința Materialelor și Fabricației de Universitatea Politehnica Timișoara.

Mulțumesc pentru coordonare, suport și sugestii lui Reader in Surface Engineering PhD.Eng. Geoffrey D. Wilcox dar și pentru acceptul în stagiu la Universitatea din Loughborough, UK. Mulțumiri deosebite și recunoștință doresc să aduc D-lui Research. PhD.Eng. Mark Ashworth de la Holywell Park Loughborough University Materials Degradation Centre pentru îndrumările acordate în perioada stagiului. Pentru lipirea prin reflow mulțumesc profesorului MSc PhD CEng SMIEEE MIOM3 MInstCT.Changqing Liu pentru tot suportul și toate îndrumările acordate dar și kolegi Liping Mo de la Mechanical and Manufacturing Engineering Loughborough University. De asemenea mulțumesc tehnicienilor de la Loughborough Materials Characterisation Centre (LMCC) pentru training-urile făcute în special tehnicianului PhD.Eng. Keith Yendall. Doresc să aduc mulțumiri pentru ajutorul acordat colegilor de la Holywell Park Loughborough University Materials Degradation Centre: Dan Haspel, Chris Shtuttle David Matthew Carrick, Jing Wang, Liang Wu.

Timișoara, Aprilie 2014

MELCIOIU Georgiana

Melcioiu, Georgiana

**Studii și cercetări privind limitarea apariției și dezvoltării excrescențelor de tip whiskers la aliajele de lipire pe bază de staniu**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 15, Nr. 12, Editura Politehnica, 2014, 182 pagini, 149 figuri, 23 tabele.

ISSN:2285-1720

ISSN-L:2285-1720

ISBN:978-606-554-831-2

Cuvinte cheie:

excrescențe whiskers, difuzie, oxidul de staniu, tensiuni interne, structură columnară, granulație fină, metoda melt spinning, reflow, lipire.

Rezumat,

Subiectul abordat în această lucrare este unul de real interes în industria electronică datorită efectelor devastatoare pe care prezența excrescențelor whiskers le poate produce în timpul funcționării echipamentelor electronice. Aceste excrescențe produc scurtcircuitarea PCB-urilor sau a componentelor electronice conducând la o serie de avarii întâlnite în majoritatea domeniilor industriale unde se folosesc circuite imprimate. Cele mai importante avarii produse de acestea au fost la: reactoare nucleare, sateliți, avioane militare, aparatură medicală, autovehicule, rachete și altele.

Din factorii care influențează creșterea excrescențelor whiskers se consideră a fi de un real interes: forma și mărimea grăunților, prezența compușilor intermetalici, a oxidului de staniu, formarea dislocațiilor și a tensiunilor interne. De aceea, pentru diminuarea creșterii excrescențelor whiskers se propune realizarea de noi aliaje pe bază de staniu, cu structuri metastabile, utilizând în acest sens metoda melt-spinning.

Datorită efectului negativ pe care aceste excrescențe îl reprezintă în diverse domenii industriale și analizând cele enunțate anterior se constată că tematica lucrării în cauză este de actualitate și prezintă un real interes atât pentru cercetătorii de specialitate din țară cât și pentru cei din străinătate



## Cuprins

|   |    |
|---|----|
| Notății, abrevieri, acronime .....  | 7  |
| Listă de tabele .....   | 9  |
| Listă de figuri .....   | 10 |
| Introducere .....   | 14 |
| 1 Lipirea componentelor electronice .....   | 16 |
| 1.1. Fenomene fundamentale ale procesului de lipire.....  | 16 |
| 1.1.1. Tensiunea și energia de suprafață.....   | 16 |
| 1.1.2. Umectarea și unghiul de contact.....   | 17 |
| 1.1.3. De-umectarea.....  | 19 |
| 1.1.4. Întinderea.....  | 19 |
| 1.1.5. .... Capilaritatea.....  | 20 |
| 1.1.6. Difuzia.....   | 22 |
| 1.1.7. Fluxurile.....   | 23 |
| 1.1.8. Formarea oxizilor și îndepărtarea acestora.....  | 23 |
| 1.2 Metodele utilizate pentru lipirea componentelor electronice.....                            | 24 |
| 1.2.1. Lipirea componentelor electronice cu ciocanul de lipit.....                              | 25 |
| 1.2.2. .... Lipirea în val.....   | 26 |
| 1.2.3. Lipirea prin reflow.....   | 28 |
| 1.3 Aliaje utilizate la lipirea componentelor electronice.....                                  | 30 |
| 1.3.1 Aliaje pe bază de plumb.....  | 30 |
| 1.3.2 Aliaje pe bază de staniu fără plumb.....  | 31 |
| 1.4 Defectele ce apar la îmbinările lipite.....   | 34 |
| 1.4.1. Defecte cauzate de procesul de lipire.....   | 34 |
| 1.4.2. Defecte cauzate de aliajul de lipire.....  | 39 |
| 1.5 Excrescențele whiskers.....   | 46 |
| 1.5.1. Definiție ,clasificări, avarii.....  | 46 |
| 1.5.2. Caracterizarea dimensională și statistică a excrescențelor<br>determinate.....           | 51 |
| 1.6 Concluzii.....  | 53 |
| 2 Factorii favorizanți ai apariției și creșterii excrescențelor whiskers.....                   | 54 |
| 2.1 Forma și mărimea grăunților.....  | 55 |
| 2.2 Difuzia și compușii intermetalici.....  | 56 |
| 2.3 Oxidul de staniu .....  | 59 |
| 2.4 Dislocațiile.....   | 61 |
| 2.5 Tensiunile interne.....   | 63 |
| 2.6 Concluzii.....  | 64 |
| 3 Obiectivele tezei.....  | 66 |
| 4 Cercetări privind elaborarea de noi aliaje pentru lipirea componentelor<br>electronice.....   | 68 |
| 4.1. Obținerea aliajului primar.....  | 66 |
| 4.2. Obținerea aliajelor prin metoda Melt Spinning. ....  | 69 |
| 4.3. Caracterizarea structurală benzilor obținute.....  | 72 |
| 4.4 Concluzii.....  | 79 |
| 5 Cercetări privind îmbinarea componentelor electronice cu aliajele de lipire<br>elaborate..... | 80 |
| 5.1 Materiale utilizate (aliaje de lipire și materiale de bază).....                            | 80 |
| 5.2 Procedeele și tehnologiile de lipire utilizate .....  | 82 |
| 5.2.1. Lipirea cu ciocanul de lipit.....  | 82 |
| 5.2.2 Lipirea prin reflow .....   | 83 |

## 6 Cuprins

---

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 5.3   | Caracterizarea structurală a îmbinărilor lipite realizate.....                                      | 87  |
| 5.3.1 | Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate prin microscopie optică.....                            | 87  |
| 5.3.2 | Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate utilizând microscopia electronică cu baleaj.....        | 95  |
| 5.3.3 | Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate prin difracții de raze X.....                           | 121 |
| 5.4   | Determinarea tensiunilor interne la îmbinările lipite.....  | 129 |
| 5.4.1 | Metoda de calcul .....  | 129 |
| 5.4.2 | Calculul tensiunilor interne la îmbinările lipite pe cupru...134                                    |     |
| 5.4.3 | Calculul tensiunilor interne la îmbinările lipite pe material de bază cupru acoperit cu staniu..... | 145 |
| 5.5   | Concluzii.....  | 154 |
| 6     | Simularea germinării și creșterii excrescențelor whiskers.....                                      | 156 |
| 6.1.  | Standarde de simulare și condiții de creștere a excrescențelor whiskers .....                       | 156 |
| 6.2.  | Condiții experimentale pentru germinarea și creșterea excrescențelor whiskers .....                 | 154 |
| 6.3.  | Determinarea excrescențelor whiskers la îmbinările lipite cu noi aliaje pe bază de staniu .....     | 157 |
| 6.4   | Concluzii.....  | 162 |
| 7     | Concluzii finale, contribuții originale și direcții viitoare de cercetare.....                      | 163 |
|       | Anexe .....   | 168 |
|       | Bibliografie .....  | 175 |

### Notații, abrevieri, acronime

$\alpha$  - unghiul de contact între lichid și suprafața solidă,  
 $\gamma_{LS}$ -tensiunea la interfața dintre stratul de lipire și aliajul lichid,  
 $\gamma_{LF}$  -tensiune de interfață între lichid și aliajul topit,  
 $\rho_L$  -densitatea aliajului lipit,  
 $\gamma_L$  tensiunea de suprafață,  
 $\gamma_M$  este tensiunea superficială a metalului,  
 $\gamma_{LM}$  -tensiunea superficială a stratului intermediar,  
 $\gamma_L$  -tensiunea superficială a stratului a topituri,  
 $\gamma$  -orientarea relatată a conductorilor,  
 $\lambda_{k0}$ -anticatodul,  
 $\sigma$  -tensiune de întindere,  
 $\nu$  -coeficientul lui Poisson  
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  -tensiunile principale exercitate de-a lungul axelor sistemului de referință,  
 $\sigma_{\psi, \varphi}$  și  $\sigma_{\varphi}$  -tensiuni,  
 $\Delta d/d_0$  micșorare relativă,  
 $\Delta l/l_0$  -mărirea relativă,  
 $2\theta$ -unghiul de difracție,  
 $A$  - constanta,  
 $a, b, E_a, d$  -constante dependente de material,  
 $a$ -factorul de accelerare a formării CAF,  
 $C$  -constanta de viteză,  
 $D_0$  - constantă de material,  
 $D_m$ -difuzivitatea staniului ajuns în punctul de topire,  
 $D_0$ -diametrul orientată pe direcția axei barei,  
 $d_{hkl}$ -distanța interplanară,  
 $d\theta$  -deplasarea unghiulară a maximelor liniilor de difracție,  
 $d_0, d_{\perp}$  și  $d_{\psi, \varphi}$  -distanțele interplanare,  
 $E_a$ = energia de activare,  
 $E$  modulul de elasticitate al materialului,  
 $\varepsilon_{ll}$  -creșterea relativă a lungimii,  
 $\varepsilon_{\perp}$  -micșorarea relativă a diametrului,  
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  -deformațiile principale de-a lungul axelor de referință,  
 $E$  energie de activare [kJ/mol],  
 $f$ -factorul de corecție al straturilor PCB-ului,  
 $g$ -constanta dependentă de umiditate,  
 $g$ -acelerația gravitațională ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  
 $h$ -înălțimea de ridicare a aliajului de lipire,  
 $H$ -energia de activare pentru difuzie,  
 $H$ -umiditatea,  
 $I$ - intensitatea curentului electric[mA],  
 $k$ - factorul de formă,

## 8 Notății, abrevieri, acronime

---

$k$  - Constanta lui Boltzman [kJ/K],  
 $\vec{k}$  și  $\vec{k}_0$  - planul vectorilor de undă,  
 $L$  - spațiu conductor,  
 $L_0$  -lungimea barei,  
 $m$  -panta drepteii,  
 $M$ -coținutul de umiditate,  
 $M_t$ -pragul coținutului de umiditate,  
 $m$ - factorul de accelerare a voltajului,  
 $n$ -factorul geometric de accelerare,  
 $n$ -număr întreg reprezentând ordinul de difracție,  
 $p_k$  -presiunea,  
 $r_1$  și  $r_2$  -raze de curbură,  
 $R$  -constanta gazelor,  
 $T_m$  -temperatura de topire [°C],  
 $t$  -timpul [s],  
 $T$  - temperatura absolută [K],  
 $U$ - tensiune aplicată [kV],  
 $V$ -voltajul,  
 $x$  - grosimea stratului intermetallic [mm],  
 $Xv_d$ - viteza tubului de raze [°/min],  
 $Z_i$  -zona de preîncălzire,  
 $Z_c$ -zona de contact,  
 $Z_o$ - zona de ieșire,  
 $Z_{pi}$ -zona de postîncălzire.

## Listă tabele

|  |     |
|--|-----|
| Tabel 1.1 Avarii cauzate de excrescențele whiskers .....   | 49  |
| Tabel 4.1 Temperaturile de topire ale aliajelor utilizate pentru lipire .....  | 78  |
| Tabel 5.1 Profilul termic utilizat la lipirea aliajelor .....  | 87  |
| Tabel 5.2 Distanțele interplanare pentru Sn <sub>99</sub> Ag <sub>0,3</sub> Cu <sub>0,7</sub> comercial netensionată ..  | 135 |
| Tabel 5.3 Distanțele interplanare pentru proba lipită cu ciocanul de lipit și pentru proba lipită prin reflow .....  | 136 |
| Tabel 5.4 Distanțele interplanare la Sn <sub>97</sub> Ag <sub>2,5</sub> Cu <sub>0,5</sub> la proba netensionată .....  | 137 |
| Tabel 5.5 Distanțele interplanare la aliajul Sn <sub>97</sub> Ag <sub>2,5</sub> Cu <sub>0,5</sub> lipit pe cupru .....   | 138 |
| Tabel 5.6 Distanțele interplanare pentru probe netensionată .....  | 139 |
| Tabel 5.7 Distanțele interplanare la lipirea pe cupru .....  | 139 |
| Tabel 5.8 Distanțele interplanare pentru proba netensionată .....  | 140 |
| Tabel 5.9 Distanțele interplanare pentru probele lipite pe cupru cu aliajul Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> .....                               | 141 |
| Tabel 5.10 Distanțele interplanare la proba netensionată .....   | 142 |
| Tabel 5.11 Distanțele interplanare pentru Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub> lipit pe cupru .....  | 142 |
| Tabel 5.12 Datele pentru calcularea tensiunilor interne la lipirea cu ciocanul de lipit pe cupru .....   | 144 |
| Tabel 5.13 Datele necesare pentru calculul tensiunilor interne la lipirea prin reflow pe cupru .....   | 144 |
| Tabel 5.14 Distanțele interplanare pentru Sn <sub>99</sub> Ag <sub>0,3</sub> Cu <sub>0,7</sub> comercial lipit pe material de bază cupru acoperit cu staniu..... | 146 |
| Tabel 5.15 Distanțele interplanare la lipirea pe cupru acoperit cu staniu .....  | 148 |
| Tabel 5.16 Distanțele interplanare la lipirea pe cupru acoperit cu staniu.....   | 149 |
| Tabel 5.17 Distanțele interplanare pentru Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> lipit pe cupru acoperit cu staniu.....                                | 151 |
| Tabel 5.18 Distanțele interplanare pentru lipirea pe cupru acoperit cu staniu.....   | 153 |
| Tabel 5.19 Datele necesare pentru calculul tensiunilor interne la lipirea cu ciocanul de lipit pe cupru acoperit cu staniu.....                                  | 153 |
| Tabel 5.20 Datele pentru calcularea tensiunilor interne la lipirea prin reflow pe cupru acoperit cu staniu .....   | 153 |
| Tabelul 6.1 Standard pentru creșterea excrescențelor whiskers.....   | 156 |

## Listă figuri

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1 Diagrama simplificată a energiei de suprafață.....  | 17 |
| Figura 1.2 Tensiunile de suprafață când lichidul umectează suprafața de contact.....                           | 18 |
| Figura 1.3 a) întinderea b)disoluția c)formarea compușilor intermetalici.....                                  | 18 |
| Figura 1.4 Înălțimea de umplere și presiunea capilarului cu aliaj în stare lichidă.....                        | 20 |
| Figura 1.5 Factorii care realizează o bună lipire.....   | 24 |
| Figura 1.6 Tipuri de component electronice.....  | 25 |
| Figura 1.7 Lipirea componentelor electronice cu ciocanul de lipit.....   | 26 |
| Figura 1.8 Principiul de lipire în val.....  | 26 |
| Figura 1.9 Principalele zone de operare ale unui wave.....   | 27 |
| Figura 1.10 Zonele de lucru și unghiurile de intrare.....  | 28 |
| Figura 1.11 Profilul termic la reflow .....  | 28 |
| Figura 1.12 Consecințele unui profil termic necorespunzător.....   | 29 |
| Figura 1.13 Lipire insuficientă.....   | 35 |
| Figura 1.14 Lipitură arsă.....   | 35 |
| Figura 1.15 Lipituri reci.....   | 36 |
| Figura 1.16 Bile de aliaj.....   | 36 |
| Figura 1.17 a) Exemplu de de-umectare b) Exemplu de ne-umectare.....   | 37 |
| Figura 1.18 Piatră de mormânt.....   | 37 |
| Figura 1.19 Punți de aliaj.....  | 38 |
| Figura 1.20 Lipituri cu fisuri.....  | 38 |
| Figura 1.21 Lipitură cu exces.....   | 39 |
| Figura 1.22 Ciurma staniului.....  | 39 |
| Figura 1.23 Transformările alotropice ale staniului.....   | 40 |
| Figura 1.24 CAF la microscopul optic.....  | 41 |
| Figura 1.25 Reprezentarea schematică a formării CAF.....   | 41 |
| Figura 1.26 Imaginea SEM a unui CAF.....   | 44 |
| Figura 1.27 Imagini SEM la dendrite.....   | 45 |
| Figura 1.28 Dendritele.....  | 45 |
| Figura 1.29 Exemple cu excrescențe whiskers la componentele electronice.....                                   | 47 |
| Figura 1.30 Excrescențe whiskers la pedala de accelerație la Toyota Camry modelul din 2005.....                | 48 |
| Figura 1.31 Tipuri de excrescențe whiskers.....  | 49 |
| Figura 1.32 Modalitatea de vizualizare a excrescențelor whiskers.....  | 50 |
| Figura 1.33 Excrescențe whiskers la conector respectiv la condensator.....                                     | 51 |
| Figura 1.34 Picioruș de circuit integrat de tip QFP împărțit pe segmente.....                                  | 52 |
| Figura 1.35 Excrescențe whisker determinate la piciorușul unui circuit integrat în segmentele B și D.....      | 52 |
| Figura 1.36 Determinarea lungimii excrescențelor whiskers.....   | 53 |
| Figura 2.1 Factorii care influențează creșterea excrescențelor whiskers .....                                  | 54 |
| Figura 2.2 Factorii care influențează creșterea excrescențelor whiskers care depind de aliajul de lipire ..... | 55 |
| Figura 2.3 Creșterea excrescențelor whiskers influențată de structura columnară.....                           | 56 |
| Figura 2.4 Structura unui compus intermetalic comparată cu structura unui aliaj.....                           | 56 |

## 11 Listă figuri

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.5 Secțiunea transversală a unui whiskers care crește datorită compușilor intermetalici.....                                       | 57 |
| Figura 2.6 Simularea evoluției tensiunilor la Sn la o structură columnară cu compuși intermetalici.....                                    | 58 |
| Figura 2.7 Imagini FIB.....  | 59 |
| Figura 2.8 Structura oxidului stanos (SnO).....  | 60 |
| Figura 2.9 Structura oxidului stanic (SnO <sub>2</sub> ).....  | 60 |
| Figura 2.10 Influența oxidului de staniu și creșterea excrescențelor whiskers.....   | 61 |
| Figura 2.11 Creșterea excrescențelor whiskers și dislocațiile.....   | 62 |
| Figura 2.12 Dislocațiile și tipul de excrescențe whiskers.....   | 62 |
| Figura 2.13 Imagini FIB și dislocațiile.....   | 63 |
| Figura 2.14 Factorii termodinamici care determină creșterea excrescențelor whiskers.....   | 63 |
| Figura 2.15 Tensiunile interne și excrescențele whiskers.....  | 64 |
| Figura 3.1 Obiectivele tezei.....  | 67 |
| Figura 4.1 Echipament prin inducție pentru realizarea aliajelor primare.....   | 68 |
| Figura 4.2 Aliaj primar și cochilă pentru obținerea aliajului primar.....  | 69 |
| Figura 4.3 Principiul metodei Melt-Spinning.....   | 69 |
| Figura 4.4 Instalație de realizare a benzilor.....   | 70 |
| Figura 4.5-Benzile obținute.....   | 71 |
| Figura 4.6 Benzile obținute.....   | 72 |
| Figura 4.7 Microscopul electronic utilizat.....  | 72 |
| Figura 4.8-Imagini SEM ale benzilor obținute.....  | 73 |
| Figura 4.9 Imagini SEM.....  | 73 |
| Figura 4.10 Echipamentul de difracție de raze X Dron.....  | 74 |
| Figura 4.11 Difracțiile de raze X pentru.....  | 75 |
| Figura 4.12 Difracțiile de raze X pentru:.....   | 76 |
| Figura 4.13 Echipamentul utilizat pentru analizele DSC.....  | 77 |
| Figura 4.14 Analiză calorimetrică diferențială.....  | 78 |
| Figura 5.1 Schema de principiu a galvanizării.....   | 80 |
| Figura 5.2 Stand pentru galvanizare.....   | 81 |
| Figura 5.3 Probe obținute prin depunere galvanică.....   | 82 |
| Figura 5.4 Ciocan de lipit.....  | 83 |
| Figura 5.5 Cuptor de lipire prin reflow.....   | 84 |
| Figura 5.6 Profilul termic la temperatura de 270°C.....  | 85 |
| Figura 5.7 Profilul termic la 290°C cu timpul de menținere de 30s.....   | 85 |
| Figura 5.8 Profilul termic la temperatura de 290°C cu timpul de menținere de 1 min.....  | 86 |
| Figura 5.9 Microscope optice.....  | 88 |
| Figura 5.10 Imagini la microscopul optic la lipirea cu ciocanul de lipit.....  | 89 |
| Figura 5.11 Lipirea prin reflow pe cupru la aliajul comercial b) lipirea prin reflow pe cupru acoperit cu staniu la aliajul comercial..... | 89 |
| Figura 5.12 Microscopie optică lipire manuală cu aliaj de Sn <sub>94</sub> Cu <sub>4</sub> Ni <sub>2</sub> .....                           | 90 |
| Figura 5.13 Imagini obținute prin microscopie optică la lipire.....  | 91 |
| Figura 5.14 Imagini la microscopul optic la aliajul Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> lipit manual.....                     | 91 |
| Figura 5.15 Imaginile la microscopul optic la lipirea prin reflow pentru aliajul Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Co <sub>3</sub> .....    | 92 |
| Figura 5.16 Imaginile la microscopul optic la lipirea manuală pentru aliajul Sn <sub>97</sub> Ag <sub>2,5</sub> Cu <sub>0,5</sub> .....    | 93 |
| Figura 5.17 Imagini la microscopul optic la aliajul Sn <sub>97</sub> Ag <sub>2,5</sub> Cu <sub>0,5</sub> la lipirea prin reflow.....       | 93 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 5.18 Imagini la microscopul optic pentru aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ lipit manual .....                                  | 94  |
| Figura 5.19 Imagini la microscopul optic pentru lipirea prin reflow pentru aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ .....                    | 95  |
| Figura 5.20 Echipament de acoperire a probelor cu aur și probele după ce au fost acoperite .....   | 95  |
| Figura 5.21 Microscopul Carl Zeiss .....   | 96  |
| Figura 5.22 EDS Mapping pentru aliajul $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial lipit manual pe cupru .....                        | 97  |
| Figura 5.23 EDS Mapping pentru aliajul $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial lipit pe cupru acoperit cu staniu .....            | 98  |
| Figura 5.24 EDS Mapping pentru aliajul $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial lipit pe cupru prin reflow.....                    | 99  |
| Figura 5.25 EDS Mapping pentru aliajul $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial lipit pe cupru acoperit cu staniu prin reflow..... | 100 |
| Figura 5.26 EDS Mapping la aliajul $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ lipit pe cupru cu ciocanul de lipit ....                                 | 101 |
| Figura 5.27 EDS Mapping la aliajul $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ lipit pe cupru acoperit cu staniu cu ciocanul de lipit .....             | 102 |
| Figura 5.28 Imagini EDS Mapping la lipirii prin reflow la $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ pe Cu.....  | 103 |
| Figura 5.29 EDS Mapping la aliajul de $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ lipit pe cupru acoperit cu staniu prin reflow.....                    | 104 |
| Figura 5.30 EDS Mapping la $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ lipit manual pe Cu .....   | 105 |
| Figura 5.31 EDS Mapping la $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ lipit manual pe cupru acoperit cu staniu ..                                      | 106 |
| Figura 5.32 Mapping la lipirea prin reflow pe Cu.....  | 107 |
| Figura 5.33 Mapping la lipirea prin reflow pe cupru acoperit cu staniu la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ .....                     | 108 |
| Figura 5.34 Mapping la $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ lipit manual pe Cu.....  | 109 |
| Figura 5.35 Mapping la $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ lipit manual pe cupru acoperit cu staniu.....                                | 109 |
| Figura 5.36 Mapping la aliajul de $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ la lipirea prin reflow pe Cu .....                                | 110 |
| Figura 5.37 Mapping la aliajul de $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ la lipirea prin reflow pe cupru acoperit cu staniu .....          | 111 |
| Figura 5.38 EDS Mapping la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ lipit pe Cu manual .....   | 112 |
| Figura 5.39 EDS Mapping la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ lipit pe cupru acoperit cu staniu manual.....                            | 113 |
| Figura 5.40 EDS Mapping la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ lipit pe Cu prin reflow .....  | 114 |
| Figura 5.41 EDS Mapping la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ lipit pe cupru acoperit cu staniu prin reflow.....                       | 114 |
| Figura 5.42 EDX la lipirea cu ciocanul de lipit cu aliajul $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ .....                                    | 115 |
| Figura 5.43. EDX la lipirea prin reflow cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial .....  | 116 |
| Figura 5.44. EDX la lipirea cu ciocanul de lipit cu aliajul $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ .....   | 116 |
| Figura 5.45 EDX la îmbinările lipite cu aliajul $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ prin reflow.....  | 117 |
| Figura 5.46 EDX la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ lipit manual.....  | 118 |
| Figura 5.47 EDX la lipirea prin reflow la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ .....   | 118 |
| Figura 5.48 EDX la lipirea manuală la aliajul $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ .....   | 119 |
| Figura 5.49 EDX la aliajul $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ lipit prin reflow.....   | 120 |
| Figura 5.50 EDX la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ lipit manual.....  | 120 |
| Figura 5.51 EDX la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ lipit prin reflow .....  | 121 |
| Figura 5.52 Difractometrul D2 PHASER Bruker.....   | 122 |
| Figura 5.53 Difracții de raze X la aliajul $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial lipit cu ciocanul de lipit .....               | 123 |
| Figura 5.54. EDX la lipirea prin reflow cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial .....  | 123 |
| Figura 5.55 Difracții de raze X la aliajul $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ lipit manual .....   | 124 |



### 13 Listă figuri

---

|   |     |
|---|-----|
| Figura 5.56 Difrakții de raze X la $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ la lipirea prin reflow .....                            | 125 |
| Figura 5.57 X-Ray la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ lipit manual .....  | 125 |
| Figura 5.58 X-Ray la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ lipit prin reflow .....                                       | 126 |
| Figura 5.59 X-Ray la aliajul $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ lipit manual .....                                    | 127 |
| Figura 5.60 Difrakții de raze X la aliajul $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ lipit prin reflow .....                 | 127 |
| Figura 5.61 Difrakții de raze X la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ lipit manual.....                               | 128 |
| Figura 5.62 Difrakții de raze X la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ lipit prin reflow .....                         | 129 |
| Figura 5.63 Bara metalică .....   | 130 |
| Figura 5.64 Elipsoidul tensiunilor .....  | 132 |
| Figura 5.65 a) Difrakțiile pentru starea de tensiune pentru:.....   | 135 |
| Figura 5.66 Difrakțiile pentru starea de tensiune pentru:.....  | 137 |
| Figura 5.67 Difrakțiile pentru starea de tensiune pentru:.....  | 139 |
| Figura 5.68 Difrakțiile pentru starea de tensiune pentru: .....   | 140 |
| Figura 5.69 Difrakțiile pentru starea de tensiune pentru: .....   | 142 |
| Figura 5.70 Histogramele la lipirea pe cupru cu .....   | 145 |
| Figura 5.71 Difrakțiile pentru starea de tensiune pentru:.....  | 146 |
| Figura 5.72 Difrakțiile pentru starea de tensiune pentru: .....   | 147 |
| Figura 5.73 Difrakțiile pentru starea de tensiune pentru: .....   | 149 |
| Figura 5.74 Difrakțiile pentru starea de tensiune pentru:.....  | 150 |
| Figura 5.75 Difrakțiile pentru starea de tensiune pentru: .....   | 151 |
| Figura 5.76 Histogramele tensiunilor interne la lipirea pe cupru acoperit cu staniu .....   | 154 |
| Figura 6.1 Incubator pentru accelerarea excrescențelor whiskers .....   | 157 |
| Figura 6.2 Excrescențe whiskers la $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial la lipirea prin reflow pe cupru ..... | 158 |
| Figura 6.3 Excrescențe whiskers la $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial la lipirea cu ciocanul de lipit ..... | 158 |
| Figura 6.4 Excrescențe whiskers la $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ lipit prin reflow pe cupru .....                        | 159 |
| Figura 6.5 Excrescențe whiskers la aliajul $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ la lipirea cu ciocanul de lipit pe Cupru .....  | 160 |
| Figura 6.6 Excrescențe whiskers la aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ la lipirea cu ciocanul de lipit pe cupru .....  | 161 |
| Figura 6.7 Îmbinarea lipită cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ pe cupru cu ciocanul de lipit .....                         | 161 |

## INTRODUCERE

Tema abordată în această lucrare este de real interes în industria electronică datorită, în primul rând, efectelor devastatoare pe care prezența excrescențelor whiskers le poate produce în timpul funcționării echipamentelor electronice. Aceste excrescențe ce se formează, în anumite condiții, la lipirea componentelor electronice produc scurtcircuitarea PCB-urilor sau a componentelor electronice conducând la o serie de avarii întâlnite în majoritatea domeniilor industriale unde se folosesc circuite imprimate. Cele mai importante avarii produse de acestea s-au întâlnit în industria militară, industria aerospațială, industria medicală, industria electrocasnică, industria energetică și industria IT.

Analiza principalelor metode de lipire aplicate circuitelor electronice (lipirea prin reflow și în val), a familiilor de aliaje care sunt utilizate la lipirea componentelor electronice (aliaje pe bază de staniu și cele pe bază de plumb excluse azi în prezent din industrie datorită toxicității acestui material), a defectelor ce apar în procesul de lipire, relevă faptul că fenomenul apariției și dezvoltării excrescențelor whiskers este de o complexitate deosebită constituind în continuare o problemă majoră ce necesită abordării și direcții noi de cercetare.

Concluziile desprinse din studiile și cercetările prezente în literatura de specialitate cu privire la factorii favorizanți ai formării și creșterii whiskers-ilor arată importanța procesului de galvanizarea chimică și de depunere, a naturii aliajului substratului care se află pe traseele circuitelor electronice, a mediului de lucru și mai ales a caracteristicilor aliajului de lipire (atât cele mecano-fizice cât și cele cu referire la structura lor - forma și mărimea grăunților, prezența compușilor intermetalici, a dislocațiilor și a tensiunilor interne).

Având în vedere aceste rezultate precum și preocupările colectivului de cercetare din cadrul Departamentului de Ingineria Materialelor și a Fabricației a UPT, pentru diminuarea creșterii excrescențelor whiskers se propune elaborarea unor noi aliaje de lipire pe bază de staniu cu structuri metastabile și dezvoltarea unei noi tehnologii de lipire.

Lucrarea este structurată pe 7 capitole dintre care în primele două se abordează aspectele teoretice ale tematicii („Lipirea componentelor electronice” , „Factorii favorizanți ai apariției și creșterii excrescențelor whiskers”) urmate de

expunerea obiectivelor tezei; partea de consistență a tezei fiind detaliată în următoarele capitole dedicate cercetărilor experimentale („Cercetări privind elaborarea de noi aliaje pentru lipirea componentelor electronice”, „Cercetări privind îmbinarea componentelor electronice cu aliajele de lipire elaborate”, „Simularea germinării și creșterii excrescențelor whiskers” ) și prezentării concluziilor finale.

Experimentările și investigațiile structurale, mecanice, de coroziune, de simulare a creșterii excrescențelor whiskers efectuate, au necesitat o aparatură și echipamente performante precum și interpretări laborioase. Acestea s-au derulat în laboratoarele de specialitate și cu sprijinul colectivelor de cercetare de la Universitatea Politehnica Timișoara și a Universității din Loughborough din Marea Britanie conducând astfel la obținerea unor rezultate ce pot fi astfel considerate ca fiind suportul unei posibile soluții viabile de prevenire a formării acestor excrescențe whiskers .

# 1. Lipirea componentelor electronice

## 1.1. Fenomene fundamentale ale procesului de lipire

Lipirea împreună cu sudarea sunt cele mai vechi tehnici de îmbinare între două piese de metal. Astăzi se disting trei metode "metalurgice" de îmbinare: sudarea, lipirea tare (sau brazarea) și lipirea moale. Calitatea îmbinării depinde de componentele care sunt lipite de suprafața de lipire, de aliajul utilizat pentru lipire, de condițiile de lipire dar și de procesul de lipire. În timpul procesului de lipire la interfața de lipire apar modificări structurale [81]. Pentru o înțelegere mai corectă a schimbărilor metalurgice ce însoțesc succesiunea de evenimente care au loc la îmbinările lipite este necesar ca procesul de lipire să fie fiabil. Factorii importanți care contribuie la realizarea unei bune lipituri sunt: suprafața de lipire (natura oxizilor sau alte acoperiri, rugozitatea suprafeței, etc), temperatura la care se realizează procesul de lipire, precum și reacțiile metalurgice care au loc între materialul de bază și aliajul de lipire dar și reacțiile cu fluxurile dacă acestea sunt utilizate. Un alt aspect de care trebuie să ținem cont la fenomenul de lipire este modul de curgere al aliajului de lipire respectiv suprafața îmbinării lipite. Acesta este influențat de următorii factori:

- Dimensiunea îmbinării lipite;
- Caracteristicile de întindere și umectare a aliajului de lipire;
- Suprafața componentelor lipite [47].

### 1.1.1. Tensiunea și energia de suprafață

Orice suprafață are o energie liberă care se "contractă". Moleculele din stratul superficial sunt supuse unor forțe tangențiale numite forțe de tensiune superficială ( $\sigma$ ). Tensiunea superficială este proprietatea generală a lichidelor de a lua o formă geometrică de arie minimă în lipsa forțelor externe, datorată acțiunii forțelor de coeziune dintre moleculele lichidului [88]. Energia de suprafață este definită ca fiind suma tuturor forțelor intermoleculare care sunt pe suprafața unui material [88].

O reprezentare sugestivă a acestor concepte este redată în continuare. Figura 1.1 oferă o reprezentare simplificată a structurii atomice a unui solid aproape de una dintre suprafețele sale libere. Atomul din poziția A, este în cea mai mare parte a solidului și are un număr echilibrat de atomi vecini, în timp ce atomul din poziția B se găsește la suprafața solidului și este lipsit de vecini mai ales în partea superioară unde o parte din molecule sunt vapori deci au loc legături nesaturate. Energia potențială a atomilor de la suprafața liberă, cum ar fi B, este mai mare decât energia de atomi situată în cea mai mare parte în solid, cum ar fi A, prin energia obținută de legăturile nesaturate [47].

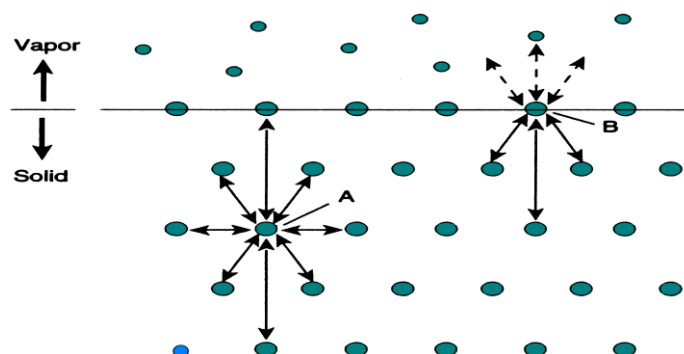


Figura 1.1 Reprezentare simplificată a energiei de suprafață [47]

Atomul B de la suprafață are legături nesaturate și astfel posedă o energie mai mare decât atomul A. Această diferență de energie stă la baza formării energiei de suprafață dacă aliajul de lipire este sub formă de sfere mici. Pentru că o sferă prezintă cel mai mic raport volum-suprafață este clar că energia superficială a unui lichid este mai mare decât energia de volum. În modelul clasic, atunci când un lichid se întinde pe o suprafață, volumul rămâne constant, deoarece evaporarea și reacția cu substratul sunt excluse. Prin urmare trebuie luate în considerare doar modificările energiei de suprafață.

### 1.1.2. Umectarea și unghiul de contact

În timpul procesului, asupra suprafeței de lipire acționează anumite „forțe”. Aceste forțe sunt nu numai cele de tipul tensiunii superficiale, ci și așa-numita "tensiune interfacială" sau forță de umectare, care atrage aliajul de lipit pe suprafața stratului care este lipit.

Conform modelului clasic de umectare, lichidul se va întinde pe o suprafață solidă până când cele trei tensiuni superficiale între picăturile de lichid și suprafața de solid dar și între picăturile de lichid și atmosferă sunt în echilibru așa cum se arată în figura 1.2 a [81].

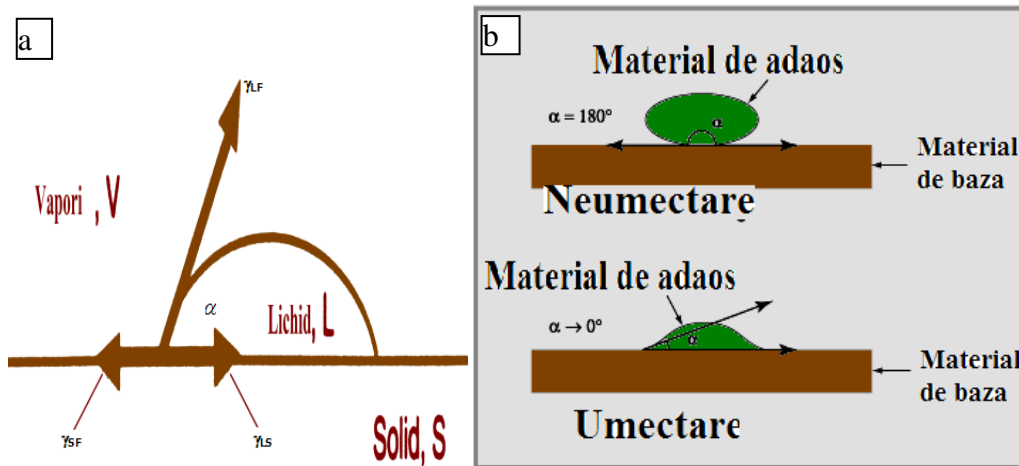


Figura 1.2 a) Tensiunile de suprafață când lichidul umectează suprafața de contact  
 b) Deosebirea între o suprafață umectată și una neumectată  
 [32], [81]

Modelul prezentat utilizează următoarea ecuație:

$$\gamma_{LS} = \gamma_{SF} - \gamma_{LF} \times \cos \alpha \quad 1.1$$

Unde:

$\gamma_{LS}$  este tensiunea de suprafață între solid și lichid,

$\gamma_{LF}$  este tensiunea de suprafață între lichid și vapori

$\gamma_{SF}$  este tensiunea de suprafață între solid și vapori,

$\alpha$  este unghiul de contact între lichid și suprafața solidă.

Ecuația 1.1, este cunoscută sub numele de condiție a umectării sau ecuația lui Young care arată că  $\alpha < 90^\circ$  corespunde condiției  $\gamma_{SF} > \gamma_{LS}$ . Acest dezechilibru în tensiunea de suprafață (de exemplu, energie de suprafață) asigură și conduce forțele pentru întinderea lichidului pe suprafața solidă și diminuarea suprafeței neumectate, figura 1.2 b).

Unghiul de contact  $\alpha$  oferă o măsurare a calității umectării.

Astfel că dacă  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$  este cuprins în acest interval atunci topitura nu se va întinde pe suprafața cu care este în contact. Pe de altă parte, dacă  $\alpha < 90^\circ$  atunci o picătură de lichid va umecta stratul și de asemenea se va întinde pe o suprafață definită de unghiul de contact  $\alpha$ .

Efectul umectării între materialul de bază și materialul de adaos au fost intens studiate în literatura de specialitate S-a demonstrat, că trebuie să existe o bună corelare a reacției între materialul de bază și cel de adaos. O bună umectare prezintă un unghi de contact mic ce este utilizat, dar există și situații în care sunt preferate și unghiuri de contact mai mari. Acest lucru este ilustrat în figura 1.2 b), care prezintă umectarea unei suprafețe, una dintre acestea este umectată corespunzător iar cealaltă nu este umectată. În primul caz avem un unghi de contact scăzut care formează o îmbinare concavă. Un unghi de contact mic duce la formarea unui gât al lipiturii care poate fi o sursă de slăbire a lipiturii. Un unghi de

contact aproape de  $90^\circ$  va elimina această problemă. Aceasta presupune ca suprafața materialului de bază să fie perfect curată sau va fi curățată în cazul în care fluxul are suficient timp să își activeze acțiunea de curățare. În urma acțiunii fluxului o mare parte din suprafață va fi umectată iar altă parte va fi acoperită cu o serie de zone neumectate.

Aceste neconcordanțe sunt cauzate de o pregătire inadecvată a suprafeței materialului de bază sau de alegerea incorectă a fluxului sau a condițiilor de proces. Efectul neumectării poate reduce întinderea materialului dar are efect și asupra creșterii unghiului de contact. Un alt aspect de care trebuie să ținem cont la umectare este atunci când aceasta este fizic împiedicată de calitatea suprafeței materialului de bază (de exemplu anumite supraînălțări în suprafața materialului de bază.)

### 1.1.3. De-umectarea

Acest proces nu reprezintă același lucru cu ne-umectarea. Acest termen de „de-umectare” implică faptul că materialul de adaos topit ajunge „acolo unde nu trebuie dar nu rămâne acolo”. În schimb materialul „ se retrage” formând mici insule sau movilițe cu zone expuse unde se vor forma compuși intermetalici. De-umectarea este cauzată local de suprafațe contaminate cu particule sau oxizi, murdărie, amprente etc. Înainte de solidificarea materialului de adaos topit tensiunea de suprafață împinge aliajul departe de discontinuități [81].

### 1.1.4. Întinderea

Lipirea este un proces ce se derulează în trei etape succesive prezentate sugestiv în figura 1.3 : (a) materialul de adaos se întinde peste materialul de bază cu un unghi de echilibru  $\alpha$  făcut de forțele tensiunii de interfață, (b) materialul de adaos se dizolvă în materialul de bază, (c) materialul de bază reacționează cu materialul de adaos lichid formând compuși intermetalici [47].

Întinderea se realizează când adeziunea dintre lichid și solid este mai mare decât coeziunea lichidului. Fenomenul de umectare este fenomenul ce apare înaintea întinderii.

Umectarea trebuie considerată ca fiind un fenomen local al suprafeței de contact.

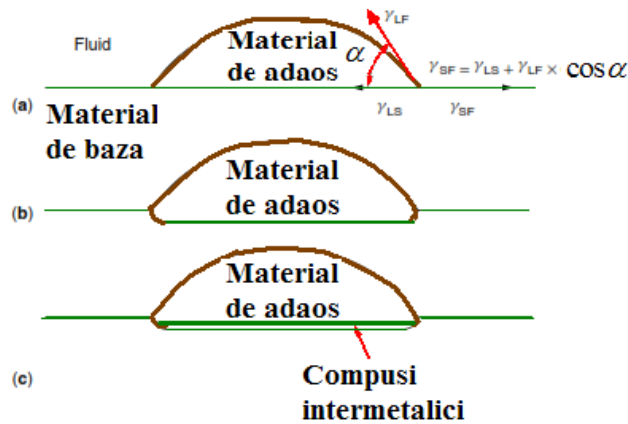


Figura1.3 Etapele procesului de lipire  
a) întinderea b) disoluția c) formarea compușilor intermetalici [47]

Aliajul de adaos topit este lăsat să umecteze suprafața materialului de bază. Ca orice alt fenomen umectarea la lipirea unui material de adaos lichid pe un metal de bază, așa cum se arată în figura1.3 (a), trebuie să respecte legea fizică de echilibru a tensiunii de interfață, exprimată prin relația

$$\gamma_{SF} = \gamma_{LS} + \gamma_{LF} \times \cos \alpha \quad 1.2$$

În această relație  $\gamma_{SF}$  reprezintă tensiune de interfață între materialul de bază și materialul de adaos topit,  $\gamma_{LS}$  tensiunea la interfață dintre stratul de lipire și aliajul lichid,  $\gamma_{LF}$  este tensiune de interfață între lichid și aliajul topit,  $\alpha$  reprezintă unghiul de umectare între aliajul lichid și stratul de lipire [47].

### 1.1.5. Capilaritatea

În cazul lipirii, în locul presiunii care forțează lichidele să treacă printr-un capilar, apar forțele capilare care fac ca materialul de adaos topit să patrundă în spațiile capilare existente între piesele ce se îmbină.

Pe de altă parte, în cazul în care pereții interiori ai capilarului sunt ne-umectați, tensiunea superficială a aliajului de lipire împiedică intrarea în capilar. Consecințele capilarității la lipire sunt importante:

- Dacă suprafețele îmbinării sunt umectate capilaritatea „trage” aliajul pentru a realiza lipirea.
- Dacă suprafața nu este suficient umectată sau deloc umectată aliajul de lipire nu poate să realizeze îmbinarea.

În cazul în care unul din ele este ne-umectat atunci materialul de adaos este împins în afară. Prin umectarea pereților, materialul de adaos topit intră în capilar cu o forță superioară și apoi formează un menisc. După Laplace presiunea  $p_k$  poate fi exprimată în funcție de razele de curbură  $r_1$  și  $r_2$  dar și de tensiunea de suprafață  $\gamma_L$ .



$$p_k = \gamma_L \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad 1.3$$

Pentru un capilar cu pereții paraleli de lățime  $b$  și lungime infinită avem (figura 1.4)

$$r_2 = \infty, \quad r_1 = \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}$$

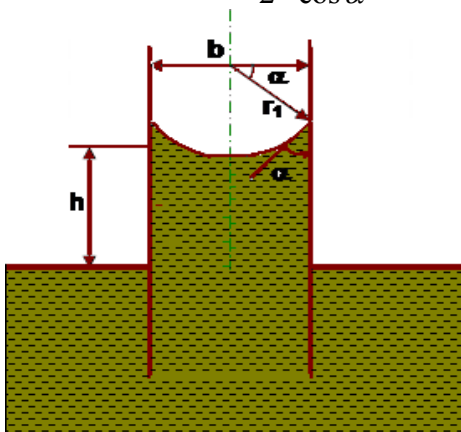


Figura1.4 Înălțimea de umplere și presiunea capilarului cu aliaj în stare lichidă [21]

Rezultă presiunea de umplere a capilarului care este dată de relația:

$$p_k = \frac{2 \cdot \gamma_L \cdot \cos \alpha}{b} \quad 1.4$$

În cazul unui decalaj vertical presiunea superficială este echilibrată de presiunea hidrostatică din cauza coloanei de aliaj lichid:

$$p_H = \rho_L \cdot g \cdot h \quad 1.5$$

Unde:

- $\rho_L$ -densitatea aliajului lipit;
- $h$ -înălțimea de ridicare a aliajului de lipire;
- $g$ -accelerația gravitațională ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Egalitatea  $p_k = p_H$  este determinată de înălțimea maximă a coloanei de aliaj lichid:

$$h = \frac{2 \cdot \gamma_L \cdot \cos \alpha}{b \cdot \rho_L \cdot g} \quad 1.6$$

Cercetările efectuate au condus la concluzia că, în acest caz, înălțimea de umplere a este determinată de tensiunea superficială așa cum rezultă din relația[21]:

$$\gamma_M - \gamma_{LM} = \gamma_L \cos \alpha. \quad 1.7$$

Unde :

$\gamma_M$  este tensiunea superficială a metalului

$\gamma_{LM}$  este tensiunea superficială a stratului intermediar

$\gamma_L$  este tensiunea superficială a stratului topiturii.

### 1.1.6. Difuzia

Îmbinarea lipită se realizează prin difuzia aliajului de lipire în materialul pieselor de lipit, după ce aliajul de lipire a fost adus în stare lichidă; piesele de lipit, încălzite la temperatura de lipire, rămân în timpul operației de lipire în stare solidă.

Difuzia moleculară este pătrunderea moleculelor unui corp, printre moleculele altuia, fără să existe curgere. Difuzia explică fluxul moleculelor dintr-o regiune de concentrație mai mare la una cu concentrație mai mică, dar este important de remarcat faptul că difuzia, de asemenea, apare atunci când nu există nici un gradient al concentrației. Rezultatul este o amestecare treptată a particulelor. Într-o fază, cu temperatură uniformă, fiind absente forțe externe nete care acționează asupra particulelor, procesul de difuzie va duce în cele din urmă la amestecarea completă. În prezența unui gradient al concentrației va exista difuzia de la o regiune cu concentrație mare la o regiune cu concentrație mică. În literatura de specialitate se definește fluxul difuziv ca fiind cantitatea de material transportată într-un anumit timp pe suprafața materialului de bază. Fluxul de difuzie  $J$  este definit de prima lege a lui Fick, astfel:

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x} \quad 1.8$$

Unde derivata parțială a concentrației  $c$  în raport cu poziția  $x$  este gradientul de concentrație a particulelor de difuziune în direcția de difuzie iar  $D$  este coeficientul de difuzie. Deoarece fluxul pozitiv de particule care difuzează este în direcția reducerii gradientului concentrației se constată că difuzia lichidelor se face mult mai rapid decât difuzia solidelor datorită mobilității atomilor.

La metale, difuzia crește o dată cu creșterea temperaturii iar aceasta este adesea aproximată folosind relația lui Arrhenius[70].:

$$D = D_0 \exp\left(\frac{H_D}{RT}\right) \quad 1.9$$

Unde  $D_0$  este o constantă de material și  $H$  reprezintă energia de activare pentru difuzie

$R$  este constanta gazelor iar

$T$  este temperatura absolută.

Relația lui Arrhenius nu conduce în cazul difuziei la anumite metale, la cele mai bune rezultate. Bruson și Gerl au găsit dependența liniară a difuziei în funcție de temperatură la Sb, Ag, și Au care difuzează cu Sn lichid conform relației:

$$D = A(T - T_m) + D_m \quad 1.10$$

Unde

$T$  este temperatura care ne interesează [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$T_m$  indică temperatura de topire [ $^{\circ}\text{C}$ ],

A este constant

$D_m$  indică difuzivitatea staniului ajuns în punctul de topire.

Astfel se sugerează că pentru o bună difuzie este mai favorabil a se utiliza aliaje binare.

Transportul de material prin difuzie este important atunci când este utilizat la procesele de lipire [70]. În această caz, umectarea suprafețelor componente nu este întotdeauna ușor de realizat, iar atunci când aceasta se produce, alierea rezultată între materialul de adaos și componente pot cauza o eroziune excesivă a materialelor de bază datorită unor faze cu proprietăți mecanice inferioare.

Aceste probleme apar la îmbinările lipite care se fac în capilarele înguste. Difuzia la îmbinările lipite necesită o bună umectare și întindere a materialului de adaos pe suprafața materialului de bază.

O dată formată difuzia la îmbinările lipite aceste îmbinări sunt stabile la temperaturi ridicate. Astfel că temperatura ansamblului poate depăși temperatura procesului de lipire fără riscul retopirii îmbinării. Urmare a procesului de difuzie în îmbinările lipite pot să apară faze de compuși intermetalici nedoriti. De aceea trebuie să se facă o alegere optimă a materialelor de bază și a celor de adaos.

Actualmente se constată o tendință de limitare a fenomenului de difuzie la lipire în cadrul proceselor de producție, pentru că nu este tolerată la rosturi de lățime variabilă și în plus fiabilitatea depinde de curățarea suprafețelor [34].

### 1.1.7. Fluxurile

Un flux pentru lipire trebuie să satisfacă un număr semnificativ de condiții în același timp. Fluxul trebuie să asigure transferul termic, o bună umectare, prevenirea formării oxizilor pe suprafața materialului de bază în timpul lipirii. Deși procesul din industria electronică este complex și implică costuri ce depășesc miliarde de dolari reacțiile chimice reale care apar în timpul acționării fluxului nu sunt bine înțelese.

Pentru majoritatea fluxurilor folosite, reacțiile care apar la activarea fluxului pot fi simulate cu interacțiunile metal/metal, oxid/interfață soluție de electrolit.

Reacțiile fluxului care pot apărea la interfața oxid/soluție includ reacțiile acido-bazice și reacții de oxido-reducere. Dintre variabilele procesului amintim structura metalului oxidat, temperatura, pH-ul, concentrația de electrolit și natura chimică a substanței dizolvate și solvenților, toate acestea pot afecta viteza și mecanismele de reacție [47].

### 1.1.8. Formarea oxizilor și îndepărtarea acestora

În timpul lipirii primul factor care împiedică umectarea și întinderea este formarea unei pelicule de oxid pe suprafața materialului de bază. Majoritatea materialele de bază (mai puțin cele din categoria metalelor nobile) sunt acoperite cu această peliculă de oxid consistentă formată datorită contactului cu aerul; de aceea este indicat ca în timpul proceselor de imbinare să se utilizeze atmosferă protectoare.

Grosimea stratului de oxid pe o suprafață de material de bază depinde foarte mult de caracteristicile materialului.

Principali factori care determină grosimea stratului de oxid sunt timpul de expunere la aer și temperatura.

Lipirea componentelor electronice este un proces complex a cărei reușită depinde de mai mulți factori (figura1.5) [47].

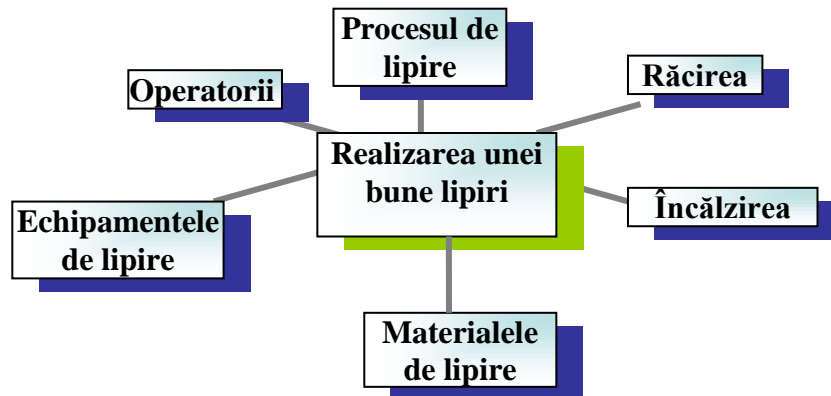


Figura1.5 Factorii care realizează o bună lipire [34]

Dintre aceștia se vor analiza în continuare echipamentele și metodele destinate lipirii

## 1.2 Metodele utilizate pentru lipirea componentelor electronice

Procesele de asamblare a componentelor electronice pot fi împărțite în trei categorii, corespunzătoare tipurilor de placi /PCB-uri (Printed Circuit) utilizate:

- tehnologia de montare a componentelor electronice prin găuri -ce trec prin PCB-uri (Through-hole technology, THT), -figura1.6.b
- tehnologia de montare pe suprafața PCB-urilor (Surface-mount technology, SMT), figura1.6.a
- tehnologia de montare mixtă care este o combinație între tehnologia de montare pe suprafață și tehnologia de montare prin găuri

Tehnologia THT prin găuri se referă la componentele ale căror pini trec prin PCB. Componentele electronice (THD) sunt introduse în- PCB-uri manual sau cu ajutorul unor echipamente automatizate. Această tehnologie a fost utilizată pentru prima dată în anul 1920. Automatizarea procesului s-a realizat în 1960. Lipirea componentelor THD se face prin tehnica numită „în val”( wave).

Dezavantajele tehnologiei THT constau în faptul că nu permite o densitate mare a componentelor precum și faptul că nu se pot asambla decât pe o singură parte a PCB-ului tehnica bottom adică " de dedesupt" ,jos. În prezent cercetarile sunt îndreptate spre minimalizarea acestor componente

Tehnologia de montare a componentelor pe suprafață PCB-urilor (SMT) ne dă posibilitatea de a lipi aceste componente pe ambele părți ale PCB-urilor adică și „top și bottom” deoarece aceste componente sunt mult mai mici decât cele utilizate prin tehnologia THT. Primele componente SMD au fost realizate în 1960. Montarea acestor componente a luat amploare în anii 80 ai secolului trecut

Avantajele acestei tehnologii (SMT) sunt legate de faptul că pot fi asamblate mai multe componente, deoarece ocupă o suprafață mică a PCB-ului. Ansamblarea componentelor prin tehnologia SMT se face cu ajutorul „pad-urilor”.

Pad-ul este locația/ suportul metalizată unde trebuie lipită componenta SMD. Practic acesta este materialul de bază. Acesta are rolul de a face legătura între alte componente ale PCB-ului. Legăturile între aceste componente și straturile PCB-ului sunt realizate de VIAS-uri.

VIAS-urile sunt găuri care fac legăturile între circuitele straturilor PCB-ului. Lipirea componentelor SMD se face prin reflow utilizând cuptoare cu convecție, cu radiație sau cu vapori.

Tehnologia de montare mixtă utilizează cele două tehnologii de asamblare adică are și componente SMD și THD. În general se asamblează prima dată componentele SMD și apoi cele THD [16].

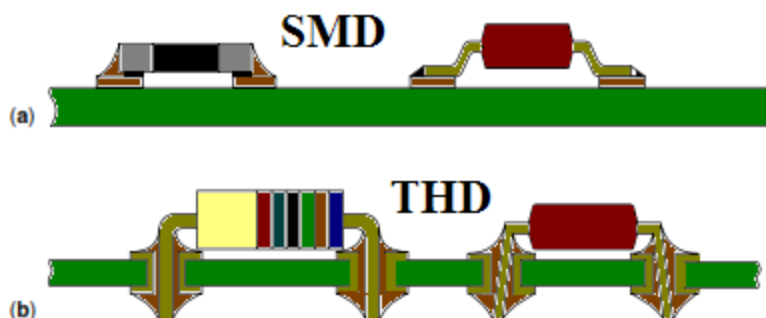


Figura 1.6 Tipuri de componente electronice  
a)componente SMD b) componenteTHD [47]

### 1.2.1.Lipirea componentelor electronice cu ciocanul de lipit

Metodele de lipire în electronică diferă în primul rând de tipul de componente care sunt lipite, de fluxul utilizat, de aliajul care se utilizează pentru lipire, temperatura de topire a aliajului de lipire. De obicei aliajele pentru lipirea componentelor electronice nu depășesc temperaturi de topire 300-350°C. Utilizarea ciocanelor de lipit este posibilă pentru acest interval de temperatură din punct de vedere tehnic și reprezintă o oportunitate doar în cazul unor aplicații/experimentări în regim de prototip/pilot și în special în cazul activităților de întreținere și reparații [81].

De regulă aliajele utilizate la lipirea cu ciocanul de lipit sunt sub formă de sârmă. Procesul de lipire cu ciocanul pentru ambele tehnologii este simplu

(figura1.7), dar este necesar respectarea anumitor precauții pentru a se asigura o calitate corespunzătoare a lipirii ( vârful ciocanului nu trebuie să fie în contact cu PCB-ul, contactul cu pad-ul trebuie limitat la 3-5 secunde , etc)

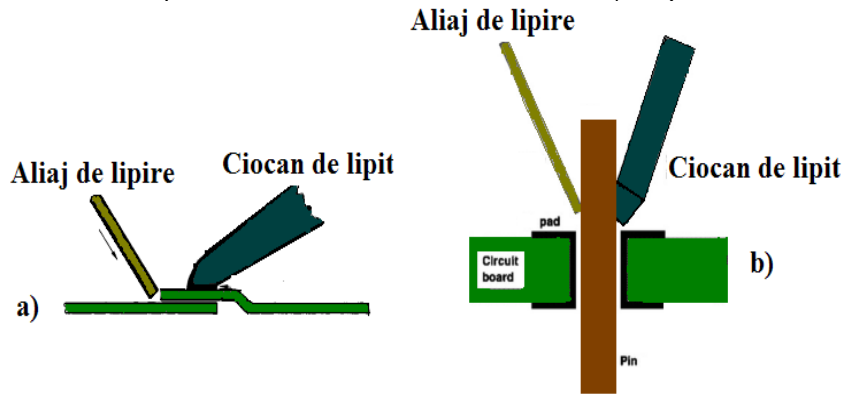


Figura1.7 Lipirea componentelor electronice cu ciocanul de lipit  
 a) Lipirea componentelor SMD [81]  
 b) Lipirea componentelor THD [16]

### 1.2.2. Lipirea în val

Cea mai utilizată metodă de lipire pentru componentele care au pini ce trec prin PCB adică tehnologia THT este cea „în val” (wave). Procedul lipirii în val se bazează pe formarea unei unde de aliaj topit, cu geometrie staționară, prin care se trec plăcile prin translație. Unda se obține prin refularea pe verticală a aliajului printr-o duză rectangulară, aliajul fiind în permanentă curgere (figura 1.8). Aliajul scurs revine în cuvă, unde se află rezistențele de încălzire și pompa de refulare

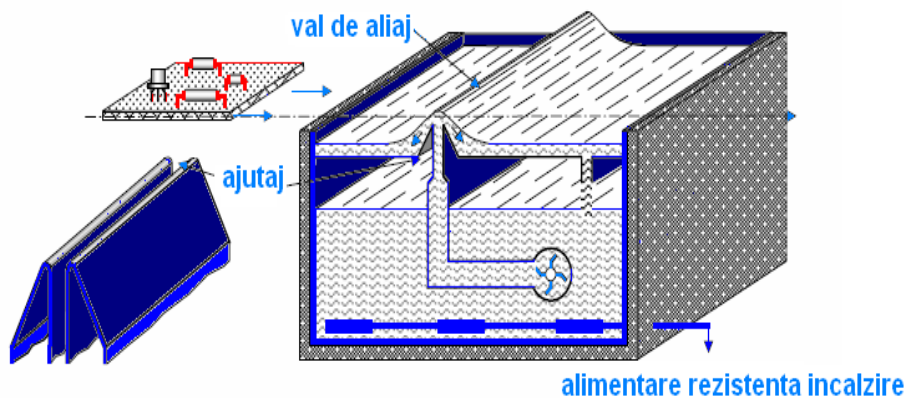


Figura1.8 Principiul de lipire în val [50]

Față de celelalte metode, lipirea în val are numeroase avantaje: asigură lipituri de bună calitate, cu foarte puține defecte (șoc termic redus, fără exces de aliaj, fără stalactite), cu consum redus de aliaj și productivitate mare; singurul dezavantaj constă în prețul ridicat al instalațiilor.

Principalii factori care asigură lipituri de bună calitate sunt:

- agitarea continuă a aliajului cu permanent aport de aliaj cu temperatură potrivită, ceea ce asigură temperatură optimă în zona de lipire, eliminarea prin antrenare a vaporilor de flux și solvenților și pătrunderea aliajului în interstiții;
- șocul termic redus, datorat suprafeței reduse a contactului placă-aliaj precum și trecerii plăcilor deasupra porțiunii din cuvă cu aliaj refulat, fierbinte, care asigură o preîncălzire intensă cu foarte puțin timp înaintea intrării în undă;
- viteza relativă mică dintre placă și aliaj la ieșirea din undă (figura 1.9) se observă că la ieșirea din undă, aliajul și placa se deplasează în același sens) dă posibilitate aliajului în exces să se scurgă fără să formeze stalactite;
- suprafața aliajului în zona de lipire este curată, toate impuritățile fiind adunate pe suprafața aliajului în cuva de colectare (de unde se pot îndepărta ușor);
- posibilitățile deosebit de largi de adaptare a condițiilor de lipire în funcție de ce se lipește, prin reglarea înălțimii undei, a vitezei aliajului, a unghiurilor de intrare și ieșire din val, a duratei contactului placă-val etc.

Instalațiile de lipire în val au două dezavantaje importante:

- nu pot realiza lipirea decât pe o singură față a PCB-urilor; deși se produc componente (de regulă pasive, cum sunt rezistoare, condensatoare ceramice etc.) capabile să reziste la temperatura de lipire (timp limitat, 10 – 20 secunde) și deci pot fi montate pe fața care trece prin val, utilizarea acestora este redusă;
- nu pot fi folosite pentru lipirea pieselor montate pe suprafață (SMD); pentru acestea sunt dezvoltate alte tehnologii de lipire.

Parțial, aceste dezavantaje sunt suplinite prin faptul că, în prezent, există o gamă destul de largă de componente pasive și semiconductoare care suportă imersia în valul de lipire durata acestei imersii fiind redusă (10 – 20 sec.). În cazul pieselor cu terminale în găuri, bine fixate, nu prea apar probleme iar în cazul SMD-urilor fixarea nu este prea rezistentă iar terminalele subțiri nu suportă solicitările mecanice mari din partea aliajului, cu vâscozitate mare, în mișcare rapidă din val.

Practic fără excepție, echipamentele de lipire în val sunt incluse în instalații complexe care, în ordinea de deplasare a plăcilor, includ: echipamentul de fluxare, sistemul de preîncălzire, instalația de lipire și echipamentul de curățare (opțional).

În figura 1.9 se prezintă principiul de funcționare al unei astfel de instalații ce în producție poartă numele de wave [50].

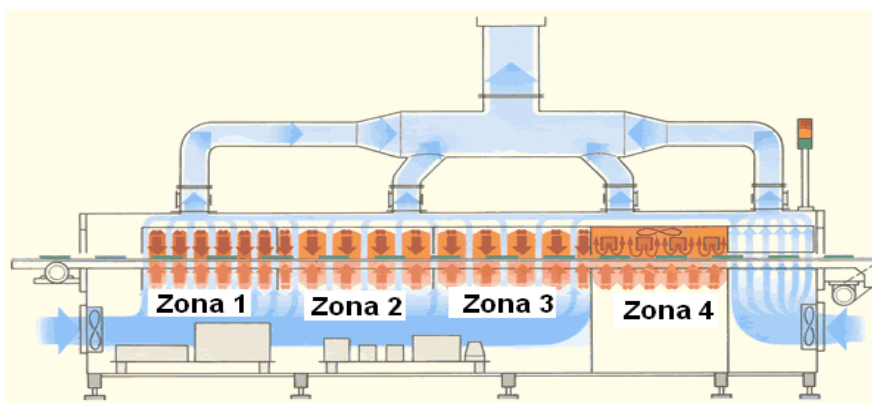


Figura 1.9 Principalele zone de operare ale unui wave [50]

În general, la un val se disting patru zone prin care trec plăcile, figura 1.10

- zona de preîncalzire ( $Z_i$ ), în care PCB-urile trec aproape de suprafața aliajului fără s-o atingă;
- zona de contact ( $Z_c$ ), în care PCB-urile sunt în contact cu aliajul și în care se realizează lipirea;
- zona de ieșire ( $Z_o$ ), în care PCB-urile ies din val, terminalele fiind încă în contact cu aliajul;
- zona de postîncalzire ( $Z_{pi}$ ), în care PCB-urile trec deasupra aliajului topit fără să îl atingă (figura1.10) [50].

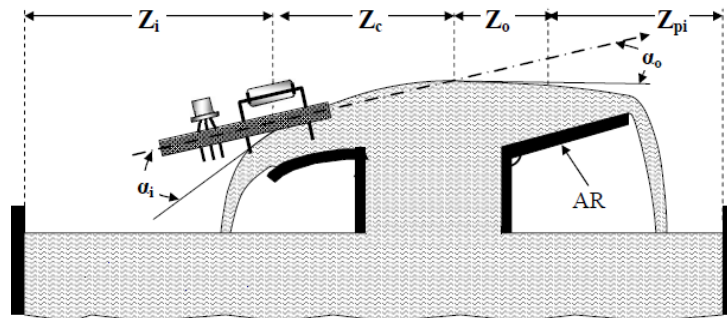


Figura1.10 Zonele de lucru și unghiurile de intrare (Lucian FERARU, 2011)

Deplasarea plăcilor se asigură cu benzi sau lanțuri transportoare, cu viteză reglabilă. În prezent se produc o varietate de asemenea instalații, cu complexități, productivități și prețuri foarte diferite, multe accesibile și micilor producători.

### 1.2.3. Lipirea prin reflow

Tehnicile de lipire prin retopire s-au dezvoltat și diversificat odată cu răspândirea utilizării dispozitivelor montate pe suprafață (SMD), pentru lipirea cărora metodele în băi și în val nu sunt adecvate. În prezent, foarte frecvent, pentru lipirea prin retopire se folosește aliaj și flux sub formă de pastă de lipit depusă în strat subțire pe conductoarele imprimate, în punctele de lipire.

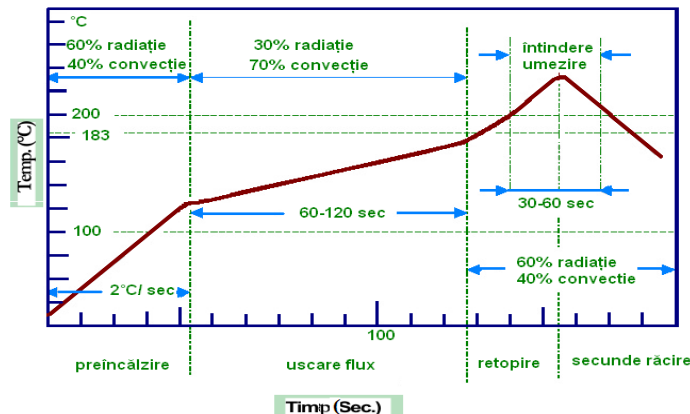


Figura1.11 Profilul termic la reflow [50]



Lipirea prin retopire (reflow) presupune retopirea aliajului depus pe suprafețele de lipit înainte de încălzire iar în timpul lipirii nu se realizează aport de aliaj. După depunerea pastei și (eventual) a adezivului, în procesul lipirii sunt parcurse mai multe etape în care temperatura trebuie să varieze în timp cu anumite viteze, între anumite limite după o curbă numită profil termic, o caracteristică esențială a procesului complex de lipire. Un profil termic pentru reflow tipic se prezintă în figura 1.11

Profilul termic la reflow prezintă patru zone:

- ✓ zona de preîncălzire, în care temperatura crește lent cu 2 – 4°C/sec, până la 100 – 150°C pentru reducerea șocului termic asupra componentelor; în acest timp are loc lichefierea fluxului și evaporarea solvenților din pasta de lipit;
- ✓ zona de uscare (prelipire), în care are loc uscarea completă a pastei și se activează fluxul - începe acțiunea de curățare a suprafețelor;
- ✓ zona de retopire, în care fluxul își accentuează efectul de curățare iar aliajul se topește, umezește suprafețele și se întinde; durata cât aliajul este lichid (uzual 30 - 60 sec.) este numită timp de umezire - un timp prea mare duce la formarea de compuși intermetalici iar lipitura devine friabilă; de obicei temperatura maximă depășește cu  $\approx 20^\circ\text{C}$  temperatura de topire;
- ✓ zona de răcire, în care se solidifică aliajul, în care temperatura nu trebuie să scadă prea repede deoarece pot să apară crăpături în aliaj ( $\approx 3^\circ\text{C}/\text{sec}$  este satisfăcător) [50].

Profilul termic se stabilește experimental, pe baza recomandărilor producătorilor de paste de lipit și de componente (SMD-uri). Este evident că există toleranțe în respectarea curbei de variație a temperaturii, dar de obicei acestea sunt destul de mici (de ordinul a 3 – 5% față de curba ideală).

Aici se poate vorbi despre o curbă admisă a profilului termic, în care trebuie să se găsească curba de evoluție a temperaturii în timp figura 1.12. Totodată dacă abaterile sunt mari vor apărea consecințe negative, indicate în figura 1.12.

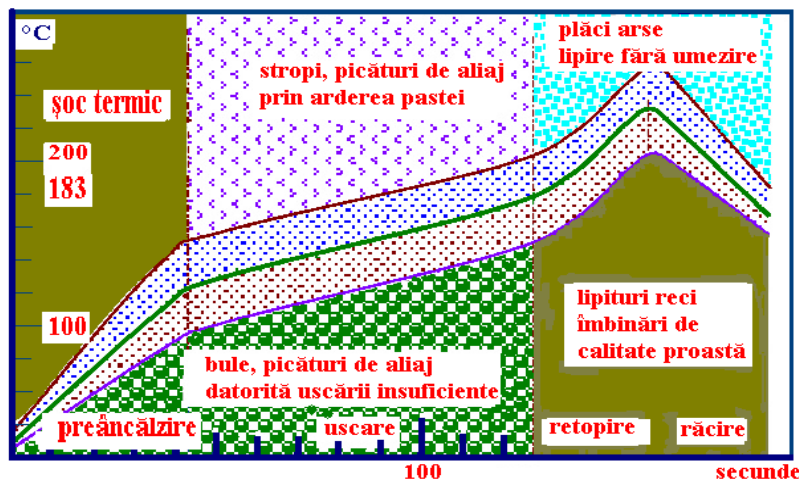


Figura 1.12 Consecințele unui profil termic necorespunzător [50]

### 1.3 Aliaje utilizate la lipirea componentelor electronice

Calitatea lipirii este afectată major de materialele utilizate pentru îmbinare.

Se apreciază că, principalele caracteristici impuse aliajelor de lipire pentru a asigura o buna calitate a îmbinărilor în industria electronică, sunt :

- temperatura mică de topire;
- cost redus;
- adaptabilitate la condițiile de proces din industria electronică;
- proprietăți bune de umectare;
- proprietățile fizice acceptabile: densitatea, coeficient de dilatare termică, și conductivitate electrică și termică;
- proprietăți mecanice și chimice moderate -rezistență mecanică, ductilitate; rezistență la fluaj și la oboseală, rezistența la coroziune;
- fiabilitate bună;
- compatibilitatea cu fluxurile;
- posibilitatea lejeră de remedieri;
- toxicitate redusă;
- reciclare posibilă [27].

În industria electronică aliajele de lipire utilizate sunt din categoria celor ușor fuzibile. Cele mai utilizate aliaje ușor fuzibile sunt cele pe bază de staniu și plumb conținând staniu (Sn) de la 2% la 90%. În principal la lipirea componentelor electronice se utilizează aliaje din familia Sn-Pb cu adaos de Sb având un punct de topire între 235°C -310°C. Alte aliaje utilizate la lipire tot pe bază de Pb sunt Ag-Pb-Sn cu punctul de topire între 138°C-325 °C. Pentru a îmbunătăți proprietățile aliajelor de lipire se adăugă în cantități mici: Sb (mărește rezistența mecanică), Cd și Bi (asigură o temperatură de topire mai scăzută), Ag (oferă o mai bună conductivitate electrică), Zn (crește rezistența la coroziune fiind utilizat în industria chimică, maritimă sau acolo unde se găsește un climat tropical).

#### 1.3.1 Aliaje pe bază de plumb

Aliajele utilizate din familia Sn-Pb sunt în marea lor majoritate aliaje eutectice. Aceste aliaje sunt complet miscibile. Se observă că-aliajele eutectice au punctul de topire la 183°C dacă conțin 61.9% Sn și 38.1% Pb. Cel mai performant dar și cel mai scump aliaj conține 90-98% Sn cu un punct de topire de 225°C având o bună rezistență la coroziune și o fluiditate mare în starea lichidă.

Aliajul comercial Sn-37Pb are temperatura de topire la 183°C fiind un exemplu clasic de aliaj eutectic [10].

Aceste aliaje de Sn-Pb au fost utilizate mult timp în industria electronică și datorită prețului scăzut. Proprietățile fizice unice (un punct de topire relativ scăzut conductivitate termică bună) le-au recomandat ca aliaje lipire pentru asamblarea PCB-urilor. Cu aceste aliaje s-au putut lipi și componente de tip cip ( cunoscute ca fiind „generatoare” de diverse probleme de lipire în cursul anilor). Dacă procesele de producție sunt bine controlate, în ceea ce privește reciclarea și impactul acestora asupra mediului înconjurător și a sănătății omului nu se poate spune același lucru [36].

Consecințele au fost dramatice legislația mondială impunând practic eliminarea acestor aliaje din circuitul economic [51].

În 1992, Congresul SUA a interzis utilizarea plumbului la o serie de aplicații printre care și în industria electronică și limitarea strictă a folosirii lui în alte domenii precum industria vopselelor, combustibili, etc. Astfel că plumbul a fost clasificat ca fiind printre primele 10 materiale care sunt nocive pentru mediu și sănătate. Potrivit Asociației Americane de Pediatrie plumbul poate afecta creierul și sistemul nervos, chiar și expunerea la un nivel scăzut de plumb poate provoca dificultăți de învățare și de vorbire, pierderea auzului și probleme de comportament precum și alte efecte grave de sănătate [36]. În Europa începând cu 1 iulie 2006 legislația Uniunii Europene interzice cu desăvârșire utilizarea plumbului în industria electronică.

În general însă industria electronică a reacționat cu o oarecare întârziere la probleme legate de mediu. Elaborarea la începutul anilor 1990 de către Uniunea Europeană a Directivelor de Reciclare a Echipamentelor Electronice (Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Directive) a condus la responsabilizarea companiilor din domeniu față de mediu. Astfel că această preocupare pentru mediu a devenit un factor de competiție între firme [70].

Aliajele alternative pentru lipirea componentelor electronice trebuie să aibă proprietăți similare cu acelea ale aliajelor din familia Pb-Sn. Cercetările efectuate au condus la concluzia că una din cele mai fezabile soluții o constituie utilizarea aliajelor pe bază de staniu [51].

### 1.3.2 Aliaje pe bază de staniu fără plumb

Principalele aliaje pe bază de staniu fără plumb utilizate în industria electronică precum și proprietățile de topire specifice ale acestora sunt prezentate în continuare.

#### a) Sn/Ag

Sn96.5/Ag3.5 este un aliaj care are temperatura de topire de 221°C. Capacitatea de lipire este satisfăcătoare și a fost folosit mulți ani în industria asamblării. Nu sunt probleme privind utilizarea sa, fiind disponibil pentru majoritatea producătorilor din industria lipirii componentelor electronice.

Se apreciază că fiabilitatea acestui aliaj este mai bună decât cea a aliajului Sn37Pb. Cu toate acestea este o problemă în utilizarea aliajului Sn96.5/Ag3.5 pentru zonele de lipire cu finisaje de suprafață ce conțin plumb [36], [27].

#### b) Sn0.7Cu

Acest aliaj are o temperatură de topire de 227°C și poate fi utilizat atât lipirea prin retopire cât și în val.

Pentru tehnologia de montare a componentelor electronice pe suprafața PCB-urilor (SMT) instrucțiunile de fiabilitate ale aliajului Sn0.7Cu sunt similare cu cele ale aliajului Sn37Pb. Cu toate acestea, temperatura de topire este cu 6°C mai mare decât cea a aliajului Sn3.5Ag, ceea ce nu este de dorit pentru aplicațiile lipirii prin retopire, ce necesită o temperatură mult mai mare decât aplicațiile lipirii în val. Deoarece nu conține argint sau bismut, Sn0.7Cu este unul dintre aliajele de lipire fără plumb ce are un cost scăzut. Acest lucru devine un criteriu cheie din punct de vedere productivitate-cost pentru lipirea în val care are capacitatea de a utiliza cantități mari de aliaj în proces de aproximativ 1600 kg [27].

**c) Sn-58Bi**

Acest aliaj are temperatura de topire de 138°C (corespunzătoare eutecticului).

Valoarea scăzută a temperaturii de topire constituie un impediment în diverse aplicații, îndeosebi în industria automotive unde temperaturile necesare se situează în intervalul 170-180°C.

Aliajele Sn-58Bi formează cu ușurință, în prezența plumbului, faze eutectice ternare SnBiPb ce au o temperatură de topire de 96°C limitând utilizarea acestora la ansamblarea pieselor la temperaturi joase. Dacă se are în vedere și problemele legate de disponibilitatea lor pe piață și costurile relativ ridicate se apreciază că acest aliaj are o utilizare restrânsă în producția industrială [27].

**d) Sn-52In**

Sn-52In este aliajul eutectic ce prezintă o temperatură de topire de 118°C [27].

El prezintă o rezistență mai mică decât Sn-37Pb. Uzual se mai folosește și aliajul Sn-8In. Acest aliaj are un interval de topire cuprins între 210°C-217°C iar rezistența la oboseală este mult mai mare decât Sn-37Pb și ductilitatea mai bună.

Toate aliajele care au în compoziție indium sunt scumpe datorită disponibilității limitate, astfel încât nu se așteaptă să fie utilizate pe scară largă în domeniul electronicii în viitorul apropiat.

**e) Sn-9Zn**

Sn-9Zn este un aliaj eutectic cu temperatura de topire de 199°C [27].

Temperatura de topire mică a acestui aliaj este un factor esențial pentru utilizarea lui în electronică. El prezintă o rezistență mai mare la tracțiune și ductilitate, rezistență mai ridicată la oboseală comparativ cu Sn-37Pb. Din cauza oxidării zincului aliajul are caracteristici slabe de umectare în condiții normale de reflow, ceea ce împiedică utilizarea sa în ansamblurile electronice. Zincul reacționează în plus cu soluțiile alcaline sau acide, reducând compatibilitatea cu fluxurile. Aliajul este predispus la coroziune și este dificil de utilizat

**f) Sn-Cu-Ag**

Aliajele din familia cupru-staniu-argint au devenit principalele aliaje fără plumb utilizate pentru lipirea componentelor electronice fiind astfel recomandate de principalele institute de profil. Performantele cele mai bune le are aliajul cu compoziția chimică Cu Sn-3-4Ag-0,5-2 plasat în apropierea eutecticului. Având un punct de topire cuprins între 216°C-217°C. Aliajul se caracterizează printr-o rezistență la oboseală ridicată (3-4 ori mai mare decât la aliajul de Sn-37Pb) atribuită structurii eutectice, și prezenței compușilor de  $Cu_kSn_s$  care se opun mișcării dislocațiilor. Prezintă o curgere bună precum și caracteristici de umectare acceptabile în timpul ansamblării PCB-urilor (plăcilor). Un conținut ridicat de cupru/argint la aceste aliaje, diminuează însă rezistența la oboseală.

Aliajele Sn-Cu-Ag au potențialul de a înlocui aliajul eutectic de staniu-plumb. Se utilizează cu succes pentru lipirea circuitelor integrate de tip BGA de la STMicroelectronics, Motorola și de la alți producători de semiconductoare și în aplicațiile de conexiune a cipurilor prin depunere galvanică sau serigrafie.

De altfel chiar standardele actuale relevă calitățile deosebite ale acestei familii de aliaje (de exemplu Standardul IPC/JEDEC a arătat că durata de viață a unei lipiri cu Sn-Cu-Ag este mai mare decât cea a unei lipiri cu staniu-argint sau staniu-plumb unde PCB-ul are pe suprafața sa depus un strat de nichel-aur).

**g) Sn-Ag-Bi**

Bismutul este un element chimic relativ rar întâlnit în aplicațiile industriale. Acesta este un metal moale, greu, fragil, de culoare alb-argintie, cu un punct de topire de 271°C. Se poate utiliza la realizarea de aliaje care se topesc la temperaturi mai scăzute cu aproximativ 47°C.

Bismutul produce o scădere a energiei la suprafață a staniului și tinde să îmbunătățească capacitatea de umectare a lipiturii. Se utilizează în mod frecvent aliajele Sn-3.3Ag-4.7Bi respectiv Sn-3.5Ag-1Bi. Conținutul de Bi mai mare de 5% degradează foarte mult plasticitatea aliajului. Un aliaj care conține 1% Bi are un punct de topire de 219°C-220°C; iar cel cu 4,7%Bi are un interval de topire cuprins între 210°C-215°C. Aliajele cu- 4,7% Bi prezintă o rezistență la rupere comparabilă cu cea a aliajului de Sn-37Pb iar cele cu 1% Bi îmbunătățesc rezistența la rupere de două ori. Se conferă astfel aliajelor Sn-Ag-Bi pe lângă proprietățile mecanice enunțate mai sus, caracteristici de umectare bune ceea ce la face a fi recomandate la asamblarea componentelor electronice folosind lipirea prin retopire precum și la lipirea în val (în special de companiile japoneze) [27], [37].

**h) Sn-Zn-Bi**

Pentru aplicațiile care conțin componente care nu rezistă la temperaturi ridicate și pentru a permite utilizarea instalațiilor existente, dezvoltarea aliajelor fără plumb cu temperatură de topire scăzută (sub 183 ° C) s-a îndreptat în special spre categoriile de aliaje staniu-bismut ,staniu-zinc-bismut, staniu-argint-indiu. Rezultate promițătoare s-au obținut și pe aliajele ternare Sn-Zn-Bi

Aliajul Sn-8Zn-3Bi a fost deja implementat pe mai multe PC-uri a căror PCB-uri conțin componente sensibile la temperatură.

Prezența zincului –ce favorizeaza oxidarea rapidă a lipiturii și constituie un dezavantaj ce poate fi contracarat prin alierea cu bismut și prin utilizarea protecției cu vid în timpul îmbinării [37].

**i) Sn-Cu-Ag-Sb**

Din această familie cel mai cunoscut este aliajul cuaternar, Sn-2.5Ag-0.8Cu-Sb, cu un punct de topire de 217°C. Produce în timpul îmbinării mai puțină zgură decât aliajele de lipit, cum ar fi staniu-cupru și staniu-argint, prezentând o bună umectare și o rezistență superioară.

Conductivitatea termică și electrică este similară cu cea aliajului staniu-plumb. Acest aliaj are cel mai scăzut punct de topire dintre aliajele din familia staniu-cupru-argint. Datorită adaosului de antimoniu, nu se formează compuși intermetalici de cupru și granulația structurii devine mai fină cu efecte în privința creșterii rezistenței la rupere. Utilizarea aliajului Sn2.5Ag0.8CuSb este uzual limitată la un conținut de maximum 1%Sb datorită toxicității sale. Pe aceleași considerente nu va fi folosit în procesul de lipire prin retopire.

Aliajul Sn2.5Ag0.8CuSb a fost folosit în combinație cu aliajul de staniu-plumb ca și strat de acoperire a PCB-ului pentru lipirea componentelor electronice pe PCB-uri cu sau fără degradarea lipiturii. O altă compoziție chimică a acestui aliaj este Sn-3.8Ag-0.7Cu-0.25Sb, folosit cu succes la lipirea în val [41].

#### **j) Sn-Cu-Ag-Bi**

Această categorie a fost intens studiată în special în procesul de lipire prin reflow. Compozițiile posibile din această familie includ Sn-2Ag-4Cu-46Bi, Sn-2Ag-OSCu-7.5Bi (cu un interval de topire de 186°C-212°C), Sn-3.5Ag-0.7Cu-5Bi (interval de topire 198°C-213°C), și Sn-2Ag-0.75Cu-3Bi (interval de topire 205° C-217° C). S-au observat dificultăți legate de modul de extracție al argintului și cele de recuperare și reciclare ale metalelor datorită conținutului de bismut.

### **1.4 Defectele ce apar la îmbinările lipite**

O problemă majoră a procesului de lipire o constituie riscul apariției defectelor. În cazul lipirii componentele electronice defectele sunt datorate procesului de lipire precum și aliajului de lipire.

#### **1.4.1 .Defecte cauzate de procesul de lipire**

Cele mai des întâlnite defecte sunt prezentate sumar în continuare

##### **1.4.1.1 „Lipitură lipsă” sau insuficientă**

Defectul de „lipitură lipsă” este un defect evident inacceptabil. Lipirea asigură continuitatea electrică și fixarea mecanică a componentei pe PCB. Lipirea insuficientă este un defect inacceptabil pentru componentele SMD în cazul în care aceasta nu îndeplinește cerințele minime ale unei lipituri. Lipirea insuficientă devine inacceptabilă și pentru componentele THD atunci când cerințele minime nu sunt satisfăcute [16].

Cauze posibile:

- fluxul nu este suficient,
- fluxul nu poate pătrunde în orificii/găuri
- temperatura de lipire este prea mică,
- distanța de la PCB la valul de aliaj este prea mare,
- capacitatea de lipire a componentelor,
- PCB-uri(Printed Circuit Boards) ne- conforme,
- timpul de lipire prea scurt iar viteza de deplasare a PCB-urilor este prea mare,
- flux de proastă calitate,
- profilul termic necorespunzător la reflow.

În figura 1.13 se prezintă un exemplu de lipire insuficientă la componentele SMD figura 1.13 b) respectiv la componentele THD- figura 1.13 a [60].

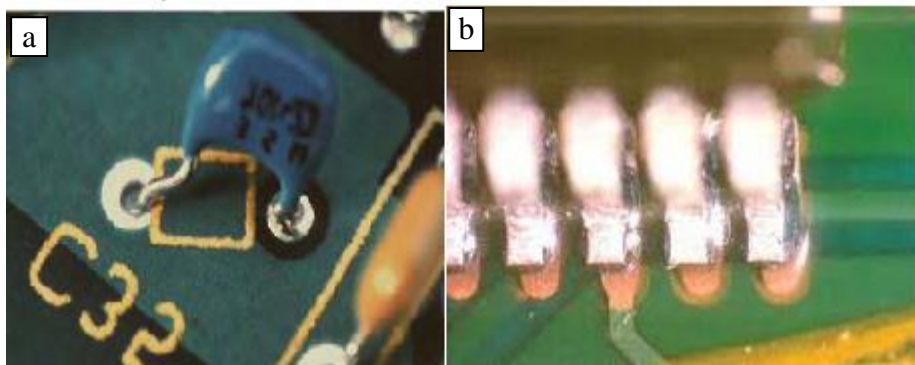


Figura 1.13 Lipire insuficientă [60]

#### 1.4.1.2 Lipitură arsă

Se datorează arderii rezidurilor din flux. Datorită acestor reziduri lipirea se realizează cu dificultate.

Eliminarea acestui defect se face printr-o curățare adecvată a îmbinării cu alcool izopropilic. Prevenirea lipiturilor arse se face prin utilizarea unui flux adecvat și pregătirea suprafețelor pentru lipire printr-o curățare adecvată [30]. În figura 1.14 se prezintă un exemplu de lipire arsă.



1.14 Lipitură arsă [30]

#### 1.4.1.3 Lipitură rece

Este o lipitură al cărui aliaj de lipire nu a fost complet topit. Adesea acest defect este caracterizat printr-o suprafață rugoasă. Lipiturile reci nu sunt acceptate în industrie. În timp aceste lipituri se vor deteriora prin apariția fisurilor. În figura 1.15 avem un exemplu de lipituri reci realizate pe un PCB [30]





Figura1.15 Lipituri reci [30]

#### 1.4.1.4 Bile de lipituri sau stropi

Aceste defecte pot să apară datorită faptului că suprafața PCB-ului nu este curată. Bilele de aliaj apar datorită stropilor de aliaj (figura 1.16) [16]. Bilele sau stropii de aliaj încalcă distanța minimă a lipiturilor sau design-ul PCB-ului. În multe cazuri aceste defecte pot determina ca viteza de încălzire a profilului termic la reflow să fie mai mare cu cel puțin 2°C /sec, înainte de a se face lipirea. O urcare mai lentă pe curba de reflow poate preveni aceste defecte. Cu toate acestea o viteză de încălzire prea lentă pe curba de reflow poate duce la oxidarea excesivă.

Bilele de aliaj pot să apară și datorită oxidării excesive. Pentru a reduce oxidarea trebuie utilizată atmosferă protectoare dar și o temperatură adecvată la profilul termic înainte de topirea aliajului [47].

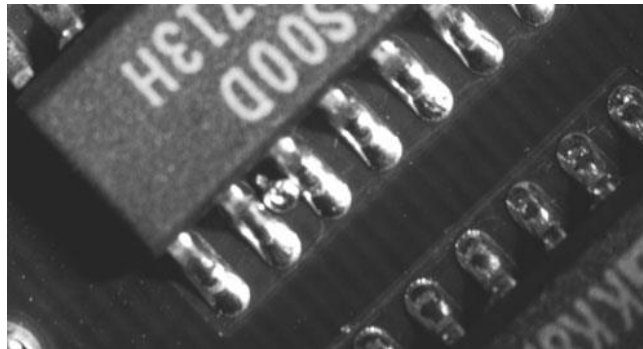


Figura1.16 Bile de aliaj [16]

#### 1.4.1.5 De-umectarea și Ne-umectarea

De-umectarea se face atunci când aliajul de lipire topit se depune pe suprafața de lipire în straturi și apoi se retrage formând astfel movile cu forme neregulate de aliaj. Un astfel de defect de lipire este prezentat în figura 1.17 a).

Ne-umectarea este defectul care apare atunci când nu se umectează bine suprafața de lipire astfel că aliajul de lipire este doar parțial în contact cu materialul de bază (a se vedea 1.17 b). De-umectarea este permisă atâta timp cât îndeplinește



cerințele minime de acceptare. Ne-umectarea este un defect neacceptat în domeniul electronicii [16].

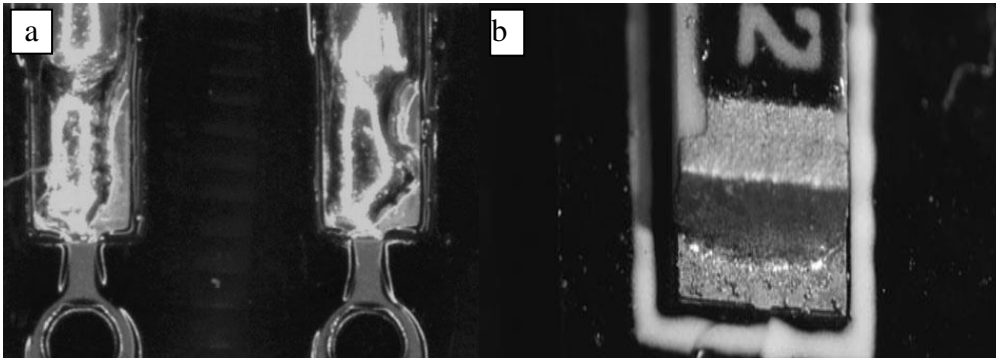


Figura 1.17 a) Exemplu de de-umectare b) Exemplu de ne-umectare [16]

#### 1.4.1.6 Tombstoning

Tombstoning („piatra de mormânt” -figura1.18) este un defect ce apare de obicei la componentele de tip cip și sunt cauzate în general de umezirea neuniformă care apare la unul din cele două capete ale cipului. Acest defect mai este cunoscut și sub denumirea de efect Manhattan. Pentru minimizarea acestui defect trebuie mărit timpul de menținere la temperatura de topire a aliajului pe profilul termic [24]. Dacă temperatura este sub punctul de topire atunci crește numărul acestor defecte. Dacă temperatura este mai mare decât temperatura de topire atunci are loc o bună umectare și o reducere considerabilă a acestor defecte [47].

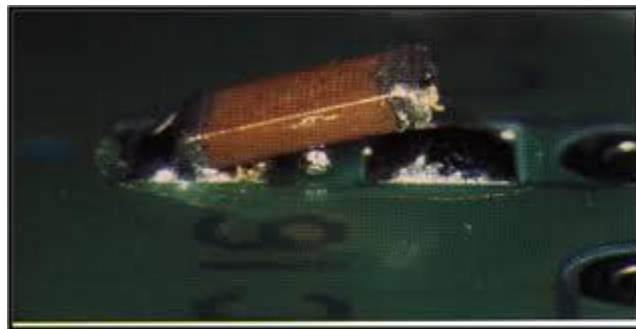


Figura1.18 Piatră de mormânt [31]

#### 1.4.1.7 Punți de aliaj

Sunt lipituri paralele cu planul PCB-ului și fac legătura între pinii componentelor [16]. Punțile de aliaj sunt conductive electric și produc scurtcircuite. Acestea nu sunt acceptate în industrie (figura 1.19). Cauzele posibile pentru apariția acestor defecte sunt:

- pinii componentelor (conectori),
- dacă aceste defecte apar la pinii din mijloc ai conectorilor atunci se datorează utilizării atmosferei necorespunzătoare,
- temperatura de lipire este prea mică,

- viteza cu care trec componentele prin val este mare iar temperatura este prea mică [60].



Figura1.19 Punți de aliaj [60]

#### 1.4.1.8 Lipituri cu fisuri

Fisurarea îmbinărilor se poate produce din cauza șocurilor fizice din timpul solidificării. Îmbinările lipite cu fisuri nu sunt acceptate deoarece prin fisurare se întrerupe și contactul electric (figura1.20 ) [16]. Pentru a verifica dacă sunt fisuri trebuie să se utilizeze echipamente special de detecție a defectelor sau microscopia optică.

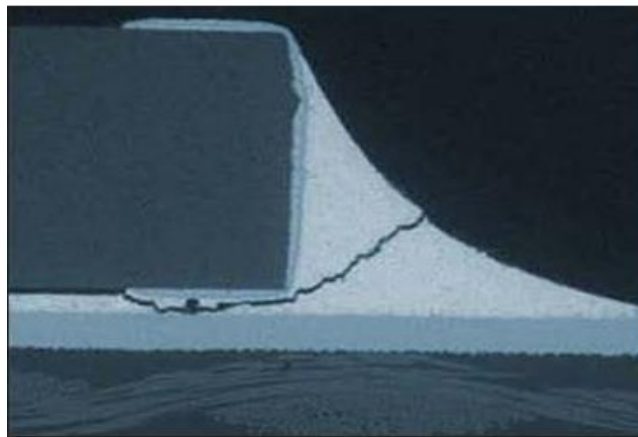


Figura1.20 Lipituri cu fisuri [84]

#### 1.4.1.9 Lipitură cu exces de aliaj

Este un defect care nu este acceptat în practică dacă afectează componentele sau circuitul (figura1.21 ). Pentru a repara acest defect se încălzește îmbinarea lipită cu ciocanul de lipit și se îndepărtează excesul de aliaj [16].

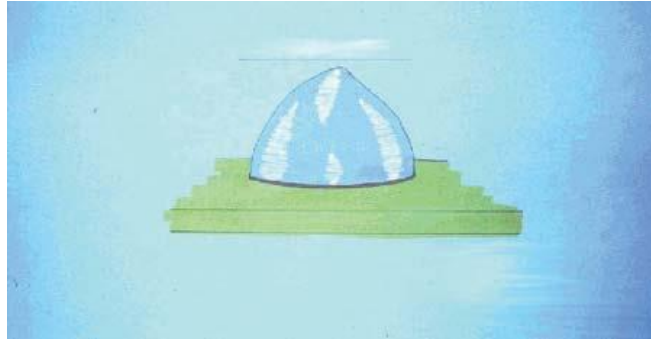


Figura 1.21 Lipitură cu exces [60]

## 1.4.2 Defecte cauzate de aliajul de lipire

### 1.4.2.1 Ciurma staniului

Aceste defecte ale staniului au fost observate atunci când staniul a fost utilizat la temperaturi mai mici de  $13^{\circ}\text{C}$ . Practic are loc transformarea staniului metalic în staniu cenușiu.

Staniul are o structură cristalină care variază în funcție de temperatură. La intervalele de topire între  $232^{\circ}\text{C}$  și  $161^{\circ}\text{C}$  Sn-ul are o rețea cristalină rombică. În figura de mai jos se prezintă staniu alb sau staniu cu rețea tetragonală cu volum centrat. La temperaturi scăzute acesta suferă modificări alotropice transformându-se într-o structură cubică rezultând astfel ciurma staniului ( a se vedea figura 1.22). La această transformare, la suprafață au loc erupții care sunt cunoscute ca fiind ciurma staniului. Acest defect are nevoie de o perioadă de incubație de la câteva luni până la câțiva ani [68].

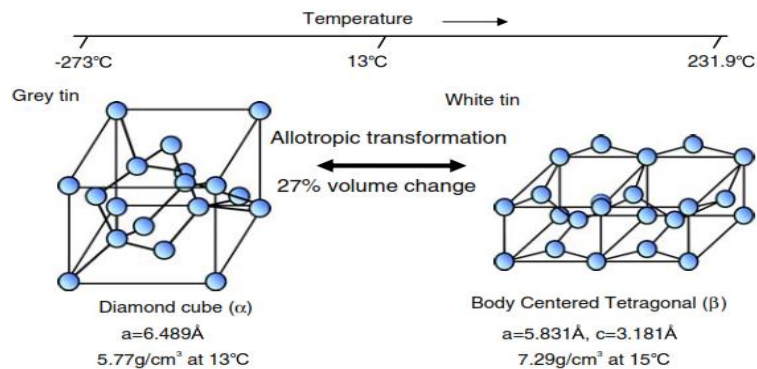


Figura 1.22 Transformările alotropice ale staniului [68]

Cele mai cunoscute avarii produse de aceste defecte sunt "butonii lui Napoleon". În iarna anului 1812 soldații lui Napoleon s-au retras în Moscova. Se spune că datorită frigului butoanele de staniu de la hainele soldaților s-au transformat în staniu cenușiu (adică pulbere de staniu). Această istorisire a fost criticată deoarece alte surse afirmă că pentru a transforma staniu metalic în staniu cenușiu este nevoie de 18 luni nu de 4 luni (adică o iarnă).

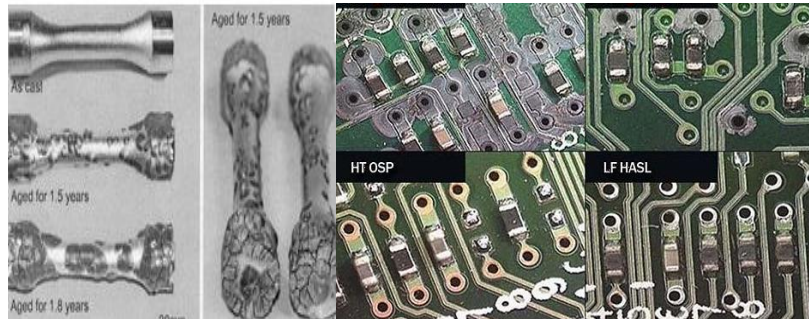


Figura 1.23 Ciuma staniului [44]

Cazurile de formare a ciumei staniului sunt frecvent întâlnite de-a lungul istoriei ( câteva exemple: la artefactele romane de staniu și la unele sicrie căptușite cu staniu, în Anglia secolului 17-când s-au emis monede acoperite cu Sn, la o biserică din Zeitz, Germania în 1851, etc ). Rezultatele sunt uneori contradictorii. Havia a făcut numeroase cercetări privind apariția ciumei staniului. A expus numeroase probe de  $\text{SnCu}_{0.7}$ , timp de 18 luni la  $-40^{\circ}\text{C}$  și nu a găsit aceste defecte.

Există numeroase aplicații în electronică unde s-a înregistrat ca defect ciuma staniului. Recent Burns a raportat ciuma staniului la pinii de la conectorii de cupru care au fost acoperiți de staniu (figura 1.23). Cunoscându-se faptul că Bi și Sb suprimă transformarea fazei  $\beta$  în faza  $\alpha$  ( $\beta \rightarrow \alpha$ ), pentru a împiedica apariția ciumei staniului la această aplicație, s-a încercat placarea cu bismut. În urma placării s-a constatat o reducere a frecvenței apariției acestui defect [44].

Aceste defecte au apărut la aliajele din familia Pb-Sn. Datorită eliminării plumbului se pune întrebarea dacă apar aceste defecte și la aliajele fără plumb. S-au făcut teste pe probe care au fost ținute la congelator la temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ . După lungi perioade de timp, s-a observat ciuma staniului pe anumite probe [68].

#### 1.4.2.2 Filamentul Anodic Conductiv (Conductive Anodic Filament (CAF))

În mijlocul anilor 1970 Laboratoarele Bell au raportat primul scurtcircuit electric din cauza filamentului anodic conductor (CAF), din interiorul PCB-ului. Acesta este și în zilele noastre o problemă majoră în industria telecomunicațiilor.

Principala caracteristică a acestui defect este pierderea bruscă și imprevizibilă de curent între conductorii electrici de tip bias. CAF tinde să apară la componentele de tip cip dar și la conectori [46]. Curând studiile asupra acestui defect au limitat industria de producere a PCB-urilor. În 1990 Jachim a identificat efectul fluxurilor din aliajele de lipire asupra producerii acestui defect.

CAF este o modalitate de defectare a PCB-urilor ce se formează în condiții de umiditate ridicată și un gradient al tensiunii ridicat. Filamentul de Cu crește formând o conexiune de la anod la catod de-a lungul fibrei de sticlă a PCB-ului figura 1.24.

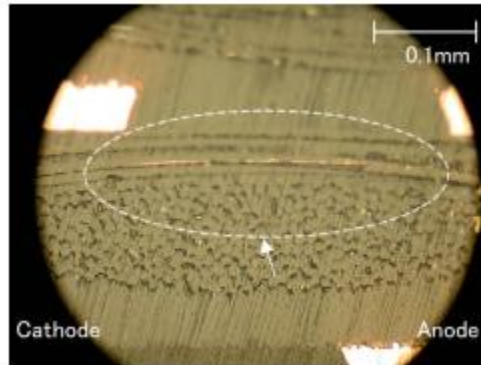


Figura 1.24 CAF la microscopul optic [2]

Mecanismul care stă la baza creșterii CAF este transferul electrochimic al ionilor de cupru de la anod la catod în mediu salin, influențați de curentul electric și pH. CAF crește în interiorul PCB-ului comparativ cu dendritele care cresc la suprafața PCB-urilor. La început aceste defecte au fost confundate cu dendritele [3]. Printre factorii care contribuie la apariția CAF amintim umiditate ridicată, temperatura mare și tensiune mare. În figura 1.25 avem patru modalități de formare a CAF [38].

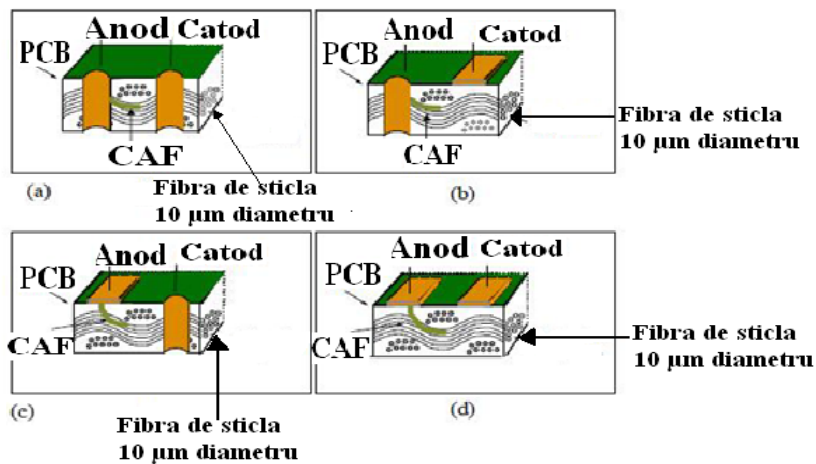
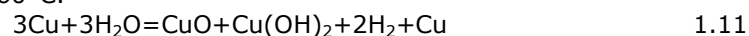


Figura 1.25 Reprezentarea schematică a formării CAF [95]

#### a) Mecanismul electrochimic

Acest defect fisurează fibra de sticlă a PCB-ului și crește până când acesta întâlnește un circuit sau un pin făcând astfel un scurtcircuit. Der Marderosian a observat formarea acestor defecte conform relației 1.11 (Der Marderosian) de formare a  $\text{CuO}$  și  $\text{Cu(OH)}_2$  la anod. La catod are loc reducerea obținând cupru și hidrogen gazos. El a afirmat că hidroxidul de cupru se descompune în oxid de cupru la temperatura de  $60^\circ\text{C}$ .

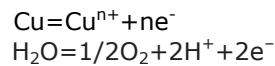


Anod

Catod

D.J. Lando a folosit pentru prima dată termenul de Conductive Anodic Filament (CAF) pentru a descrie acest defect în anul 1979. El a definit mecanismul de formare CAF ca un proces în două etape: degradarea fibrei de sticlă, urmată de reacția electrochimică (1.12) [16].

Anod



Catod



Formarea de Cu la catod nu se face cu ușurință, datorită pH-ului ridicat.

### b) Modelul de creștere a defectelor cauzate de CAF

În 1980, T. L. Welsher a descris CAF ca fiind o problemă serioasă de fiabilitate a electronicelor. Acestea apar la conductoarele care au spații mici între ele. Welsher a propus un model care arată că mediul are o influență importantă privind acest defect notat (MTTF) în relația 1.13

$$\text{MTTF} = a(\text{H})^b \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) + d \frac{L^2}{V} \quad 1.13$$

Unde

$H$  - umiditatea

$E_a$  - energia de activare

$R$  - constanta gazelor

$T$  - temperatura în Kelvin

$L$  - spațiu conductor

$V$  - voltajul

$a, b, E_a, d$  - constante dependente de material [85], [95]

Welsher a menționat că a fost nevoie de eforturi suplimentare pentru a determina exact dependența CAF față de spațiile conductoare și umiditate. Mai târziu relația 1.13 a devenit 1.14. Welsher a arătat că dacă se ranforsează fibra de sticlă cu triazină este posibil să nu mai apară CAF.

$$\text{MTTF} = \alpha \left(1 + \beta \frac{L^n}{V}\right) H^\gamma \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \quad 1.14$$

Unde:

$\alpha, \beta$  - constantele dependente de material

$g$  - constanta dependentă de umiditate

$\gamma$  - orientarea relatată a conductorilor

$L$  - spațiul

$V$  - voltajul

$H$  - umiditatea

$E_a$  - energia de activare

$k$  - constanta lui Boltzman

T -temperatura în Kelvin,[85].

Laboratoarele CALCE au studiat formarea filamentului anodic conductor (CAF), pe care l-au definit ca „un proces electrochimic care implică transportul electrochimic (de obicei ionic) a unui metal printr-un un mediu non-metalic sub influența unui câmp electric aplicat”. Astfel că s-a definit timpul de defectare prin relația:

$$t_f = \left( \frac{a \cdot f [1000k \cdot L]^n}{V^m [M - M_t]} \right) \quad 1.15$$

Unde:

a-factorul de accelerare a formării CAF,  
 f-factorul de corecție al straturilor PCB-ului,  
 k-factorul de formă,  
 L-spațiul dintre conductoare,  
 n-factorul geometric de accelerare,  
 M-conținutul de umiditate  
 M<sub>t</sub>-pragul conținutului de umiditate,  
 m- factorul de accelerare a voltajului  
 V-voltajul  
 n - geometria factorilor de accelerare.

Ready și Turbini au studiat efectele tensiunii și spațiului asupra creșterii CAF. Pe baza datelor experimentale s-a modificat relația Welscher devenind relația 1.16:

$$MTTF = c \cdot \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) + d \left(\frac{L^4}{V^2}\right) \quad 1.16$$

[85], [16].

### c) Factorii care influențează formarea CAF

O serie de factori pot influența creșterea formării CAF în straturile PCB-ului. Acești factori se pot grupa în două categorii astfel: factori externi și factori interni.

Factorii interni se referă în special la materialele alese pentru straturile PCB-ului, tipul componentelor lipite pe PCB, condițiile de funcționare, calitatea straturilor PCB-ului, modelul de circuit utilizat.

Factorii externi sunt mediul, procesul de fabricație, condițiile de procesare ș.a [95]. În figura1.26 se poate observa imaginea realizată cu microscopul SEM în cazul unui CAF.



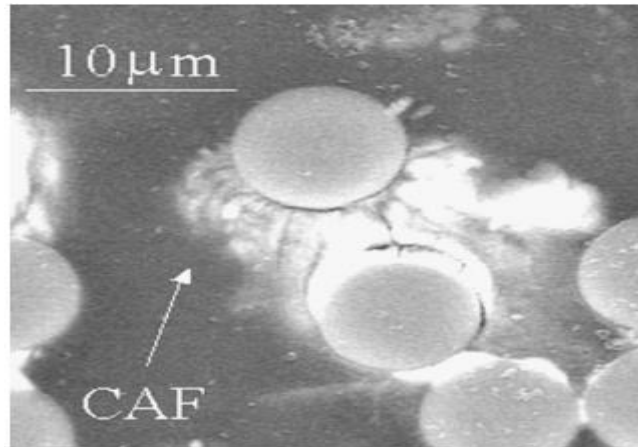


Figura .1.26 Imaginea SEM a unui CAF [85]

**d) Recomandări**

S-a demonstrat că utilizarea unor dimensiuni mici ale PCB-urilor poate duce la creșterea CAF în condiții de umiditate. Pentru a preveni apariția acestora trebuie luate în considerare aspecte ca materialele utilizate pentru straturile PCB-urilor, calitatea laminării PCB-urilor și procesul de fabricație al PCB-urilor. Pentru a preveni apariția CAF trebuie ținut cont de următoarele aspecte:

- utilizarea unei fibre de sticlă rezistentă la atacurile chimice ,
- evitarea cauzelor legate de fabricație, șocuri termice și de stress,
- evitarea cauzelor legate de umiditate ridicată, gradient de tensiune ridicat între anod și catod [95].

**1.4.2.3 Dendritele**

Sunt defecte considerate ca și consecința unui proces electrochimic asociat migrației electrochimice la suprafața unui PCB. Dendritele sunt diferite de CAF prin faptul că:

- dendritele cresc la suprafața PCB-ului iar CAF în interiorul straturilor PCB-ului;
- CAF este asociat ca fiind un filament în interiorul PCB-ului iar dendritele nu;
- o dendrită poate fi văzută cu ochiul liber iar un CAF nu poate fi văzut cu ochiul liber [3].

În condiții de răcire foarte lentă este posibilă formarea unor cristale numite dendrite care se nasc ca urmare a unor direcții preferențiale de transfer de căldură (figura 1.27).

Procesul de creștere al dendritelor începe cu oxidarea unui metal, care formează ioni metalici, la anod, (ecuația 1.17) și care migrează spre catod, apoi are loc reducerea lor la de metalul de bază conform ecuației 1.18. Această reacție este similară cu cea de depunere galvanică deși la depunerea galvanică are loc migrarea electrochimică a ionilor pe o tablă la catod dar această depunere nu formează dendritele [46].





Când ionii metalici migrează la catod ei se pot atașa producând la catod formațiuni crescute sub formă de ace sau țepi. La vârful acestor formațiuni densitatea de curent este maximă și acest lucru conduce la creșterea vitezei de depunere și deci la accelerarea creșterii formării dendritelor. Ionii de metal produși la anod trebuie să poată migra spre catod fără a forma alți compuși insolubili neutrii adică specii neionizate, care nu se dizolvă în apă. Cupru (I) tinde să precipite sub OH-pentru a forma  $\text{Cu}(\text{OH})$  și prin urmare spre deosebire de  $\text{Cu}(\text{II})$ , care migrează de la anod fără precipitare.

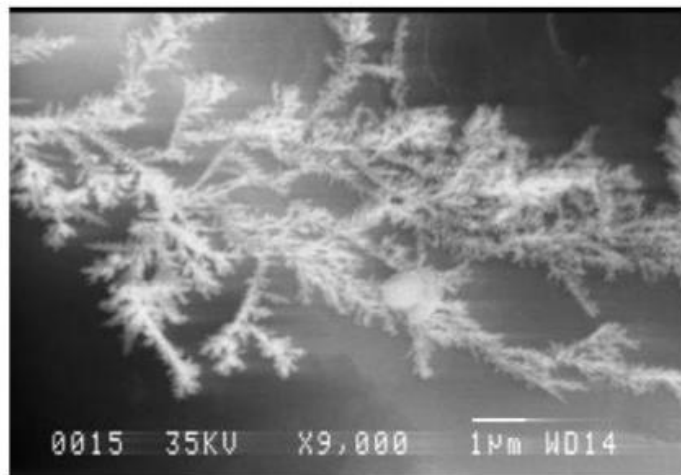


Figura 1.27 Imagini SEM la dendrite [46]

Formarea unei dendrite este însoțită de descompunerea apei care implică un proces de oxidare la anod și un procedeu de reducere la catod având un gradient mare al pH-ului formeează interfețele cu electrozi. Aceste etape sunt de obicei numite ca un proces redox (de reducere-oxidare). Acest lucru este demonstrat uneori prin producerea de gaze la electrozi.

Dendritele formează, de obicei, o punte de legătură între doi electrozi producând o creștere a curentului și astfel scurtcircuitând plăcile electronice [46]. În figura 1.28 se prezintă modul în care acestea se propagă pe diverse direcții.

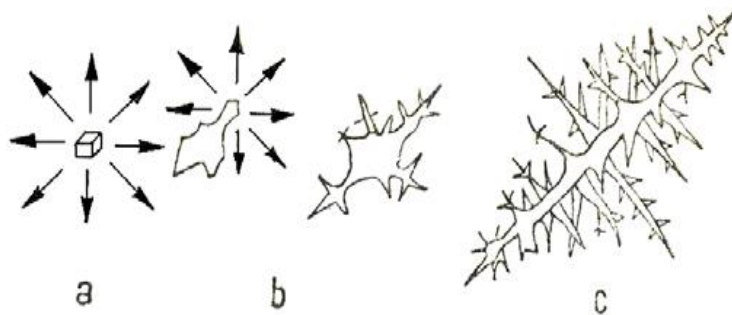


Figura1.28 Dendritele [46]

## **1.5. Excrescențele whiskers**

### **1.5.1. Definiție ,clasificări, avarii**

După ce a fost interzisă lipirea componentelor electronice cu plumb aceasta se realizează în prezent cu staniu. Una din problemele care apar la lipirea cu staniu sunt apariția excrescențelor whiskers [83]. Aceste excrescențe sunt structuri cristaline de staniu care prezintă o bună conductivitate electrică.

#### **a) Avarii produse de excrescențele whiskers**

Excrescențele whiskers au produs avarii serioase la electronice provocând scurtcircuitarea acestora. Excrescențele whiskers au fost evidențiate pentru prima dată în 1946, când Howard Cobb le-a descoperit la un aparat radio de la un avion Aircraft [66]. În 1959, Arnold a publicat o lucrare detaliind creșterea excrescențelor whiskers. Acesta a observat excrescențe whiskers la aliajele de Sn-Pb.

El a menționat că la aliajele de Sn-Pb în timp vor crește excrescențe whiskers datorită tensiunilor de compresiune mari [4], [5]. Câțiva ani mai târziu în 1964, acest rezultat a fost afirmat și de Pitt și Henning care au observat o creștere a excrescențelor whiskers din cauza tensiunilor. S-a mai demonstrat că o dată cu creșterea conținutului de Pb în aliaj excrescențele whiskers nu mai apar. În 1974 Britton a arătat că depunerile de Sn-Pb mai mari de 8 $\mu$ m pot duce la creșterea excrescențelor whiskers. Acesta a mai afirmat că adăugarea unui procent de Pb de 1% este suficient pentru a preveni creșterea excrescențelor whiskers.

În 1975-1976, într-o serie de publicații ale Agenției Spațiale Europene se afirmă că suprafețele care sunt predispușe la creșterea excrescențelor whiskers sunt datorate tensiunilor interne din aliajul de lipire [19], [93]. Acesta a sugerat ca alternativă utilizarea aliajului 60Sn/40Pb pentru prevenirea excrescențelor whiskers.

Dunn a fost primul care a propus ca pentru aplicații cum ar fi nave spațiale, sau aplicații militare să nu se utilizeze staniu ca aliaj de lipire [23], [19]. În 1990, Cunningham și Donahue de la compania Raytheon au prezentat o lucrare la Conferința SAMPE în care au comparat creșterea excrescențelor whiskers la Sn cu cele din aliajul Sn-Pb. Pentru creșterea excrescențelor whiskers probele au fost supuse la solicitări mecanice și temperaturi ridicate. Rezultatele au arătat că aliajul la care s-au produs cele mai puține excrescențe whiskers a fost de Sn / Pb la lipirea prin reflow.

Prima lucrare publicată de o companie de producție a conectorilor privind creșterea excrescențelor whiskers a fost făcută de Diehl de la Burndy Corporation în 1993. Ishii (în 1999) raportează pentru prima oară probleme la circuitele integrate legate de creșterea excrescențelor whiskers. La aceste componente excrescențele whiskers pot produce scurtcircuit la piciorușele acestor componente. În alte lucrări au fost menționate apariția unei densități mari a excrescențelor whiskers pe suprafețele de staniu pur la probe ce au fost supuse unor tratamente termice la temperatura de 150°C timp de 2 ore. De asemenea și în acest caz excrescențele whiskers au produs scurtcircuite [19].

Într-un studiu publicat la începutul secolului 21 General Electric atestă faptul că au fost găsite excrescențe whiskers pe anumite relee după o funcționare de peste 10 ani. Aproximativ în aceeași perioadă Stevens la compania Foxboro raportează avarii produse de creșterea excrescențelor whiskers la relele utilizate la reactoarele nucleare după opt ani de funcționare. Aceste relee au fost acoperite inițial cu Sn-Pb dar din cauza economiei privind costurile de acoperire s-a optat doar la utilizarea staniului conducând astfel la apariția excrescențelor [19], [90].

În figura 1.29 se prezintă o serie de exemple unde s-a observat prezența excrescențelor whiskers la lipirea componentelor electronice.

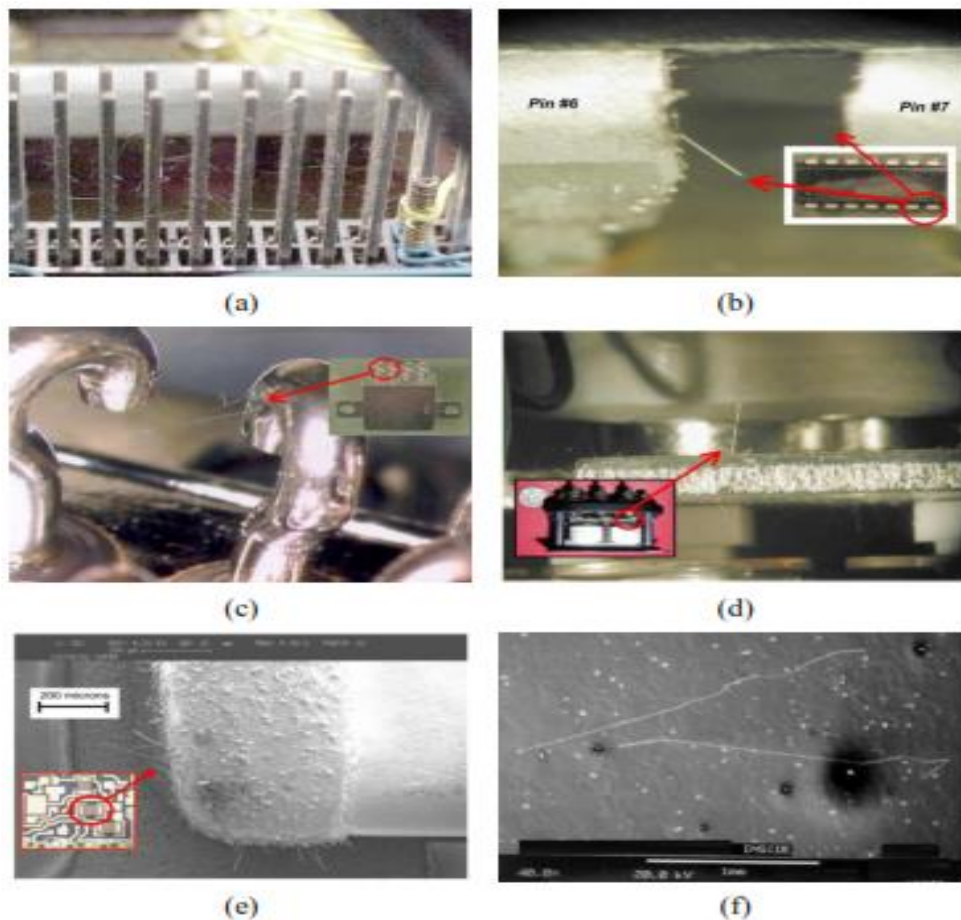


Figura 1.29 Exemple cu excrescențe whiskers la componentele electronice: (a) la pinii unor conectori; (b) la microcircuite; (c) la suprafața unui relee; (d) în interiorul unui relee, (e) la un condensator de tip ceramic, (f) la un circuit integrat ((a)-(f) [19])

Efectele nefaste ale formării excrescențelor whiskers s-au raportat și în industria aerospațială.

Silverstein a cercetat pentru Hughes Space Communication, compania care a construit satelitul HS601, creșterea excrescențelor whiskers. S-au observat trei avarii la computerul care menține orientarea satelitului spre Pământ. Avariile au fost

produse de un comutator al acestui computer. În acest caz s-a pierdut comunicarea cu stația de bază din Statele Unite. Alte două cazuri unde au fost raportate avarii la sateliți au fost la satelitul GALAXY VII în Noiembrie 2000 și la satelitul SOLIDARIDAD 1 în august 2000 unde s-a pierdut controlul cu acești sateliți.

În aceste două cazuri au fost probleme la procesoarele acestor sateliți. În ianuarie 2006 s-au înregistrat probleme la satelitul GALAXY IIIIR. În acest caz s-au găsit excrescențe whiskers la un releu de la acest satelit provocând probleme de menținere a acestuia pe orbită [78], [91].

Nici industria autovehiculelor nu a fost scutită de avarii însemnate datorită apariției acestui fenomen.

În 2010 NASA a publicat o lucrare unde au raportat excrescențe whiskers în industria de automotive la pedala de accelerație a automobilelor firmei Toyota.

Aceste tip de defecte la Toyota au fost studiate în detaliu de Osterman, Pecht și Bachnu în 2011. Ei au găsit excrescențe whiskers la un conector de la pedala de accelerație. Pedala de accelerație are conectat un ax pe care se exercită o forță externă, produsă de piciorul uman. Când piciorul nu mai exercită această forță în condiții optime de funcționare pedala trebuie să revină în poziția inițială. Dacă aceasta nu revine în poziția inițială atunci automobilul prinde viteză și se pierde controlul asupra acestuia provocând accidente. S-au indentificat astfel de excrescențe whiskers de staniu la terminalele senzorilor de poziție ai pedalei de accelerare la modelele Toyota Camry din 2002 și 2005 care au provocat scurtcircuitarea unui conector de la această pedală.

În figura 1.30 avem prezentate excrescențe whiskers găsite la conectorii pedalei de accelerație. În acest caz efectul prezenței excrescențelor whiskers a fost de a bloca revenirea pedalei în poziția inițială. Tot la Toyota în 2011-2012 dar la modele Toyota Prius, Tundra, Tacoma și Lexus s-au produs avarii similare cu cele de la modelul Camry

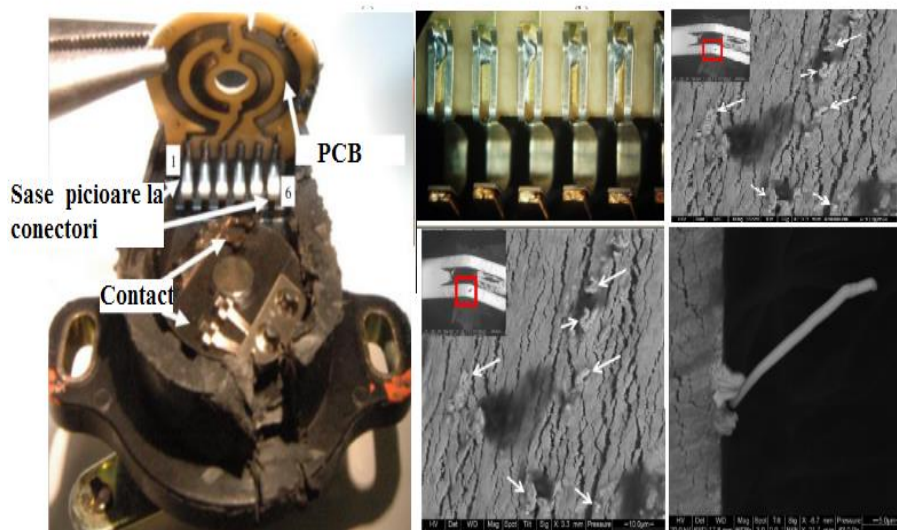


Figura 1.30 Excrescențe whiskers la pedala de accelerație la Toyota Camry modelul din 2005 [6]

Ca o sinteză în tabelul 1 se prezintă cele mai însemnate avarii produse de excescențele whiskers [62], [64].

Tabel 1 Avarii cauzate de excescențele whiskers [62], [65], [63]

| <b>Avariile produse de excescențele whiskers</b> |                        |                       |
|--|------------------------|-----------------------|
| <b>Aplicații</b>                                 | <b>Pisele avariate</b> | <b>Anul/referințe</b> |
| <b>Reactoare nucleare</b>                        | Dispozitive de bord    | 2005(12)<br>1999(10)  |
| <b>Avioane militare</b>                          | Relee                  | 2002(11)              |
| <b>Energie electrică</b>                         | Varistori              | 2002(13)              |
| <b>Simulatoare cardiace</b>                      | Cristal                | 1986(6)               |
| <b>Radar militar</b>                             | Circuit integrat       | 1986(7)               |
| <b>Rachete</b>                                   | Tranzistori            | 1993(8)               |
| <b>Sateți</b>                                    | Procesor               | 1998(9)               |

#### b) Tipuri de excescențe whiskers

În funcție de forma lor excescențe whiskers se pot clasifica în următoarele tipuri: filament, noduli, columnare, mușuroi, benzi și circumferențiale ( a se vedea figura1.32).

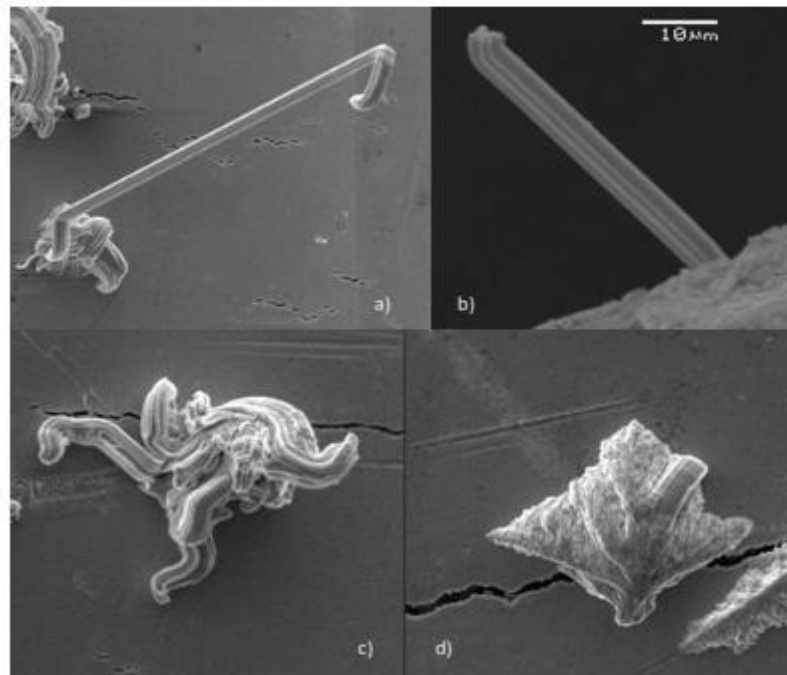


Figura1.31 Tipuri de excescențe whiskers  
a) filament , b) columnare , c) noduli, d) mușuroi [28]

Excescențele whiskers de tip filament sunt cele mai periculoase din cele raportate în literatura de specialitate (figura 1.31 a). Diametrul excescențelor whiskers de tip filament este în mod tipic în intervalul de 1-3  $\mu\text{m}$  și lungimea lor este de la câteva zeci până la câteva sute de micrometrii .

Excescențele whiskers columnare sunt, de obicei, mai scurte și mai groase decât cele de tip filament (figura 1.31 b). Excescențele whiskers columnare au diametrul cuprins între 2-6  $\mu\text{m}$  în funcție de mărimea grăunților de staniu și lungimea care depășește rareori 0,2 mm. Uneori aceste excescențe whiskers sunt policristaline. În acest caz mărimea grăunților este mai mare de 1  $\mu\text{m}$  [93],[92].

Excescențele whiskers de tip noduli nu sunt în general drepte și sunt groase conform cu figura 1.31.c. Forma și mărimea excescențelor whiskers noduli poate varia foarte mult. Diametrul excescențelor whiskers noduli poate fi între 5-20  $\mu\text{m}$  și lungimea lor este de obicei în jur de 10-50  $\mu\text{m}$ . Excescențele whiskers moșuroi sunt de regulă structuri în formă de piramidă. Acestea sunt excescențe crescute mai târziu (figura 1.31 d ) Excescențele whiskers moșuroi au dimensiunile de câțiva  $\mu\text{m}$  [28], [13].

### c) Modalitatea de vizualizare a excescențelor whiskers

Pentru a determina corect excescențele whiskers trebuie să avem un microscop optic și o sursă de lumină care să lumineze proba. Lumina trebuie să fie paralelă cu planul probei așa cum se arată în figura 1.32 [12].

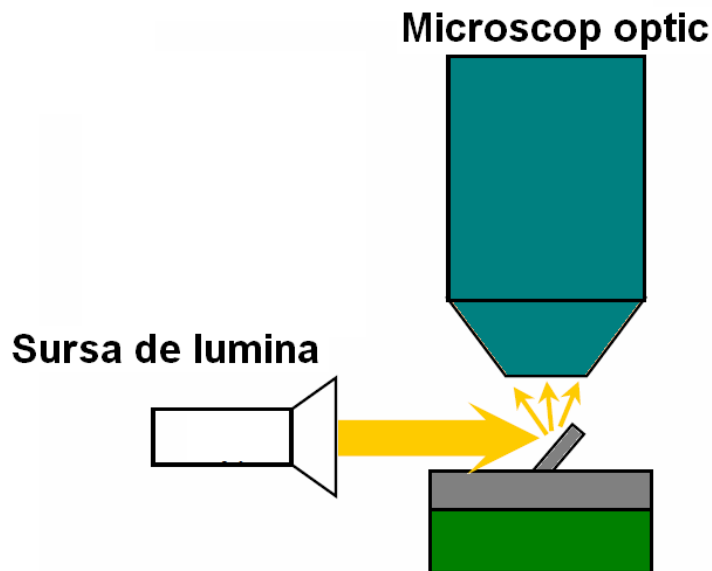


Figura1.32 Modalitatea de vizualizare a excescențelor whiskers [12]

### d) Caracteristicile excescențelor whiskers

Lungimea excescențelor whiskers depinde de viteza de creștere. De obicei, excescențele whiskers au o lungime de 500 $\mu\text{m}$  și un diametru cuprins 0.3-10  $\mu\text{m}$ .

Cea mai lungă excescență whiskers care a fost raportată vreodată a avut 10mm. Densitatea excescențelor whiskers poate varia în funcție de componentele unde sunt determinate. Cea mai mare densitate care a fost raportată în acest sens a fost de 10<sup>4</sup>/cm<sup>2</sup> [83]. Viteza de creștere a excescențelor whiskers este aproximată la 9mm/an. Această viteză de creștere nu este tot timpul liniară( iar uneori procesul de creștere poate să înceteze) fiind influențată de o serie de factori precum substratul, aliajul de lipire, mărimea grăunților.

Intensitatea curentului electric care trece printr-o excescență whiskers depinde de diametrul acesteia și de mediu. De obicei intensitatea curentului la



excescențele whiskers este de 10~32 mA [7], [5]. Diametrul afectează rezistența electrică a unei excescențe whiskers dar și mediul. Acesta este motivul pentru care excescențele whiskers au de obicei capacitate mai mică de a conduce curentul electric în condiții de presiune scăzută și vacuum [83], [8]

### 1.5.2. Caracterizarea dimensională și statistică a excescențelor determinate

#### a) Excescențe whiskers determinate la PCB-urile de airbag

Airbag-urile sunt dispozitive care au ca scop reducerea impactului dintre corpul șoferului (pasagerului) și elementele constructive ale automobilului. Acestea sunt prevăzute cu computere care în cazul unui impact trimit un impuls sau o comandă să se deschidă airbag-ul.

O serie de avarii legate de declanșarea neintenționată sau cu întârziere a deschiderii airbag-ului au avut ca și consecință formarea excescențelor de whiskers ce au condus astfel la scurtcircuitarea circuitelor electronice.

Într-adevăr investigațiile efectuate pe plăcuțelor de circuit imprimat (Printed Circuit Boards, PCB) ale acestui computer au relevat prezența excescențelor de tip whiskers atât la conectori cât și la condensatori (figura 1.33).

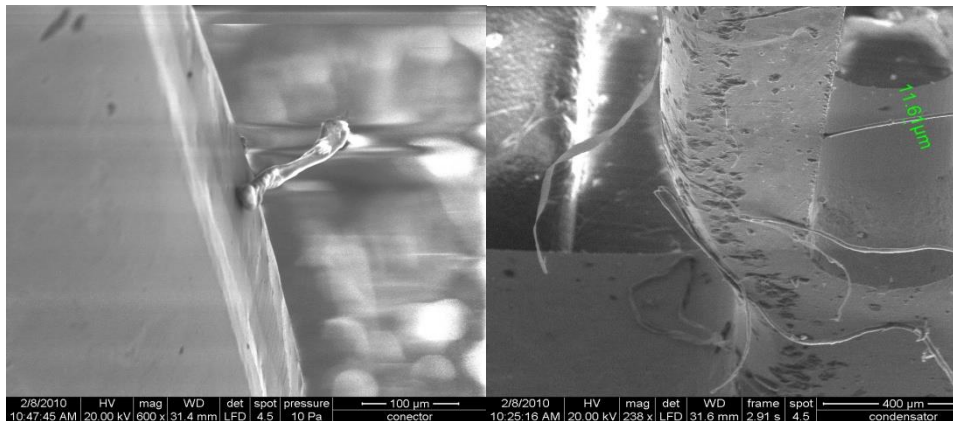


Figura 1.33 Excescențe whiskers la conector respectiv la condensator [55]

Acestea defecte au avut un diametru de 11.6 μm fiind cu mult mai mare decât cele cunoscute în literatura de specialitate. În figura 1.33 se poate observa faptul că diametrul prezentat anterior este specificat în cazul condensatorului. Atât la conectori cât și la condensatori excescențele whiskers au fost de tip filament.

#### b) Caracterizarea dimensională și statistică a excescențelor determinate la PC-uri

În urma analizei microscopice a probelor de PCB s-a observat existența excescențelor whisker pe diverse traseele electronice la plăcuțele de circuit integrat de tip QFP (Quad Flat Pack). PCB-urile care au fost examinate sunt de la PC-uri care au avut o durată de viață estimată la 3 ani din care 2 ani au fost în stare de funcționare iar un an au fost în stare de reparație la temperatura mediului ambiant.

Circuitele integrate prezintă piciorușe foarte apropiate de aceea la aceste componente electronice dacă sunt găsite excescențe whiskers ele pot produce un

scurtcircuit în primul rând între piciorușele componentei provocând deteriorarea circuitului și a întregului ansamblu, sau între piciorușele circuitului și o altă componentă de pe PCB. Circuitele integrate de tip QFP au piciorușele de tip „aripă de pescăruș”. Conform figurii 1.34 acestea sunt împărțite în patru segmente. Segmentele unde au fost găsite excrescențe whiskers în cazul acestor circuite sunt segmentele A,B și respectiv D.

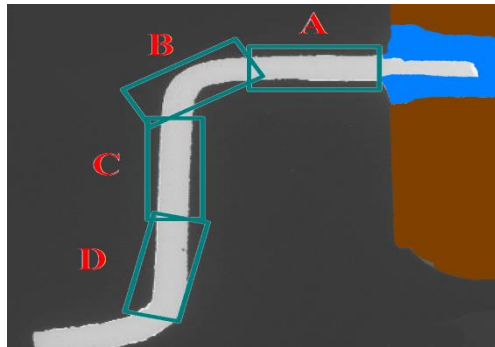


Figura 1.34 Picioruș de circuit de tip QFP împărțit pe segmente [54]

Excrescențele whiskers determinate pe segmentele A, B,D au fost de câte unul pe fiecare picioruș dar au fost găsite și mai multe astfel de defecte pe același picioruș. De exemplu conform figurii 1.35 excrescențele whisker determinate sunt în segmentele D și B. Acestea se intersectează producând astfel scurtcircuit.

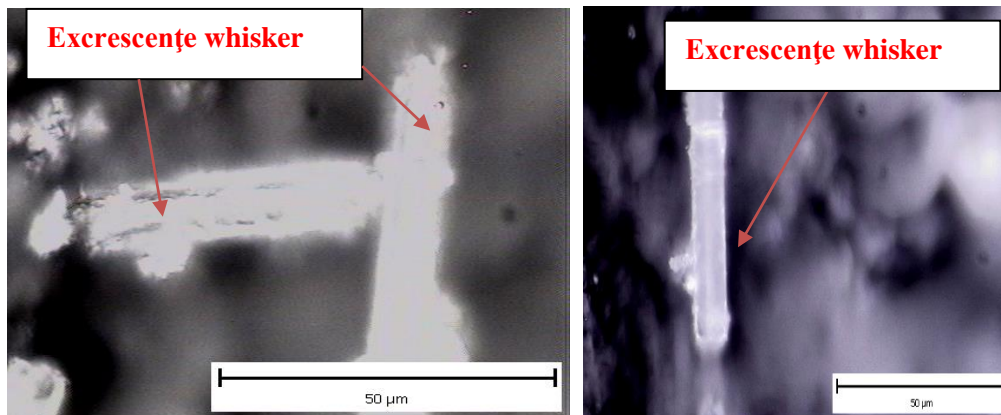


Figura 1.35 Excrescențe whisker determinate la piciorușul unui circuit integrat în segmentele B și D [54]

Excrescențele determinate au fost realizate pe un eșantion de 20 de probe. La toate aceste excrescențe a fost determinată lungimea. În figura 1.36 se poate observa că cea mai mare lungime obținută este de 70μm la proba cu numărul 9 respectiv la cea cu numărul 13.



Cele mai mici lungimi obtinute la excrescențe sunt cele de la probele cu numarul 4 și 6 având o lungime minimă de 10  $\mu\text{m}$  și respectiv 9  $\mu\text{m}$ .

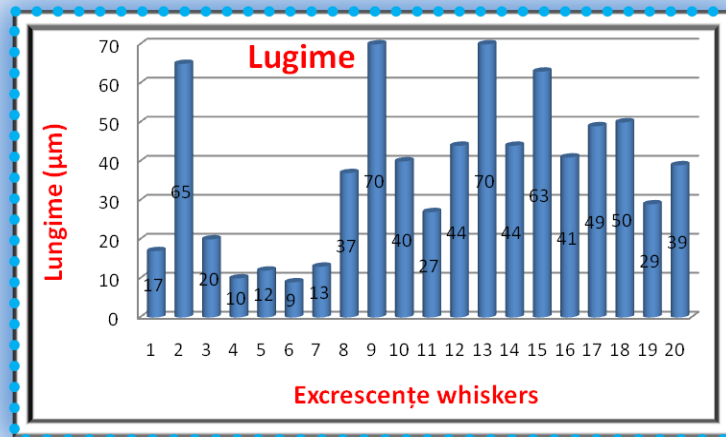


Figura1.36 Determinarea lungimii excrescențelor whiskers [54]

## 1.6 Concluzii

Lipirea componentelor electronice reprezintă un proces complex și se realizează cu aliaje de lipire cu o temperatură de topire cuprinsă între 250-350°C. Dacă până în anii 90 aceste componente se lipeau cu ajutorul unor aliaje pe bază de plumb ulterior s-a trecut la înlocuirea acestuia cu aliaje pe bază de staniu consecință în primul rând a faptului că elementul chimic plumbul este toxic atât pentru mediul înconjurător cât și pentru sănătatea oamenilor.

Deși ulterior au fost utilizate diverse aliaje care păreau a fi compatibile cu lipirea componentelor electronice s-a ajuns la concluzia că cele mai performante rămân cele pe bază de staniu.

În cazul procesului de lipire este necesar să se ia în considerare o serie de fenomene care pot afecta calitatea suprafețelor îmbinate. Dintre acestea amintim: capilaritatea, difuzia, umectarea, unghiul de contact, întinderea, fluxurile și formarea oxizilor.

Trecerea la lipirea componentelor electronice cu aliaje pe bază de staniu a adus beneficii pe plan economic prin automatizarea unor utilaje, o creștere ridicată a producției, costuri reduse respectiv profit firmelor producătoare. Dezavantajele utilizării acestor aliaje sunt în principal urmare a riscului ridicat de apariție a defectele cauzate de procesul de lipire sau de tipul aliajului utilizat. Dintre defectele cauzate de natura aliajului se menționează CAF, dendritele, ciuma staniului, excrescențele whiskers. Cele mai periculoase dintre acestea sunt excrescențele whiskers.

## 2 Factorii favorizanți ai apariției și creșterii excrescențelor whiskers

Este unanim acceptat faptul că procesul de apariție și creștere a acestor defecte depinde de o multitudine de factori. Apariția excrescențelor whiskers este favorizată de anumiți parametri ai procesul de galvanizare respectiv de depunere, de caracteristicile aliajului de lipit, ori de substratul care se află pe suprafața PCB-ului și nu în ultimul rând mediul în care funcționează circuitele electronice (aer, apă, zăpadă, acid etc).

Fiecare dintre acești factori ar putea determina sau fi determinați de alte mărimi. Astfel procesul de galvanizare chimică depinde de: compoziția chimică a aliajului, încorporarea hidrogenului, prezența carbonului și PH-ul. Galvanizarea este de obicei influențată de: densitatea curentului electric, agitația băii, temperatura băii. Aliajul substratului care se află pe traseele de pe PCB contribuie ca factor ce determină apariția excrescențelor whiskers și este influențat de: natura materialului, tensiunile substratului, formarea compușilor intermetalici, elementul de difuzie în Sn. Mediul înconjurător joacă de asemenea un rol foarte important în apariția excrescențelor whiskers. Umiditatea influențează apariția excrescentelor whiskers. Aceasta duce la oxidarea sau la coroziunea aliajului lipit. Temperatura reprezintă un alt factor care determină apariția excrescențelor whiskers, de regulă dacă se constată fluctuații mari ale acesteia sau schimbări bruște sau radicale.

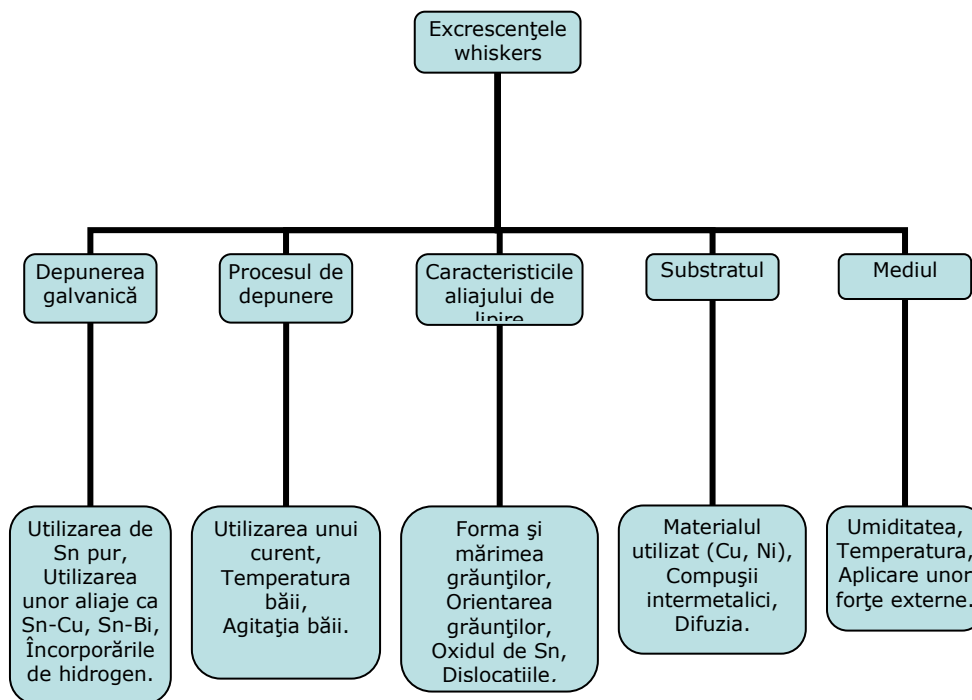


Figura 2.1 Factorii care influențează creșterea excrescențelor whiskers [7],[64],[65]



Alți factori de mediu care duc la formarea acestui tip de defecte sunt: forțele externe care acționează asupra componentelor electronice sau plăcilor de circuit imprimat, potențialul electric sau fluxul de curent. Printre forțele externe se pot aminti zgârieturile datorate neatenției, clemelor de prindere, bridelor de prindere, încovoierea datorită unei prinderi sau fixări necorespunzătoare, lovituri, surse mari de căldură în apropiere și altele.

Excescențele whiskers care au apărut la aliajele din staniu au fost intens studiate de cercetătorii din domeniu privind formarea lor precum și reducerea riscului de apariție al acestora. S-a constatat în urma diverselor experimente că acestea sunt foarte greu de controlat. Principalii factori care contribuie la apariția excescențelor whiskers sunt prezentați în figura 2.1.

Aliajul de lipire are o influență deosebită la lipirea componentelor dar care influențează creșterea excescențelor whiskers prin: forma și mărimea grăunților, orientarea grăunților, grosimea stratului depus, formarea oxidului de Sn, tensiunile interne din material după lipire, difuzia, prezența unei structuri columnare a grăunților [35], [8].

Figura 2.2 prezintă unii dintre cei mai importanți factori care determină creșterea excescențelor whiskers ce depind de aliajul de lipire.

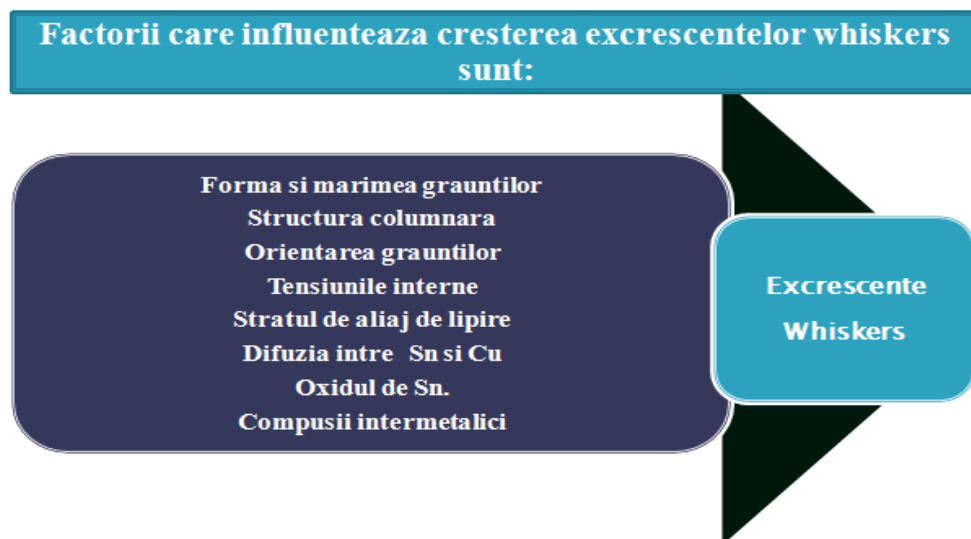


Figura 2.2 Factorii care influențează creșterea excescențelor whiskers care depind de aliajul de lipire [53]

## 2.1 Forma și mărimea grăunților

Una dintre teoriile care explică modul în care cresc excescențele whiskers este cea care ține de forma și mărimea grăunților. Smetana a afirmat că o mărime mare a grăunților aliajului de lipire poate influența și chiar duce la creșterea excescențelor whiskers. Tot el a afirmat că existența unei structuri columnare poate duce la creșterea excescențelor whiskers [43]. Yu a demonstrat că structura grăunților are o influență mare privind tensiunile interne din material. Aceste tensiuni pot duce la creșterea excescențelor whiskers. Structura columnară poate duce la formarea compușilor intermetalici  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ . Aceștia determină creșterea

tensiunilor interne de compresiune la limita între grăunți provocând astfel o extrudarea aliajului (vezi figura 2.3). Această extrudare reprezintă excrescență whiskers [28]. Această structură columnară duce de regulă la creșterea excrescențelor whiskers de tip filament. Structura semi-columnară a grăunților determină tensiuni de compresiune pe direcții diferite luând naștere astfel excrescențele whiskers de tip mușuroi. Forma și orientarea grăunților determină unghiul de creștere al excrescențelor whiskers [94].

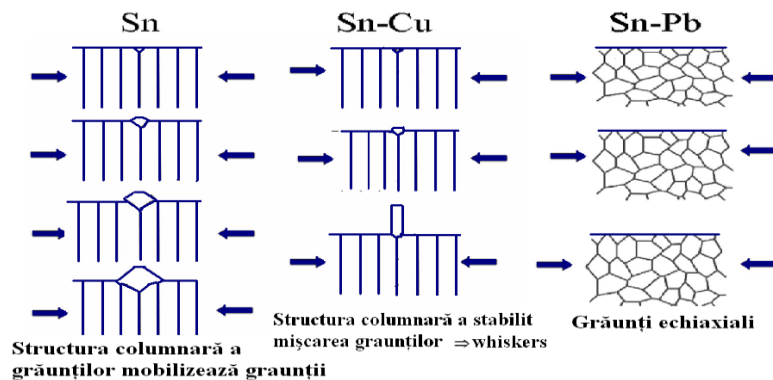


Figura 2.3 Creșterea excrescențelor whiskers influențată de structura columnară [5], [79]

## 2.2 Difuzia și compuși intermetalici

Compuși intermetalici se formează când două metale diferite difuzează. Aceștia spre deosebire de soluțiile solide au o structură diferită de a elementelor componente. Compuși intermetalici cristalizează în rețele cristaline diferite de cele ale componentelor. Astfel că vor prezenta caracteristici fizice, chimice, mecanice, diferite de proprietățile materialelor componente. În figura 2.4 se prezintă o comparație a structurii unui aliaj versus structura unui compus intermetalic.

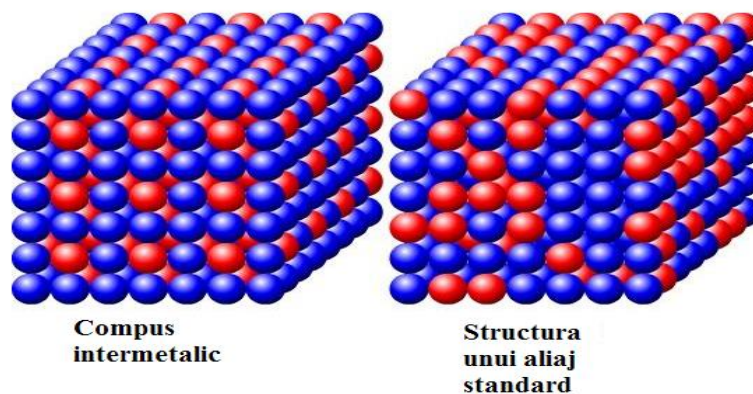


Figura 2.4 Comparație între structura unui compus intermetalic și un aliaj [28]

Fazele de compuși intermetalici se formează spontan chiar și la temperatura camerei într-o perioadă mai îndelungată de timp. La temperaturi ridicate se constată că se formează mai mulți compuși.

Compușii intermetalici sunt rezultatul difuziei unui aliaj într-un alt aliaj formând defecte în cristale. Aceste defecte pot fi impurități, tensiuni interne la limita între grăunți, vacanțe, goluri etc. Difuzia diferă în funcție de aliajul care difuzează. De exemplu difuzia unei "Componente A" în "Componenta B" este diferită de cea a difuziei "Componentei B" în "Componenta A".

Din acest motiv direcția de creștere a stratului intermetalic depinde în ce componentă are loc difuzia mai rapid [28]. Raportul volum /atomi este mai mic în fazele cu compuși intermetalici decât la soluțiile solide și deci se pot produce tensiuni interne mari în aliaj. În general grosimea stratului intermetalic este dată de relația 2.1.

$$x = Kt^{1/2} \quad 2.1$$

Unde

x este grosimea stratului intermetalic [mm],  
t este timpul [s],  
K se calculează cu relația 2.2

$$K = C e^{-E_a/kT} \quad 2.2$$

Unde

C este constanta de viteză,  
 $E_a$  energie de activare [kJ/mol],  
k este constanta Boltzmann [kJ/K],  
T este temperatura absolută [K] [28].

Stratul de compuși intermetalici este generat de difuzie. Formarea compușilor intermetalici  $Cu_6Sn_5$  cauzează solicitări mecanice ridicate la interfața stratului de acoperire a cuprului cu staniu. Acesta reprezintă unul dintre principalele motive responsabile de creșterea excrescențelor whiskers.

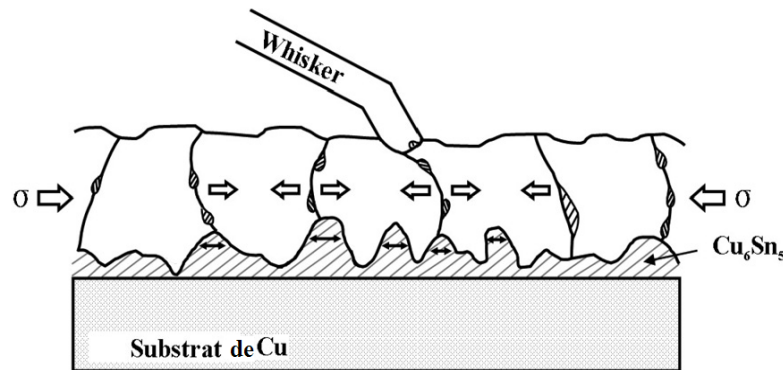


Figura 2.5 Secțiunea transversală a unui whiskers care crește datorită compușilor intermetalici [42]

Dacă se formează compușii intermetalici, atunci la limita între grăunți se formează tensiuni interne de compresiune în stratul de staniu pentru că atomi de cupru sunt speciile dominante ale difuziei [82].

Astfel vor lua naștere excrescențele whiskers. Când are loc depunerea galvanică a staniului pe cupru se vor forma compuși intermetalici. În acest caz stratul intermetalic are o densitate mai mică decât cupru și acesta determină o expansiune a volumului stratului intermetalic. Expansiunea volumului generează solicitări de compresiune spre stratul de staniu în direcția verticală a interfeței între

cupru și staniu. Datorită caracteristicii geometrice a stratului intermetalic, tensiunile de compresiune pot fi concentrate și astfel asigură suficientă forță să crească excrescențele whiskers [28].

La limita grăunților apare germinarea particulelor care provin din compușii intermetalici (IMC) datorită tensiunilor interne. În figura 2.5 se poate vedea schematic modul în care cresc excrescențele whiskers spre suprafață datorită compușilor intermetalici [42].

Mecanismul care stă la baza creșterii excrescențelor îl reprezintă mărirea grăunților. Aceasta poate fi greu de prezis deoarece are loc recristalizarea. Mărirea grăunților este influențată de mai multe procese.

O structură columnară formează un strat de compuși intermetalici mai uniform. Germinarea la limita grăunților de staniu se poate forma și datorită orientării grăunților acestui material.

Se știe că Sn se dilată rapid la temperatura mediului ambiant astfel că are loc dilatarea la limita între grăunți. O mărime mare a grăunților la difuzia staniului va duce la formarea de tensiuni.

Aceste tensiuni trebuie să relaxeze atomii structurii columnare prin extrudarea aliajului spre suprafață dând naștere excrescențelor whiskers. Deși difuzia atomilor nu este principalul factor care duce la relaxarea tensiunilor la limita între grăunți, totuși difuzia joacă un rol important la distribuirea tensiunilor.

În concluzie și difuzia are un rol important la creșterea excrescențelor whiskers. Influența difuziei și a compușilor intermetalici privind creșterea excrescențelor whiskers și este prezentată în figura 2.6 [59].

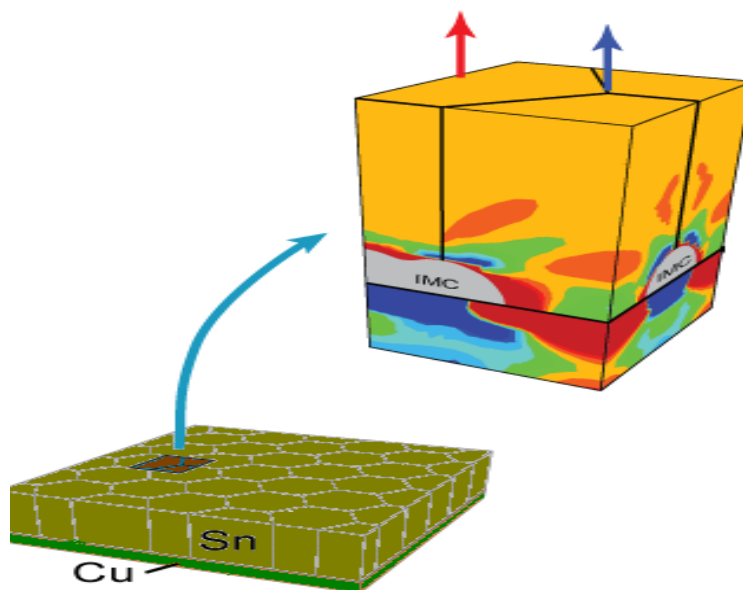


Figura 2.6 Simularea evoluției tensiunilor la Sn la o structură columnară cu compuși intermetalici [59]

Dintre analizele făcute pe excrescențele whiskers prezentate în literatura de specialitate, se pot aminti pe cele efectuate în 2008 de Kim. Probele utilizate au fost supuse unei analize la microscopul FIB și s-a urmărit o vizualizare pe secțiune transversală a unei astfel de excrescențe whiskers. În figura 2.7 sunt prezentate imaginile FIB obținute în urma investigațiilor structurale (se poate urmări că în figura 2.7 a) pe secțiunea transversală a unei excrescențe whiskers apar compoziții intermetalici iar în figura 2.7 b) se poate observa modul în care se găsesc compoziții intermetalici înainte ca aceste excrescențe whiskers să erupă)

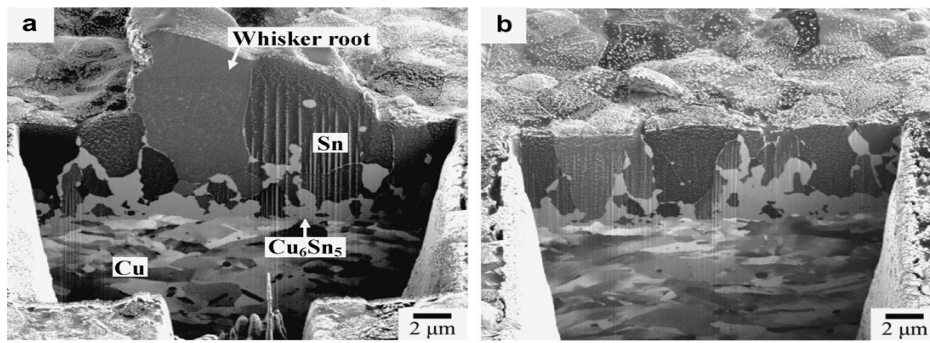


Figura 2.7 Imagini FIB [42]

### 2.3 Oxidul de staniu

Teoriile recente indică faptul că apariția oxizilor poate provoca, de asemenea apariția excrescențelor whiskers. Staniul are două tipuri principale de oxizi: oxidul stanic ( $\text{SnO}_2$ ) și oxidul stanos ( $\text{SnO}$ ). Existența acestor doi oxizi reflectă două valențe cu stări de oxidare 2+ și 4+. În literatura de specialitate oxidul stanos este mai puțin caracterizat decât oxidul stanic. În figura 2.8 avem structura oxidului stanos.



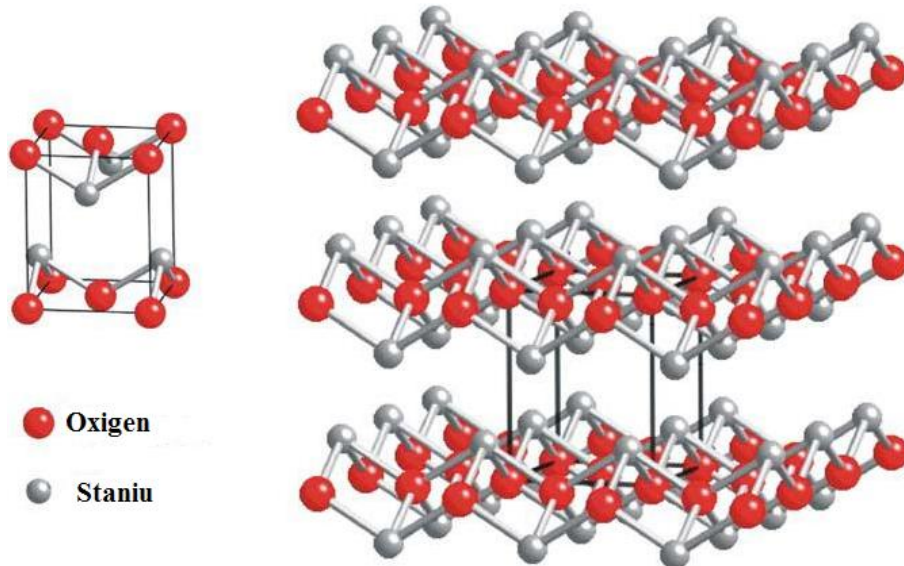


Figura 2.8 Structura oxidului stanos (SnO) [28]

Oxidul stanic ( $\text{SnO}_2$ ) este mai cunoscut decât cel stanos. Acesta mai este cunoscut și sub numele de "cassiterit". În figura 2.9 avem structura unui oxid stanic ( $\text{SnO}_2$ ).

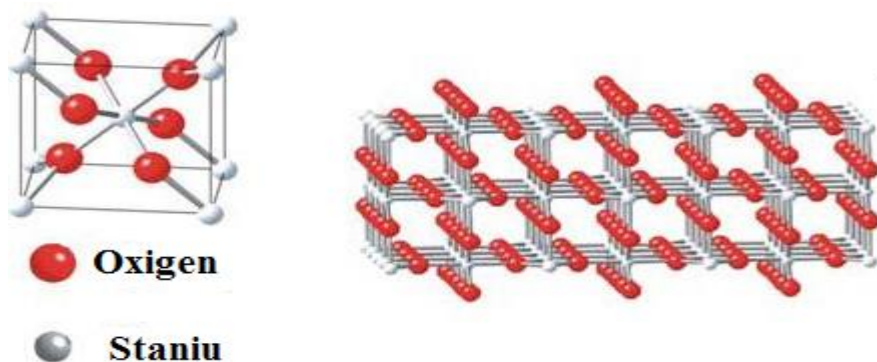


Figura 2.9 Structura oxidului stanic ( $\text{SnO}_2$ ) [28]

Mai multe cercetări au arătat că la o temperatură ridicată în condiții de umiditate cresc excrescențe whiskers. Deci creșterea excrescențelor whiskers poate fi indusă prin oxidarea sau corozivitatea staniului [28]. Oxidul de staniu contribuie la creșterea excrescențelor whiskers prin mai multe moduri.

Oxidul de staniu este neuniform sau sunt zone în care acesta este mai slab deci permite unei excrescențe whiskers să penetreze stratul de oxid. Oxidarea staniului poate afecta creșterea excrescențelor whiskers creând tensiuni în stratul de staniu. Oxigenul difuzează în staniu combinând doi atomi de Sn pentru a forma cei doi oxizi  $\text{SnO}$  și  $\text{SnO}_2$ . La structura columnară oxigenul pătrunde preferențial în stratul de staniu la limita dintre grăunți. Tensiunile trebuie să producă o relaxare a aliajului prin extrudarea la suprafață a acestuia [19].

Excescențele whiskers vor crește acolo unde sunt fisuri sau puncte slabe în stratul de oxid. Tensiunile interne din material sunt eliberate prin aceste fisuri [39]. În figura 2.10 se arată cum creșterea excescențelor whiskers este influențată de oxidul de staniu [70].

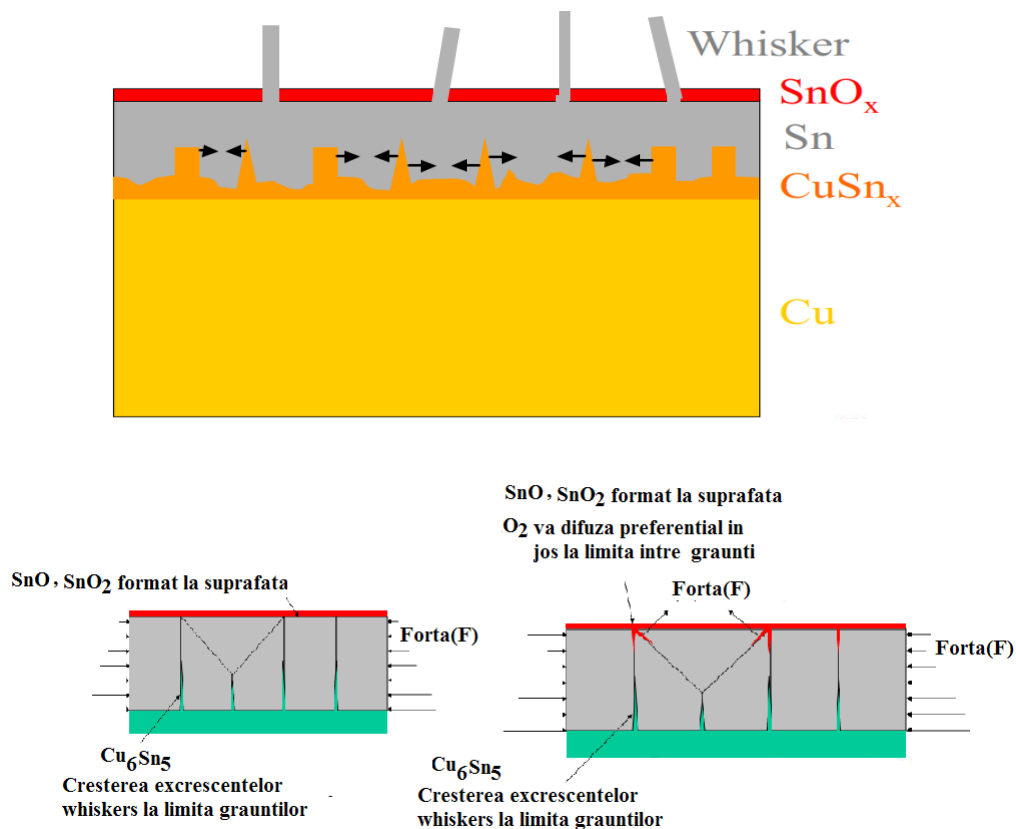


Figura 2.10 Influența oxidului de staniu și creșterea excescențelor whiskers [79]

## 2.4 Dislocațiile

S-a arătat că excescențele whiskers apar în acele zone unde se acumulează tensiuni interne. Se știe că deformările induse de dislocații prin aglomerarea lor duc la creșterea tensiunilor prin acumularea de energie în jurul limitelor de grăunți favorizând astfel apariția whiskers-urilor. Investigațiile din literatura de specialitate, prin microscopie electronică de transmisie și difracție de raze X, au arătat că excescențele whiskers sunt structuri cristaline de  $\text{Sn}$  crescute datorită prezenței dislocațiilor [15]. Un model al dislocațiilor ne arată că aceste dislocații se extind spre suprafața aliajului. Când atomii de  $\text{Sn}$  migrează în spațiul treptelor spiralei produse de dislocațiile elicoidale (desemnat ca fiind "V" adică tăietura Volterra) aceștia favorizează creșterea excescențelor whiskers spre suprafață (figura 2.11).

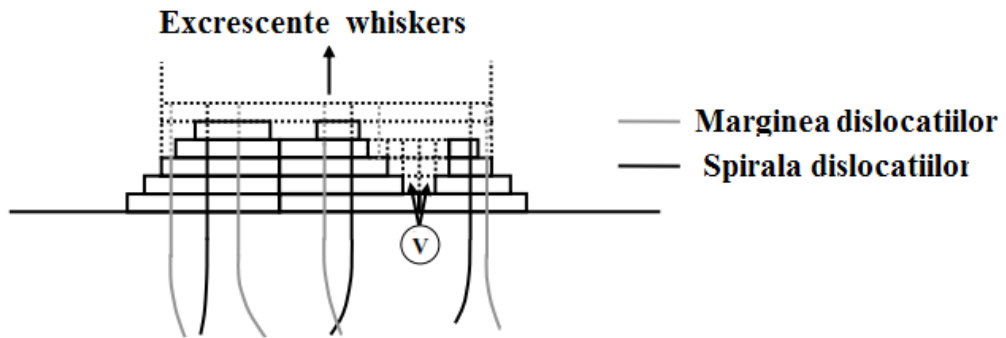


Figura 2.11 Creșterea excrescențelor whiskers și dislocațiile [57]

Regiunile în care dislocațiile elicoidale sunt aglomerate pot acționa ca nuclee pentru excrescențele whiskers. Alte cercetări au arătat că și dislocațiile marginale pot favoriza creșterea excrescențelor whiskers. Se presupune că densitatea mare a dislocațiilor, alunecarea cristalului se face întotdeauna în sus spre suprafața aliajului [57]. Dislocațiile determină de asemenea și unghiul de creștere al excrescențelor whiskers. Excrescențele whiskers mai apar și datorită defectelor de tipul vacanțelor prezente în cristal.

În figura 2.12 se prezintă tipuri de excrescențe whiskers formate în principal datorită prezenței dislocațiilor.

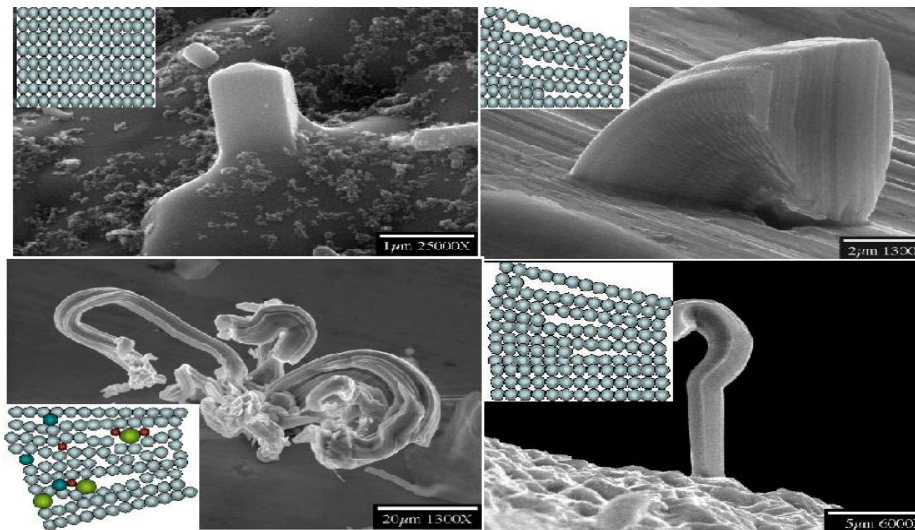


Figura 2.12 Dislocațiile și tipul de excrescențe whiskers  
a) excrescențe whiskers într-o structură cristalină, b) excrescențe whiskers produse de dislocații, c) excrescențe whiskers, într-un cristal cu impurități; d) excrescențe whiskers formate de dislocații [79]

O reprezentare sugestivă a legăturii între dislocații și excrescențelor apărute identificate prin analiza FIB este arătată în figura 2.13.

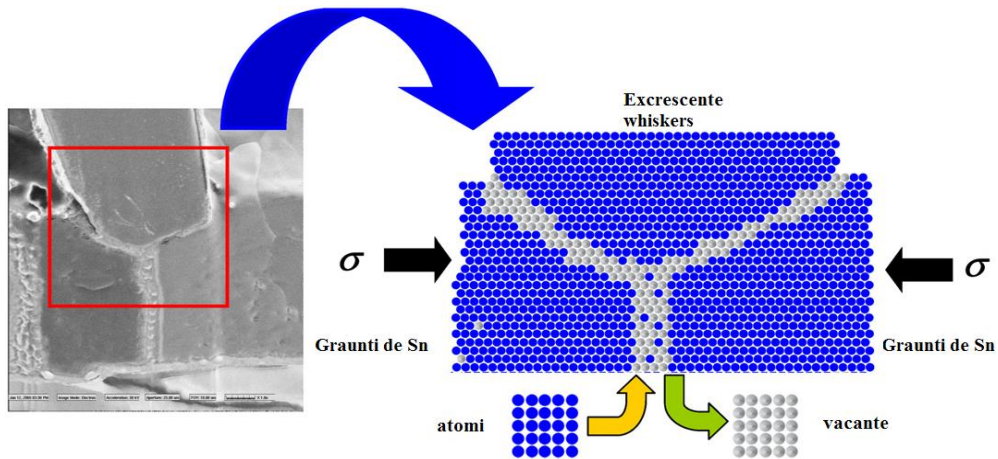


Figura 2.13 Imagini FIB și dislocațiile [57]

## 2.5 Tensiunile interne

S-a arătat că difuzia, compușii intermetalici, oxidul de staniu și dislocațiile produc tensiuni interne în aliaj ce duc la creșterea excrescențelor whiskers [62], [39]. În figura 2.14 se prezintă o clasificare a tensiunilor care determină creșterea excrescențelor whiskers interne și a factorilor care determină aceste tensiuni.

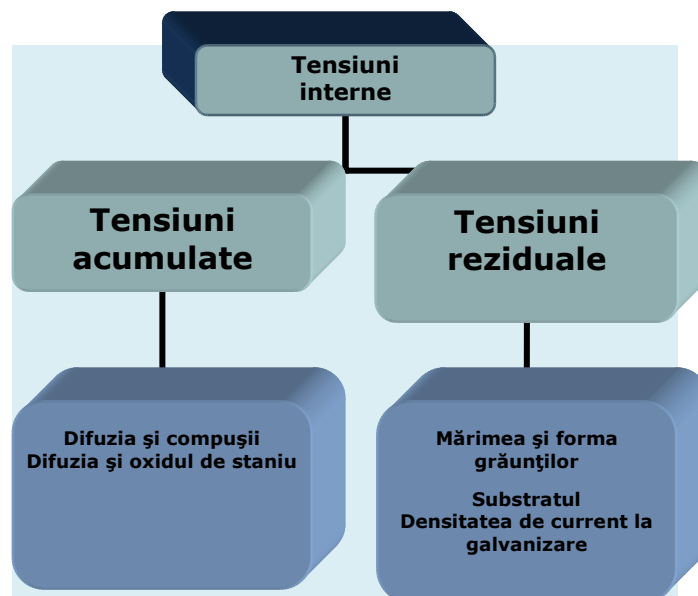


Figura 2.14 Factorii termodinamici care determină creșterea excrescențelor whiskers [71]

Tensiunile interne reziduale, într-o primă fază, sunt cauzate de procesul de depunere și de stratul depus. Tensiunile interne cauzate de procesul de depunere au ca efect formarea compușilor intermetalici care duc la formarea excrescențelor whiskers.

Într-o altă fază excrescențele whiskers sunt determinate de natura grăunților și de difuzie. Structura columnară permite formarea compușilor intermetalici  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ . La limita grăunților se formează tensiunile interne care produc extrudarea formând excrescențele whiskers. O structură semi-columnară duce la eliberarea tensiunilor pe mai multe direcții formând excrescențe whiskers de tip mușuroi [28].

Se poate concluziona ca excrescențele whiskers sunt considerate ca fiind un fenomen de eliberare a tensiunilor interne prin germinarea și creșterea acestora. Alți factorii care determină tensiunile interne mai sunt și forțele mecanice aplicate în serviciu și eventualele deteriorări ale suprafeței. O imagine sugestivă a legăturii dintre tensiunile interne existente într-un cristal și creșterea excrescențelor whiskers este reprezentată în figura 2.15 [59], [40].

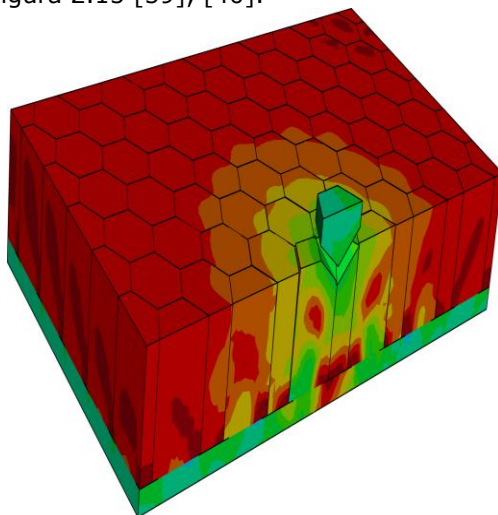


Figura 2.15 Tensiunile interne și excrescențele whiskers [59], [40]

## 2.6 Concluzii

Factorii care influențează apariția acestor excrescențe whiskers sunt: galvanizarea chimică, procesul de depunere, caracteristicile aliajului de lipire, aliajul substratului care se află pe traseele de pe PCB și nu în ultimul rând mediu de lucru .

Aliajul de lipire are o mare influență asupra apariției excrescențelor whiskers. Acesta influențează creșterea excrescențelor whisker prin forma și mărimea grăunților, orientarea grăunților, grosimea stratului depus, formarea oxidului de Sn, tensiunile interne din material, difuzia, dislocațiile din material, prezența unei structuri columnare a grăunților, structura ordonată. Un aliaj care are o structură columnară și o granulație mare determină creșterea excrescențelor whiskers la limita între grăunți. Compușii intermetalici și difuzia influențează creșterea excrescențelor whiskers. Compușii intermetalici se formează datorită difuziei.

Compușii intermetalici induc la limita între grăunți tensiuni interne de compresiune în stratul de staniu.

Aceste tensiuni interne de compresiune determină o expansiune a volumului stratului intermetalic, generând germinarea excrescențelor whiskers. Acestea cresc în direcția verticală a interfeței între cupru și staniu. Oxidul de staniu este neuniform sau sunt zone în care acesta este mai subțire permițând unei excrescențe whiskers să penetreze stratul de oxid. Oxidarea staniului poate afecta creșterea excrescențelor whiskers creând tensiuni suplimentare în stratul de staniu. Excrescențele whiskers sunt asociate cu multiplicarea dislocațiilor. Deformările induse de dislocații duc la creșterea tensiunilor prin acumularea de energie în jurul limitelor de grăunți. Aceste tensiuni duc la creșterea excrescențelor whiskers. Dislocațiile determină de asemenea și unghiul de creștere al excrescențelor. Tensiunile interne din material se formează datorită formei și mărimii grăunților, orientării grăunților, oxidului de Sn, difuziei, compușilor intermetalici și dislocațiilor. Aceste tensiuni determină apariția excrescențelor whiskers.

În urma celor expuse în acest capitol se poate conchide că diminuarea apariției și creșterii excrescențelor whiskers se poate realiza în condițiile utilizării unui aliaj de lipire cu o granulație fină și o microstructură monofazică.

### 3 Obiectivele tezei

Îmbinarea componentelor electronice folosește lipirea moale utilizând, în principal, aliajele de lipire pe bază de Sn și Pb. Datorită toxicității sale plumbul a fost eliminat și înlocuit cu alte aliaje ale staniului (cum ar fi Sn-Cu-Ag, Sn-Cu-Ag-Sb, Sn-Cu, Sn-Zn, Sn-In, Sn-Bi, etc). La lipirea componentelor cu aliaje pe bază de Sn se constată apariția unor defecte de lipire cum ar fi: ciurma staniului, dendritele, filamentul anodic conductiv și excrescențele whiskers. Dintre defectele menționate cele mai periculoase sunt excrescențele whiskers. Aceste excrescențe whiskers sunt structuri cristaline ce cresc spontan din aliajul de lipire la componentele electronice.

Excescențele whiskers pot fi de diferite tipuri în funcție de orientarea grăunților. În prezent se cunosc următoarele tipuri de excrescențe whiskers sub formă de filamente, noduli, benzi, circumferențiale și mușuroi. Acestea produc avarii prin scurt circuitarea componentelor electronice.

Prezența excrescențelor whiskers, cu efecte nefaste asupra funcționării sistemelor a fost evidențiată într-o serie de domenii economice. Avariile produse au fost întâlnite în industria de automotive, medicală, a electronicelor, și electrocasnicelor. Alte avarii înregistrate, unde s-au produs accidente grave, au fost raportate în industria aerospațială (la avioanele militare, sateliți) și la reactoarele nucleare.

De când s-au înregistrat primele avarii produse de excrescențele whiskers s-a încercat prevenirea apariției acestora. Factorii care influențează apariția acestor excrescențe whiskers sunt: galvanizarea chimică, procesul de depunere caracteristicile aliajului de lipire, aliajul substratului care se află pe traseele de pe PCB și nu în ultimul rând mediu de lucru al componentelor electronice. Aliajul de lipire prin natura, structura și calitatea sa are o influență semnificativă asupra apariției și creșterii excrescențelor whiskers. Forma și mărimea grăunților, orientarea grăunților, grosimea stratului depus, formarea oxidului de Sn, tensiunile interne din material după lipire, difuzia, dislocațiile din material, prezența unei structuri columnare a grăunților, structura ordonată sunt principalele mărimi care pot conduce la formarea excrescențelor whiskers. Pentru diminuarea apariției excrescențelor whiskers se apreciază ca aliajul de lipire trebuie să aibă o structură monofazică și ne-columnară cu o granulație fină.

În acest context, scopul lucrării îl reprezintă :

diminuarea avariilor produse de formarea excrescențelor whiskers la aliajele de lipire din plăcile electronice .

Pentru realizarea scopului se propun următoarele obiective și activități aferente :

- 1 Aprofundarea mecanismului de formare și dezvoltare a excrescențelor whiskers.
- 2 Realizarea de noi aliaje de lipire pe bază de staniu prin metoda Melt Spinning



Activități.

- a) Elaborarea de aliaje din familiile: Sn-Cu-Co, Sn-Cu-Ni, Sn-Cu-Ga, Sn-Cu-Ag.
- b) caracterizarea structurală prin SEM, XRD, și DSC a aliajelor elaborate.

3 Elaborarea unei noi tehnologii de lipire performante a componentelor electronice

Activități

- a) Îmbinarea cu aliajele noi de lipit utilizând două metode de lipire.
- b) Caracterizarea structurală și determinarea tensiunilor interne pe îmbinările obținute.
- c) Simularea condițiilor de creștere a excrescențelor la îmbinările lipite realizate.

Obiectivele tezei sunt prezentate schematic în figura 3.1

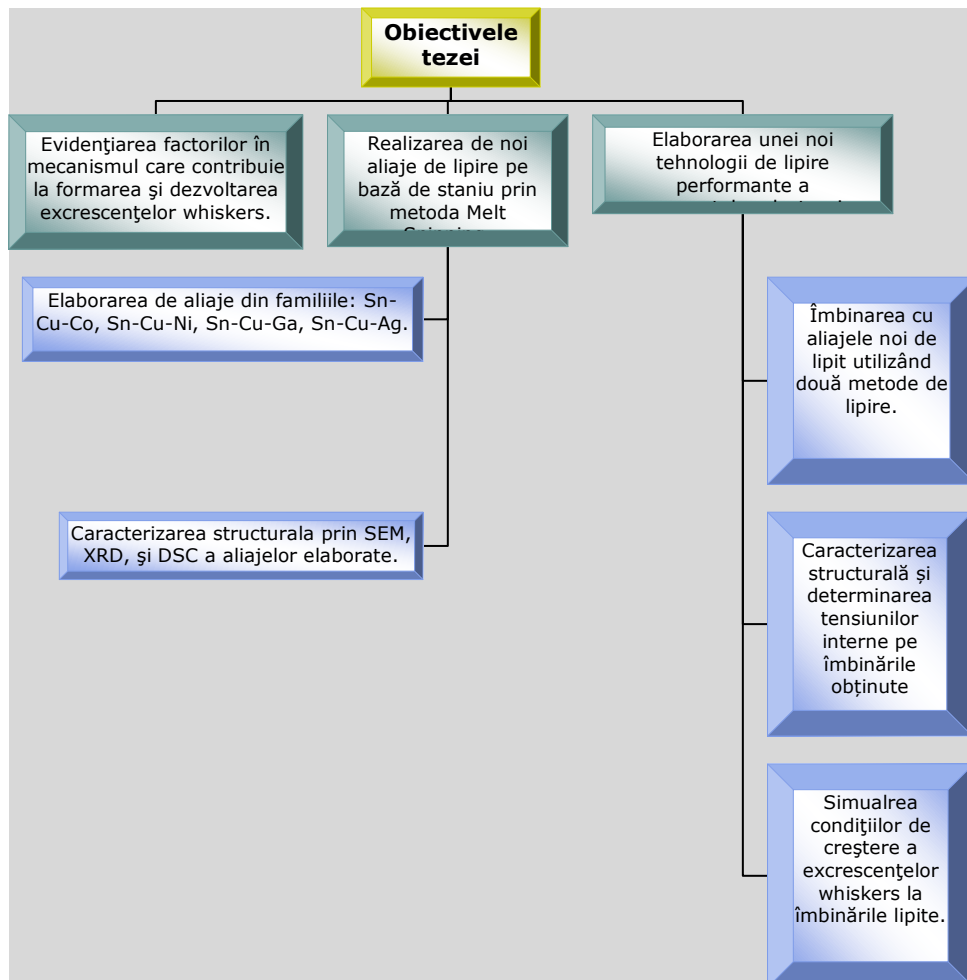


Figura 3.1. Obiectivele tezei



## 4. Cercetări privind elaborarea de noi aliaje pentru lipirea componentelor electronice

Pentru a diminua și preveni apariția excrescențelor whiskers trebuie să ținem cont de factorii care influențează apariția excrescențelor whiskers. Unul din principalii factori este aliajul de lipire și anume structura columnară, mărimea grăunților, orientarea grăunților. De aceea se tinde să se obțină un aliaj cu structură metastabilă cu o granulație fină. Pentru obținerea de noi aliaje s-a folosit metoda melt-spinning. Pentru realizarea aliajului prin metoda melt-spinning trebuie să se obțină prima dată aliajul primar. Obținerea aliajului sub formă de bandă prin metoda melt-spinning se realizează prin retopirea aliajului primar.

### 4.1. Obținerea aliajului primar

Compozițiile chimice ale aliajelor de lipire trebuie să asigure pe de o parte bune caracteristici de întindere și umectare, iar pe de altă parte proprietăți electrice (conductivitate electrică). Prin urmare având în vedere și studiile realizate s-au ales următoarele compoziții chimice  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ ,  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ ,  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ ,  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ . Pentru elaborarea aliajelor primare s-a utilizat instalația din cadrul Departamentului de Știința Materialelor și Fabricației din Timișoara. Aliajele primare s-au elaborat în creuzete de cuarț cu încălzire prin inducție (figura 4.1), în atmosferă de argon.

Instalația pentru realizarea aliajelor primare are următoarele componente: 1- transformator, 2-generator de curent de tip convertizor CTC, 3- panoul de comandă, 4- inductor din țevă de cupru de tip spiră 5- protecție cu argon, 6- creuzet de cuarț.

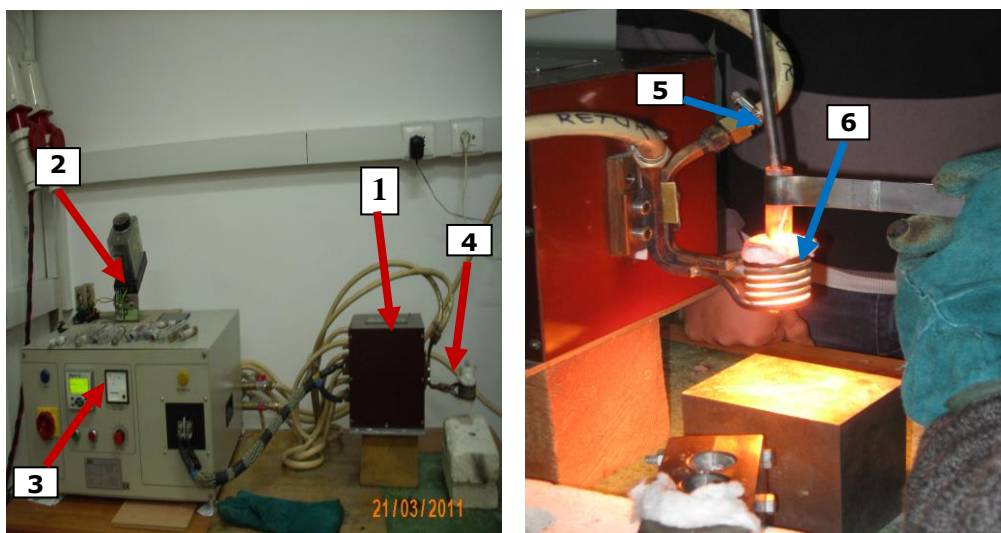


Figura 4.1 Echipament prin inducție pentru realizarea aliajelor primare



Pentru obținerea aliajelor primare s-au utilizat următoarele materii prime: Sn, Ni, Cu, Ag, Co, Ga. Materiile prime au fost introduse în creuzetul de cuarț. După topirea aliajului prin inducție acesta a fost turnat într-o cochilă fgura 4.2. La toate aliajele s-au obținut astfel bare de diametru 10 mm și lungime de 15-20 mm figura 4.2.



Figura 4.2 Aliaj primar și cochilă pentru obținerea aliajului primar

## 4.2. Obținerea aliajelor prin metoda Melt Spinning

### 4.2.1. Metoda melt spinnig

Această metodă permite realizarea unor aliaje cu structură metastabilă (amorfă, cvasi-amorfă și nanocristalină) sub formă de benzi, folii sau fire [14], [73]. Materialul este topit prin inducție într-un creuzet de cuarț și este ejectat cu presiune, printr-un orificiu prezent la baza creuzetului, pe o rolă de Cu aflată în mișcare de rotație figura 4.3.

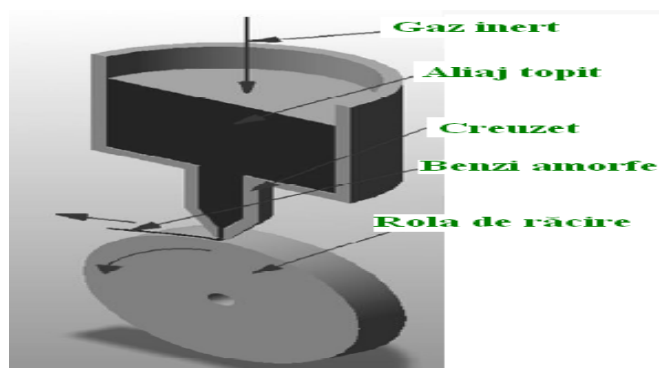


Figura 4.3 Principiul metodei Melt-Spinning

[74],[75]

Pentru obținerea benzilor prin această metodă trebuie parcurși următorii pași:

- elaborarea unui aliaj primar cu compoziție chimică favorabilă amorfizării utilizând materiale de puritate ridicată,

#### 70 Elaborarea de noi aliaje pentru lipirea componentelor electronice -4

- retopirea materialului primar în creuzet, ce are la bază un orificiu de ejectare
- ejectarea topiturii prin aplicare unei presiuni controlate, pe suprafața exterioară a rolei aflată în rotație
  - Pentru obținerea benzilor a fost utilizată instalația din cadrul Departamentului de Ingineria Materialelor și Fabricației de la Universitatea Politehnica din Timișoara. Instalația pentru obținerea materialelor amorfe are următoarele componente: 1-inductorul vertical, 2-rola de răcire din Cu, 3-motorul electric, 4-transmisia mecanică, 5-generatorul de frecvență medie, 6-creuzetul cilindric vertical, 7-panoul de comandă figura 4.4 [14], [76].

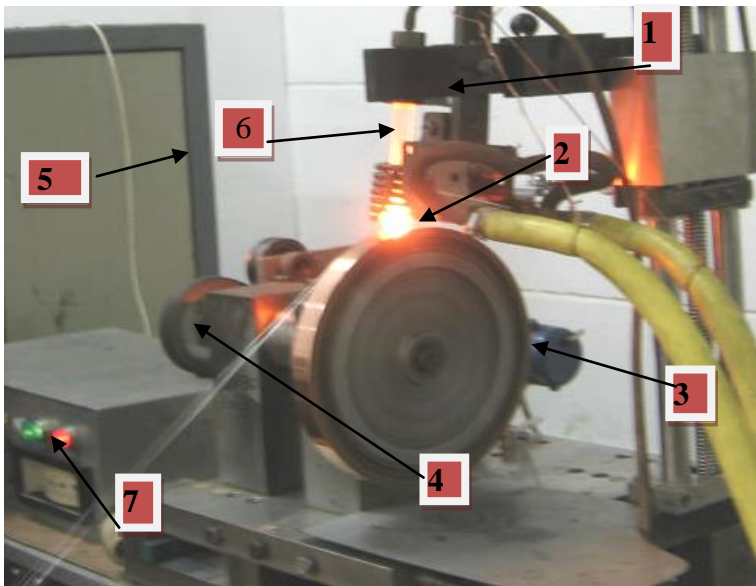


Figura 4.4 Instalație de realizare a benzilor [74]

#### 4.2.2. Obținerea aliajelor din familiile Sn-Cu-Ni și Sn-Cu-Ga

Luând în considerare cercetările privind lipirea componentelor electronice aliajele alese fac parte din familia Sn-Cu-Ni și Sn-Cu-Ga cu compoziția chimică  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  și respectiv  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ . Pentru obținerea acestor benzi s-au utilizat următorii parametri :

- temperatura de încălzire 280°C pentru aliajul din familia Sn-Cu-Ni și 270°C figura 4.5,b) pentru aliajul din familia Sn-Cu-Ga figura 4.5,a)
- presiunea aplicată topiturii 0,15 atm
- turația rolei 2200 rot/min
- distanța duză-rolă de răcire 1 mm
- diametrul orificiului de ejectare  $\varnothing=0,8\text{mm}$
- unghiul de înclinare a crezetului față de suprafața rolei  $\alpha=8^\circ$
- gazul protector Ar

Benzile obținute au avut:

- lățimea cuprinsă între 3-4 mm,
- grosimea cuprinsă între 15-20  $\mu\text{m}$

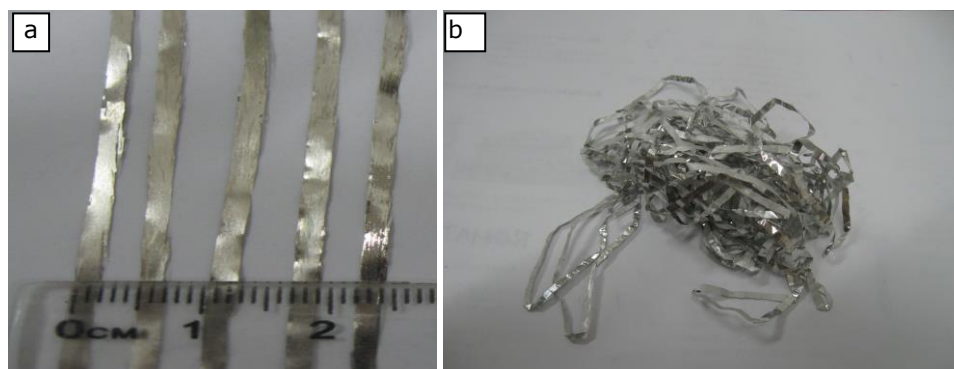


Figura 4.5 Benzile obținute  
 a) Benzile obținute din familia Cu-Sn-Ga  
 b) Benzile obținute din familia Sn-Cu-Ni

#### 4.2.3. Obținerea aliajelor din familiile Sn-Cu-Co și Sn-Cu-Ag

Aliajele din familiile Sn-Cu-Co și Sn-Ag-Cu au compoziția chimică  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  și  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ . Pentru obținerea acestor benzi s-au utilizat următorii parametri: temperatura de încălzire  $280^\circ\text{C}$  pentru aliajul din familia Sn-Cu-Co și  $270^\circ\text{C}$  pentru aliajul din familia Sn-Ag-Cu,

- presiunea aplicată topiturii 0,1 atm,
- turația rolei 2100 rot/min,
- distanța duză-rolă de răcire 1 mm,
- diametrul orificiului de ejectare  $\varnothing=0,8\text{mm}$ ,
- unghiul de înclinare al crezeturii față de suprafața rolei  $\alpha=8^\circ$ ,
- gazul protector Ar

Benzile obținute au fost caracterizate macroscopic având: lățimea de 3 mm și grosimea de  $17\ \mu\text{m}$  pentru  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  figura 4.6a. Benzile obținute cu compoziția chimică  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  au avut lățimea de 2 mm și grosimea de  $15\ \mu\text{m}$  figura 4.6b.

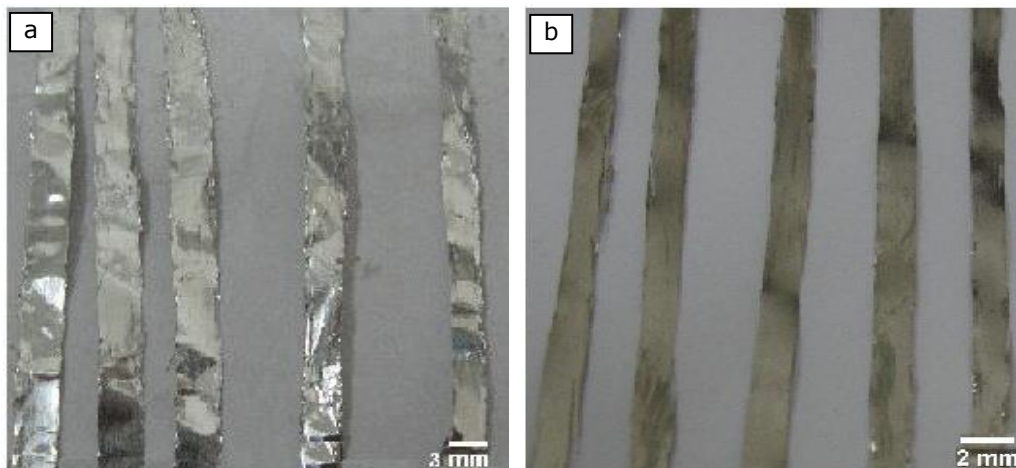


Figura 4.6 Benzile obținute  
a) Benzile obținute din familia Cu-Sn-Co  
b) Benzile obținute din familia Sn-Cu-Ag

### 4.3. Caracterizarea structurală a benzilor obținute

Benzile obținute au fost caracterizate structural prin microscopie electronică cu baleaj, difracții de raze X și analiză calorimetrică diferențială.

#### 4.3.1. Analiză prin microscopie electronică (SEM)

Pentru investigarea la microscopul electronic probele au fost șlefuite cu hârtie metalografică și apoi lustruite cu suspensie diamantată. Studiul probelor s-a realizat utilizând microscopul electronic cu baleaj. Microscopul (figura 4.7) utilizat a fost de la Departmentul de Ingineria Materialelor și Fabricație de la Universitatea Politehnica din Timișoara



Figura 4.7. Microscopul electronic utilizat



### a) Analiza microscopică a benzilor cu compoziția chimică $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ și respectiv $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$

Aspectul microscopic al benzilor din familia Sn-Cu-Ni (figura 4.9 a) atestă o structură dendritică cu granulație destul de fină. În cazul benzilor din familia Sn-Cu-Ga (figura 4.9 b) se poate observa o structură granulară cu grăunți de dimensiuni nanometrice ce tind spre o formă echiaxială.

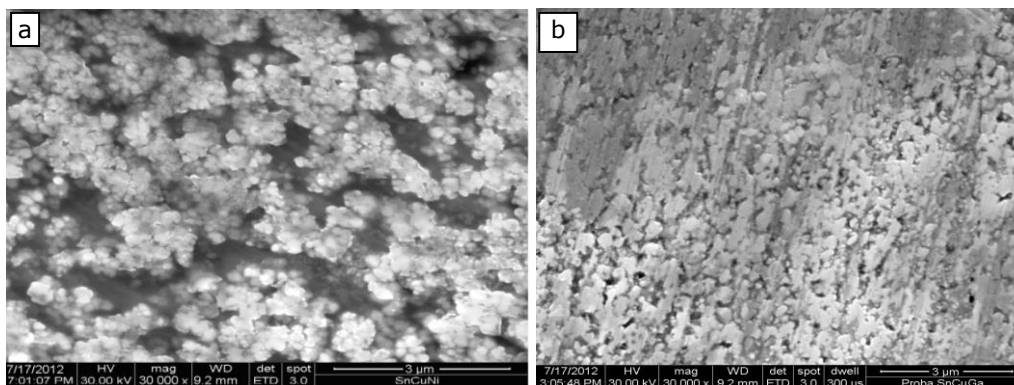


Figura 4.8 Imagini SEM ale benzilor obținute

- a) Din familia Sn-Cu-Ni
- b) Din familia Sn-Cu-Ga

### b) Analiza microscopică a benzilor cu compoziția chimică $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ și $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$

Se poate observa că atât la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  cât și la aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  avem o granulație fină.

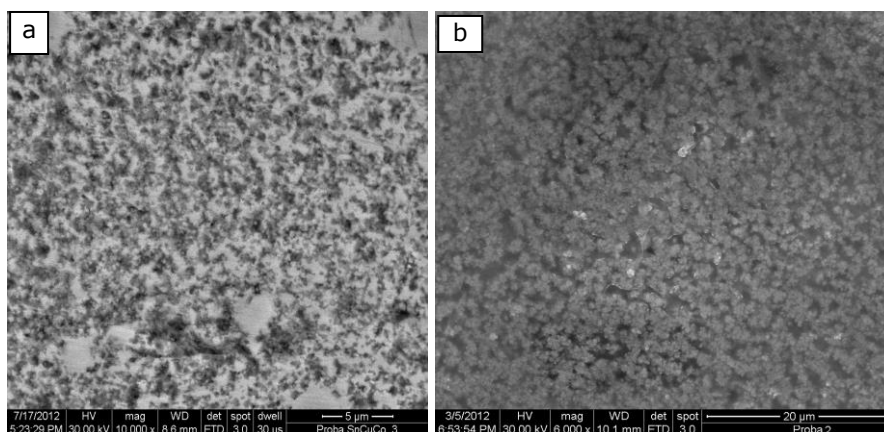


Figura 4.9 Imagini SEM

- a) Benzile obținute din familia Sn-Cu-Co
- b) Benzile obținute din familia Sn-Cu-Ag

### 4.3.2. Analiza prin difracții de raze X

Difractometrul utilizat a fost de la Departamentul de Ingineria Materialelor și Fabricație de la Universitatea Politehnica din Timișoara. Pentru a stabili ce faze constitutive au benzile obținute s-a realizat analiza prin difracție de raze X. Pe baza principiului difracției de raze X se pot obține informații privind structura și proprietățile fizico-chimice ale materialului investigat. Analiza cu difracție de raze X s-a realizat cu difractometru DRON prezentat în figura 4.10.



Figura 4.10 Echipamentul de difracție de raze X Dron

Pentru analiza cu difracție de raze X s-au utilizat următorii parametri:

- intensitatea curentului electric  $I = 30 \text{ mA}$ ,
- anticatodul de Mo  $\lambda_{\text{KMo}} = 0,71 \text{ \AA}$ ,
- tensiune aplicată  $U = 40 \text{ kV}$ ,
- viteza tubului de raze  $X_{v_d} = 1^\circ/\text{min}$

#### a) Analiza prin difracții de raze X a benzilor cu compoziția chimică $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ și respectiv $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$

Spectrele de difracție ale benzilor sunt prezentate în figura 4.11 a pentru benzile din familia Sn-Cu-Ni respectiv figura 4.11 b pentru cele din familia Sn-Cu-Ga unde se pot observa anumite diferențe. Benzile din familia Sn-Cu-Ni (figura 4.11a) prezintă picuri de intensitate mai redusă ceea ce atestă o finisare a granulației. Se remarcă prezența multor compuși intermetalici. La benzile din familia Sn-Cu-Ga (figura 4.11 b) spectrul de difracție prezintă picuri de intensitate redusă și sunt mai largi fapt ce atestă un grad ridicat de finisare a granulației până la dimensiunile nanomatrice. De asemenea se remarcă o solubilitate ridicată a componentelor în Sn, predominând soluția solidă. Comparativ cu alte aliaje obținute benzile din familia Sn-Cu-Ga la analiza de difracție de raze X au avut cea mai fină granulație. Structura acestor benzi tinde spre o structură nanocristalină.



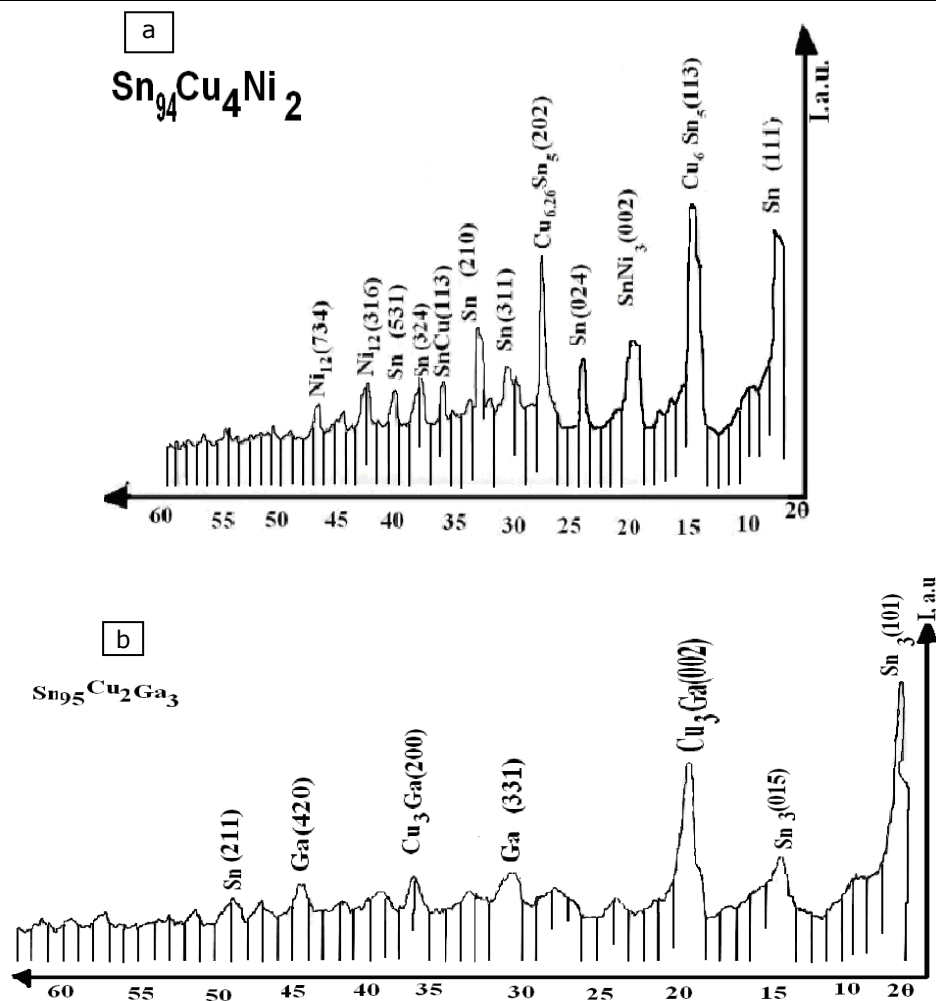


Figura 4.11 Difrakțiile de raze X pentru  
 a) benzile din familia Sn-Cu-Ni  
 b) benzile din familia Sn-Cu-Ga

### b) Analiza prin difracții de raze X a benzilor cu compoziția chimică $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ și $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$

Picurile difracției de raze X a benzilor din aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  sunt mai largi fapt ce ne arată o finisare a grăunților figura 4.12a. În imaginea de difracție a aliajului  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  se prezintă o proporție ridicată de compuși intermetalici (figura 4.12 b).

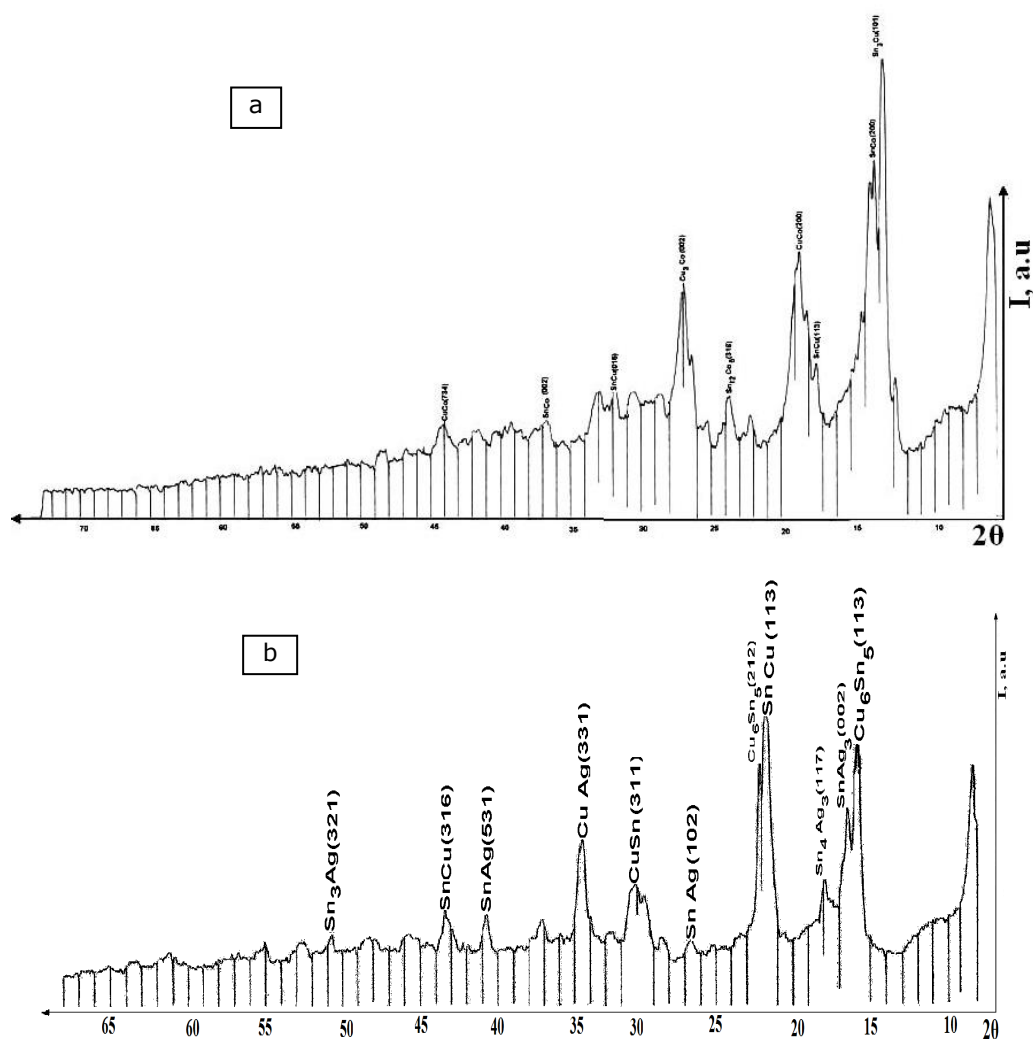


Figura 4.12 Difracțiile de raze X pentru:  
 a) benzile din familia Sn-Cu-Co  
 b) benzile din familia Sn-Cu-Ag

### 4.3.3. Analiza calorimetrică diferențială a aliajelor de lipire sub formă de benzi

Pentru realizarea lipirii este necesar să cunoaștem temperatura de topire a fiecărui aliaj. Pentru determinarea temperaturii de topire s-a făcut o analiză diferențială calorimetrică. Pentru aceasta s-a utilizat echipamentul TA Instruments SDT 2960 Simultaneous DTA-TGA prezentat în figura 4.13 de la Departamentul de Materiale din cadrul Universității din Loughborough, (Loughborough Materials Characterisation Centre (LMCC))

Pentru analiza calorimetrică diferențială s-au utilizat următorii parametri:

#### 4.3- Caracterizarea structurală a benzilor obținute 77

- intervalul de temperatură urcând de la temperatura mediului ambiant până la 350°C,
- cantitatea de aliaj de 200mg
- atmosferă protectoare cu azot (N)



Figura 4.13 Echipamentul utilizat pentru analizele DSC  
TA Instruments SDT 2960 Simultaneous DTA-TGA

În (figura 4.14) sunt redată curbele de analiză DSC pentru fiecare aliaj. Pentru a face o caracterizare corectă a aliajelor obținute s-a utilizat și un aliaj din comerț. Acest aliaj a fost utilizat pentru a face o comparație cu aliajele sub formă de benzi. Se observă că aliajele au temperaturi de topire mici ceea ce caracterizează aliajele de lipire.

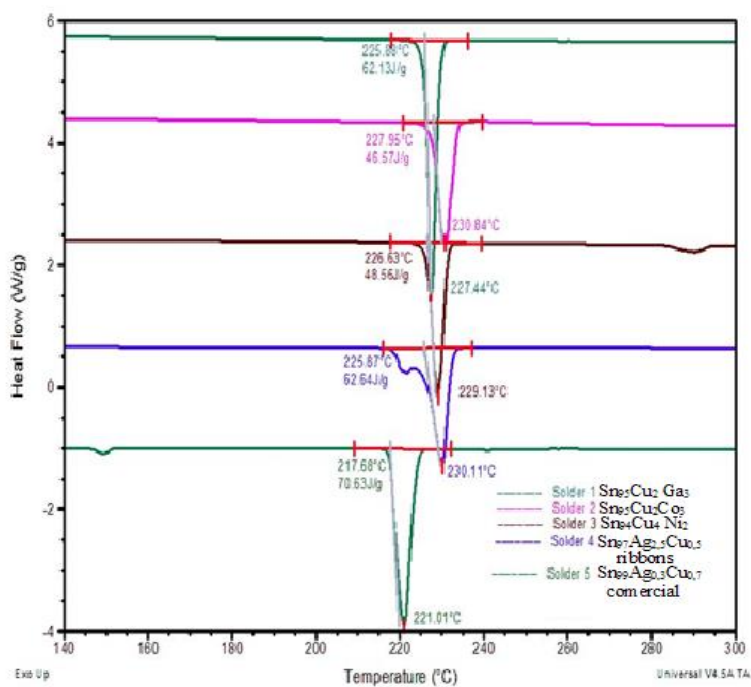


Figura 4.14 Curbele DSC ale aliajelor utilizate

În tabelul 4.1 sunt evidențiate intervalele de solidificare pentru fiecare aliaj la care s-a făcut analiză calorimetrică diferențială.

Tabel 4.1 Temperaturile de topire ale aliajelor utilizate pentru lipire

| ID Probe        | Aliaj   | Temperaturi (°C)     |                       |
|-----------------|---|----------------------|-----------------------|
|                 |   | T <sub>Solidus</sub> | T <sub>Lichidus</sub> |
| <b>Solder 1</b> | Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub>                  | 225°C                | 227°C                 |
| <b>Solder 2</b> | Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Co <sub>3</sub>                  | 227°C                | 230°C                 |
| <b>Solder 3</b> | Sn <sub>94</sub> Cu <sub>4</sub> Ni <sub>2</sub>                  | 226°C                | 230°C                 |
| <b>Solder 4</b> | Sn <sub>97</sub> Ag <sub>2,5</sub> Cu <sub>0,5</sub><br>benzi     | 225°C                | 229 °C                |
| <b>Solder 5</b> | Sn <sub>99</sub> Ag <sub>0,3</sub> Cu <sub>0,7</sub><br>comercial | 217°C                | 230°C                 |

Conform tabelului putem vedea că toate aliajele au intervale de solidificare mici iar aceasta reprezintă una din condițiile pe care trebuie să le îndeplinească un aliaj de lipire utilizat în industria electronică. Tot din tabelul 4.1 se poate observa că valorile T<sub>Lichidus</sub> sunt reduse, aceasta fiind o altă condiție ce trebuie să o satisfacă un aliaj de lipire.

#### 4.4 Concluzii

Pentru diminuarea apariției excrescențelor whiskers trebuie ca aliajul de lipire să aibă o structură monofazică și care să nu fie columnară cu o granulație fină. Din cercetările efectuate s-a constatat că aliajele pe bază de Sn pot avea o granulație fină ce tinde spre o structură metastabilă. Pentru obținerea unei granulații fine a aliajelor de lipire s-a folosit obținerea aliajelor prin metoda melt-spinning. Se știe că prin această metodă se obțin aliaje metastabile și amorfe pentru brazare. Aliajele obținute au fost cele din familiile: Sn-Cu-Ag, Sn-Cu-Ni, Sn-Cu-Ga, Sn-Cu-Co. Aceste aliaje sub formă de benzi au fost caracterizate prin microscopie electronică cu baleaj, difracții de raze X și analiză calorimetrică diferențială. În urma analizelor făcute prin difracții de raze X și microscopie s-a obținut că avem o granulație fină ce tinde spre o structură metastabilă la aliajul din familia Sn-Cu-Ga. În urma analizelor diferențiale calorimetrice s-a evidențiat faptul că aliajele obținute sub formă de benzi se încadrează în categoria aliajelor pentru lipirea componentelor electronice. Aceste aliaje au temperaturi mici de topire și intervale de solidificare reduse.

## 5 Cercetări privind îmbinarea componentelor electronice cu aliajele de lipire elaborate

### 5.1 Materiale utilizate (aliaje de lipire și materiale de bază)

Pentru realizarea îmbinărilor lipite cu noi aliaje de lipire pe bază de Sn s-au folosit ca și materiale de bază Cu, respectiv Cu acoperit prin galvanizare cu un strat de Sn.

Galvanizarea este un proces electrochimic prin care se acoperă suprafața unui metal cu un alt metal a cărui ioni sunt disociați în soluția electrolică. Galvanizarea presupune o baie electrolică prin care circulă curentul electric, în baie găsim doi electrozi un catod și polul pozitiv sau anod figura 5.1. Curentul electric determină disocierea, transportul și depunerea ionilor de metal de la anod (cupru) la catod (metal), acest procedeu fiind numit galvanizarea metalului (acoperirea metalului cu un strat uniform de cupru) [89], [86].

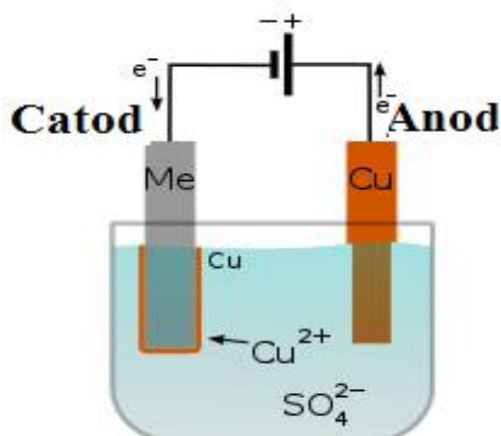


Figura 5.1 Schema de principiu a galvanizării [89], [86]

Pentru realizarea galvanizării s-a utilizat standul din cadrul laboratorului de la Hollywel Park la Materials Degradation Centre de la Universitatea din Loughborough, UK.

În cazul de față metalul care a fost acoperit este cupru și metalul depus este staniul. Prin urmare metalul folosit ca și anod în cadrul galvanizării este staniul iar catodul este cuprul (figura 5.2). Curentul electric utilizat a avut următorii parametri: densitatea de curent  $80\text{mA/cm}^2$  și tensiunea de  $1.80\text{V}$ . Înainte de a se realiza depunerea fiecare probă a fost ținută un minut în acid sulfuric și apoi spălată cu apă deionizată. Acest tratament s-a aplicat pe probele de Cu pentru a obține o depunere galvanică optimă.



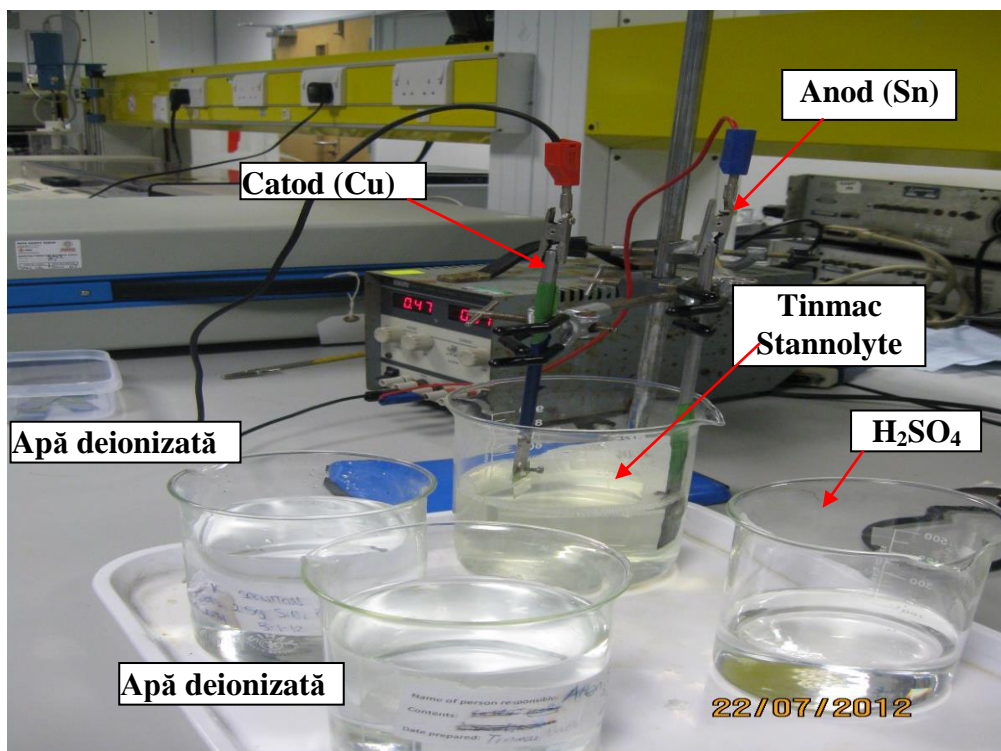


Figura 5.2 Stand pentru galvanizare

Pentru depunerea staniului pe cupru s-a pregătit o baie utilizând 1l de Tinmac Stannolyte de la compania MacDermid plc. Această baie este utilizată ca și electrolit. Tinmac Stannolyte conține următoarele substanțe: metanol, acid sulfuric, metil-metacrilat, benziliden acetona, sulfat de staniu. Probele care au fost galvanizate au avut următoarele dimensiuni: 2 cm x 4 cm. În figura 5.2 este prezentat standul care a fost utilizat pentru galvanizare. Depunerea galvanică s-a realizat într-un interval de timp de 10 minute pentru fiecare probă în parte. Stratul de staniu depus în acest interval de timp a fost de 10 $\mu$ m iar de aici se poate concluziona că depunerea galvanică a fost de 1 $\mu$ m/min. În figura 5.3 se pot observa probele obținute prin depunere galvanică.



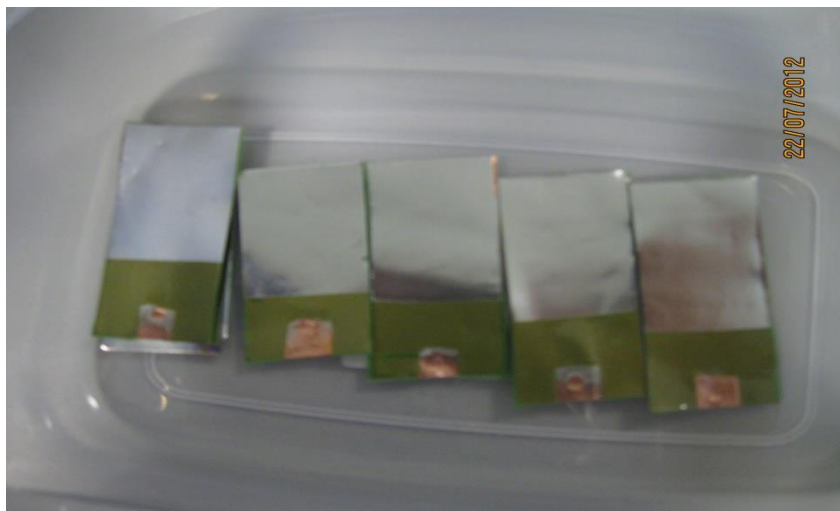


Figura 5.3 Probe obținute prin depunere galvanică

Aliajele utilizate pentru lipire au fost aliaje sub formă de benzi obținute prin metoda melt spinning. Pe lângă aceste aliaje s-a mai utilizat și un aliaj de referință din industrie din familia Sn-Cu-Ag. Aliajele cu care au fost lipite probele au următoarea compoziție chimică:

- 1)  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$
  - 2)  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$
  - 3)  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$
  - 4)  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$
  - 5)  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  industrial
- } Benzi

## 5.2 Procedeele și tehnologiile de lipire utilizate

Pentru lipire s-au utilizat două metode de lipire: lipirea cu ciocanul de lipit și lipirea prin reflow.

### 5.2.1 Lipirea cu ciocanul de lipit

Pentru lipirea manuală s-a utilizat un ciocan de lipit. În figura 5.4 este prezentat ciocanul de lipit utilizat. Acesta are următoarele caracteristici:

- Tensiunea electrică 230V
- Puterea 25W



Figura 5.4 Ciocan de lipit

Pentru a obține o lipire de calitate a fost necesară utilizarea fluxului. În procesul de lipire este necesară utilizarea fluxului deoarece acesta are rolul de a curăți suprafețele componentelor și de a le proteja pe durata operației de lipire. De asemenea acesta mai are și rol de îndepărtare a oxizilor și prevenirea formării oxizilor. Fluxul trebuie să intre în acțiune la o temperatură inferioară celei de topire a aliajului de lipire. Fluxul utilizat a fost pe bază de colofoniu.

### 5.2.2 Lipirea prin reflow

Lipirea prin reflow presupune retopirea aliajului depus pe suprafețele de lipit înainte de încălzire deoarece, în timpul lipirii nu se realizează aport de aliaj. Evident, procesul lipirii are loc în prezența fluxului, de regulă depus odată cu aliajul, deci înaintea încălzirii. În prezent, foarte frecvent, pentru lipirea prin retopire se folosește aliaj și flux sub formă de pastă de lipit depusă în strat subțire pe conductoarele imprimare, în punctele de lipire. Lipirea prin retopire presupune, depunerea pastei de lipit și apoi parcurgerea următoarelor etape: preîncălzirea, uscarea fluxului, retopirea aliajului de lipit și răcirea. Aceste etape definesc profilul termic al procesului de lipire prin acest procedeu. Un profil termic tipic lipirii prin reflow a fost prezentat în capitolul 1.

Lipirea prin reflow s-a realizat în cadrul Universității din Loughborough la Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering, UK. Cuptorul utilizat pentru lipirea prin reflow este un cuptor de la firma TRACK prezentat în figura 5.5. Acesta nu a avut atmosferă protectoare și de aceea la anumite probe fluxul nu s-a evaporat. Aliajele sub formă de benzi realizate prin metoda melt spinning au fost utilizate pentru lipirea prin reflow. Pentru a lipi cu aceste aliaje benzile au fost mărunțite. Peste aceste benzi mărunțite s-a adăugat flux și s-a amestecat pentru a se omogeniza. S-a depus flux și pe suprafața probelor pregătite pentru lipire. De asemenea pentru răcirea probelor nu s-a utilizat atmosferă protectoare. Conform celor spuse în capitolul 1 defectele de lipire care au apărut au fost de tip bule iar acestea apar de regulă în zona de uscare. Pentru realizarea îmbinărilor lipite prin această metodă s-au utilizat mai multe profile termice, prezentate în paragrafele următoare, iar probele lipite prin această metodă sunt prezentate sintetic în anexa A1.



Figura 5.5 Cuptor de lipire prin reflow

### a) Profilul termic la temperatura de 270°C

Profilul termic pentru temperatura de lipire de 270°C este reprezentat în figura 5.6. Acest profil termic a fost folosit pentru lipirea cu aliajele:  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ ,  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ ,  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ ,  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  sub formă de benzi,  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial.

Probele lipite cu aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial au fost bune calitativ și nu a mai fost necesară utilizarea unui alt profil termic în acest caz.

Lipirea cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  utilizând ca material de bază cupru s-a făcut pe 5 probe. După o evaluare calitativă s-au constatat că 3 probe au fost acceptabile și 2 probe nu au corespuns cerințelor calității. De aceea s-a realizat un alt profil termic, crescând temperatura zonei de întindere. Pentru lipirea pe material de bază Cu acoperit cu staniu depus electrolytic, s-a utilizat un singur profil termic cel cu temperatura de menținere în zona de întindere de 270°C conform figurii 5.6. Utilizând acest profil s-au lipit 4 probe din care doar 2 au fost bune și au corespuns cerințelor.

La lipirea prin reflow cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  pe Cu s-au lipit 8 probe. Dintre acestea 5 probe au fost bune iar 3 probe nu au corespuns din punct de vedere calitativ.

Cu aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  sub formă de benzi utilizând ca material de bază Cu s-au lipit patru probe prin reflow. Pe cupru acoperit cu Sn s-au lipit două probe. Toate probele au fost conforme calitativ.

Cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  s-au lipit 2 probe pe cupru acoperit cu Sn care au corespuns cerințelor de calitate. Utilizând ca material de bază Cu s-au lipit 8 probe. Îmbinările lipite pe Cu au fost bune calitativ din punct de vedere vizual dar la microscop s-au observat că avem defecte de tip bule. Din experimentele efectuate pentru a remedia aceste tipuri de defecte s-a constatat că este necesar să se micșoreze intervalul de timp dintre zona în care aliajul este preîncălzit și zona când ajunge la topire. Dacă mai folosim și atmosferă protectoare respectiv un profil termic adecvat nu vor mai fi prezente aceste defecte.

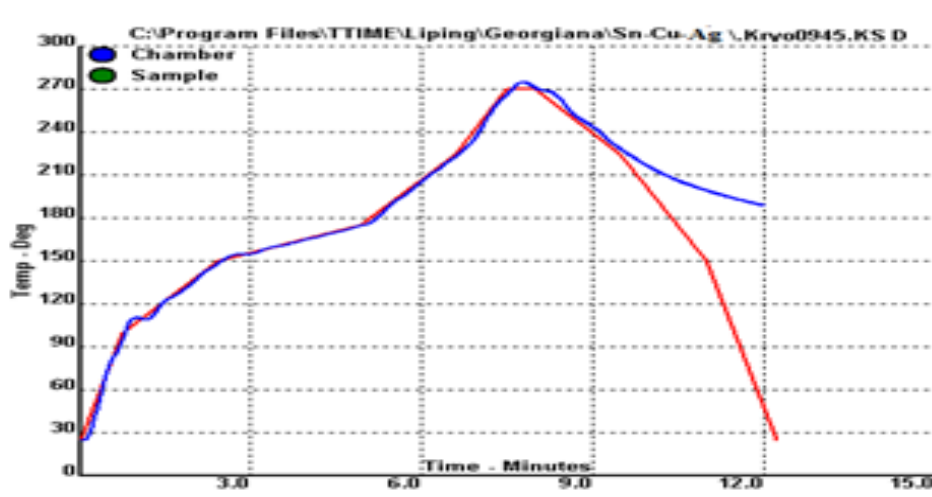


Figura 5.6 Profilul termic la temperatura de 270°C

### b) Profilul termic la temperatura de 290°C cu timpul de menținere de 30 s

Profilul termic pentru temperatura de lipire de 290°C este reprezentat în figura 5.7. Acest profil termic a fost folosit pentru lipirea cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ . Lipirea cu acest profil termic utilizând ca material de bază cupru s-a făcut pe 3 probe. În urma vizualizării îmbinărilor lipite s-a constatat că nici o probă nu a corespuns cerințelor de calitate. Astfel că și în acest caz a fost necesară modificarea profilului termic. Pentru noul profil termic s-a ținut cont de faptul că timpul de menținere în zona de întindere este mic și astfel s-a crescut acest timp.

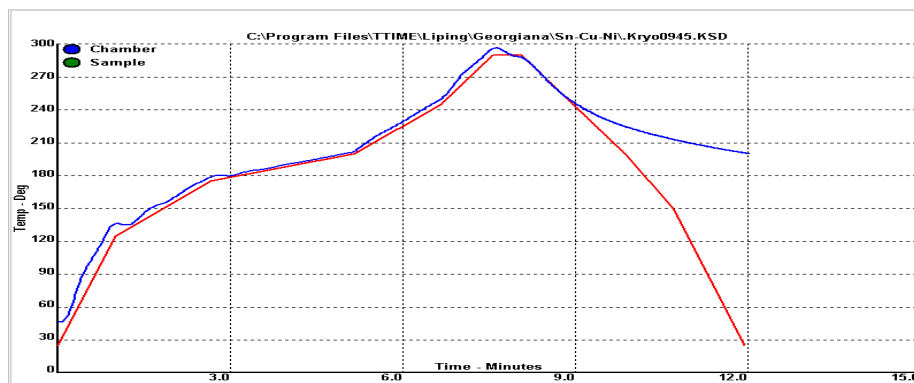


Figura 5.7 Profilul termic la 290°C cu timpul de menținere de 30s

### c) Profilul termic la temperatura de 290°C cu timpul de menținere de 1 min

La noul profil utilizând lipirea cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  se poate observa că temperatura de menținere este de 1min. Pentru acest profil s-au lipit 3 probe utilizând ca material de bază cupru.

Verificând vizual îmbinările lipite s-a constatat că aceste probe au satisfăcut cerințelor de calitate impuse. După lipire probele au fost pregătite metalografic și vizualizate la microscopul optic.

La microscop în interiorul îmbinărilor lipite s-a constatat că sunt anumite defecte și anume bule.

Acest profil termic s-a folosit și la lipirea a 3 probe cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ , utilizând ca material de bază cupru. Dintre aceste probe doar o probă a fost bună. De aceea cea mai bună opțiune pentru acest aliaj pe Cu este profilul din figura 5.8. La lipirea pe Cu acoperit cu Sn cu acest profil termic au fost lipite două probe care au fost bune calitativ.

S-a încercat lipirea prin reflow și cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  utilizând acest profil termic (figura 5.8 ). S-au realizat 4 probe pe material de bază cupru. Aceste probe nu au fost bune din punct de vedere calitativ.

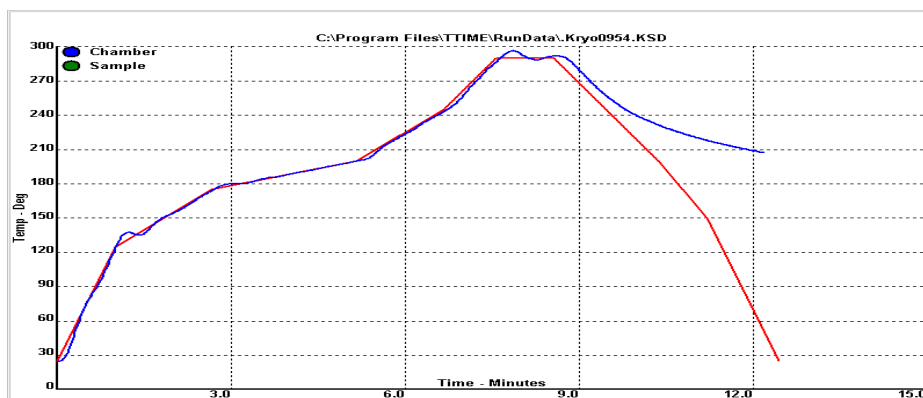


Figura 5.8 Profilul termic la temperatura de 290°C cu timpul de menținere de 1 min

Sintetizând, utilizând metoda de lipire prin reflow, s-au realizat următoarele îmbinări lipite:

- cu aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial s-au lipit în total 3 probe care au fost bune calitativ. După pregătirea probelor pe secțiune transversală s-a constatat prezența bulelor.
- cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  au fost lipite în total 15 probe din care 8 probe au fost bune iar 7 probe nu au fost bune.
- cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  s-a realizat 13 probe din care 8 au fost bune iar 5 nu au fost bune.
- cu aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  sub formă de benzi s-au lipit 6 probe. Toate aceste probe au fost bune calitativ.
- cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  s-a realizat 14 probe din care 10 au fost bune iar 4 nu au fost bune.

La toate probele care au fost lipite s-au găsit ca defecte de lipire bulele. Acestea pot fi remediate prin utilizarea unei atmosfere protectoare dar și prin utilizarea unui

profil termic adecvat. În tabelul 5.1 avem o sinteză cu profilele termice utilizate pentru fiecare aliaj în parte.

Tabel 5.1 Profilul termic utilizat la lipirea aliajelor  
0-nu a fost utilizat acest profil , X- a fost utilizat acest profil

| Aliajul             | Profil termic                     |                     |                                   |                     |                                   |                     |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|
|                     | 270°C                             |                     | 290°C- 30sec                      |                     | 290°C- 1min                       |                     |
|                     | Material de bază Cu acoprit cu Sn | Material de bază Cu | Material de bază Cu acoprit cu Sn | Material de bază Cu | Material de bază Cu acoprit cu Sn | Material de bază Cu |
| Sn-Cu-Ga            | X                                 | X                   | 0                                 | 0                   | 0                                 | X                   |
| Sn-Cu-Ni            | X                                 | X                   | 0                                 | X                   | 0                                 | X                   |
| Sn-Cu-Co            | 0                                 | X                   | 0                                 | 0                   | X                                 | X                   |
| Sn-Cu-Ag benzi      | X                                 | X                   | 0                                 | 0                   | 0                                 | 0                   |
| Sn-Cu-Ag Comercia I | X                                 | X                   | 0                                 | 0                   | 0                                 | 0                   |

### 5.3 Caracterizarea structurală a îmbinărilor lipite realizate

Pentru caracterizarea structurală a îmbinărilor lipite cu aliajele elaborate s-au folosit ca și metode de investigație analiza prin microscopie optică și electronică precum și analiza prin difracție de raze X.

#### 5.3.1 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate prin microscopie optică

Pentru caracterizarea prin microscopie optică s-a utilizat microscopul Nikon SMZ1500 și respectiv Reichert-Jung MEF3 figura 5.9. Pentru probele lipite cu ciocanul de lipit s-a utilizat microscopul Nikon iar la cele lipite prin reflow s-a folosit Reichert-Jung. Pentru aceste investigații probele au fost pregătite pe secțiune transversală. Acestea au fost pregătite metalografic la Hollywel Park la Materials Degradation Centre de la Universitatea din Loughborough,UK

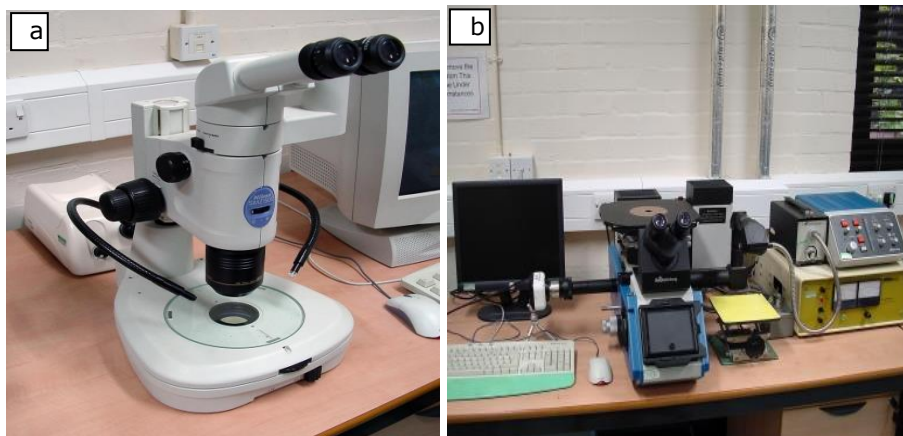


Figura 5.9 Microscopice optice  
a) Nikon SMZ1500 b) Reichert-Jung MEF3

### 5.3.1.1 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial

#### **a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial utilizând lipirea cu ciocanul de lipit**

Analiza microscopică a îmbinării lipite cu ciocanul de lipit în cazul utilizării aliajului comercial  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  relevă următoarele aspecte:

-în cazul lipirii pe Cu (figura 5.10 a) se constată în îmbinarea lipită prezența unor defecte de tip bule într-un număr destul de mare.

-de asemenea se constată în structura îmbinărilor lipite mulți compuși intermetalici deschiși la culoare de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  respectiv  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  așa cum indică și diagramele de echilibru binare Sn-Cu, Sn-Ag (figura A2.1, A2.2).

Defectele de tip bule se datorează în principal fluxului de lipire neevaporat.

În cazul îmbinării lipite realizate pe Cu acoperit cu un strat de Sn (figura 5.10b) se observă absența defectelor de tip bule iar proporția compușilor intermetalici din structura îmbinării lipite este mult mai redusă. În îmbinare se poate distinge o structură aciculară (figura 5.10b).



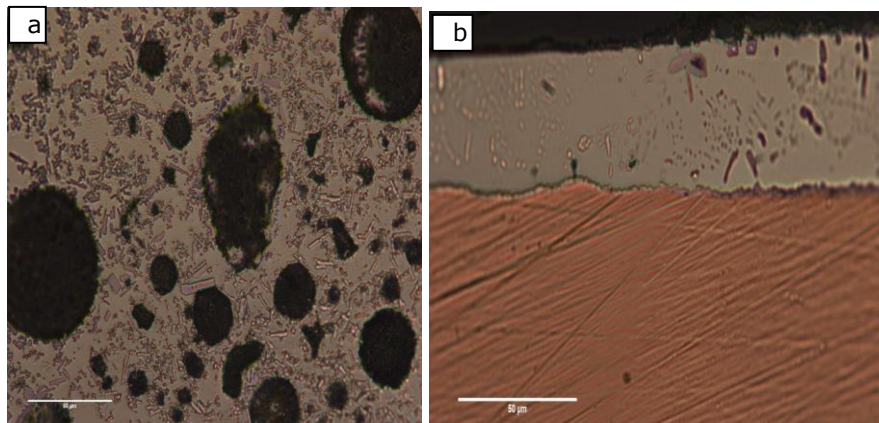


Figura 5.10 Imagini la microscopul optic la lipirea cu ciocanul de lipit  
a) îmbinări lipite pe Cu b) îmbinări lipite pe cupru acoperit cu Sn

### b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ la lipirea prin reflow

În cazul lipirii prin reflow utilizând aliajul de lipire  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial se constată de asemenea prezența defectelor de tip bule la lipirea pe Cu (figura 5.11 a) în cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.11b) defectele de tip bule dispar iar în structură se remarcă prezența în proporție destul de ridicată a compușilor intermetalici  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  și  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ . Putem observa că la lipirea prin reflow pe cupru sunt prezente defectele ce au fost observate și la lipirea manuală. În figura 5.11 b) se prezintă o structură cu formațiuni dendritice.

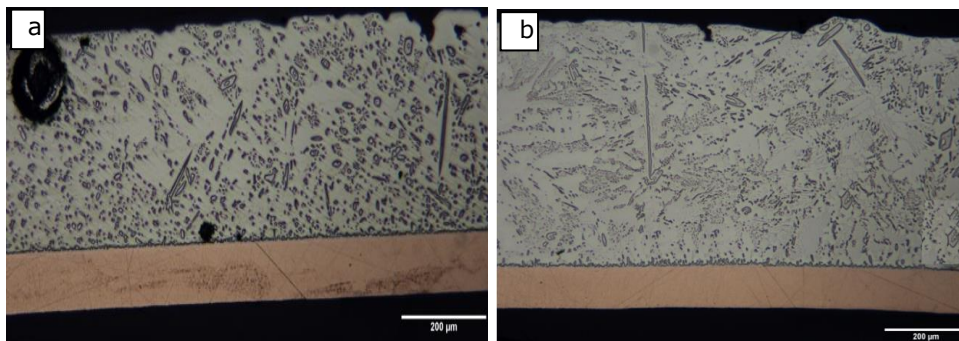


Figura 5.11

- a) lipirea prin reflow pe cupru la aliajul comercial  
b) lipirea prin reflow pe cupru acoperit cu staniu la aliajul comercial



### 5.3.1.2 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ sub formă de benzi

#### **a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ utilizând lipirea cu ciocanul de lipit**

La lipirea cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  utilizând ciocanul de lipit se remarcă prezența defectelor de tip bule în cazul lipirii pe Cu (figura 5.12a). Totodată, în structura îmbinării lipite se evidențiază prezența compușilor intermetalici de tip  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  respectiv  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$  în conformitate cu diagramele de echilibru binare Sn-Cu și Ni-Sn (figura A2.2, A2.4). În cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn nu se mai remarcă prezența defectelor de tip bule iar structura se caracterizează printr-o matrice de soluție solidă pe bază de Sn în care apar compuși intermetalici de tip  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  și  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$  distribuți aproximativ uniform în matricea de bază (figura 5.12b).

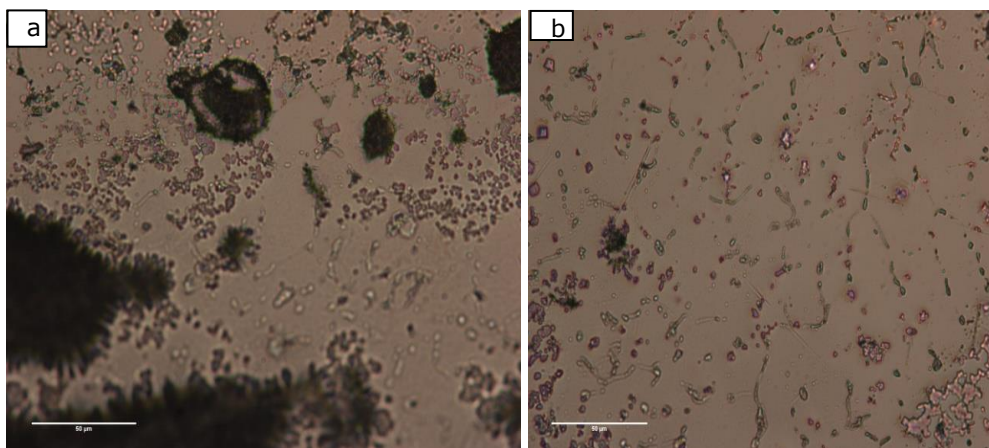


Figura 5.12 Microscopie optică lipire manuală cu aliaj de  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$   
a) pe cupru  
b) cupru acoperit cu staniu prin galvanizare

#### **b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ utilizând lipirea prin reflow**

La lipirea prin reflow utilizând aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  se constată apariția defectelor de tip bule la lipirea pe Cu (figura 5.13a). La lipirea pe Cu acoperit cu Sn aceste defecte nu mai sunt prezente (figura 5.13b). În ambele situații structura îmbinării este similară fiind formată dintr-o matrice de soluție solidă pe bază de Sn în care apar formațiuni eutectice și compuși intermetalici de tip  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  respectiv  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$  (figura A2.2, A2.4).

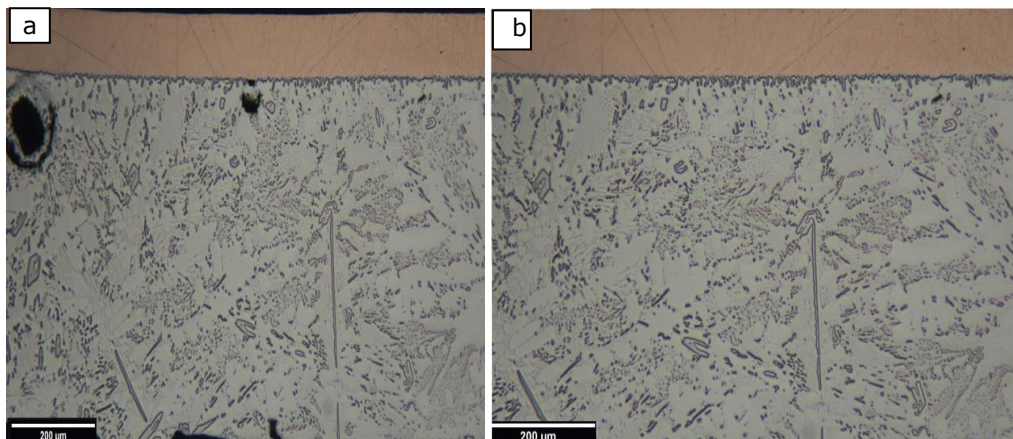


Figura 5.13 Imagini obținute prin microscopie optică la lipire prin reflow la aliaju  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$

### 5.3.1.3 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ sub formă de benzi

#### a) **Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ utilizând lipirea cu ciocanul de lipit**

La lipirea cu  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  cu ciocanul de lipit utilizând material de bază Cu (figura 5.14 a) se constată o structură formată dintr-o soluție solidă pe bază de Sn ca matrice de bază în care se găsesc formațiuni eutectice cu aspect acicular precum și compuși intermetalici de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  și respectiv  $\text{CoSn}_2$  indicați de diagramele de echilibru (figura A2.2, A2.5)

La lipirea pe Cu acoperit cu Sn structura îmbinării lipite este asemănătoare cu cea la lipirea pe Cu (figura 5.14 b) remarcându-se și în acest caz prezența unui eutectic acicular precum și a unor compuși intermetalici de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  și  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ .

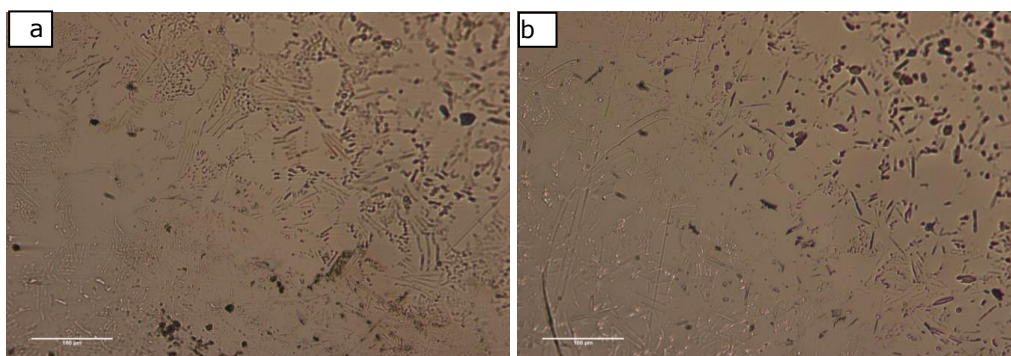


Figura 5.14 Imagini la microscopul optic la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  lipit manual  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

**b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  utilizând lipirea prin reflow**

În cazul lipirii prin reflow cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  se observă prezența defectelor de tip bule atât la lipirea pe Cu (figura 5.15 a) cât și la lipirea pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.15 b). Se remarcă prezența compușilor intermetalici deschiși la culoare de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  și respectiv  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  într-o matrice de soluție solidă pe bază de Sn.

În acest caz se observă că amestecul mecanic eutectic ce apare pe un fond de soluție solidă pe bază de Sn tinde spre o formă globulară.

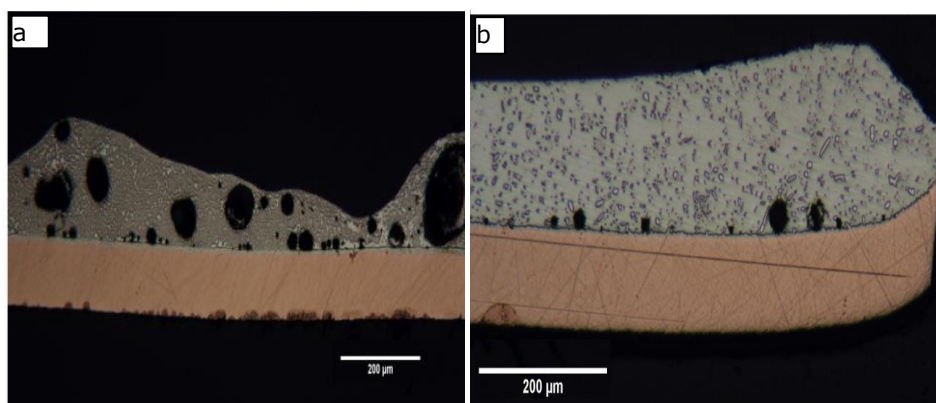


Figura 5.15 Imaginile la microscopul optic la lipirea prin reflow pentru aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$

**5.3.1.4 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  sub formă de benzi**

**a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  utilizând lipirea cu ciocanul de lipit**

În acest caz lipirea cu aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  sub formă de benzi pe Cu utilizând ciocanul de lipit constatăm prezența unui eutectic ce apare la limita grăunților unei soluții solide pe bază de Sn (figura 5.16 a).

În cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.16 b) pe lângă formațiuni eutectice se remarcă și prezența unor compuși intermetalici deschiși la culoare de tipul  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  respectiv  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  sau  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  așa cum indică diagramele de echilibru (figura A2.1, A2.2).

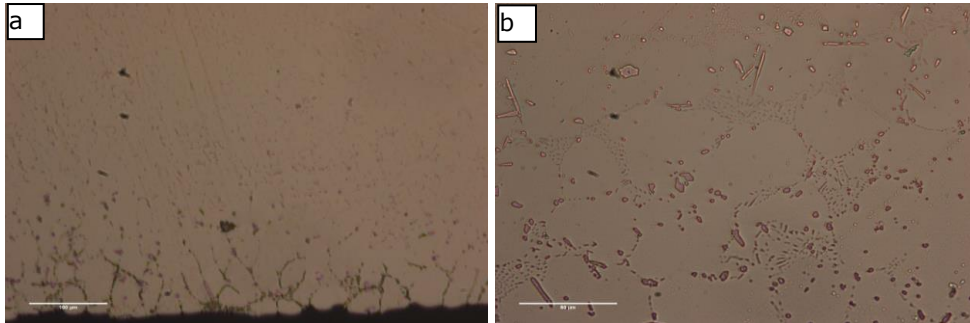


Figura 5.16 Imaginile la microscopul optic la lipirea manuală pentru aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$

**b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  utilizând lipirea prin reflow**

La lipirea prin reflow pe Cu se remarcă apariția defectelor de tip bule (figura 5.17a).

În cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.17b) aceste defecte nu mai sunt prezente. Și în acest caz în structura îmbinărilor lipite apar formațiuni eutectice la limita grăunților unei soluții solide pe bază de Sn precum și a compușilor intermetalici deschiși la culoare destul de fini de tipul  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  și respectiv  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ .

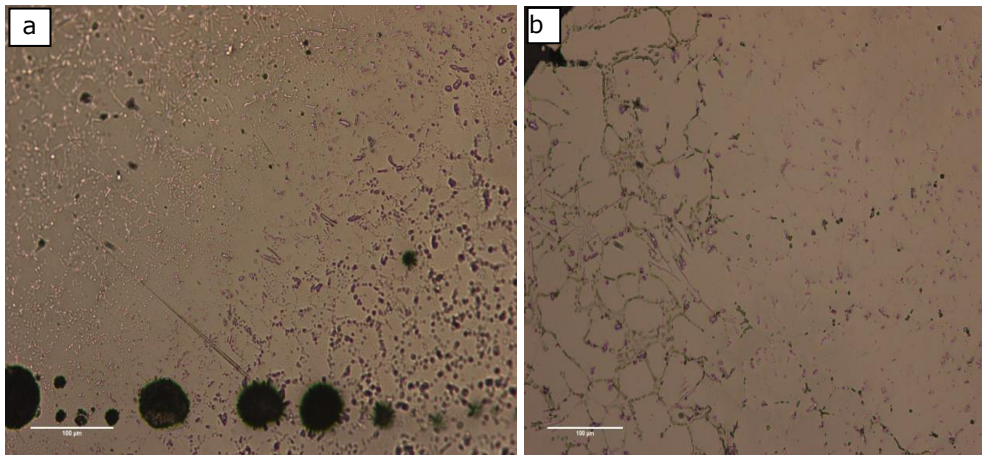


Figura 5.17 Imagini la microscopul optic la aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  la lipirea prin reflow  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu



### 5.3.1.5 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ sub formă de benzi

#### **a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ utilizând lipirea cu ciocanul de lipit**

Microstructura îmbinărilor lipite cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  realizate manual pe Cu (figura 5.18 a) atestă prezența compușilor intermetalici deschiși la culoare de tip CuGa respectiv  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ . Așa cum se poate observa din diagramele de echilibru (figura A2.6, A2.7) nu apar compuși intermetalici între Sn și Ga.

În cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn manual (figura 5.18 b) se remarcă prezența în structura îmbinării lipite a unor formațiuni eutectice la limita unei soluții solide pe bază de Sn. Se observă deasemenea prezența unor compuși intermetalici de tip CuGa dar într-o proporție mult mai redusă.

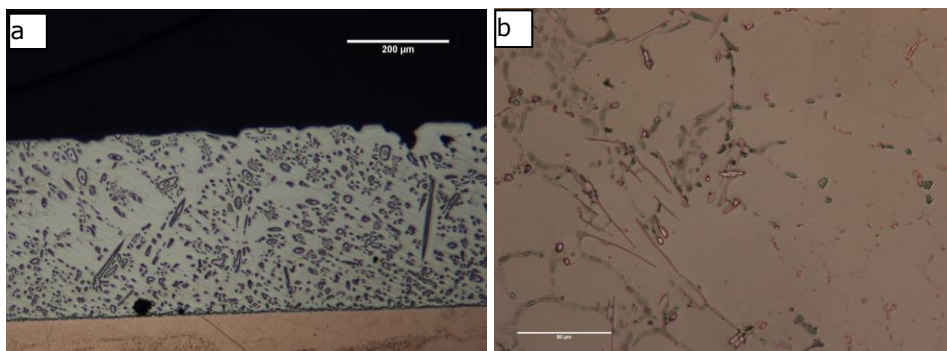


Figura 5.18 Imagini la microscopul optic pentru aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit manual  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

#### **b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ utilizând lipirea prin reflow**

În cazul lipirii prin reflow pe Cu se constată apariția defectelor de tip bule (figura 5.19 a). În cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn defectele dispar iar structura îmbinării lipite se caracterizează prin prezența într-o matrice de soluție solidă pe bază de Sn a unor formațiuni eutectice precum și a unor compuși intermetalici de tipul CuGa. De remarcat este faptul că în cazul lipirii cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  nu apar compuși între Sn și Cu.

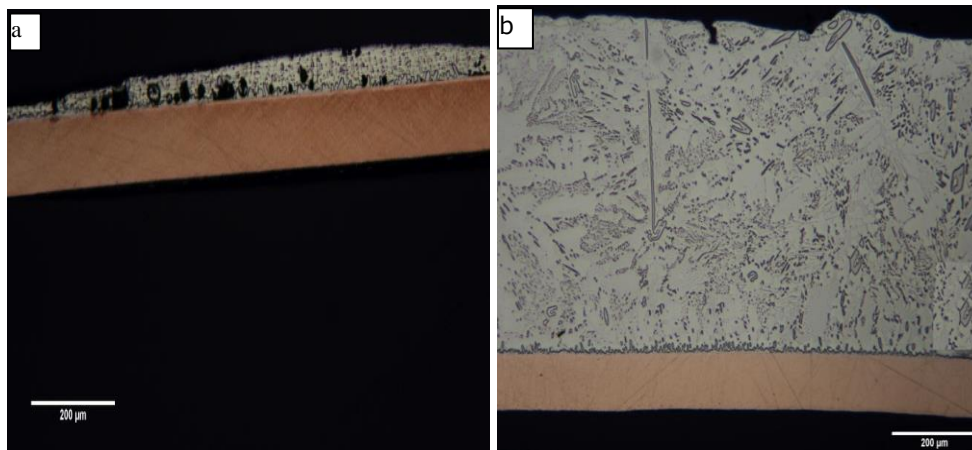


Figura 5.19 Imagini la microscopul optic pentru lipirea prin reflow pentru aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$   
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

### 5.3.2 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate prin microscopie electronică cu baleaj

Alte investigații care au fost făcute asupra probelor au fost imagini SEM, mapping și EDX utilizând microscopul electronic cu baleaj de la Carl Zeiss EGF-1530VP FE-SGEM de la Materials Department of Loughborough University, Loughborough Materials Characterisation Centre (LMCC). Probele care au fost pregătite pentru aceste investigații pentru a fi conductive au fost acoperite cu un strat de aur și argint. În figura 5.20 a) este prezentat echipamentul cu care probele au fost acoperite cu aur Gold Sputter Coater/ Carbon Evaporator dar și probele după ce au fost acoperite figura 5.20 b),c). Pentru acoperirea probelor cu aur s-au utilizat următorii parametri:

- un interval de timp 30s-1 min
- presiune 0,1 atm
- intensitatea curentului electric 18-20 mA



Figura 5.20 Echipament de acoperire a probelor cu aur și probele după ce au fost acoperite

## 96 Cercetări privind îmbinarea componentelor electronice cu aliajele elaborate-5

Acest tip de microscop utilizat (Carl Zeiss) este prevăzut cu atmosferă protectoare de argon și poate fi observat în figura 5.21. Pentru analizele de mapping și EDX s-a folosit softul AZTEC Oxford.



Figura 5.21 Microscopul Carl Zeiss

### 5.3.2.1 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate utilizând microscopia electronică prin EDS Mapping

După ce s-au realizat imaginile SEM probele au fost analizate prin mapping. Prin EDS Mapping se poate observa distribuția elementelor componente ale probei pe suprafața scanată la SEM.

#### 5.3.2.1.1 *Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial*

##### a) **Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ utilizând lipirea cu ciocanul de lipit**

Imaginea SEM a îmbinării lipite cu aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial manual pe Cu este redată în (figura 5.22a). Mappingul realizat atestă faptul că Sn predomină în îmbinarea lipită dar apar compuși intermetalici ai staniului cu atât cu Ag cât și cu Cu (figura 5.22 b,c,d).

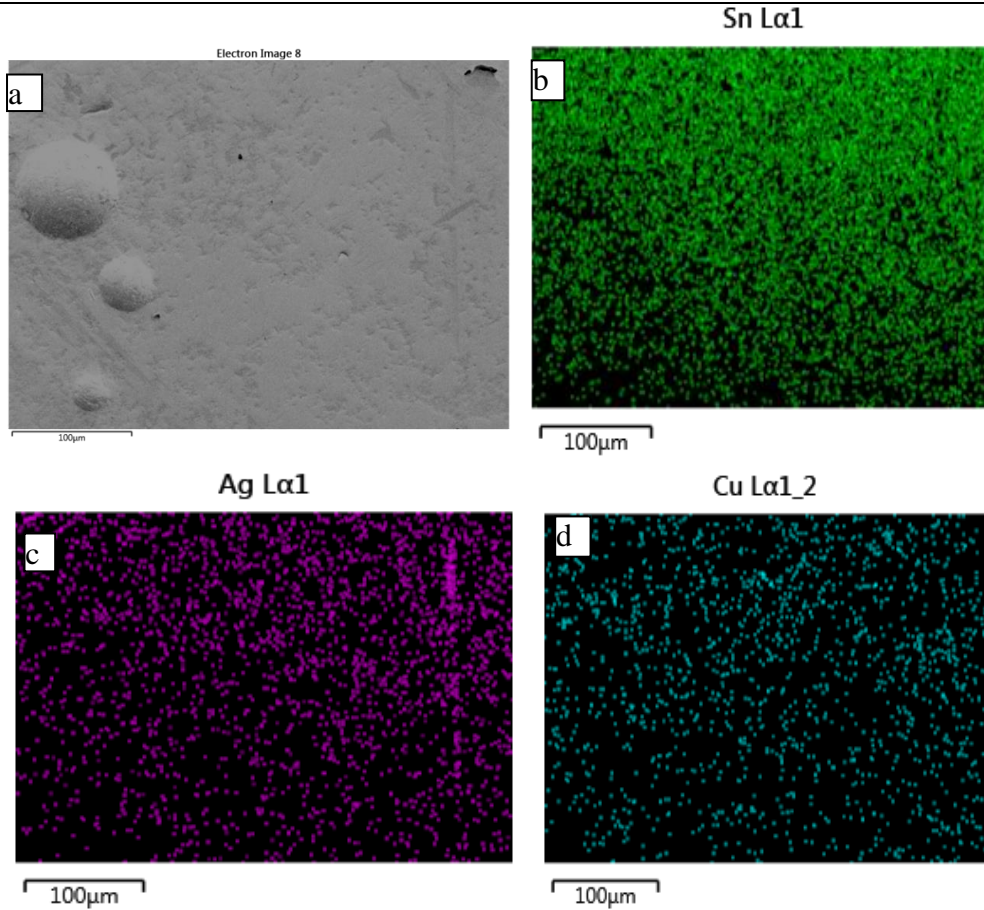


Figura 5.22 EDS Mapping pentru aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit manual pe cupru

Și în cazul lipirii manuale pe Cu acoperit cu Sn se poate observa în imaginea mapping realizată (figura 5.23) prezența compușilor intermetalici ai staniului cu Ag și Cu.



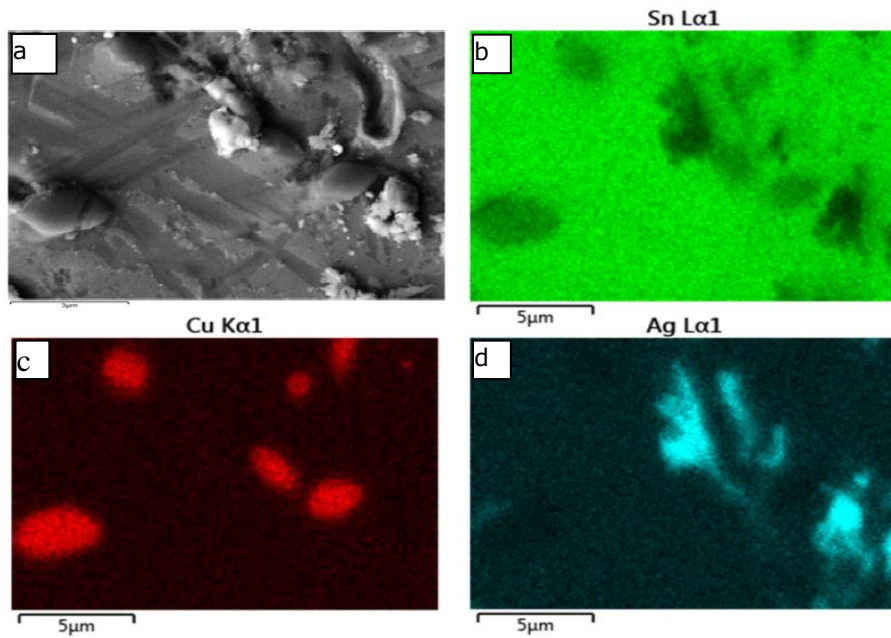
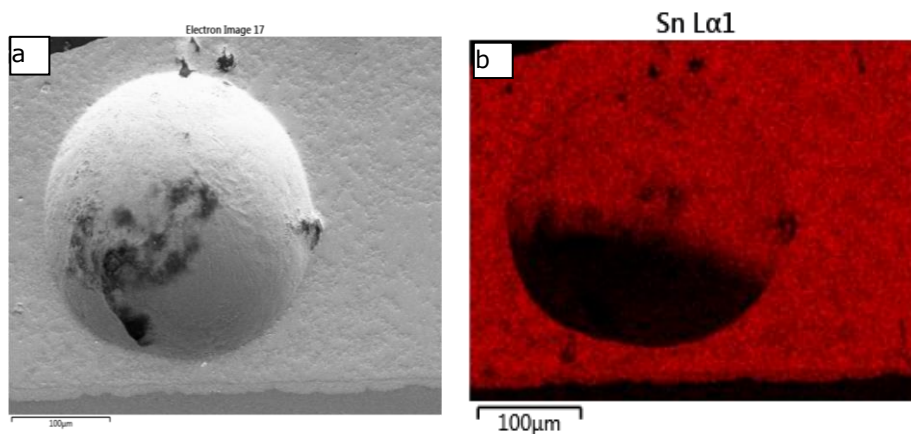


Figura 5.23 EDS Mapping pentru aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit pe cupru acoperit cu staniu

**a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  la lipirea prin reflow**

Imaginea mapping în cazul lipirii prin reflow pe Cu (figura 5.24) atestă prezența unor soluții solide pe bază de Sn,Cu și Ag cât și a unor compuși intermetalici ai staniului cu Cu și Ag.



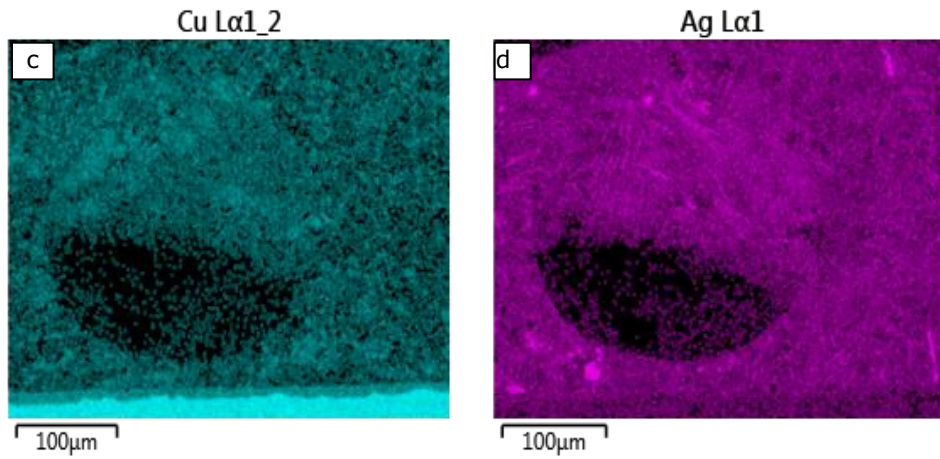
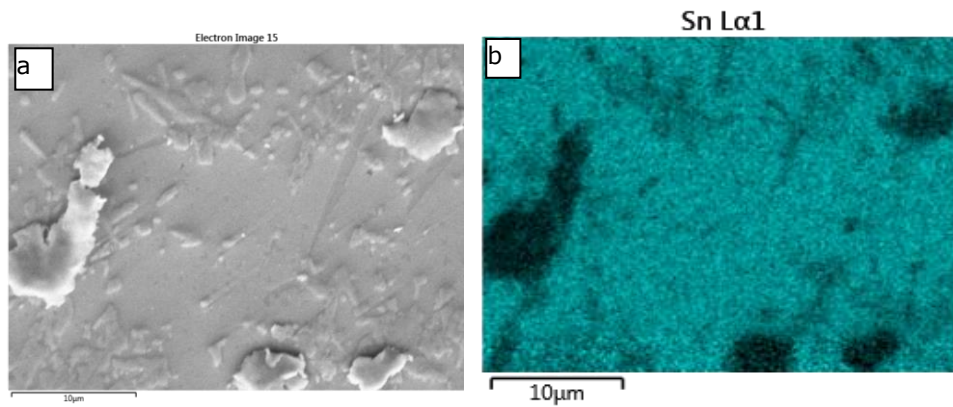


Figura 5.24 EDS Mapping pentru aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit pe cupru prin reflow

Și în cazul lipirii prin reflow pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.25) se poate observa că avem în imaginea mapping realizată soluții solide pe bază de Sn, Cu, Ag dar și compuși intermetalici între Sn Cu și Ag (figura 5.25 b,c,d).



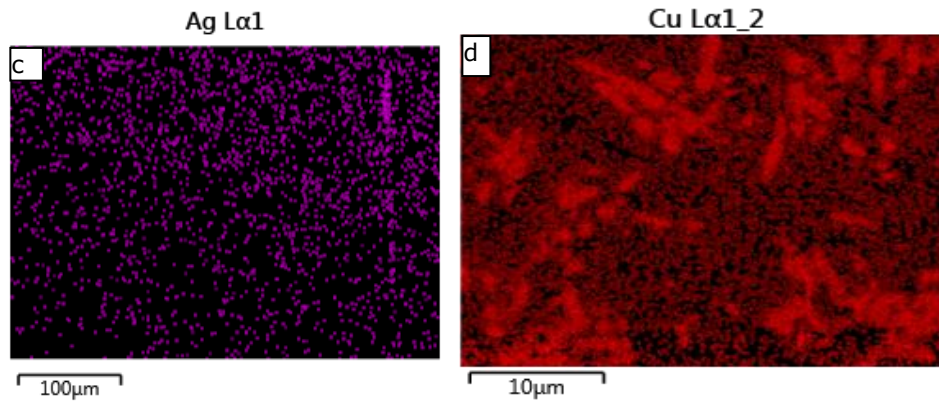
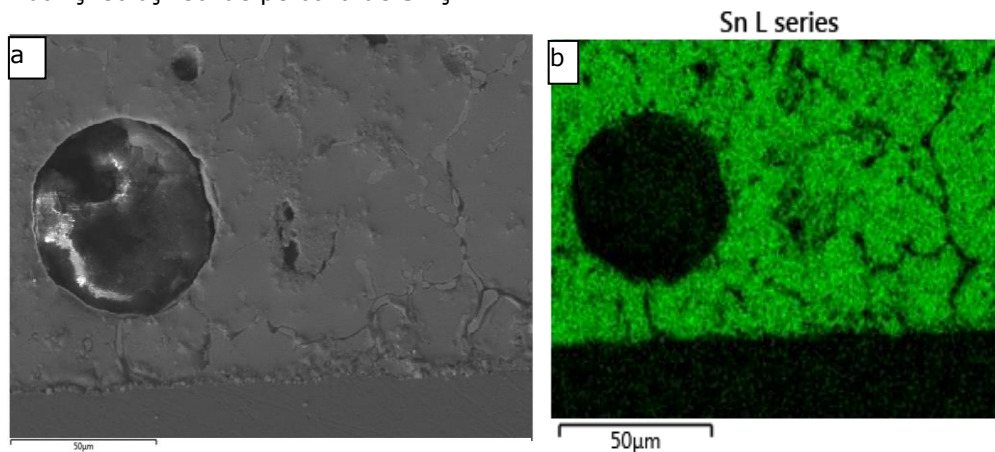


Figura 5.25 EDS Mapping pentru aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit pe cupru acoperit cu staniu prin reflow

### 5.3.2.1.2 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ sub formă de benzi

#### a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ utilizând lipirea cu ciocanul de lipit

În cazul lipirii manuale cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  pe Cu în imaginea mapping redată în figura 5.26 se poate observa prezența compușilor intermetalici ai staniului cu Cu și Ni dar și soluții solide pe bază de Sn și Ni.



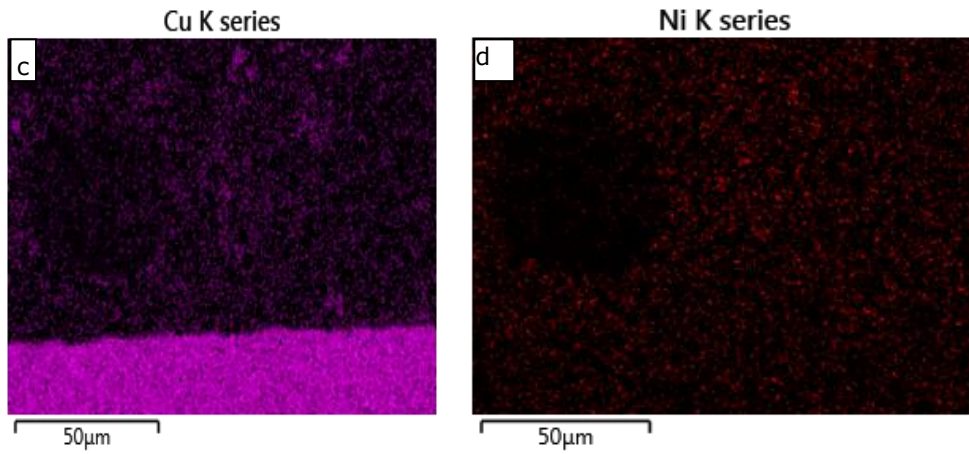
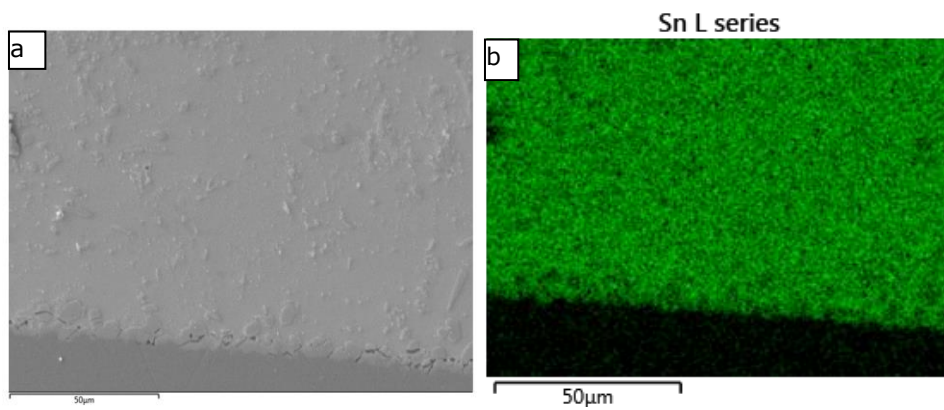


Figura 5.26 EDS Mapping la aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  lipit pe cupru cu ciocanul de lipit

La lipirea pe Cu acoperit cu Sn imaginea mapping (figura 5.27) relevă aspecte similare cu cele la lipirea manuală pe Cu.





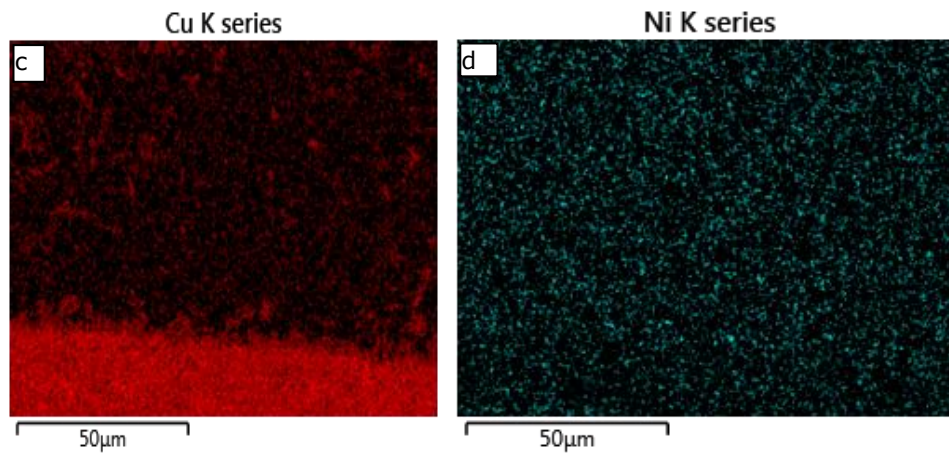
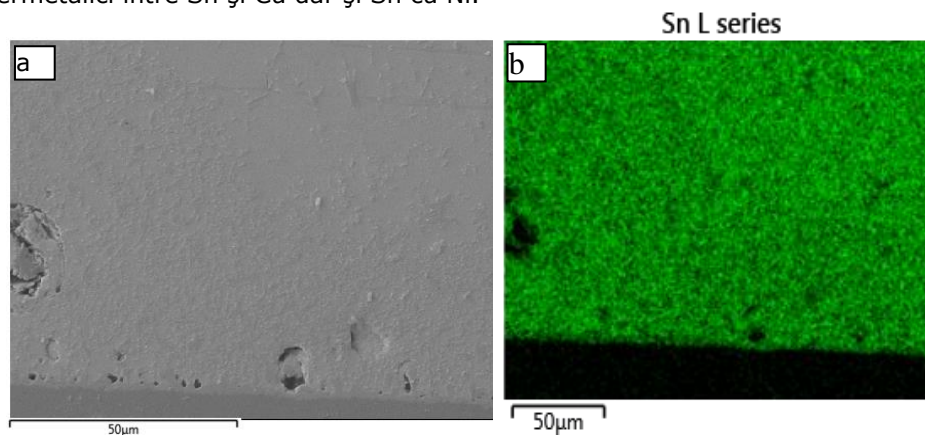


Figura 5.27 EDS Mapping la aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  lipit pe cupru acoperit cu staniu cu ciocanul de lipit

**a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  sub formă de benzi la lipirea prin reflow**

La lipirea cu  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  prin reflow pe Cu imaginea mapping (figura 5.28) atestă prezența unor soluții solide pe bază de Sn, Cu și Ni precum și a compușilor intermetalici între Sn și Cu dar și Sn cu Ni.



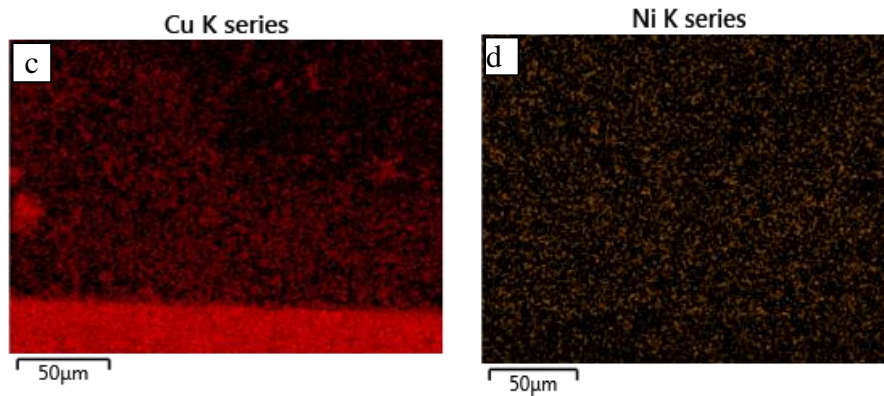
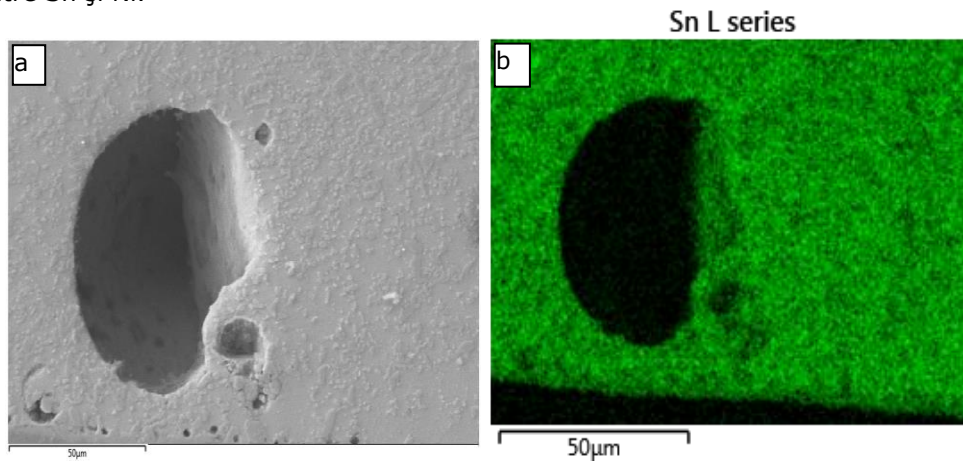


Figura 5.28 Imagini EDS Mapping la lipirii prin reflow la  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  pe Cu

În cazul lipirii prin reflow pe Cu acoperit cu Sn imaginea mapping (figura 5.29) atestă prezența atât a soluțiilor solide cât și a compușilor intermetalici similar cu situația lipirii pe Cu, cu deosebirea că în acest caz nu mai apar compuși intermetalici între Sn și Ni.



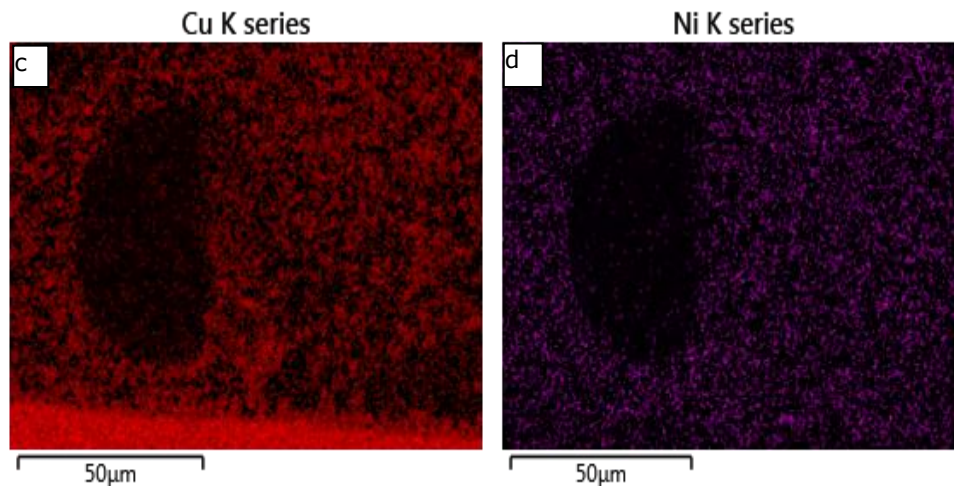
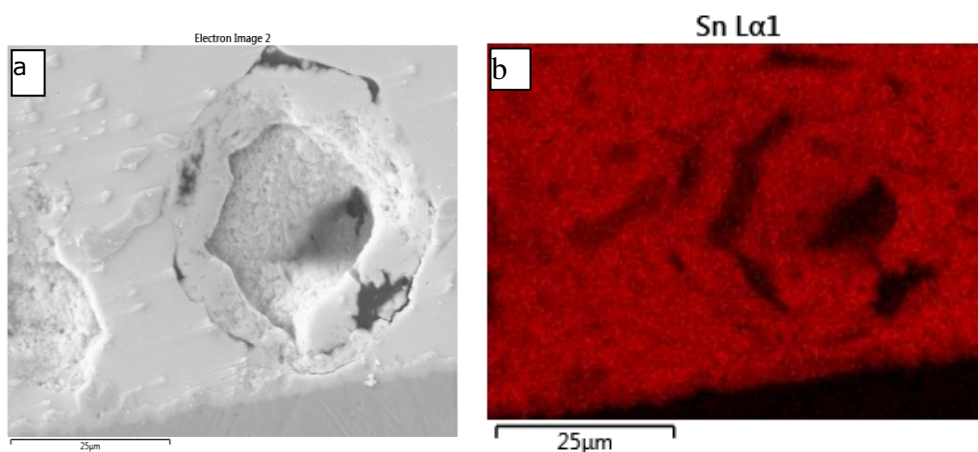


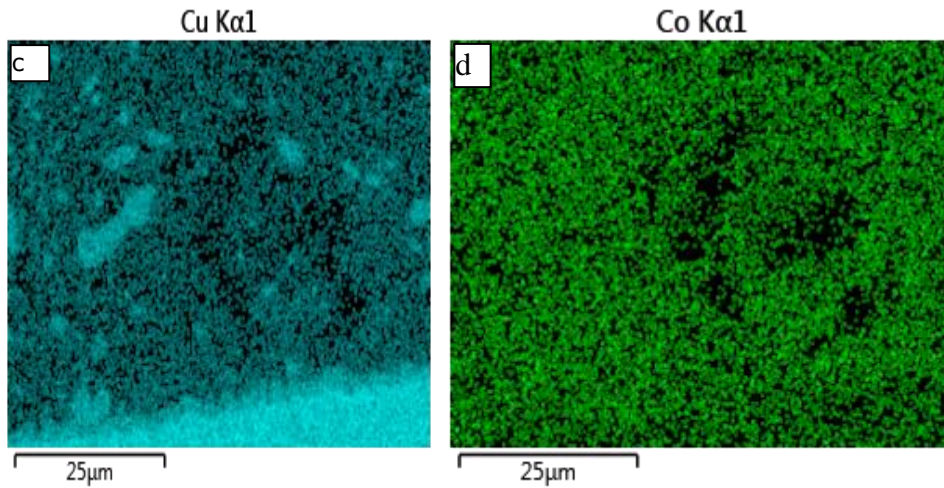
Figura 5.29 EDS Mapping la aliajul de  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  lipit pe cupru acoperit cu staniu prin reflow

### 5.3.2.1.3 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ sub formă de benzi

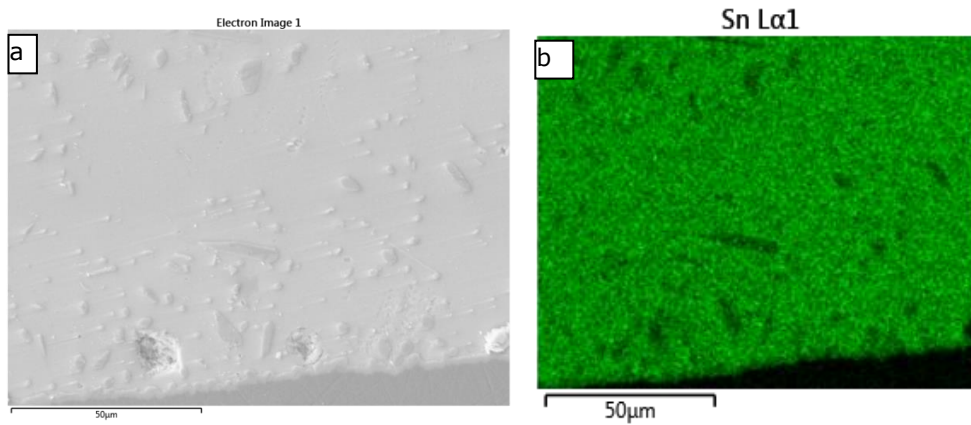
#### a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ utilizând lipirea cu ciocanul de lipit

Îmbinările lipite pe Cu cu  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  manual se caracterizează prin prezența soluțiilor solide pe bază de Sn, Cu, Co și a compuși lor intermetalici între Sn și Cu (figura 30).



Figura 5.30 EDS Mapping la  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  lipit manual pe Cu

La lipirea pe Cu acoperit cu Sn imaginea mapping (figura 5.31) atestă de asemenea prezența soluțiilor solide pe bază de Sn, Cu, Co precum și compuși intermetalici între Sn și Cu și mai puțin între Sn și Co.





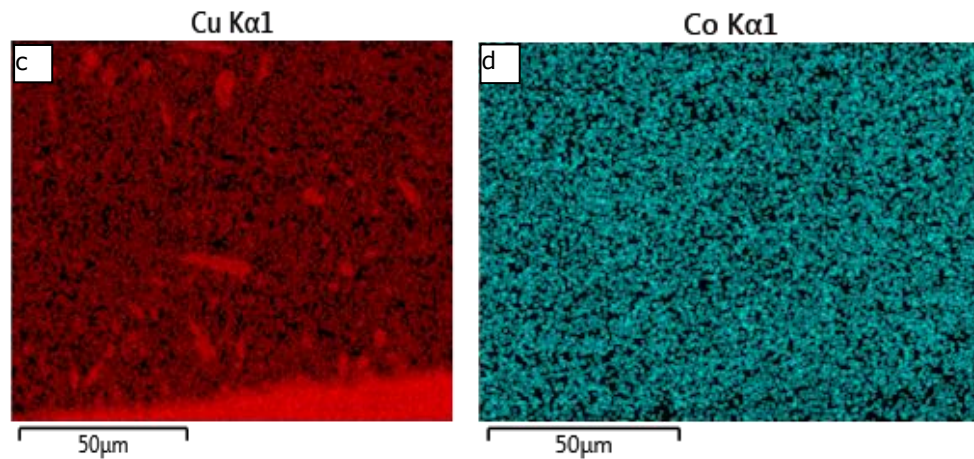
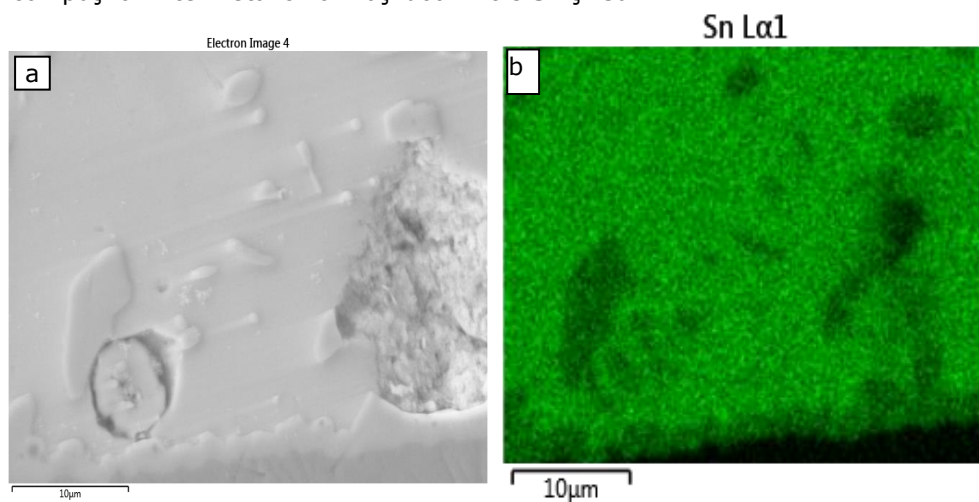


Figura 5.31 EDS Mapping la  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  lipit manual pe cupru acoperit cu staniu

**b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  sub formă de benzi la lipirea prin reflow**

Și la lipirea prin reflow atât pe Cu cât și pe Cu acoperit cu staniu imaginile mapping (figura 5.32, figura 5.33) atestă prezența soluțiilor solide pe bază de Sn și Co dar și a compușilor intermetalici formați doar între Sn și Cu.



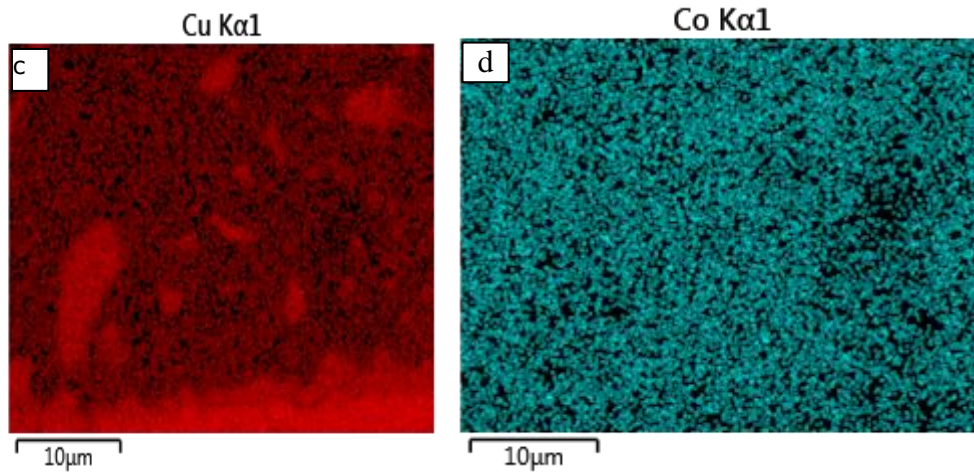
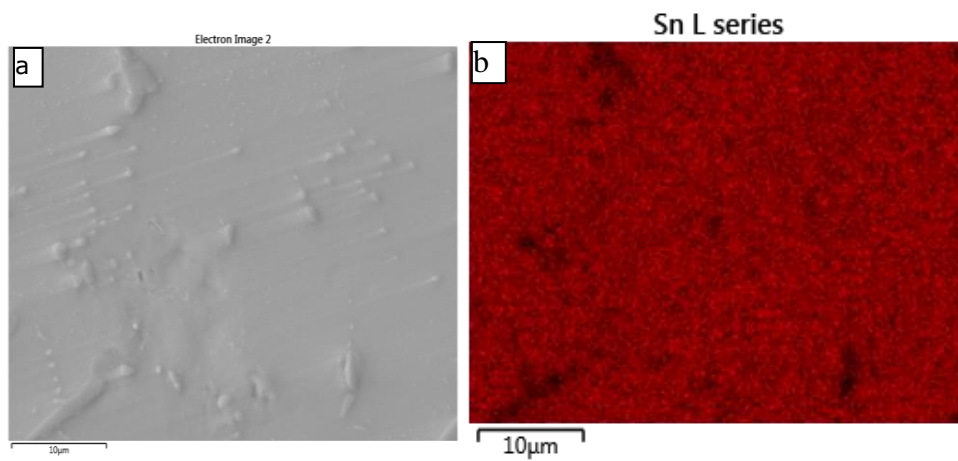


Figura 5.32 Mapping la lipirea prin reflow pe Cu



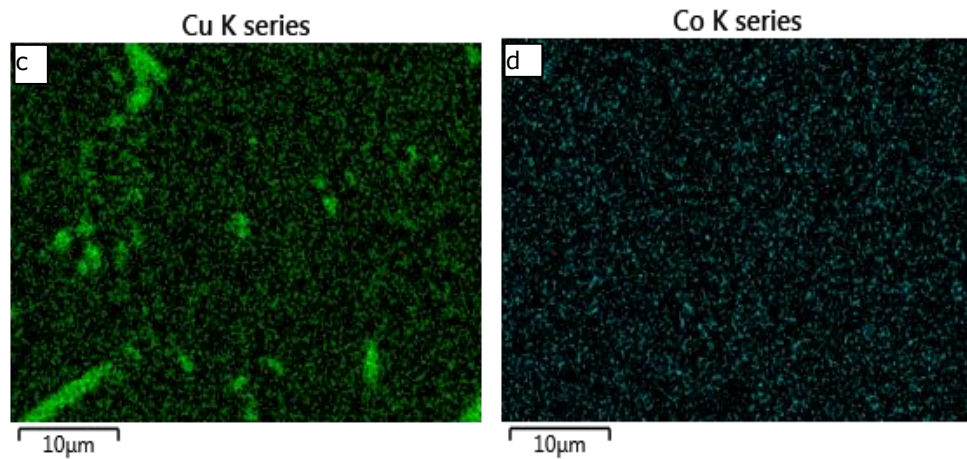
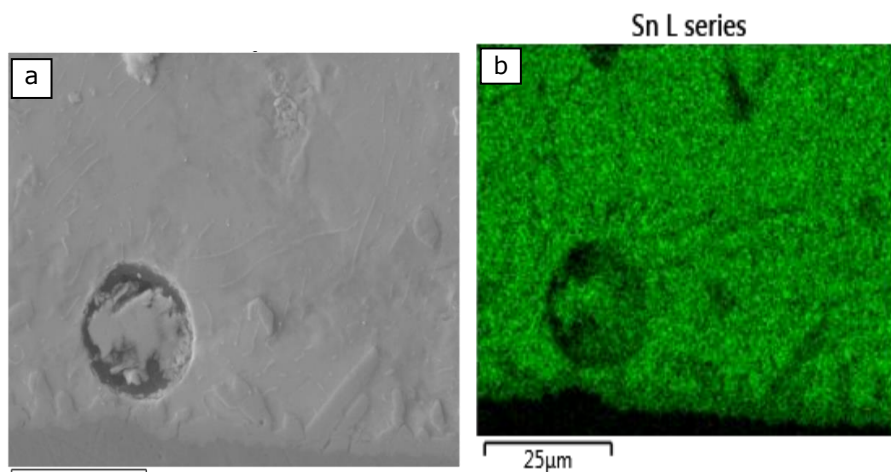


Figura 5.33 Mapping la lipirea prin reflow pe cupru acoperit cu staniu la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$

#### 5.3.2.1.4 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ sub formă de benzi

##### a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ utilizând lipirea manuală

La lipirea manuală cu aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  sub formă de benzi imaginile mapping atât la lipirea pe Cu cât și la lipirea pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.34, figura 5.35) reliefează prezența doar a soluțiilor solide pe bază de Sn și formarea de compuși intermetalici între Sn și Cu dar și între Sn și Ag.





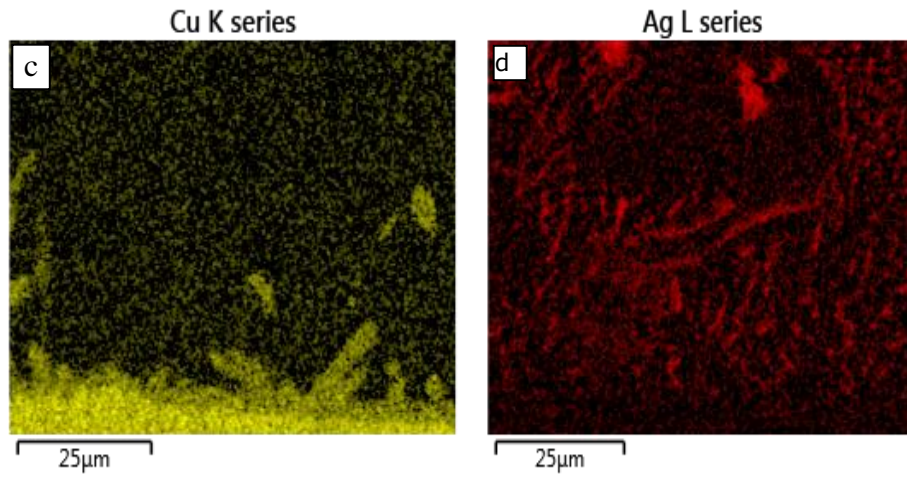


Figura 5.34 Mapping la  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2.5}\text{Cu}_{0.5}$  lipit manual pe Cu

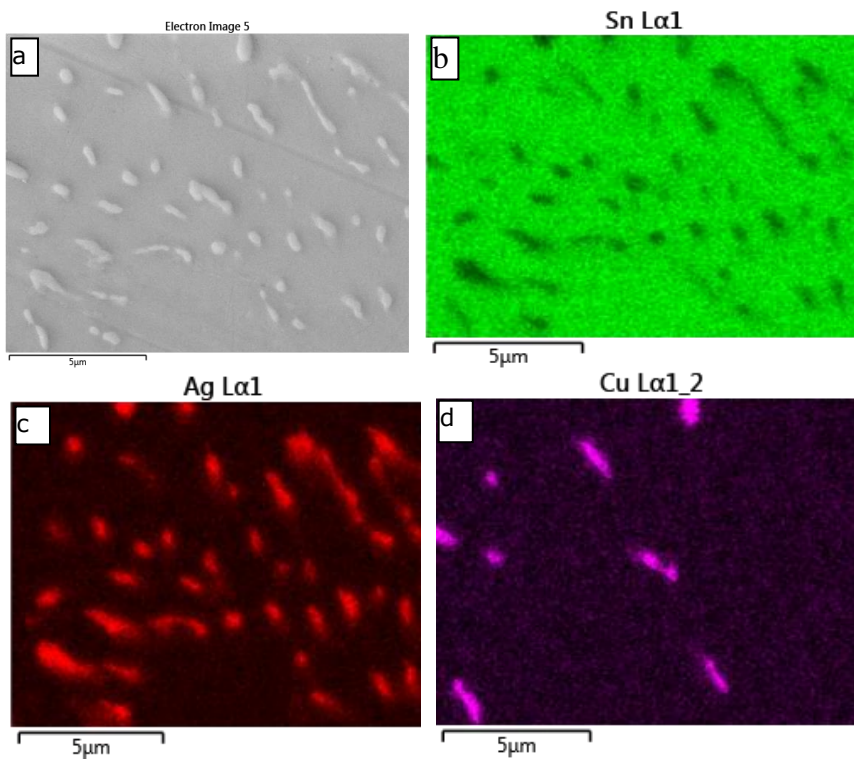


Figura 5.35 Mapping la  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2.5}\text{Cu}_{0.5}$  lipit manual pe cupru acoperit cu staniu

**b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  sub formă de benzi la lipirea prin reflow**

La lipirea prin reflow atât pe Cu cât și pe Cu acoperit cu Sn imaginile mapping (figura 5.36, figura 5.37) arată că în acest caz pot apărea și soluții solide pe bază de Cu și Ag pe lângă cele pe bază de Sn fiind evidențiată și prezența compuşilor intermetalici între Cu, Sn și Ag.

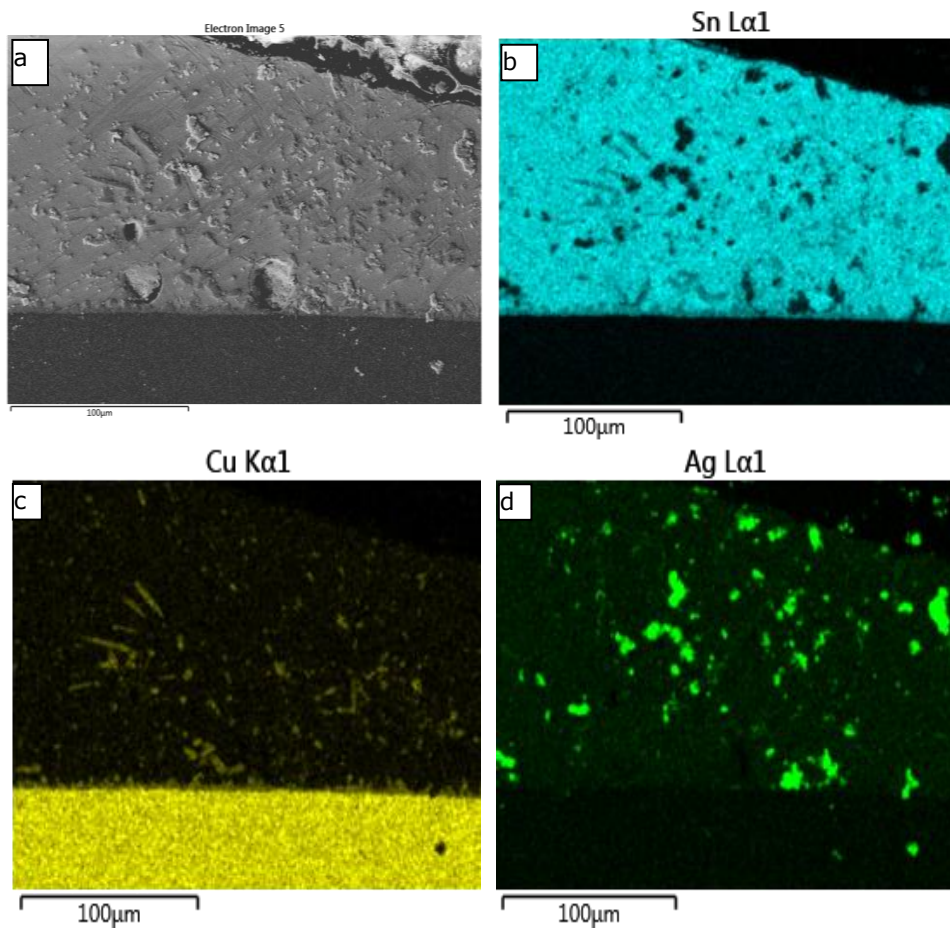


Figura 5. 36 Mapping la aliajul de  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  la lipirea prin reflow pe Cu

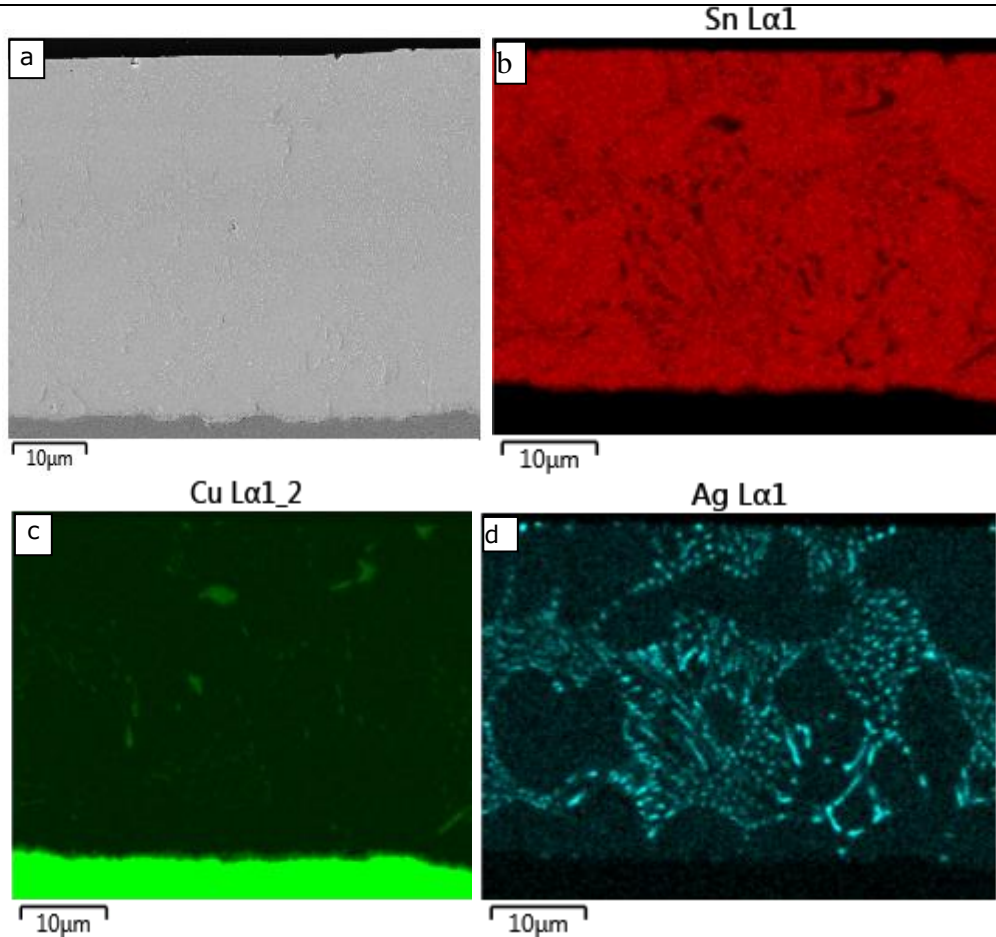


Figura 5.37 Mapping la aliajul de  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2.5}\text{Cu}_{0.5}$  la lipirea prin reflow pe cupru acoperit cu staniu

#### 5.3.2.1.5 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ sub formă de benzi

##### a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ utilizând lipirea manuală

În cazul lipirii manuale cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  pe Cu se remarcă prezența soluțiilor solide pe bază de Sn, Cu, Ga dar și formarea de compuși intermetalici între Sn și Cu dar și între Cu și Ga (figura 5.38).

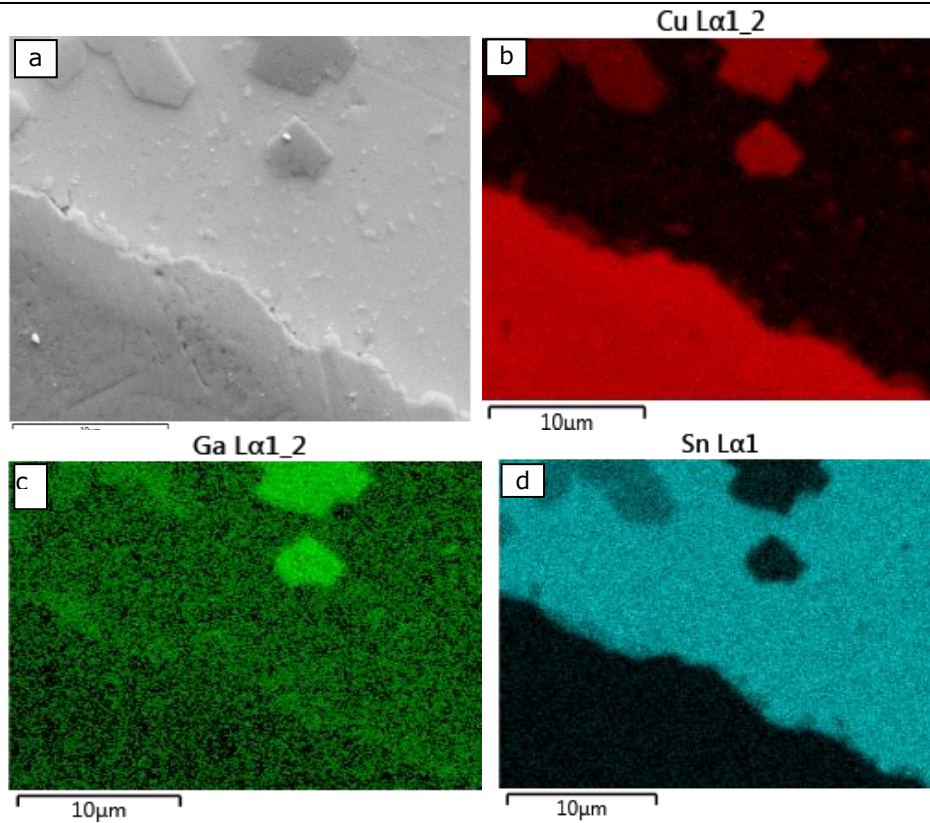


Figura 5.38 EDS Mapping la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit pe Cu manual

În imaginea mapping la lipirea manuală pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.39) se remarcă prezența soluțiilor solide pe bază de Sn și Ga. În acest caz se observă că nu se formează compuși chimici decât între Cu și Ga.



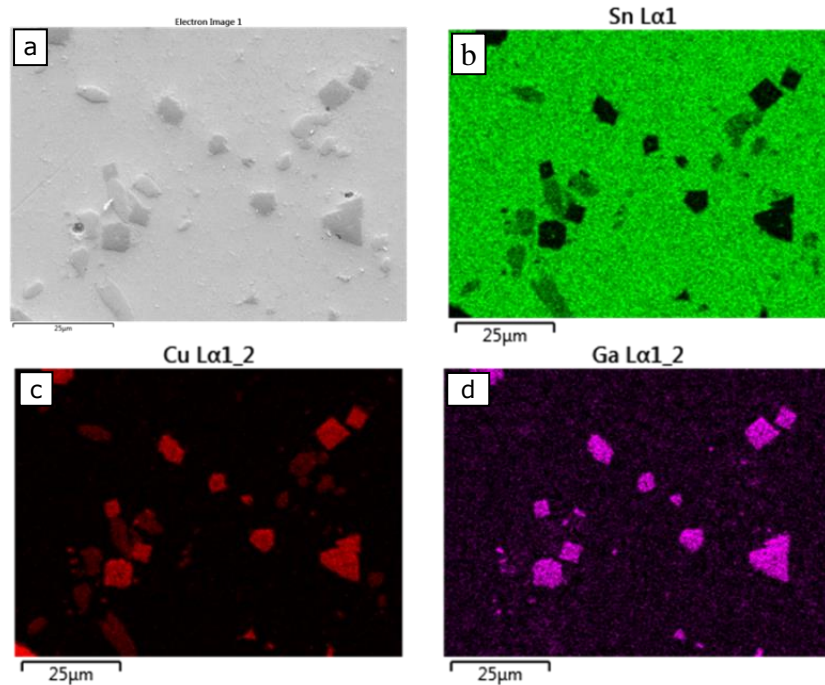
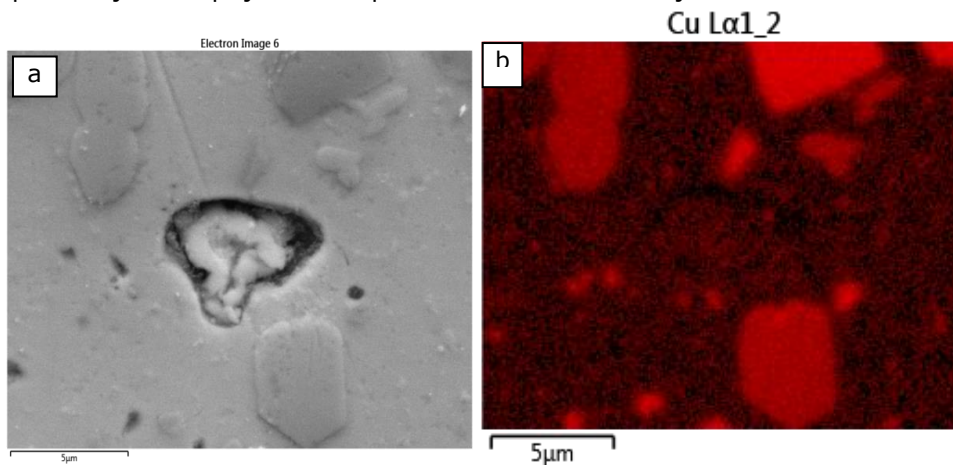


Figura 5.39 EDS Mapping la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit pe cupru acoperit cu staniu manual

**b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  sub formă de benzi la lipirea prin reflow**

La lipirea prin reflow atât pe Cu cât și pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.40, figura 5.41) imaginile mapping atestă prezența soluțiilor solide pe bază de Sn, Cu, Ga precum și a compușilor ce se pot realiza doar între Cu și Ga.





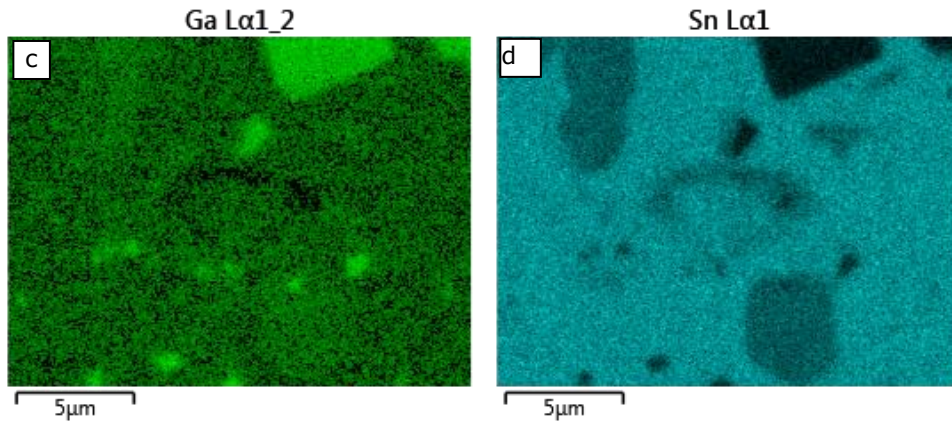


Figura 5.40 EDS Mapping la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit pe Cu prin reflow

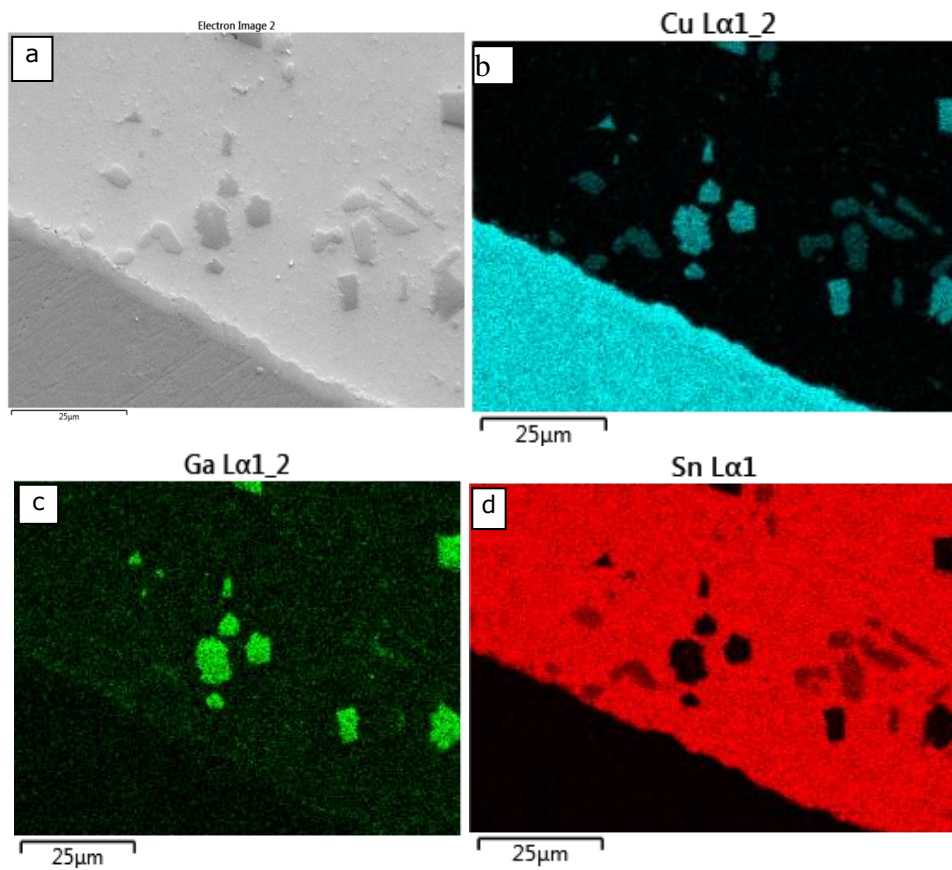


Figura 5.41 EDS Mapping la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit pe cupru acoperit cu staniu prin reflow

### 5.3.2.2 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate prin EDX

După ce s-au realizat imaginile de la mapping s-a făcut și o analiză a compoziției chimice prin EDX.

#### 5.3.2.2.1 Caracterizarea prin EDX a îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial

##### a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ utilizând lipirea cu ciocanul de lipit

Imaginea EDX a îmbinării lipite manual cu aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial pe Cu atestă următoarea compoziție chimică: Sn99% at, Cu 0.7% at, Ag 0.3% at (figura 5.42 a).

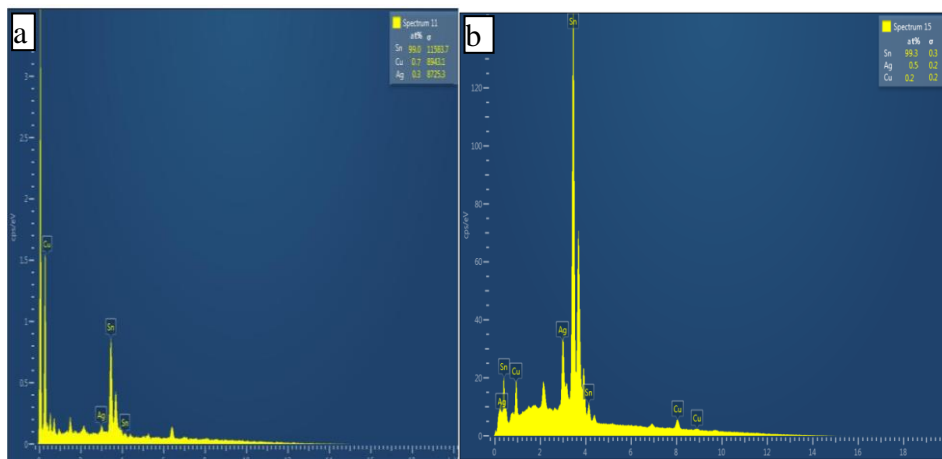


Figura 5.42 EDX la lipirea cu ciocanul de lipit cu aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$   
a)pe cupru b)pe cupru acoperit cu staniu

În imaginea EDX pentru aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  lipit pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.42 b) se remarcă compoziția chimică: 99.3%Sn at, Ag 0.5% at, Cu 0.2%at (figura 5.42 b). La această îmbinare lipită se constată o abatere de la compoziția chimică inițială a aliajului astfel că avem o reducere a concentrației de Cu și a crescut cea de Sn și Ag.

##### b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial la lipirea prin reflow utilizând EDX

Îmbinarea lipită prin reflow pe Cu (figura 5.43 .a) prezintă următoarea compoziția chimică: Sn99% at, Cu 0.7% at, Ag 0.3%. La această îmbinare lipită nu avem abateri de la compoziția chimică a aliajului. Apar, însă abateri la îmbinarea lipită pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.43 b) unde avem 99.1%Sn at, Ag 0.6% at, Cu 0.3%at. Putem spune că la acest aliaj atât la lipirea manuală cât și la cea prin reflow apar abateri ale compoziției chimice la Cu acoperit cu Sn.

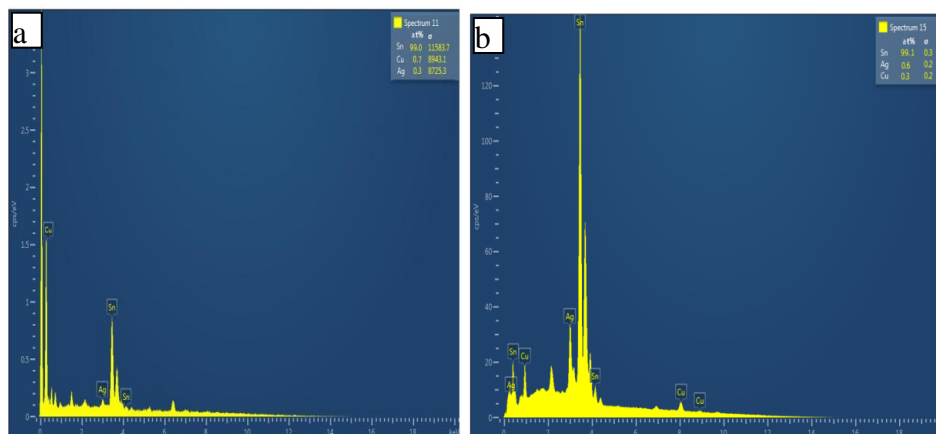


Figura 5.43 EDX la lipirea prin reflow cu  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial  
a) pe cupru b) pe cupru acoperit cu staniu

### 5.3.2.2.2 Caracterizarea cu EDX a îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ sub formă de benzi

#### a) Caracterizarea prin EDX îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ utilizând lipirea cu ciocanul de lipit

Imaginea EDX la lipirea manuală pe Cu a aliajului  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  (figura 5.44 a) ne arată că nu avem nici o modificare a compoziției chimice astfel că avem Sn 94 % at, Cu 4% at, Ni 2% at.

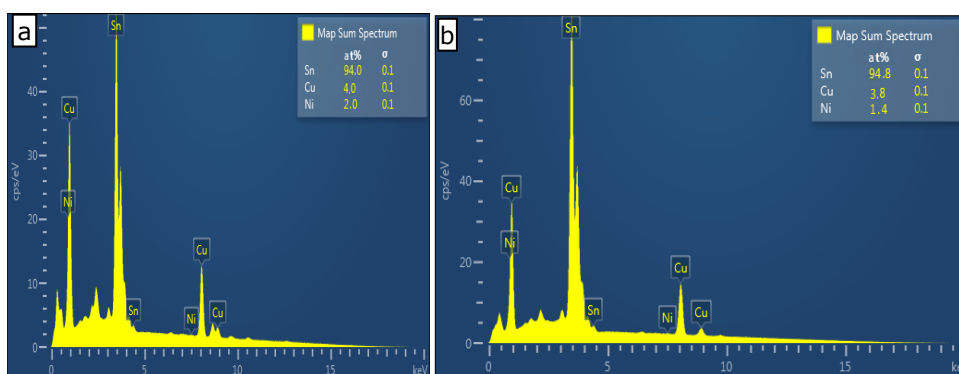


Figura 5.44. EDX la lipirea cu ciocanul de lipit cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$   
a) pe cupru b) pe cupru acoperit cu staniu

Îmbinarea lipită pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.44 b) imaginea EDX arată o modificare a compoziției chimice astfel că avem Sn 94.8% at, Cu 3.8% at iar Ni 1.4% at. La lipirea pe cupru acoperit cu staniu putem observa că a crescut concentrația de Sn și a scăzut concentrația de Cu și Ni.

### b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ sub formă de benzi la lipirea prin reflow utilizând EDX

La lipirea prin reflow pe Cu cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  (figura 5.45 a) imagine EDX relevă următoarea compoziție chimică Sn 94 % at, Cu 4% at, Ni 2% at. Abateri ale compoziției chimice apar la îmbinarea lipită prin reflow pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.45 b) având Sn 94.3% at, Cu 3%at, Ni 2.7% at. Utilizând Cu acoperit cu Sn imaginea EDX la lipirea prin reflow observăm o scădere a concentrației de Cu și o creștere a concentrației de Sn și de Ni.

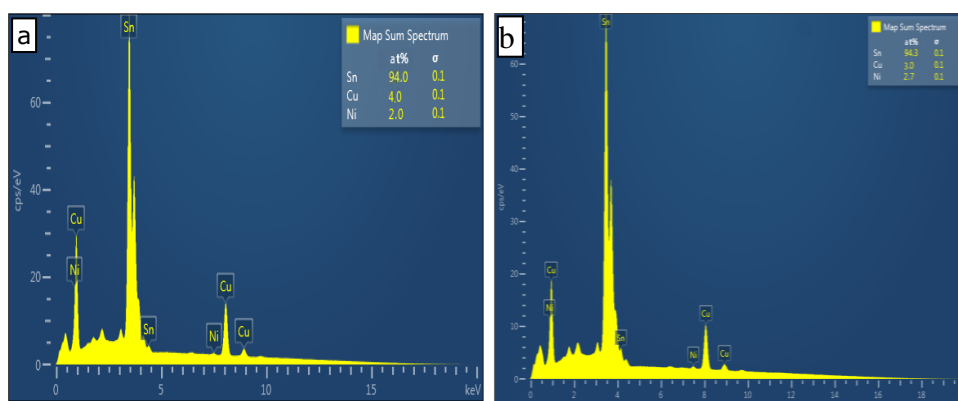


Figura 5.45 EDX la îmbinările lipite cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  prin reflow a) pe cupru b) pe cupru acoperit cu staniu

Imaginile EDX la îmbinările lipite pe Cu acoperit cu Sn atât la lipirea manuală cât și la lipire prin reflow reliefează o creștere a concentrației de Sn (figura 5.44 b, figura 5.45 b).

#### 5.3.2.2.3 Caracterizarea prin EDX a îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ sub formă de benzi

##### a) Caracterizarea prin EDX a îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ utilizând lipirea manuală

La lipirea manuală pe Cu utilizând aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  imaginea EDX (figura 5.46 a) prezintă compoziția chimică: Sn 95% at, Cu 2%at, Co 3% at. Imaginea EDX pentru lipirea manuală pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.46 b) relevă o modificare a compoziției chimice astfel: Sn 95.5% at, Cu 1% at, Co 3.5% at.

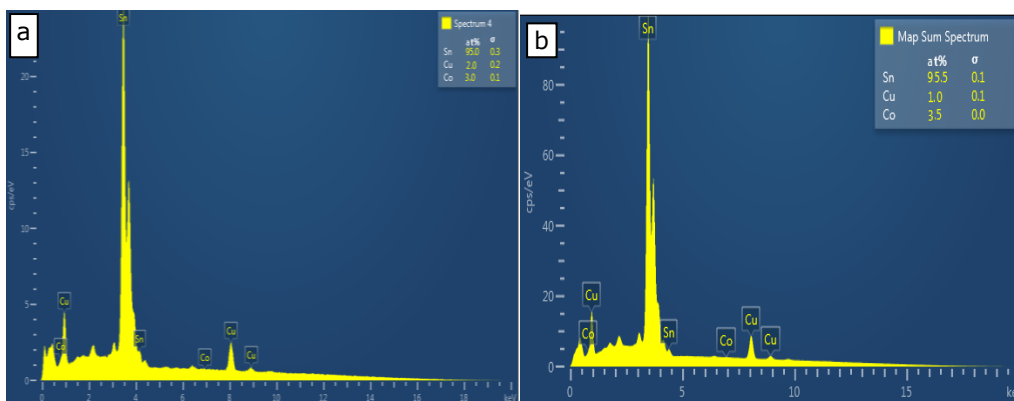


Figura 5.46 EDX la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  lipit manual  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

**b) Caracterizarea îmbinărilor lipite prin reflow cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  sub formă de benzi prin EDX**

În cazul lipirii prin reflow pe Cu (figura 5.47 a) imaginea EDX arată că avem Sn 95% at, Cu 2% at, Co 3% at. La îmbinarea lipită pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.47 b) imaginea EDX sugerează că avem următoarea compoziție chimică: Sn 95.2% at, Cu 2.6% at, Co 2.2% at.

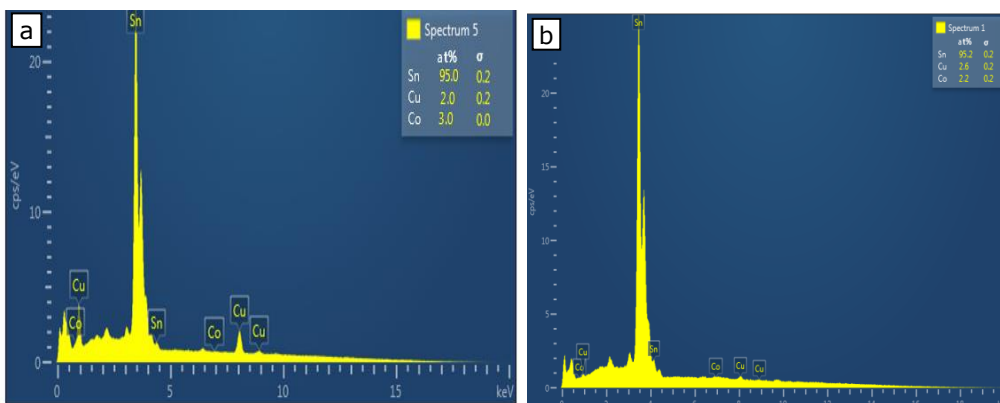


Figura 5.47 EDX la lipirea prin reflow la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$   
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

La îmbinările lipite cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  manual și prin reflow pe Cu acoperit cu Sn imaginile EDX atestă o creștere a concentrației de Sn (figura 5.46 b, figura 5.47 b).

#### 5.3.2.2.4 Caracterizarea prin EDX a îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ sub formă de benzi

##### a) Caracterizarea prin EDX a îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ utilizând lipirea manuală

La îmbinarea lipită manual pe Cu (figura 5.48 a) imaginea EDX evidențiază următoarea compoziție chimică: Sn 97% at, Cu 2.5%at, Ag 0.5% at. Se poate observa că la această probă nu avem abateri ale compoziției chimice. Abaterile sunt evidențiate la lipirea manuală pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.48 b) astfel că avem: Sn 97.2% at, Cu 0.2%at, Ag 2.6% at. Se remarcă astfel că la îmbinarea lipită manual pe Cu acoperit cu Sn avem o creștere a concentrației de Sn și Ag și o scădere a concentrației de Cu.

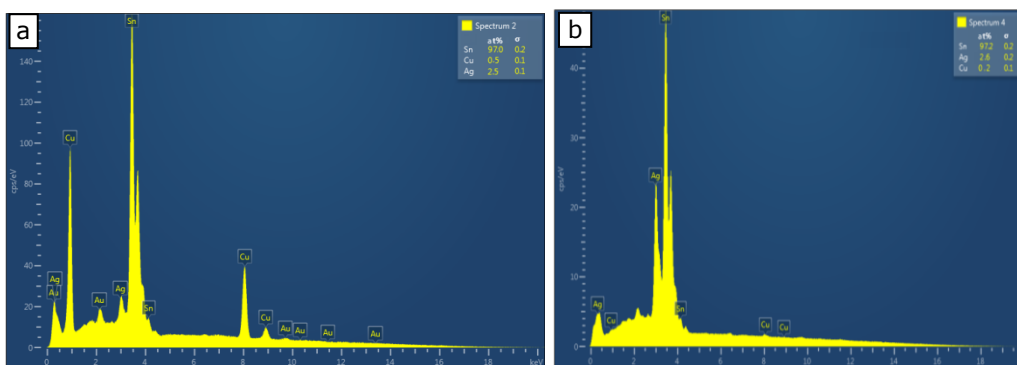


Figura 5.48 EDX la lipirea manuală la aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$   
a)pe Cu b)pe cupru acoperit cu staniu

##### b) Caracterizarea îmbinărilor lipite prin reflow cu aliajul $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ sub formă de benzi prin EDX

Compoziția chimică prezentată de imaginea EDX la îmbinarea lipită prin reflow pe Cu cu aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  (figura 5.49 a) este: Sn 97% at, Cu 2.5% at, Ag 0.5% at. Prin lipirea prin reflow pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.49 b) s-a modificat compoziția chimică a îmbinării lipite astfel Sn 97.9% at, Ag 1.9% at, Cu 0.2% at. Se remarcă scăderea concentrației de Cu și de Ag dar și o creștere a concentrației de Sn.

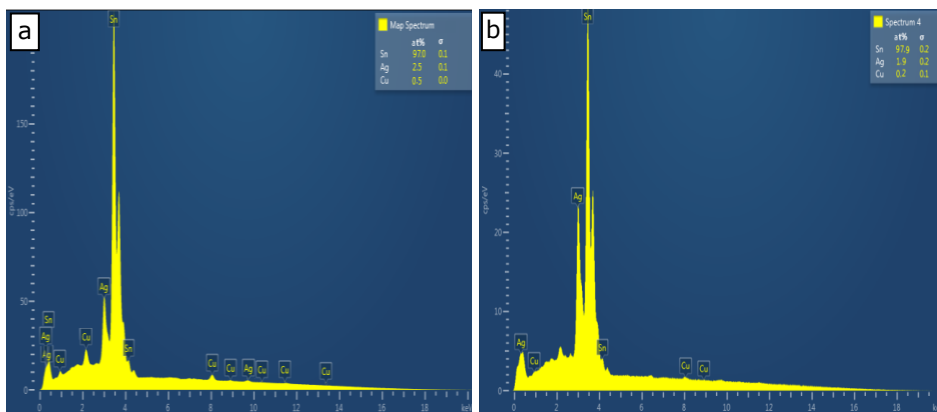


Figura 5.49 EDX la aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2.5}\text{Cu}_{0.5}$  lipit prin reflow  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

### 5.3.2.2.5 Caracterizarea prin EDX a îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ sub formă de benzi

#### a) Caracterizarea prin EDX a îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ utilizând lipirea manuală

La îmbinarea lipită manual pe Cu utilizând aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  (figura 5.50 a) imaginea EDX confirmă faptul că nu avem o abatere a compoziției chimice (Sn 95% at, Cu 2% at, Ga 3% at). Prin lipirea manuală pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.50 b) se distinge o creștere a concentrației de Sn și Ga dar și o scădere a concentrației de Cu astfel avem Sn 95.5% at, Ga 3.5% at, Cu 1% at.

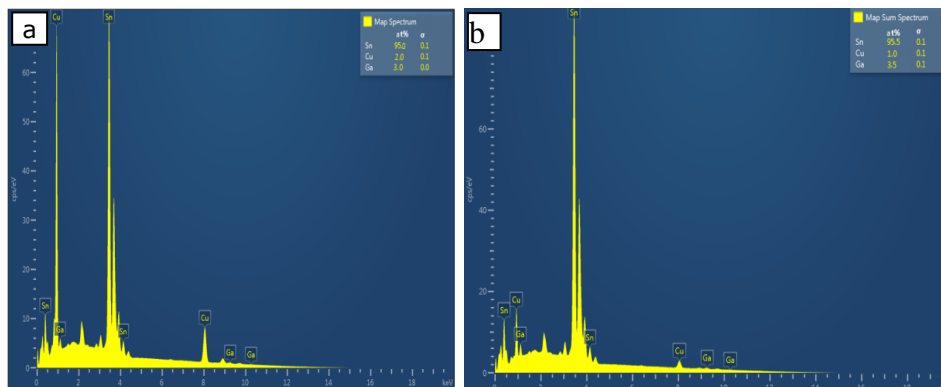


Figura 5.50 EDX la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit manual  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

### b) Caracterizarea îmbinărilor lipite prin reflow cu aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ sub formă de benzi prin EDX

La imaginea EDX a îmbinării lipite prin reflow pe Cu (figura 5.51 a) se remarcă compoziția chimică Sn 95% at, Cu 2% at, Ga 3% at. La lipirea pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.51 b) imaginea EDX arată următoarea compoziție chimică Sn 95.2% at, Ga 3.8% at, Cu 1% at. Se relevă faptul că a crescut concentrația de Sn și de Ga și a scăzut cea de Cu la îmbinarea lipită pe Cu acoperit cu Sn.

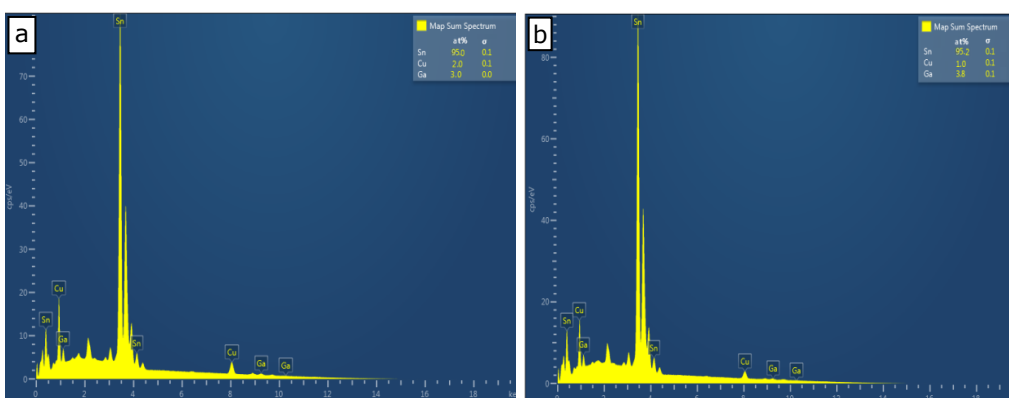


Figura 5.51 EDX la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit prin reflow  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

### 5.3.3 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate prin difracție de raze X

În urma investigațiilor cu difracții de raze X se pot afla informații despre natura fazelor din aliaje după lipire, rețeaua cristalină, mărimea grăunților respectiv tensiunile interne din material. Difracțiile au fost făcute cu ajutorul difractometrului D2 PHASER Bruker prezentat în figura 5.52 de la Materials Department of Loughborough University, Loughborough Materials Characterisation Centre (LMCC).

Parametrii utilizați de acesta la investigarea probelor au fost:

- voltajul de  $U=30$  kV,
- intensitatea curentului  $I= 30$  mA,
- anodul utilizat a fost Cu  $\lambda_{\text{Cu}}=1.541\text{Å}$ .

Pentru a obține informațiile mai sus specificate cu ajutorul difracțiilor s-au utilizat diverse softuri ca EvaDiffracPlus, XRD2Scan, Match.



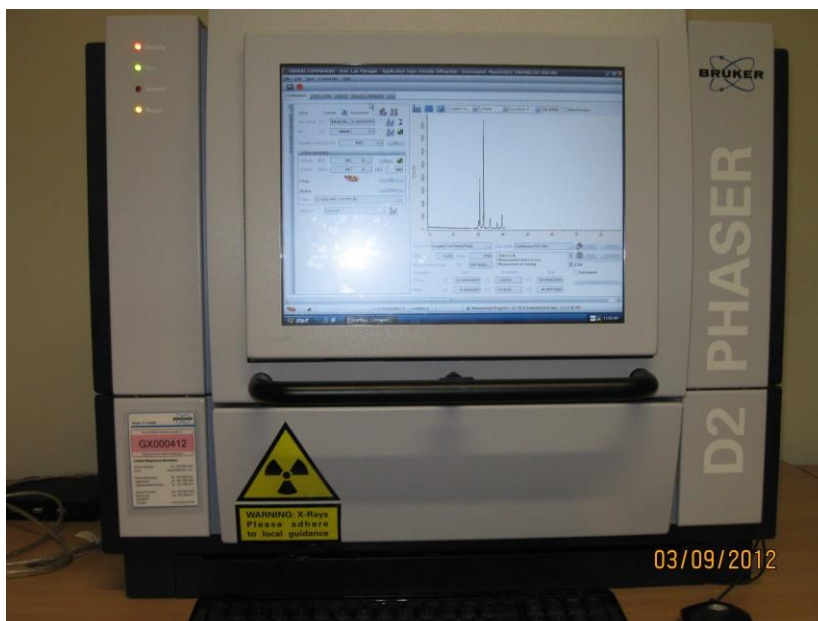


Figura 5.52. Difractometrul D2 PHASER Bruker

### 5.3.3.1 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial prin difracții de raze X

#### a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial la lipirea manuală prin difracții de raze X

Difractograma îmbinărilor lipite manual atât pe Cu cât și pe Cu acoperit cu Sn realizate cu aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial sunt prezentate în figura 5.53. În cazul lipirii pe Cu (figura 5.53 a) se constată prezența compușilor intermetalici  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  respectiv  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  precum și soluții solide pe bază de Sn și Cu. În cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.53 b) remarcăm apariția doar a soluțiilor solide pe bază de Sn, Cu și Ag. Prin urmare depunerea stratului intermediar de Sn are ca efect evitarea formării compușilor intermetalici ai cuprului cu staniu. Cele două spectre de difracție confirmă rezultatele obținute prin EDS mapping.

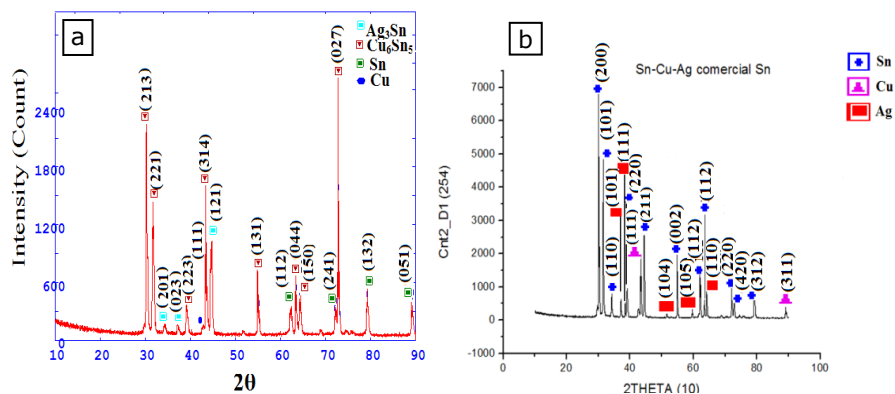


Figura 5.53. Difractogramele la aliajul Sn<sub>99</sub>Ag<sub>0,3</sub>Cu<sub>0,7</sub> comercial lipit cu ciocanul de lipit  
 a) pe cupru  
 b) pe staniu depus prin galvanizare

### b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu Sn<sub>99</sub>Ag<sub>0,3</sub>Cu<sub>0,7</sub> comercial la lipirea prin reflow prin difracții de raze X

Spectrele de difracție ale îmbinărilor lipite prin reflow cu aliajul Sn<sub>99</sub>Ag<sub>0,3</sub>Cu<sub>0,7</sub> comercial atât pe Cu cât și pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.54) relevă prezența compuşilor intermetalici în special ai celor de tip Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> și Ag<sub>3</sub>Sn. Se remarcă prezența soluțiilor solide pe bază de Sn, Cu și Ag.

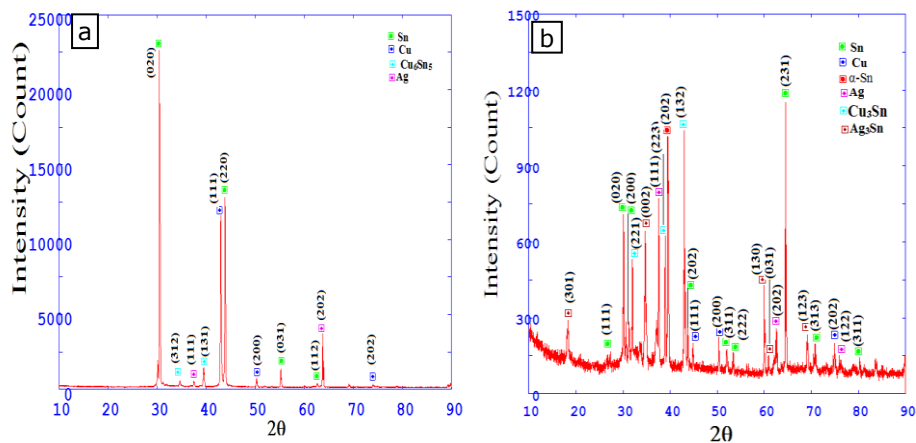


Figura 5.54. Difractogramele la lipirea prin reflow cu Sn<sub>99</sub>Ag<sub>0,3</sub>Cu<sub>0,7</sub> comercial  
 a) pe cupru b) pe cupru acoperit cu staniu

### 5.3.3.2 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ prin difracții de raze X

#### a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ la lipirea manuală prin difracții de raze X

În cazul lipirii manuale cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  atât pe Cu cât și pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.55) se observă că în îmbinarea lipită apar compușii intermetalici  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ,  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  și respectiv  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ . Se observă că în acest caz compusul intermetalic care predomină este  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ . Prin urmare prezența nichelului în compoziția aliajului de lipire determină formarea compușilor intermetalici dintre Ni și Sn în detrimentul celor dintre Cu și Sn.

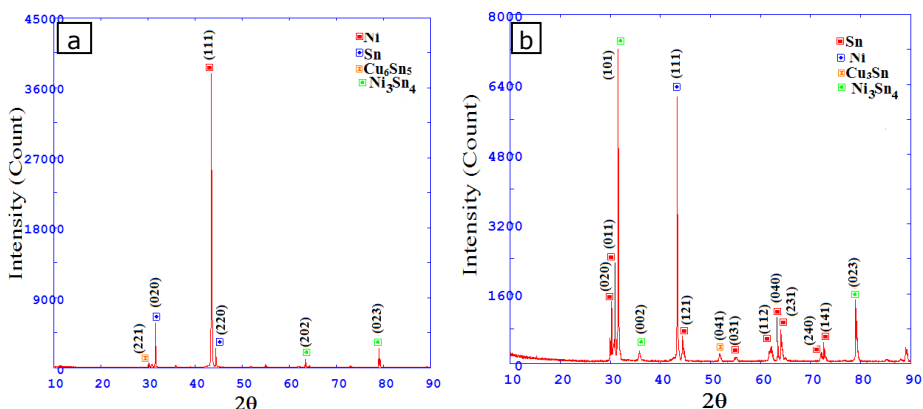


Figura 5.55 Difractogramele la aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  lipit manual  
a) pe cupru b) pe cupru acoperit cu staniu

#### b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu aliajul $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$ la lipirea prin reflow cu difracții de raze X

În cazul lipirii prin reflow cu aliajul  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  atât pe Cu cât și pe Cu acoperit cu Sn s-au identificat aceleași faze ca și în cazul lipirii manuale (figura 5.56). Se observă însă că în cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn apare doar compusul  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  predominând soluțiile solide pe bază de Sn, Cu sau Ni.

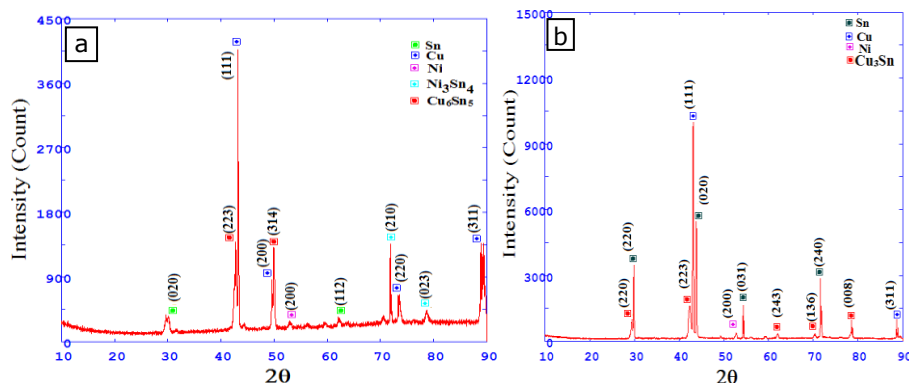


Figura 5.56 Difractogramele la  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  la lipirea prin reflux  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

### 5.3.3.3 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ prin difracții de raze X

#### a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ la lipirea manuală prin difracții de raze X

Imaginea de difracție la lipirea manuală pe Cu utilizând aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  (figura 5.57a) atestă prezența doar a compusului  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  în structură predominant soluția solidă pe bază de Sn. În cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.57 b) apariția compusului  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  este evitată, în structura îmbinării lipite remarcându-se doar compusul  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ .

Se remarcă deasemenea că în structura îmbinării lipite predomină soluțiile solide pe bază de Sn, Cu și Co.

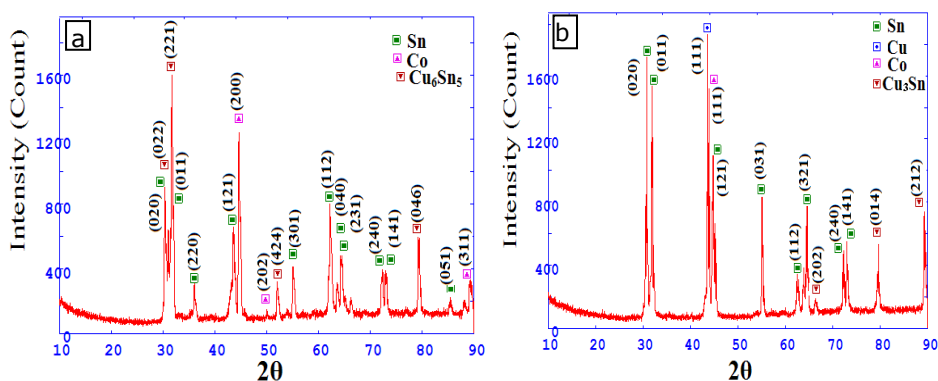


Figura 5.57 Difractogramele la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  lipit manual  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

### b) Caracterizarea prin difracții de raze X a îmbinărilor lipite realizate cu aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ la lipirea prin reflow

La lipirea prin reflow pe Cu utilizând aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  apare din nou în structura îmbinării lipite compusul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  dar și soluții solide pe bază de Sn și Co (figura 5.58 a). Foarte interesant este spectrul de difracție al îmbinării lipite pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.58 b). Se constată prezența doar a soluției solide pe bază de Co iar Cu formează cu Sn doar compusul  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  evitându-se în acest caz prezența compusului  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ .

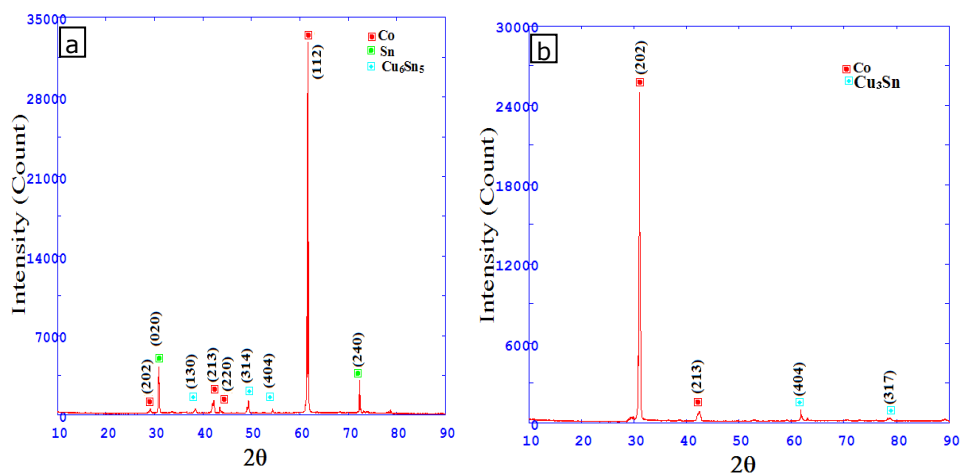


Figura 5.58 Difractogramele la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  lipit prin reflow  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

### 5.3.3.4 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu aliajul $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ sub formă de benzi prin difracții de raze X

#### a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$ la lipirea manuală prin difracții de raze X

La lipirea manuală cu aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  sub formă de benzi se remarcă o structură a îmbinării lipite în care predomină compușii intermetalici de tip  $\text{Ag}_3\text{Sn}$   $\text{Cu}_3\text{Sn}$  (figura 5.59 a). În cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn imaginea de difracție a îmbinării lipite indică prezența aceluiași faze ca și în cazul lipirii pe Cu (figura 5.59 b) cu observația că în acest caz crește ponderea soluției pe bază de Sn.

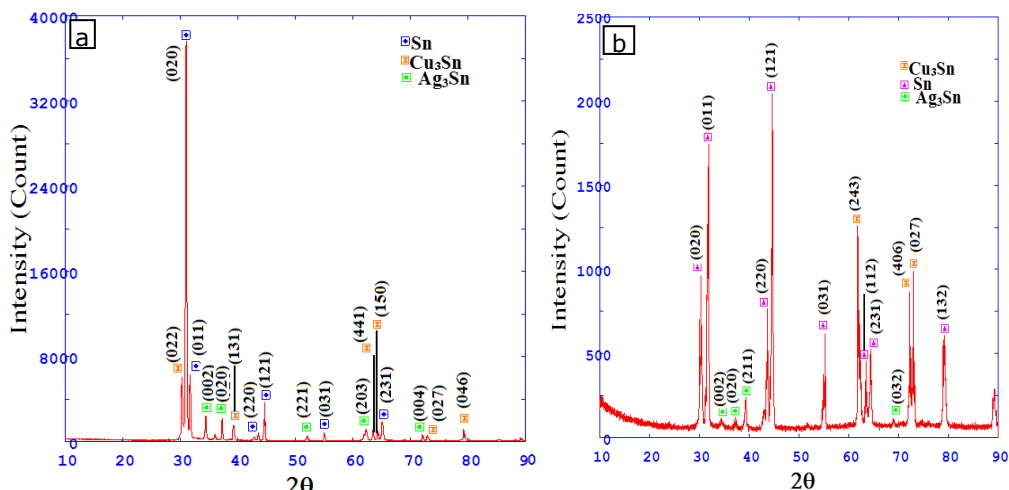


Figura 5.59 Difractogramele la aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2.5}\text{Cu}_{0.5}$  lipit manual  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

### b) Caracterizarea prin difracții de raze X a îmbinărilor lipite realizate cu aliajul $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2.5}\text{Cu}_{0.5}$ la lipirea prin reflow

În cazul lipirii prin reflow cu aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2.5}\text{Cu}_{0.5}$  elaborat sub formă de benzi difractograma îmbinării lipite pe Cu (figura 5.60 a) relevă prezența soluțiilor solide pe bază de Sn și Ag dar și a compușilor intermetalici  $\text{Ag}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ . În cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn imaginea de difracție a îmbinării lipite (figura 5.60 b) atestă doar prezența compușilor intermetalici  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  într-o proporție mai mică, în structură predominând soluțiile solide pe bază de Sn, Cu, Ag.

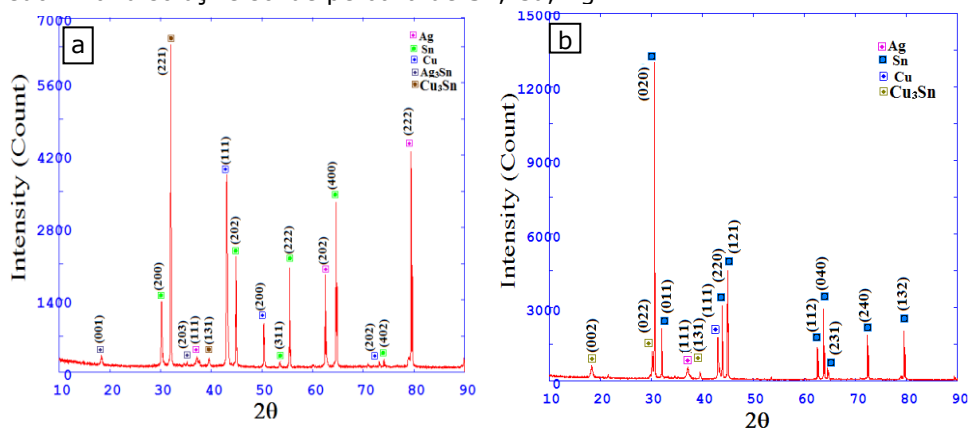


Figura 5.60 Difractogramele la aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2.5}\text{Cu}_{0.5}$  lipit prin reflow  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

### 5.3.3.5 Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ sub formă de benzi prin difracții de raze X

#### a) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ la lipirea manuală prin difracții de raze X

La lipirea manuală pe Cu cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  se remarcă formarea compușilor  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  și  $\text{CuGa}$ , proporția de fază  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  fiind mult mai mare (figura 5.61 a). În cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn se observă că apare doar compusul  $\text{CuGa}$  într-o proporție mică în structura îmbinării lipite predominând soluția solidă pe bază de Sn (figura 5.61 b).

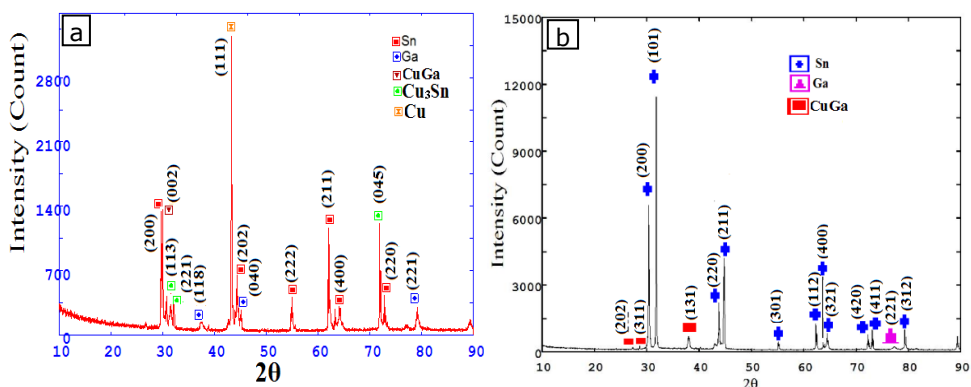


Figura 5.61 Difractogramele la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit manual  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

#### b) Caracterizarea îmbinărilor lipite realizate cu aliajul $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ la lipirea prin reflow cu difracții de raze X

În cazul îmbinării lipite prin reflow cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  pe Cu (figura 5.62 a) în structura îmbinării lipite pe Cu apare doar compusul  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  predominând soluțiile solide pe bază de Sn, Cu, Ga. Imaginile de difracție a îmbinării lipite pe Cu acoperit cu Sn (figura 5.62 b) relevă absența totală a compușilor între Cu și Sn și apariția doar a compusului  $\text{CuGa}$  într-o proporție mai mică, în structura îmbinării lipite predominând soluțiile solide pe bază de Sn, Cu, Ga.



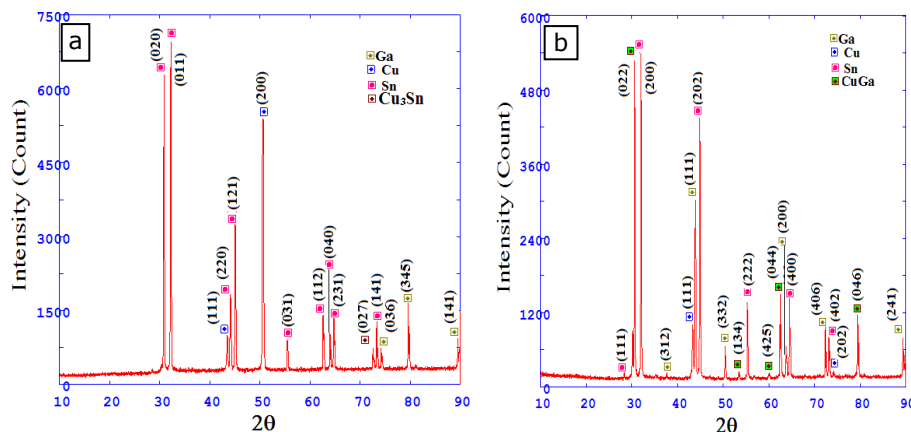


Figura 5.62 Difractogramele la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit prin reflow  
a) pe Cu b) pe cupru acoperit cu staniu

## 5.4 Determinarea tensiunilor interne la îmbinările lipite

Determinarea tensiunilor interne din material se poate face prin mai multe metode. În cazul de față metoda utilizată este cea prin difracții de raze X. Tensiunile interne se clasifică în trei categorii, după felul perturbațiilor și modului de extindere al acestora în volumul probei:

a) Tensiunile de ordinul I sunt determinate de modificări ale distanțelor interplanare care au aceeași indici Miller (hkl) și ocupă poziții identice în raport cu direcția perturbației.

b) Tensiunile de ordinul II sunt determinate de modificările aleatoare ale distanțelor interplanare mai mari sau mai mici decât distanțele interplanare corespunzătoare stării de echilibru al probei.

c) Tensiunile de ordinul III sunt determinate de deplasările aleatoare din pozițiile ideale.

De aici putem spune că orice modificare care se produce la spectru de difracție corespunde unui anumit tip de tensiuni. Pentru determinarea tensiunilor interne prin difracții de raze X trebuie să cunoaștem foarte bine parametri celulei elementare deoarece tensiunile reziduale sunt în funcție de comprimarea și alungirea celulei elementare.

### 5.4.1 Metoda de calcul

Un exemplu relevant pentru determinarea acestor tensiuni este determinarea tensiunilor unei bare metalice. Vom considera lungimea barei  $L_0$  și diametrul  $D_0$  care va fi supusă la o tensiune de întindere  $\sigma$  orientată pe direcția axei barei. Vom presupune comportamentul barei similar unui corp izotrop, perfect elastic și omogen. Astfel că dacă avem modulul de elasticitate al materialului barei notat  $E$  și coeficientul lui Poisson notat  $\nu$ , vom avea creșterea relativă a lungimii notată  $\varepsilon_{||}$  și

micșorarea relativă a diametrului notată  $\varepsilon_{\perp}$ . Știind toate acestea putem scrie relațiile:

$$\varepsilon_{\parallel} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\sigma}{E} \quad 5.1$$

$$\varepsilon_{\perp} = \frac{\Delta D}{D_0} = -\nu \frac{\sigma}{E} \quad 5.2$$

Faptul că bara (figura 5.63) supusă la întindere își modifică dimensiunile se poate explica prin modificarea distanțelor interplanare corespunzătoare unei structuri cristaline. Dacă se va admite că deformarea macroscopică este uniformă atunci la nivel microscopic toate planele cristaline perpendiculare pe axa barei vor suferi o mărire relativă  $\Delta l/l_0$  egală cu  $\Delta L/L_0$ , iar toate planele cristaline paralele cu axa barei vor suferi o micșorare relativă  $\Delta d/d_0$  egală cu  $\Delta D/D_0$ .

Evidențierea la nivel microstructural ale deformațiilor  $\Delta l/l_0$  și  $\Delta d/d_0$  se va face prin ridicarea spectrelor de difracție. Vom avea că planul vectorilor de undă  $\vec{k}$  și  $\vec{k}_0$  este perpendicular pe secțiunea din capătul barei dar și pe axa barei.

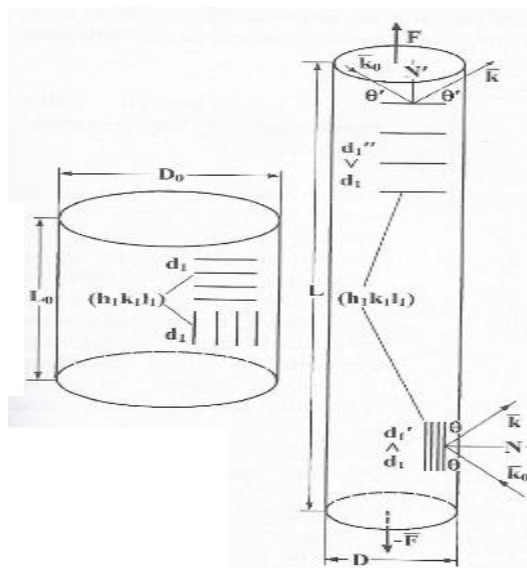


Figura 5.63 Bara metalică [49]

Comparând spectrul de difracție al probei nedeformate cu cele două spectre vom observa că în primul spectru de difracție se deplasează maximele liniilor la unghiuri  $2\theta$  mai mici, iar în al doilea spectru de difracție se deplasează maximele liniilor de difracție la unghiuri  $2\theta$  mai mari. Prin diferențierea legii lui Bragg (5.3) vom obține deplasarea unghilară a maximelor liniilor de difracție în cazul acestor plane atomice:

5.4- Determinarea tensiunilor interne la îmbinările lipite 131

$$2 \cdot d_{(hkl)} \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda \quad 5.3$$

$$2 \cdot d(d) \cdot \sin \theta + 2 \cdot d \cdot d\theta \cdot \cos \theta = 0 \quad 5.4$$

$$d\theta = \frac{d(d_{(hkl)})}{d_{(hkl)}} \operatorname{tg} \theta \quad 5.5$$

Unde  $d_{hkl}$  este distanța interplanară,  
 $2\theta$  unghiul de difracție,  
 $n$  număr întreg reprezentând ordinul de difracție.

Dacă vom înlocui în 5.5 pe  $\frac{d(d_{(hkl)})}{d_{(hkl)}}$  cu valoarea dată de (5.2) vom avea relația

$$d\theta = \nu \frac{\sigma}{E} \operatorname{tg} \theta \quad 5.6$$

Această relație reprezintă deplasarea unghiulară a liniilor de difracție corespunzătoare planelor paralele cu axa barei. În literatura de specialitate s-au făcut numeroase cercetări privind corectitudinea acestei relații prin verificarea calitativă și cantitativă a epruvetelor etalon deformate în domeniul elastic. Având relația (5.6) putem determina din spectrul de difracție deplasarea unghiulară  $d\theta$  a maximelor liniilor de difracție. Astfel că putem calcula tensiune cu ajutorul relației:

$$\sigma = \frac{E}{\nu \cdot \operatorname{tg} \theta} d\theta \quad 5.7$$

Această relație 5.7 ne oferă posibilitatea utilizării difracțiilor de raze X pentru determinarea tensiunilor corpurilor metalice care au fost supuse unor tratamente termice sau mecanice. În acest caz tensiunea la care este supus corpul va acționa pe direcții diferite. Astfel că deformațiile rezultate sunt corelate cu tensiunile care sunt generate prin relațiile obținute din suprapunerea relațiilor 5.1), 5.2)

În continuare se va considera un element de volum de formă sferică într-un corp perfect elastic izotrop și omogen. Acesta este raportat la un sistem de referință rectangular Oxyz. Vom considera  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  tensiunile principale exercitate de-a lungul axelor sistemului de referință. Elementul cu volumul considerat va deveni un elipsoid numit și elipsoidul deformațiilor. Deformațiile principale de-a lungul axelor de referință sunt  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ . În acest caz starea de tensiune este descrisă de elipsoidul tensiunilor a cărei ecuație este dată de relația 5.8) dacă axele de referință sunt și axele principale ale elipsoidului.

$$\frac{X^2}{\sigma_1^2} + \frac{Y^2}{\sigma_2^2} + \frac{Z^2}{\sigma_3^2} = 1 \quad 5.8$$

Relațiile (5.9), (5.10), (5.11) ne arată legătura dintre deformațiile principale  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  și tensiunile principale  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  în cazul în care avem o stare de tensiune spațială [49], [69].

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)] \quad 5.9$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)] \quad 5.10$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)] \quad 5.11$$

Ținând cont de cosinusurile directoare ai direcției arbitrare considerate vom avea:

$$\alpha_1 = \sin \psi \cdot \cos \varphi \quad 5.12$$

$$\alpha_2 = \sin \psi \cdot \sin \varphi \quad 5.13$$

$$\alpha_3 = \cos \psi = (1 - \sin^2 \psi)^{1/2} \quad 5.14$$

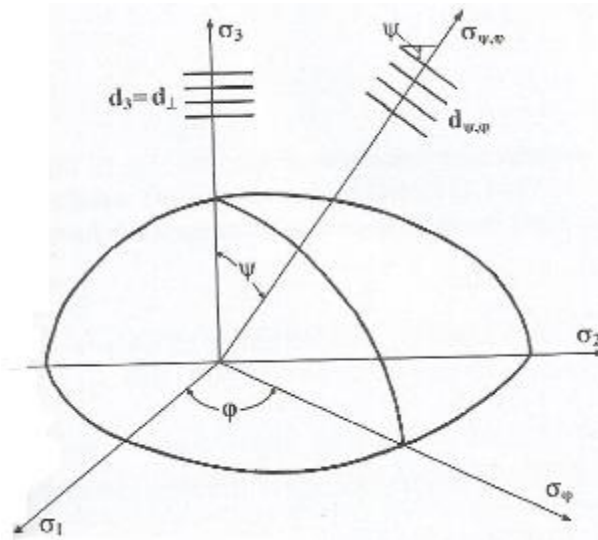


Figura 5.64 Elipsoidul tensiunilor [49]

Precizând că în elipsoidul (figura 5.64) tensiunilor  $\sigma_{\psi, \varphi}$  și  $\sigma_{\varphi}$  direcțiile tensiunilor precum și dispunerea planelor atomice paralele cu suprafața probei respectiv a planelor atomice care fac unghiul  $\psi$  cu suprafața probei se poate scrie tensiune și deformația astfel:

$$\sigma_{\psi, \varphi} = \sigma_1 \alpha_1^2 + \sigma_2 \alpha_2^2 + \sigma_3 \alpha_3^2 \quad 5.15$$

$$\varepsilon_{\psi, \varphi} = \varepsilon_1 \alpha_1^2 + \varepsilon_2 \alpha_2^2 + \varepsilon_3 \alpha_3^2 \quad 5.16$$

Înlocuind cosinusurile date de relațiile (5.12), (5.13), (5.14) în ecuația (5.16) aceasta va deveni:

$$\sigma_{\psi, \varphi} = \sigma_1 (\sin \psi \cdot \cos \varphi)^2 + \sigma_2 (\sin \psi \cdot \sin \varphi)^2 + \sigma_3 \cdot \cos^2 \psi \quad 5.17$$

#### 5.4- Determinarea tensiunilor interne la îmbinările lipite 133

Prin această metodă se determină numai tensiunile remanente de la suprafața materialului deoarece la difracțiile de raze X participă numai planele atomice aflate la o adâncime de până la 0,03mm. Se știe că nu există tensiuni perpendiculare pe o suprafață liberă rezultând că  $\sigma_3 = 0$ . Înlocuind  $\sigma_3$  în relația 5.17 vom obține:

$$\sigma_{\psi,\varphi} = (\sigma_1 \cos^2 \varphi + \sigma_2 \sin^2 \varphi) \cdot \sin^2 \psi \quad 5.18$$

Dacă notăm:

$$\sigma_\varphi = (\sigma_1 \cos^2 \varphi + \sigma_2 \sin^2 \varphi) \quad 5.19$$

Înlocuind în (5.18) vom obține:

$$\sigma_\varphi = \sigma_\varphi \cdot \sin^2 \psi \quad 5.20$$

Prin înlocuirea expresiilor cosinusurilor directe (5.12), (5.13), (5.14) și a expresiilor deformațiilor principale (5.9), (5.10), (5.11) în relația (5.16) a deformației în cazul stării de tensiune plană ( $\sigma_3 = 0$ ) vom avea relația:

$$\varepsilon_{\psi,\varphi} = \frac{1+\nu}{E} (\sigma_1 \cos^2 \varphi + \sigma_2 \sin^2 \varphi) \cdot \sin^2 \psi - \frac{\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2) \quad 5.21$$

În această expresie vom înlocui tensiunea  $\sigma_\varphi$  dată de relația (5.19) și a relației deformației  $\varepsilon_3$  (5.11) principale. Vom obține deci relația

$$\varepsilon_{\psi,\varphi} = \frac{1+\nu}{E} \sigma_\varphi \cdot \sin^2 \psi + \varepsilon_3 \quad 5.22$$

Această relație reprezintă relația fundamentală pentru determinarea prin difracții de raze X a tensiunilor remanente de suprafață. Această relație exprimă dependența

liniară a deformației  $\varepsilon_{\psi,\varphi} = \left( \frac{\Delta d}{d} \right)_{\psi,\varphi}$  de  $\sin^2 \psi$  [52], [49]. Putem observa că

tensiunea se poate calcula în funcție de panta

$$m = \left[ (1+\nu) / E \right] \cdot \sigma_\varphi \quad 5.23$$

a dreptei  $\varepsilon_{\psi,\varphi} = f(\sin^2 \psi)$ .

Din (5.22) putem exprima tensiunea  $\sigma_\varphi$  prin relația :

$$\sigma_\varphi = \frac{E}{1+\mu} \cdot \frac{1}{\sin^2 \psi} \cdot (\varepsilon_{\psi,\varphi} - \varepsilon_3) \quad 5.24$$

Dacă vom înlocui în (5.23) vom înlocui  $\varepsilon_{\psi,\varphi} - \varepsilon_3$  cu:

$$\varepsilon_{\psi,\varphi} - \varepsilon_3 = \frac{d_{\psi,\varphi} - d_0}{d_0} - \frac{d_\perp - d_0}{d_0} = \frac{d_{\psi,\varphi} - d_\perp}{d_0} \quad 5.25$$

Vom obține

$$\sigma_\varphi = \frac{E}{1+\nu} \cdot \frac{1}{\sin^2 \psi} \cdot \frac{d_{\psi,\varphi} - d_\perp}{d_0} \quad 5.26$$

[61], [49].

În această relație  $\sigma_\varphi$  reprezintă tensiune în suprafața probei în direcția definită de proiecția fasciculului de radiație X difractate pe suprafața probei. Pentru determinarea tensiunilor interne  $\sigma_\varphi$  este necesar să determinăm distanțele interplanare  $d_0$ ,  $d_\perp$  și  $d_{\psi,\varphi}$ .

### **5.4.2 Calculul tensiunilor interne la îmbinările lipite pe material de bază cupru**

#### **5.4.2.1 Obținerea datelor primare la îmbinările lipite pe material de bază cupru**

##### **a) Obținerea datelor primare la îmbinările lipite cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial**

Pentru calculul tensiunilor interne am avut nevoie de trei difracții: una pentru aliajul netensionat, alta la unghi  $\psi = 45^\circ$  și ultima difracție pentru îmbinările lipite efectuate. În figura 5.65 a) avem de sus în jos spectrul de difracție al probei netensionate, spectrul de difracție al probei tensionate la un unghi  $\psi$  și spectrul de difracție al îmbinării lipite cu ciocanul de lipit pe material de bază cupru. În figura 5.65 b) avem imaginile de difracție pentru lipirea prin reflow. Pentru calculul tensiunilor interne și al distanțelor s-au utilizat softurile Macht, XRD2Scan și EvaDiffracPlus de la Bruker.

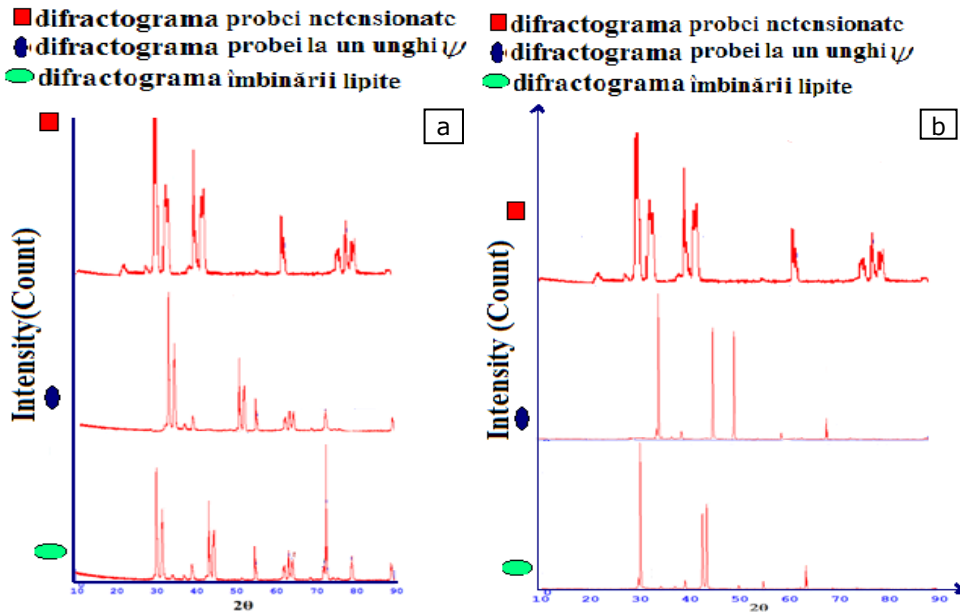


Figura 5.65 a) Imaginile de difracție pentru starea de tensiune pentru:  
 a)  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit cu ciocanul de lipit cu material de bază cupru  
 b)  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit prin reflow cu material de bază cupru

La aceste imagini de difracție pentru fiecare peak s-au calculat distanțele interplanare. În tabelul 5.2 avem calculate distanțele interplanare pentru proba netensionată notate  $d_0$ .

Tabel 5.2 Distanțele interplanare pentru  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial netensionată

| Aliajul   | $2\theta$ | (hkl) | $d_0$ |
|---|-----------|-------|-------|
| $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$<br>comercial | 22,529    | 202   | 3,943 |
|   | 27.369    | 311   | 3.224 |
|   | 30.092    | 221   | 2,960 |
|   | 32.378    | 113   | 2,672 |
|   | 38.125    | 204   | 2.584 |
|   | 40.301    | 112   | 2.236 |
|   | 59.136    | 105   | 1.561 |
|   | 74.386    | 004   | 1.274 |
|   | 76.633    | 203   | 1.242 |
| 77.472  | 311       | 1.231 |       |

Distanțele interplanare pentru spectrele de difracție la unghiul  $\psi$  notate  $d_{\psi,\varphi}$  dar și pentru spectrele de difracție la un unghi perpendicular pe probă notate  $d_{\perp}$  sunt date



136 Cercetări privind îmbinarea componentelor electronice cu aliajele elaborate-5  
 în tabelul 5.3 În acest tabel avem distanțele interplanare atât pentru proba lipită cu  
 ciocanul de lipit cât și pentru proba lipită prin reflow.

Tabel 5.3 Distanțele interplanare pentru proba lipită cu ciocanul de lipit și pentru  
 proba lipită prin reflow

| Aliajul/<br>Material de<br>bază                                   | Metoda               | $2\theta$ | (hkl)  | $d_{\perp}$ | $d_{\psi,\varphi}$ |
|---|----------------------|-----------|--------|-------------|--------------------|
| Sn <sub>99</sub> Ag <sub>0,3</sub> Cu <sub>0,7</sub><br>comercial | Ciocanul<br>de lipit | 31.15     | 213    | 2.9189      | 2.9089             |
|   |                      | 31.96     | 221    | 2.8716      | 2.8002             |
|   |                      | 32.5      | 201    | 2.7554      | 2.7159             |
|   |                      | 32.98     | 023    | 2.693       | 2.0128             |
|   |                      | 33.27     | 223    | 2.6234      | 1.6554             |
|   |                      | 34.18     | 111    | 2.5467      | 1.4811             |
|   |                      | 35.24     | 314    | 2.3041      | 1.4549             |
|   |                      | 39.1      | 121    | 2.1083      | 1.4388             |
|   |                      | 42.9      | 131    | 2.0636      | 1.3013             |
|   |                      | 43.87     | 112    | 1.6626      | 1.2898             |
|   |                      | 55.25     | 044    | 1.4664      | 1.202              |
|   |                      | 63.43     | 150    | 1.4353      | 1.0928             |
|   |                      | 64.97     | 241    | 1.4202      | 1.0412             |
|   |                      | 65.75     | 027    | 1.2989      | 1.0379             |
| Material de<br>bază cupru   | Reflow               | 80.42     | 132    | 1.1942      | 1.0288             |
|   |                      | 89.1      | 051    | 1.099       | 1.023              |
|   |                      | 30.62     | 020    | 2.9196      | 2.9149             |
|   |                      | 35.05     | 312    | 2.5814      | 2.5601             |
|   |                      | 37.03     | 111    | 2.4277      | 2.4181             |
|   |                      | 39.62     | 131    | 2.3083      | 2.2746             |
|   |                      | 44.54     | 220    | 2.0342      | 2.0237             |
|   |                      | 45.7      | 200    | 2.004       | 1.9736             |
|   |                      | 50.58     | 031    | 1.8103      | 1.8047             |
|   |                      | 65.72     | 202    | 1.4293      | 1.4208             |
|   | 75                   | 202       | 1.2664 | 1.2515      |                    |

**b) Obținerea datelor primare la îmbinările lipite cu  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  benzi**

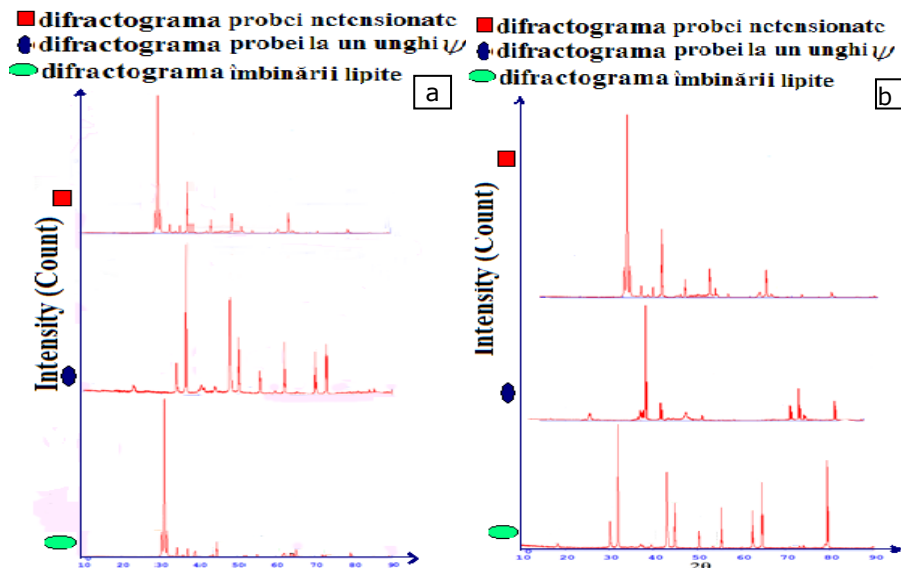


Figura 5.66 Spectrele de difracție pentru starea de tensiune pentru:  
 a)  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  lipit cu ciocanul de lipit cu material de bază cupru  
 b)  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  lipit prin reflow cu material de bază cupru

În figura 5.66 avem spectrele de difracție pentru aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  la lipirea pe cupru. În tabelul tabelul 5.4 avem calculate distanțele interplanare pentru proba netensionată. În tabelul 5.5 avem distanțele interplanare pentru spectrele de difracție la unghiul  $\psi$  notate  $d_{\psi,\varphi}$  dar și pentru spectrele de difracție la un unghi perpendicular pe probă notate  $d_{\perp}$  atât la lipirea cu ciocanul de lipit cât și prin reflow.

Tabel 5.4 Distanțele interplanare la  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  la proba netensionată

| Aliajul   | $2\theta$ | (hkl) | $d_0$  |
|---|-----------|-------|--------|
| $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$<br>benzi | 30.39     | 113   | 2.9413 |
|   | 34.53     | 002   | 2.5979 |
|   | 36.14     | 117   | 2.4857 |
|   | 39.31     | 212   | 2.2922 |
|   | 44.76     | 102   | 2.025  |
|   | 51.82     | 311   | 1.7643 |
|   | 52.12     | 331   | 1.7547 |
|   | 62.01     | 531   | 1.4966 |

Tabel 5.5 Distanțele interplanare la aliajul  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  lipit pe cupru

| Aliajul/<br>Material de<br>bază                         | Metoda               | $2\theta$ | (hkl)  | $d_{\perp}$ | $d_{\psi,\varphi}$ |
|---|----------------------|-----------|--------|-------------|--------------------|
| $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$<br>benzi | Ciocanul<br>de lipit | 30.08     | 022    | 2.9708      | 2.96516            |
|   |                      | 31.11     | 020    | 2.8751      | 2.8132             |
|   |                      | 32.41     | 011    | 2.7625      | 2.7497             |
|   |                      | 34.53     | 002    | 2.5979      | 2.4857             |
|   |                      | 37.22     | 020    | 2.4157      | 2.4056             |
|   |                      | 38.79     | 131    | 2.3215      | 2.2922             |
|   |                      | 43.72     | 220    | 2.0707      | 2.0633             |
|   |                      | 52.12     | 221    | 1.7643      | 1.7547             |
|   |                      | 55.13     | 031    | 1.666       | 1.5435             |
|   |                      | 61.7      | 203    | 1.5034      | 1.489              |
|   |                      | 62.01     | 441    | 1.4966      | 1.4643             |
|   |                      | 63.54     | 150    | 1.447       | 1.4433             |
|   |                      | 72.2      | 027    | 1.3085      | 1.2962             |
| 79.6  | 046                  | 1.2044    | 1.1977 |             |                    |
| Material de<br>bază cupru                               | Reflow               | 14.67     | 001    | 6.0372      | 6.027              |
|   |                      | 29.58     | 200    | 3.0201      | 3.0004             |
|   |                      | 31.59     | 221    | 2.8324      | 2.8179             |
|   |                      | 33.08     | 203    | 2.7077      | 2.6923             |
|   |                      | 34.51     | 111    | 2.5988      | 2.5857             |
|   |                      | 37.07     | 131    | 2.425       | 2.4162             |
|   |                      | 45.12     | 111    | 2.0097      | 1.9992             |
|   |                      | 46.63     | 202    | 1.9478      | 1.9352             |
|   |                      | 50.06     | 200    | 1.8222      | 1.8134             |
|   |                      | 53.44     | 311    | 1.7147      | 1.704              |
|   |                      | 54.68     | 222    | 1.6786      | 1.6727             |
|   |                      | 63.46     | 202    | 1.4659      | 1.4582             |
|   |                      | 64.61     | 202    | 1.4426      | 1.438              |
| 73.11   | 402                  | 1.2944    | 1.2861 |             |                    |
| 80.17   | 222                  | 1.1972    | 1.1931 |             |                    |

### c) Obținerea datelor primare la îmbinările lipite cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$

În figura 5.67 sunt prezentate spectrele de difracție pentru probele lipite pe cupru cu ciocanul de lipit dar și prin reflow. În tabelul 5.6 avem calculate distanțele interplanare  $d_0$  pentru proba netensionată. Distanțele interplanare pentru spectrele de difracție la unghiul  $\psi$  notate  $d_{\psi,\varphi}$  dar și pentru spectrele de difracție la un unghi perpendicular pe probe notate  $d_{\perp}$  sunt date în tabelul 5.7 pentru probele lipite cu ciocanul de lipit și prin reflow.

Tabel 5.6 Distanțele interplanare pentru probe netensionată

| Aliajul  | $2\theta$ | (hkl)  | $d_0$  |
|--|-----------|--------|--------|
| Sn <sub>94</sub> Cu <sub>4</sub> Ni <sub>2</sub> | 30.04     | 113    | 2.9672 |
|  | 41.68     | 421    | 2.1671 |
|  | 50.84     | 002    | 1.8200 |
|  | 62.358    | 211    | 1.4840 |
|  | 70.835    | 531    | 1.3291 |
|  | 72.094    | 220    | 1.3090 |
|  | 78.00     | 103    | 1.2239 |
| 90.530   | 004       | 1.0843 |        |

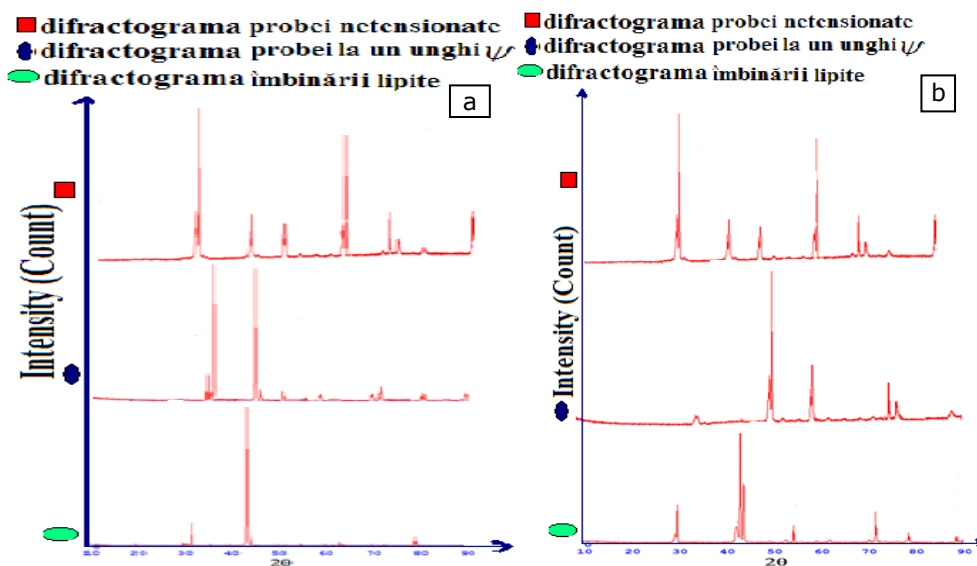


Figura 5.67 Imaginile de difracție pentru starea de tensiune pentru:

- a) Sn<sub>94</sub>Cu<sub>4</sub>Ni<sub>2</sub> lipit cu ciocanul de lipit cu material de bază cupru  
 b) Sn<sub>94</sub>Cu<sub>4</sub>Ni<sub>2</sub> lipit prin reflow cu material de bază cupru

Tabel 5.7 Distanțele interplanare la lipirea pe cupru

| Aliajul/<br>Material de<br>bază                  | Metoda               | $2\theta$ | (hkl) | $d_{\perp}$ | $d_{\psi,\varphi}$ |
|--|----------------------|-----------|-------|-------------|--------------------|
| Sn <sub>94</sub> Cu <sub>4</sub> Ni <sub>2</sub> | Ciocanul<br>de lipit | 30.73     | 221   | 2.9092      | 2.905              |
|  |                      | 31.47     | 020   | 2.843       | 2.83358            |
|  |                      | 43.28     | 111   | 2.07957     | 2.0768             |
|  |                      | 44.95     | 220   | 2.0211      | 2.0167             |
|  |                      | 63.48     | 202   | 1.46637     | 1.4655             |
|  |                      | 78.992    | 023   | 1.2158      | 1.21112            |
| Material de<br>bază cupru                        | Reflow               | 30.43     | 020   | 2.9377      | 2.93349            |
|  |                      | 42.57     | 223   | 2.1236      | 2.116              |
|  |                      |           |       |             |                    |

|  |  |       |     |        |        |
|--|--|-------|-----|--------|--------|
|  |  | 43.17 | 111 | 2.0956 | 2.0786 |
|  |  | 48.74 | 200 | 1.8685 | 1.8625 |
|  |  | 49.52 | 314 | 1.8409 | 1.8284 |
|  |  | 51.71 | 200 | 1.7679 | 1.7617 |
|  |  | 63.06 | 112 | 1.4742 | 1.4687 |
|  |  | 72.64 | 210 | 1.3016 | 1.2987 |
|  |  | 73.55 | 220 | 1.2878 | 1.2813 |
|  |  | 79.49 | 023 | 1.2058 | 1.2006 |
|  |  | 89.12 | 311 | 1.0987 | 1.0959 |

#### d) Obținerea datelor primare la îmbinările lipite cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$

În figura 5.68 avem spectrele de difracție pentru probele lipite pe cupru atât cu ciocanul de lipit cât și prin reflow

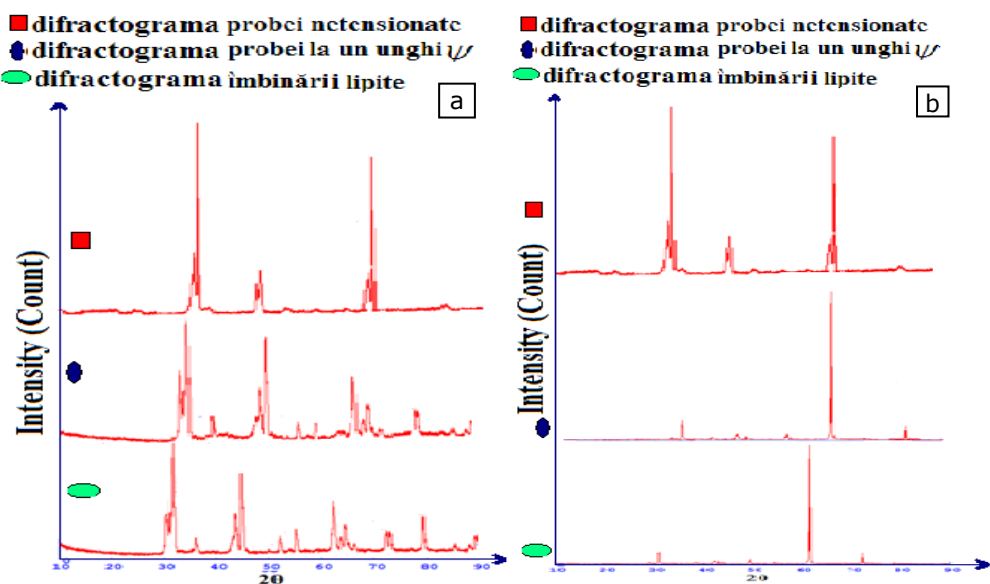


Figura 5.68 Spectrele de difracție pentru starea de tensiune pentru:  
 a)  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  lipit cu ciocanul de lipit cu material de bază cupru  
 b)  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  lipit prin reflow cu material de bază cupru

Distanțele interplanare pentru proba netensionată sunt date în tabelul 5.8

| Aliajul/                               | $2\theta$ | (hkl) | $d_0$  |
|--|-----------|-------|--------|
| $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ | 34.075    | 110   | 2.6290 |
|  | 43.270    | 422   | 2.0892 |
|  | 75.939    | 110   | 1.2520 |

#### 5.4- Determinarea tensiunilor interne la îmbinările lipite 141

Distanțele interplanare pentru probele lipite atât prin reflow cât și la lipirea cu ciocanul de lipit sunt date în tabelul 5.9

Tabel 5.9 Distanțele interplanare pentru probele lipite pe cupru cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$

| Aliajul/<br>Material de<br>bază        | Metoda                    | $2\theta$ | (hkl) | $d_{\perp}$ | $d_{\psi,\varphi}$ |        |
|--|---------------------------|-----------|-------|-------------|--------------------|--------|
| $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ | Ciocanul<br>de lipit      | 30.3301   | 020   | 2.9997      | 2.9509             |        |
|  |                           | 31.0365   | 022   | 3.9605      | 3.9414             |        |
|  |                           | 31.5431   | 221   | 3.4123      | 3.381              |        |
|  |                           | 31.697    | 011   | 3.253       | 3.2207             |        |
|  |                           | 32.0071   | 220   | 3.0297      | 2.9652             |        |
|  |                           | 36.0516   | 121   | 2.9652      | 2.916              |        |
|  |                           | 43.5549   | 200   | 2.8932      | 2.8252             |        |
|  |                           | 44.6165   | 202   | 2.7622      | 2.6757             |        |
|  |                           | 52.1102   | 424   | 2.4312      | 2.422              |        |
|  |                           | 55.1165   | 301   | 2.3258      | 2.3216             |        |
|  |                           | 62.179    | 112   | 2.28569     | 2.2863             |        |
|  |                           | 63.7625   | 040   | 2.1928      | 2.1882             |        |
|  |                           | 64.187    | 231   | 2.1075      | 2.1039             |        |
|  |                           | 72.3269   | 240   | 1.9802      | 1.9707             |        |
|  |                           | 72.9023   | 141   | 1.8251      | 1.822              |        |
|  |                           | 79.2397   | 046   | 1.6874      | 1.67               |        |
|  |                           | 79.4242   | 051   | 1.6313      | 1.6265             |        |
|  |                           | 89.2238   | 311   | 1.5769      | 1.5761             |        |
|  | Material de<br>baza cupru | Reflow    | 28.23 | 202         | 3.1609             | 3.1592 |
|  |                           |           | 30.17 | 020         | 2.9625             | 2.9451 |
| 36.22                                  |                           |           | 130   | 2.4802      | 2.4633             |        |
| 42.17                                  |                           |           | 213   | 2.1427      | 2.1257             |        |
| 44.83                                  |                           |           | 220   | 2.0218      | 2.0106             |        |
| 49.03                                  |                           |           | 314   | 1.858       | 1.8469             |        |
| 53.77                                  |                           |           | 404   | 1.7049      | 1.6984             |        |

#### e) Obținerea datelor primare la îmbinările lipite cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$

În figura 5.69 sunt prezentate imaginile de difracție la lipirea pe cupru cu ciocanul de lipit și prin reflow.

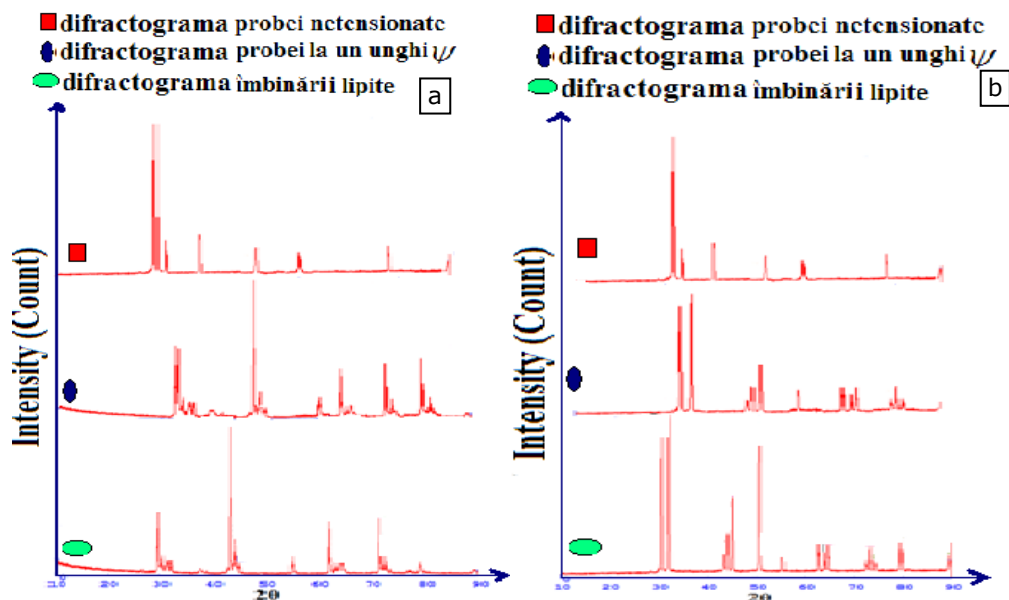


Figura 5.69 Imaginile de difracție pentru starea de tensiune pentru:  
 a)  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit cu ciocanul de lipit cu material de bază cupru  
 b)  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit prin reflow cu material de bază cupru

În tabelul 5.10 avem prezentate distanțele interplanare pentru proba netensionată.

Tabel 5.10 Distanțele interplanare la proba netensionată

| Aliajul                                | $2\theta$ | (hkl)   | $d_0$   |
|--|-----------|---------|---------|
| $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ | 30.719    | 101     | 2.90816 |
|  | 32.237    | 015     | 2.77463 |
|  | 38.827    | 002     | 2.31753 |
|  | 54.933    | 331     | 1.67011 |
|  | 62.147    | 200     | 1.49243 |
| 79.154                                 | 420       | 1.20904 |         |

Pentru probele lipite pe cupru cu ciocanul de lipit și prin reflow s-au calculat distanțele interplanare care sunt date în tabelul 5.11.

Tabel 5.11 Distanțele interplanare pentru  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  lipit pe cupru

| Aliajul/<br>Material de<br>bază        | Metoda               | $2\theta$ | (hkl) | $d_{\perp}$ | $d_{\psi,\varphi}$ |
|--|----------------------|-----------|-------|-------------|--------------------|
| $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ | Ciocanul<br>de lipit | 30.81     | 200   | 2.9025      | 2.90017            |
|  |                      | 31.64     | 002   | 2.8282      | 2.8162             |
|  |                      | 32.78     | 113   | 2.7324      | 2.7202             |
|  |                      | 33.65     | 221   | 2.6632      | 2.6472             |



#### 5.4- Determinarea tensiunilor interne la îmbinările lipite 143

|                        |        |       |        |        |         |
|------------------------|--------|-------|--------|--------|---------|
| Material de bază cupru |        | 37.53 | 118    | 2.3967 | 2.3775  |
|                        |        | 43.2  | 111    | 2.0943 | 2.086   |
|                        |        | 44.93 | 202    | 2.0175 | 2.0114  |
|                        |        | 45.62 | 040    | 1.9886 | 1.9785  |
|                        |        | 54.27 | 222    | 1.6902 | 1.6775  |
|                        |        | 63.47 | 211    | 1.4656 | 1.4588  |
|                        |        | 64.03 | 400    | 1.4542 | 1.4505  |
|                        |        | 72.73 | 045    | 1.3003 | 1.2968  |
|                        |        | 73.19 | 220    | 1.2931 | 1.2909  |
|                        |        | 79.86 | 221    | 1.2012 | 1.1995  |
|                        | Reflow | 31.11 | 020    | 2.8746 | 2.87353 |
|                        |        | 32.2  | 011    | 2.7797 | 2.7556  |
|                        |        | 45.67 | 111    | 1.9866 | 1.978   |
|                        |        | 46.49 | 220    | 1.9536 | 1.9453  |
|                        |        | 47.69 | 121    | 1.907  | 1.8991  |
|                        |        | 50.55 | 200    | 1.8056 | 1.7924  |
|                        |        | 55.47 | 031    | 1.6565 | 1.6464  |
|                        |        | 62.14 | 112    | 1.4939 | 1.4878  |
|                        |        | 63.75 | 040    | 1.4599 | 1.4552  |
|                        |        | 64.77 | 231    | 1.4393 | 1.435   |
|                        | 73.03  | 027   | 1.2956 | 1.291  |         |
|                        | 74.2   | 141   | 1.278  | 1.2728 |         |
|                        | 75.18  | 063   | 1.2638 | 1.2593 |         |
|                        | 80.08  | 345   | 1.1984 | 1.1918 |         |
|                        | 88.77  | 141   | 1.1022 | 1.095  |         |

#### 5.4.2.2 Calculul tensiunilor interne

Pentru a calcula tensiunile interne s-a aplicat relația 5.26. Calculul tensiunilor interne s-a realizat numai după ce am determinat modulul lui Young și coeficientul lui Poisson. Acestea au fost determinate pentru benzi adică pentru probele netensionate. Modulul lui Young s-a calculat pe baza compoziției chimice cu ajutorul bazelor de date utilizate de softurile EvaDiffraCPuls de la Bruker, Mach, XRD2Scan. Coeficientul lui Poisson s-a determinat în același mod ca și modulul lui Young. În tabelul 5.12 avem datele necesare pentru calcularea tensiunilor interne la lipirea cu ciocanul de lipit utilizând ca material de bază cupru.

Tabel 5.12 Datele pentru calcularea tensiunilor interne la lipirea cu ciocanul de lipit pe cupru

| Aliajul   | E [Gpa] | $\nu$ | $\frac{E}{1+\nu}$ | $\frac{d_{\psi,\varphi} - d_{\perp}}{d_0}$ | $\sigma$ [Mpa] |
|---|---------|-------|-------------------|--|----------------|
| Sn <sub>99</sub> Ag <sub>0,3</sub> Cu <sub>0,7</sub><br>comercial | 50      | 0.36  | 36.764            | -0.009                                     | -16.510        |
| Sn <sub>94</sub> Cu <sub>4</sub> Ni <sub>2</sub>                  | 20      | 0.321 | 15.441            | -0.00141                                   | -10.928        |
| Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Co <sub>3</sub>                  | 20.9    | 0.31  | 15.954            | -0.00175                                   | -13.987        |
| Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub>                  | 13      | 0.34  | 9.7014            | -0.00080                                   | -3.88619       |
| Sn <sub>97</sub> Ag <sub>2,5</sub> Cu <sub>0,5</sub><br>benzi     | 8.56    | 0.309 | 6.5393            | -0.00191                                   | -6.268         |

În tabelul 5.13 avem toate datele pentru calcularea tensiunilor interne la lipirea prin reflow pe cupru.

Tabel 5.13 Datele necesare pentru calculul tensiunilor interne la lipirea prin reflow pe cupru

| Aliajul   | E[GPa] | $\nu$ | $\frac{E}{1+\nu}$ | $\frac{d_{\psi,\varphi} - d_{\perp}}{d_0}$ | $\sigma$ [MPa] |
|---|--------|-------|-------------------|--|----------------|
| Sn <sub>99</sub> Ag <sub>0,3</sub> Cu <sub>0,7</sub><br>comercial | 50     | 0.36  | 36.764            | -0.0011                                    | -21.911        |
| Sn <sub>94</sub> Cu <sub>4</sub> Ni <sub>2</sub>                  | 20     | 0.321 | 15.441            | -0.00141                                   | -10.954        |
| Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Co <sub>3</sub>                  | 20.9   | 0.31  | 15.954            | -0.00064                                   | -5.158         |
| Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub>                  | 13     | 0.34  | 9.7014            | -0.000367                                  | -1.7846        |
| Sn <sub>97</sub> Ag <sub>2,5</sub> Cu <sub>0,5</sub><br>benzi     | 8.56   | 0.309 | 6.5393            | -0.00346                                   | -11.3364       |

În figura 5.70 avem histogramele tensiunilor la lipirea pe cupru atât cu ciocanul de lipit figura 5.70 a) cât și prin reflow figura 5.70 b).

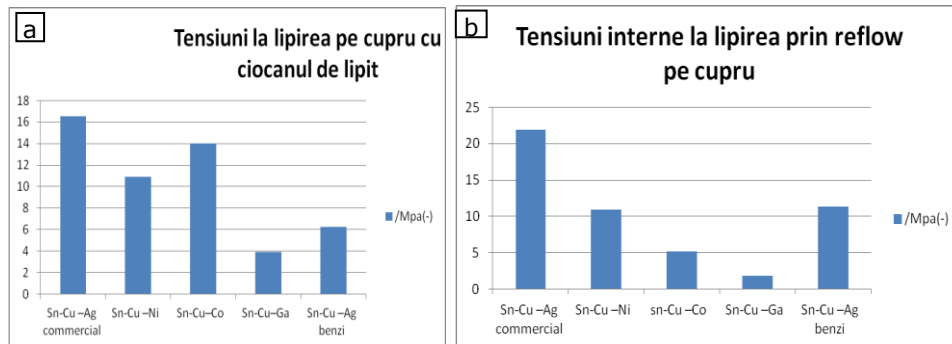


Figura 5.70 Histogramele la lipirea pe cupru cu a) ciocanul de lipit b) prin reflow

Se poate observa că la lipirea cu ciocanul de lipit cele mai mici tensiuni sunt la aliajul din familia Sn-Cu-Ga cu  $\sigma = -3.8336$  MPa iar ce cele mai mari tensiuni sunt la aliajul din familia Sn-Cu-Ag comercial cu  $\sigma = -16.510$  MPa. La lipirea prin reflow pe cupru cele mai mici tensiuni sunt la aliajul din familia Sn-Cu-Ga  $\sigma = -1.7846$  MPa iar cele mai mari sunt la aliajul din familia Sn-Cu-Ag comercial  $\sigma = -21.911$  MPa. Din literatura de specialitate se știe că au fost găsite excrescențe whiskers la probele care au tensiuni de compresiune cuprinse între 10-35 MPa [87]. Putem spune că este posibil să nu crească excrescențe whiskers la îmbinările lipite cu aliajul din familia Sn-Cu-Ga atât la lipirea cu ciocanul de lipit cât și la lipirea prin reflow.

### 5.4.3 Calculul tensiunilor interne la îmbinările lipite pe material de bază cupru acoperit cu staniu

#### 5.4.3.1 Obținerea datelor primare la lipirea pe cupru acoperit cu staniu

##### a) **Obținerea datelor primare la îmbinările lipite cu aliajul Sn<sub>99</sub>Ag<sub>0,3</sub>Cu<sub>0,7</sub> comercial**

În figura 5.71 avem difractogramele pentru Sn<sub>99</sub>Ag<sub>0,3</sub>Cu<sub>0,7</sub> lipit pe material de bază cupru acoperit cu staniu atât la lipirea cu ciocanul de lipit cât și lipirea prin reflow.

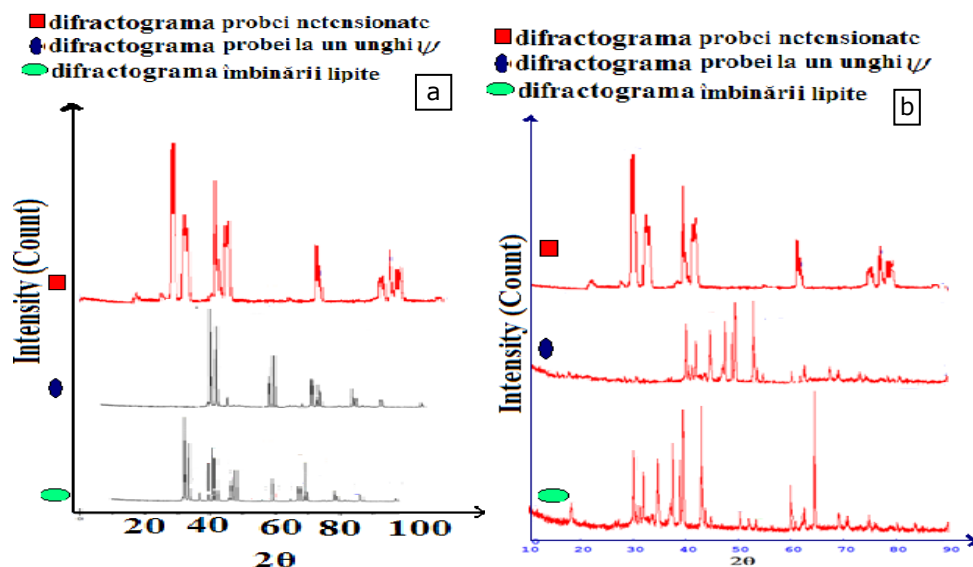


Figura 5.71 Imaginile de difracție pentru starea de tensiune pentru:  
 a)  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit cu ciocanul de lipit cu material de bază cupru acoperit cu staniu  
 b)  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit prin reflow cu material de bază cupru acoperit cu staniu

Tabelul 5.14 relevă distanțele interplanare utilizate pentru calculul tensiunilor interne pentru probele lipite utilizând ca material de bază cupru acoperit cu staniu.

Tabel 5.14 Distanțele interplanare pentru  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit pe material de bază cupru acoperit cu staniu

| Aliajul/<br>Material de bază  | Metoda               | $2\theta$ | (hkl)   | $d_{\perp}$ | $d_{\psi,\varphi}$ |
|---|----------------------|-----------|---------|-------------|--------------------|
| $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$<br>comercial<br><br>Material de bază<br>Sn | Ciocanul<br>de lipit | 30.247    | 200     | 2.92803     | 2.9254             |
|   |                      | 31.556    | 101     | 2.83287     | 2.83129            |
|   |                      | 33.213    | 110     | 2.69528     | 2.66324            |
|   |                      | 35.129    | 101     | 2.5525      | 2.50633            |
|   |                      | 37.127    | 111     | 2.41963     | 2.39412            |
|   |                      | 38.542    | 220     | 2.33397     | 2.29927            |
|   |                      | 45.25     | 111     | 2.02137     | 2.00233            |
|   |                      | 46.672    | 211     | 1.9446      | 1.92947            |
|   |                      | 53.304    | 104     | 1.72557     | 1.71723            |
|   |                      | 59.91     | 002     | 1.67129     | 1.5427             |
|   |                      | 62.418    | 005     | 1.48673     | 1.49372            |
|   |                      | 63.369    | 112     | 1.46657     | 63.369             |
|   |                      | 64.219    | 112     | 1.44918     | 1.44446            |
|   |                      | 64.39     | 110     | 1.44574     | 1.31031            |
| 72.207  | 220                  | 1.30726   | 1.31031 |             |                    |
| 73.278  | 420                  | 1.29078   | 1.27165 |             |                    |

5.4- Determinarea tensiunilor interne la îmbinările lipite 147

|  |        |        |        |         |         |
|--|--------|--------|--------|---------|---------|
|  |        | 79.124 | 312    | 1.20942 | 1.20662 |
|  |        | 89.284 | 311    | 1.09865 | 1.09624 |
|  | Reflow | 14.62  | 301    | 6.0602  | 6.0584  |
|  |        | 22.3   | 111    | 3.9647  | 3.9392  |
|  |        | 29.97  | 020    | 3.0154  | 2.9812  |
|  |        | 30.64  | 200    | 2.9177  | 2.9028  |
|  |        | 32.33  | 221    | 2.7832  | 2.7692  |
|  |        | 36.2   | 002    | 2.4814  | 2.4682  |
|  |        | 38.8   | 111    | 2.3212  | 2.312   |
|  |        | 39.49  | 223    | 2.2817  | 2.2726  |
|  |        | 40.93  | 202    | 2.2047  | 2.1735  |
|  |        | 42.2   | 132    | 2.1415  | 2.1313  |
|  |        | 43.13  | 202    | 2.0977  | 2.086   |
|  |        | 45.77  | 111    | 1.9826  | 1.9747  |
|  |        | 49.87  | 200    | 1.8361  | 1.8287  |
|  |        | 52.87  | 311    | 1.7317  | 1.7277  |
|  |        | 55.67  | 222    | 1.6512  | 1.6434  |
|  |        | 58.66  | 130    | 1.5739  | 1.5705  |
|  |        | 60.31  | 031    | 1.5347  | 1.5301  |
|  |        | 61.1   | 202    | 1.5168  | 1.5131  |
|  |        | 64.4   | 231    | 1.4468  | 1.4428  |
|  |        | 69     | 123    | 1.3611  | 1.3567  |
|  | 70.07  | 202    | 1.3428 | 1.3377  |         |
|  | 74.21  | 311    | 1.278  | 1.2768  |         |
|  | 79.16  | 122    | 1.21   | 1.2075  |         |

**b) Calculul tensiunilor interne la îmbinările lipite cu  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  cu material de bază cupru acoperit cu staniu**

În figura 5.72 se prezintă spectrele de difracție obținute la lipirea pe cupru acoperit cu staniu atât la lipirea cu ciocanul de lipit cât și la lipirea prin reflow.

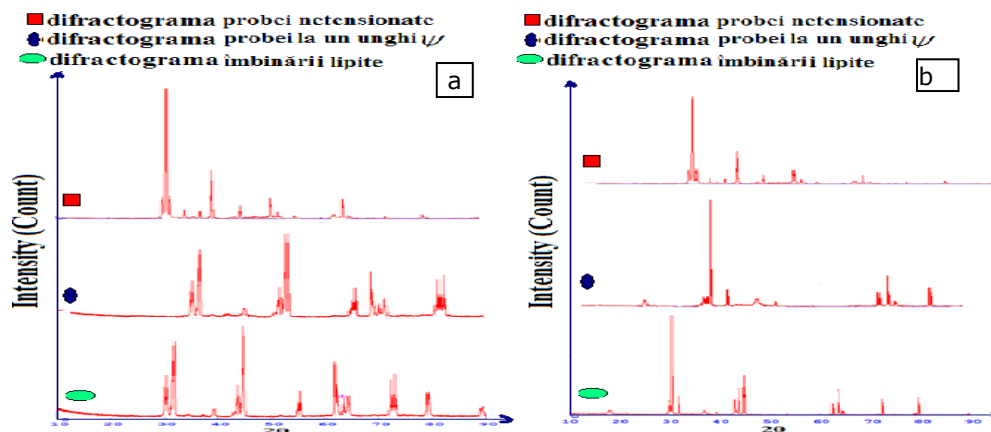


Figura 5.72 Spectrele de difracție pentru starea de tensiune pentru:  
 a)  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  lipit cu ciocanul de lipit cu material de bază cupru acoperit cu staniu  
 b)  $\text{Sn}_{97}\text{Ag}_{2,5}\text{Cu}_{0,5}$  lipit prin reflow cu material de bază cupru acoperit cu staniu

În tabelul 5.15 se remarcă distanțele interplanare  $d_{\perp}$  și  $d_{\psi,\varphi}$  pentru probele lipite pe cupru acoperit cu staniu atât la lipirea cu ciocanul de lipit cât și la lipirea prin reflow.

Tabel 5.15 Distanțele interplanare la lipirea pe cupru acoperit cu staniu

| Aliajul/<br>Material de<br>bază  | Metoda               | 2 $\theta$ | (hkl)  | $d_{\perp}$ | $d_{\psi,\varphi}$ |
|--|----------------------|------------|--------|-------------|--------------------|
| Sn <sub>97</sub> Ag <sub>2,5</sub> Cu <sub>0,5</sub><br>benzi<br><br>Material de<br>bază<br>Sn | Ciocanul<br>de lipit | 30.08      | 020    | 2.9706      | 2.9678             |
|  |                      | 31.09      | 011    | 2.8766      | 2.8608             |
|  |                      | 34.67      | 002    | 2.5876      | 2.5669             |
|  |                      | 37.61      | 020    | 2.3918      | 2.379              |
|  |                      | 39.36      | 211    | 2.2893      | 2.2663             |
|  |                      | 44.63      | 220    | 2.0302      | 2.0244             |
|  |                      | 45.58      | 121    | 1.9905      | 1.979              |
|  |                      | 54.28      | 031    | 1.69        | 1.6778             |
|  |                      | 62.13      | 243    | 1.4941      | 1.4904             |
|  |                      | 63.55      | 112    | 1.4639      | 1.4595             |
|  |                      | 64.43      | 231    | 1.4462      | 1.4394             |
|  |                      | 69.29      | 032    | 1.3561      | 1.3501             |
|  |                      | 72.56      | 406    | 1.3028      | 1.2981             |
|  |                      | 73.06      | 027    | 1.2951      | 1.2916             |
|  | 80.23                | 132        | 1.1966 | 1.1897      |                    |
|  | Reflow               | 19.75      | 002    | 4.4961      | 4.4898             |
|  |                      | 29.78      | 022    | 3.0004      | 2.9878             |
|  |                      | 30.63      | 020    | 2.9184      | 2.8949             |
|  |                      | 31.69      | 011    | 2.8233      | 2.8027             |
|  |                      | 36.17      | 111    | 2.4835      | 2.47               |
|  |                      | 39.21      | 131    | 2.2974      | 2.2762             |
|  |                      | 44.98      | 111    | 2.0155      | 2.0079             |
| 45.59  |                      | 220        | 1.9898 | 1.9788      |                    |
| 46.64  |                      | 121        | 1.9474 | 1.941       |                    |
| 63.78  |                      | 112        | 1.4594 | 1.4551      |                    |
| 64.61  | 040                  | 1.4426     | 1.4377 |             |                    |
| 65.05  | 231                  | 1.4339     | 1.4293 |             |                    |
| 71.49  | 240                  | 1.3197     | 1.3155 |             |                    |
| 80.15  | 132                  | 1.1975     | 1.1957 |             |                    |

### c) Calculul tensiunilor interne la îmbinările lipite cu Sn<sub>94</sub>Cu<sub>4</sub>Ni<sub>2</sub>

În figura 5.73 se prezintă difractogramele pentru probele lipite cu ciocanul de lipit și prin reflow pe cupru acoperit cu staniu.

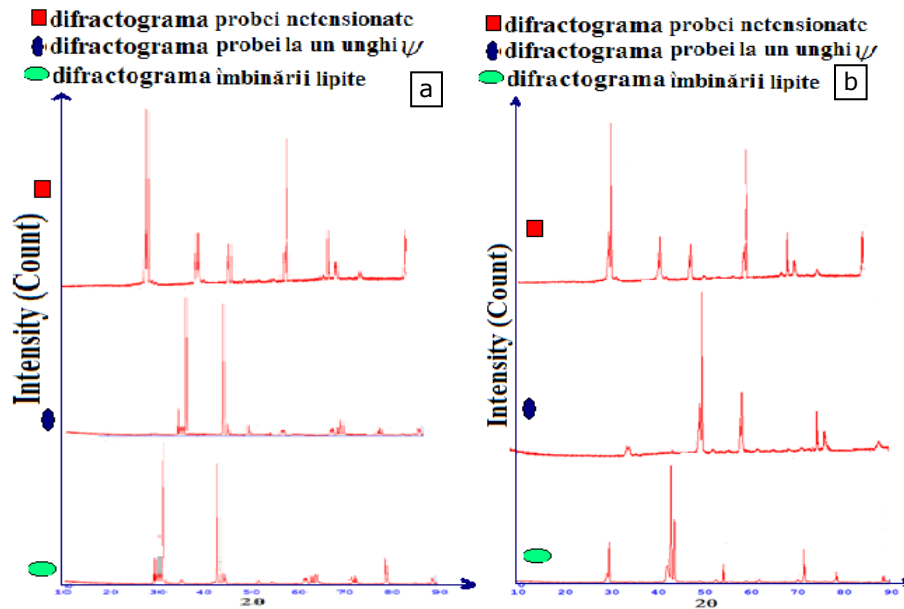


Figura 5.73 Imaginile de difracție pentru starea de tensiune pentru:  
 a)  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  lipit cu ciocanul de lipit cu material de bază cupru acoperit cu staniu  
 b)  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  lipit prin reflow cu material de bază cupru acoperit cu staniu

În tabelul 5.16 sunt evidențiate distanțele interplanare  $d_{\perp}$  și  $d_{\psi,\varphi}$  pentru probele lipite pe cupru acoperit cu staniu la lipirea cu ciocanul de lipit și prin reflow.

Tabel 5.16 Distanțele interplanare la lipirea pe cupru acoperit cu staniu

| Aliajul/<br>Material de<br>bază | Metoda               | $2\theta$ | (hkl)  | $d_{\perp}$ | $d_{\psi,\varphi}$ |
|---------------------------------|----------------------|-----------|--------|-------------|--------------------|
| Material de<br>bază<br>Sn       | Ciocanul<br>de lipit | 29.84     | 020    | 2.9947      | 2.99215            |
|                                 |                      | 30.73     | 011    | 2.9092      | 2.8894             |
|                                 |                      | 31.65     | 101    | 2.827       | 2.8138             |
|                                 |                      | 33.6      | 002    | 2.6674      | 2.6542             |
|                                 |                      | 43.58     | 111    | 2.0768      | 2.0692             |
|                                 |                      | 44.17     | 121    | 2.0505      | 2.0437             |
|                                 |                      | 51.28     | 041    | 1.7817      | 1.777              |
|                                 |                      | 55.73     | 031    | 1.6494      | 1.6445             |
|                                 |                      | 62.68     | 112    | 1.4823      | 1.4793             |
|                                 |                      | 64.03     | 040    | 1.4542      | 1.4502             |
|                                 |                      | 64.79     | 231    | 1.442       | 1.439              |
|                                 | 72.5                 | 240       | 1.3038 | 1.2985      |                    |
| 73.38                           | 141                  | 1.2903    | 1.2882 |             |                    |
| 79.83                           | 023                  | 1.2015    | 1.1999 |             |                    |
|                                 | Reflow               | 30.11     | 220    | 2.9677      | 2.96465            |



|  |  |       |     |        |        |
|--|--|-------|-----|--------|--------|
|  |  | 30.93 | 220 | 2.8909 | 2.868  |
|  |  | 41.11 | 223 | 2.1956 | 2.1818 |
|  |  | 43.2  | 111 | 2.094  | 2.0855 |
|  |  | 43.59 | 020 | 2.0763 | 2.0632 |
|  |  | 53.46 | 200 | 1.7141 | 1.7048 |
|  |  | 55.77 | 031 | 1.6484 | 1.6387 |
|  |  | 62.11 | 243 | 1.4945 | 1.4821 |
|  |  | 71.51 | 136 | 1.3194 | 1.3163 |
|  |  | 73.15 | 240 | 1.2939 | 1.2908 |
|  |  | 79.11 | 008 | 1.2106 | 1.208  |
|  |  | 89.26 | 311 | 1.0974 | 1.0949 |

#### d) Calculul tensiunilor interne la îmbinările lipite cu $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$

În figura 5.74 se observă spectrele de difracție pentru probele lipite pe material de bază cupru acoperit cu staniu la lipirea cu ciocanul de lipit dar și la lipirea prin reflow a aliajului  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$ .

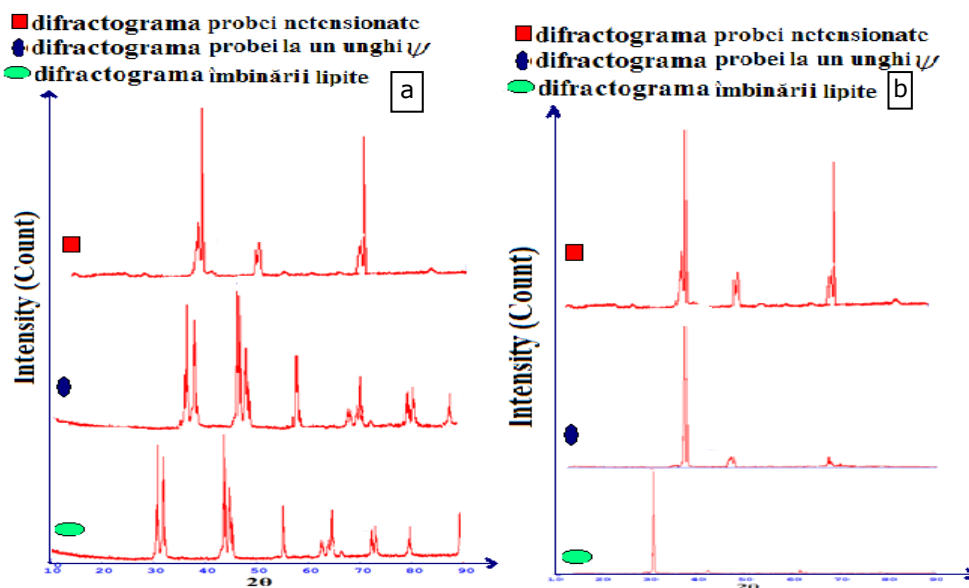


Figura 5.74 Spectrele de difracție pentru starea de tensiune pentru:  
a)  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  lipit cu ciocanul de lipit cu material de bază cupru acoperit cu staniu  
b)  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  lipit prin reflow cu material de bază cupru acoperit cu staniu

Distanțele interplanare  $d_{\perp}$  și  $d_{\psi,\varphi}$  pentru aceste imagini de difracție sunt date în tabelul 5.17

Tabel 5.17 Distanțele interplanare pentru lipit pe cupru acoperit cu staniu

| Aliajul/<br>Material de<br>bază   | Metoda                                  | $2\theta$ | (hkl)  | $d_{\perp}$ | $d_{\psi,\varphi}$ |
|---|---|-----------|--------|-------------|--------------------|
| Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Co <sub>3</sub><br><br>Material de<br>bază<br>Sn | Ciocanul<br>de<br>lipit<br>pe<br>staniu | 29.76     | 020    | 4.957       | 4.9543             |
|   |   | 30.71     | 011    | 2.9088      | 2.8852             |
|   |   | 40.20     | 111    | 2.2414      | 2.2103             |
|   |   | 44.12     | 111    | 2.0509      | 2.0261             |
|   |   | 45.29     | 121    | 2.0008      | 1.9891             |
|   |   | 55.43     | 031    | 1.6563      | 1.6515             |
|   |   | 62.41     | 112    | 1.4868      | 1.4817             |
|   |   | 63.10     | 321    | 1.4721      | 1.4659             |
|   |   | 64.09     | 202    | 1.4518      | 1.4407             |
|   |   | 72.53     | 240    | 1.3023      | 1.2991             |
|   |   | 73.13     | 141    | 1.2930      | 1.2900             |
|   |   | 80.04     | 014    | 1.1979      | 1.1943             |
|   |   | 89.46     | 212    | 1.1164      | 1.0945             |
|   |   | 30.79     | 202    | 2.9042      | 2.90306            |
|   | Reflow                                  | 44.62     | 213    | 2.0308      | 2.0213             |
| 60.71   | 404                                     | 1.5255    | 1.5193 |             |                    |
| 79.56   | 317                                     | 1.2049    | 1.2008 |             |                    |

### e) Calculul tensiunilor interne la îmbinările lipite cu Sn<sub>95</sub>Cu<sub>2</sub> Ga<sub>3</sub> cu material de bază cupru acoperit cu staniu

În figura 5.75 se prezintă imaginile de difracție pentru lipirea pe cupru cu ciocanul de lipit și prin reflow pentru Sn<sub>95</sub>Cu<sub>2</sub>Ga<sub>3</sub>.

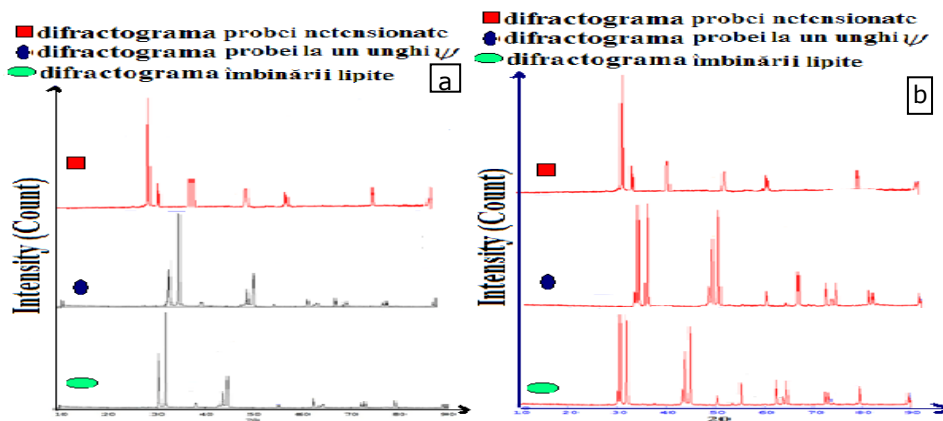


Figura 5.75 Imaginile de difracție pentru starea de tensiune pentru:  
a) Sn<sub>95</sub>Cu<sub>2</sub>Ga<sub>3</sub> lipit cu ciocanul de lipit cu material de bază cupru acoperit cu staniu  
b) lipit prin reflow cu material de bază cupru acoperit cu staniu

152 Cercetări privind îmbinarea componentelor electronice cu aliajele elaborate-5

Pentru aceste imagini de difracție avem distanțele interplanare  $d_{\perp}, d_{\psi, \varphi}$  evidențiate în tabelul 5.18 atât pentru lipirea cu ciocanul de lipit cât și pentru lipirea prin reflow.

Tabel 5.18 Distanțele interplanare pentru lipirea pe cupru acoperit cu staniu

| Aliajul/<br>Material de<br>bază   | Metoda               | 2θ           | (hkl)      | $d_{\perp}$   | $d_{\psi, \varphi}$ |
|---|----------------------|--------------|------------|---------------|---------------------|
| Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub><br><br>Material de<br>bază<br>Sn | Ciocanul<br>de lipit | <b>28.5</b>  | <b>202</b> | <b>3.1318</b> | <b>3.12988</b>      |
|   |                      | 29.32        | 311        | 3.0464        | 3.0341              |
|   |                      | 30.11        | 200        | 2.9685        | 2.9519              |
|   |                      | 31.31        | 101        | 2.8573        | 2.8427              |
|   |                      | 35.12        | 131        | 2.5552        | 2.5456              |
|   |                      | 44.42        | 220        | 2.0396        | 2.0319              |
|   |                      | 45.39        | 211        | 1.998         | 1.9886              |
|   |                      | 55.34        | 301        | 1.6601        | 1.655               |
|   |                      | 63.18        | 112        | 1.4717        | 1.4656              |
|   |                      | 64.21        | 400        | 1.4505        | 1.4426              |
|   |                      | 65.33        | 321        | 1.4283        | 1.4211              |
|   |                      | 74.38        | 420        | 1.2754        | 1.2729              |
|   |                      | 75.85        | 411        | 1.2543        | 1.2493              |
|   |                      | 76.52        | 221        | 1.2449        | 1.2431              |
|   | 79.86                | 312          | 1.2012     | .1995         |                     |
|   | Reflow               | <b>29.43</b> | <b>111</b> | <b>3.035</b>  | <b>3.03217</b>      |
|   |                      | 31.63        | 022        | 2.8291        | 2.8086              |
|   |                      | 32.51        | 200        | 2.754         | 2.7374              |
|   |                      | 37.92        | 312        | 2.373         | 2.3594              |
|   |                      | 44.51        | 111        | 2.0354        | 2.0254              |
|   |                      | 45.8         | 111        | 1.9811        | 1.9735              |
|   |                      | 46.58        | 202        | 1.9497        | 1.9361              |
|   |                      | 50.3         | 332        | 1.814         | 1.8019              |
|   |                      | 53.33        | 134        | 1.7178        | 1.7124              |
|   |                      | 55.69        | 222        | 1.6506        | 1.6431              |
|   |                      | 59.7         | 425        | 1.549         | 1.5432              |
| 62.58   |                      | 044          | 1.4843     | 1.4768        |                     |
| 63.38   | 200                  | 1.4676       | 1.4621     |               |                     |
| 64.42   | 400                  | 1.4463       | 1.4409     |               |                     |
| 74.12   | 406                  | 1.2792       | 1.2772     |               |                     |
| 75.2  | 402                  | 1.2636       | 1.2602     |               |                     |
| 76.35   | 202                  | 1.2473       | 1.2432     |               |                     |
| 80.04   | 046                  | 1.1989       | 1.1969     |               |                     |
| 89.53   | 241                  | 1.0948       | 1.0925     |               |                     |

5.4.3.2 Calculul tensiunilor interne

Și de această dată pentru a calcula tensiunile interne s-a aplicat relația 5.26 cu modulul lui Young și coeficientul lui Poisson determinate ca mai sus. În tabelul 5.19 avem datele necesare pentru calculul tensiunilor interne la lipirea cu ciocanul de lipit.

Tabel 5.19 Datele necesare pentru calculul tensiunilor interne la lipirea cu ciocanul de lipit pe cupru acoperit cu staniu

| Aliajul   | E[Gpa] | $\nu$ | $\frac{E}{1+\nu}$ | $\frac{d_{\psi,\varphi} - d_{\perp}}{d_0}$ | $\sigma$ [MPa] |
|---|--------|-------|-------------------|--|----------------|
| Sn <sub>99</sub> Ag <sub>0,3</sub> Cu <sub>0,7</sub><br>comercial | 50     | 0.36  | 36.764            | -0.0006                                    | -11.869        |
| Sn <sub>94</sub> Cu <sub>4</sub> Ni <sub>2</sub>                  | 20     | 0.321 | 15.441            | -0.00085                                   | -6.634         |
| Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Co <sub>3</sub>                  | 20.9   | 0.31  | 15.954            | -0.00099                                   | -7.949         |
| Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub>                  | 13     | 0.34  | 9.7014            | -0.00066                                   | -3.2023        |
| Sn <sub>97</sub> Ag <sub>2,5</sub> Cu <sub>0,5</sub><br>benzi     | 8.56   | 0.309 | 3.269             | -0.00095                                   | -3.1119        |

În tabelul 5.20 se remarcă toate datele pentru calcularea tensiunilor interne la lipirea prin reflow pe cupru acoperit cu staniu.

Tabel 5.20 Datele pentru calcularea tensiunilor interne la lipirea prin reflow pe cupru acoperit cu staniu

| Aliajul   | E[Gpa] | $\nu$ | $\frac{E}{1+\nu}$ | $\frac{d_{\psi,\varphi} - d_{\perp}}{d_0}$ | $\sigma$ [MPa] |
|---|--------|-------|-------------------|--|----------------|
| Sn <sub>99</sub> Ag <sub>0,3</sub> Cu <sub>0,7</sub><br>comercial | 50     | 0.36  | 36.764            | -0.00045                                   | -8.391         |
| Sn <sub>94</sub> Cu <sub>4</sub> Ni <sub>2</sub>                  | 20     | 0.321 | 15.441            | -0.00102                                   | -7.7935        |
| Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Co <sub>3</sub>                  | 20.9   | 0.31  | 15.954            | -0.00043                                   | -3.459         |
| Sn <sub>95</sub> Cu <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub>                  | 13     | 0.34  | 9.7014            | -0.000973.                                 | -4.7201        |
| Sn <sub>97</sub> Ag <sub>2,5</sub> Cu <sub>0,5</sub><br>benzi     | 8.56   | 0.309 | 3.269             | -0.00214                                   | -7             |

În figura 5.76 se observă histogramele tensiunilor interne atât la lipirea cu ciocanul de lipit cât figura 5.76 a) și la lipirea prin reflow figura 5.76 b) pe cupru acoperit cu staniu.

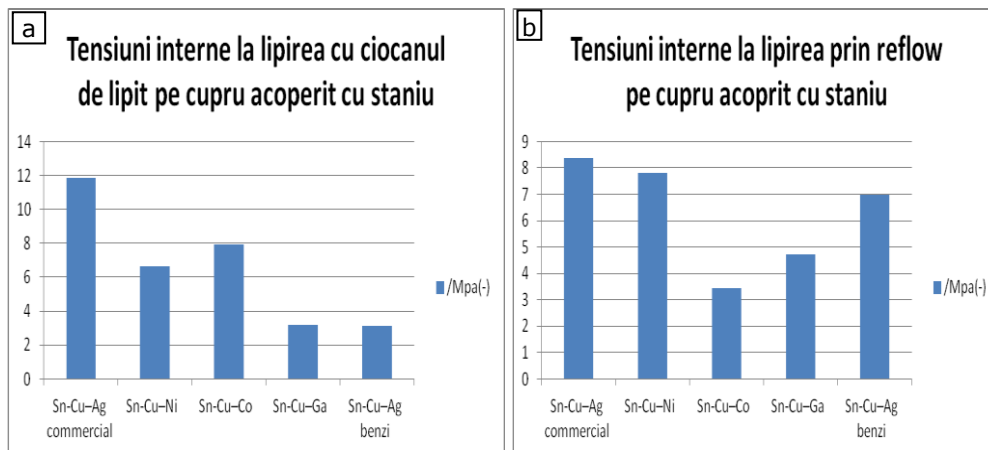


Figura 5.76 Histogramele tensiunilor interne la lipirea pe cupru acoperit cu staniu atât cu a) ciocanul de lipit cât și prin b) reflow

Se poate observa că la lipirea cu ciocanul de lipit pe cupru acoperit cu staniu cele mai mici tensiuni sunt la aliajul din familia Sn-Cu-Ag benzi  $\sigma = -3.1119\text{MPa}$  iar cele mai mari tensiuni sunt la aliajul din familia Sn-Cu-Ag comercial  $\sigma = -11.869\text{MPa}$ . La lipirea prin reflow se poate spune că cele mai mici tensiuni au fost la aliajul din familia Sn-Cu-Co cu  $\sigma = -3.459\text{MPa}$  iar cele mai mari tensiuni au fost determinate la aliajul din familia Sn-Cu-Ag comercial  $\sigma = -8.391\text{MPa}$ . Știm din literatura de specialitate că au fost găsite excrescențe whiskers la aliajul din familia Sn-Cu-Ag la probele care au avut tensiuni de compresiune cuprinse între 10-35 Mpa [87].

## 5.5 Concluzii

Caracterizarea îmbinărilor lipite cu noile aliaje cât și cu aliajul comercial atât prin lipirea manuală cât și prin reflow s-a realizat prin analize microscopice optice, electronice cât și prin difracții de raze X.

De asemenea s-a determinat starea de tensiune a îmbinării lipite utilizând o metodă de calcul bazată pe analiza prin difracții de raze X.

În urma analizelor structurale a îmbinării lipite realizate prin microscopie optică, electronică și difracții de raze X se pot trage următoarele concluzii:

-în cazul lipirii realizate pe Cu acoperit cu Sn incidența defectelor de tip bule este redusă semnificativ iar proporția de compuși intermetalici ce apar în îmbinarea lipită este mai redusă

Analizele structurale a îmbinărilor lipite au arătat prezența compușilor intermetalici ai cuprului cu staniu ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ,  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ) și a unor compuși ai staniului cu alte elemente componente ( $\text{Ag}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Ni}_3\text{Sn}_4$ ).

S-a constatat că în cazul lipirii pe Cu acoperit cu Sn se evită formarea compusului  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  care în conformitate cu literatura de specialitate contribuie la germinarea și creșterea excrescențelor whiskers.

De asemenea analiza structurală a mai reliefat că în cazul lipirii cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  pe Cu acoperit cu Sn nu s-au mai format compuși intermetalici ai cuprului cu staniu. Singurul compus intermetalic format a fost CuGa care însă nu are nici o influență asupra procesului de formare și creștere a excrescențelor whiskers.

Mai mult decât atât, structura îmbinării lipite cu aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  este o structură fină în care predomină soluția solidă pe bază de Sn, remarcându-se și prezența unui amestec mecanic eutectic.

Calculând tensiunile interne apărute în îmbinările lipite s-a constatat că lipirile cu aliajele  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$ ,  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  prezintă valorile cele mai scăzute ale tensiunilor de compresiune.

Ținând cont de aceste aspecte se poate concluziona că lipirea cu  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  prezintă cel mai mic risc de apariție și creștere a excrescențelor whiskers întrucât structura îmbinării lipite este fină, nu apar compuși intermetalici ai cuprului cu staniu iar valoarea tensiunilor interne este foarte mică.

## 6. Simularea germinării și creșterii excrescențelor whiskers

### 6.1. Standarde de simulare și condiții de creștere a excrescențelor whiskers

Simularea apariției excrescențelor whiskers se realizează pe baza unor standarde ce au impus anumite condiții de creștere a acestor excrescențe. Standardele uzuale sunt prezentate în tabelul de 7.1 [66], [67].

Tabelul 6.1 Standarde pentru creșterea excrescențelor whiskers [66], [67]

| <b>Standarde pentru creșterea excrescențelor whiskers</b> |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>Standarde</b>  | IEC60068-82-2  | JESD22-A121A  | ET-7410  |
| <b>Data publicării</b>                                    | 2007/5   | 2008/7  | 2005/12  |
| <b>Mediu ambiant</b>                                      | 30°C, 60%RH<br>25°C, 55%RH<br>4000 ore   | 30°C,<br>60%RH  | 30°C,<br>60%RH<br>4000 ore                                   |
| <b>Mediu de temperatură și umiditate</b>                  | 55°C ,85%RH<br>2000 ore  | 60°C ,87%RH   | 55°C ,85%RH<br>2000 ore                                      |
| <b>Mediu cu cicluri de temperatură</b>                    | Min -55°C sau -40°C<br>Max 85°C sau 125°C<br>Cicluri de temperatură 1000 sau 2000 de cicluri | Min -55°C sau -40°C<br>Max 85°C(+10/0)°C<br>Cicluri de temperatură 1000 sau 2000 de cicluri | Min -40°C sau 85°C<br>Cicluri de temperatură 1000 de cicluri |

În vederea simulării germinării și creșterii excrescențelor whiskers la îmbinările lipite cu aliajele elaborate s-a utilizat standartul IEC60068-82-2 cu mediul de temperatură 55°C și umiditate 85%RH timp de 2000 ore (83 de zile) avându-se în vedere condițiile de laborator avute la dipozitie.

### 6.2. Condiții experimentale pentru germinarea și creșterea excrescențelor whiskers

Pentru fiecare aliaj s-a folosit câte o probă din fiecare tip de lipire și din fiecare material de bază pentru a le ține într-un incubator pentru accelerarea excrescențelor whiskers. Probele care au fost puse în incubator au fost monitorizate în fiecare lună prin vizualizarea la microscopul optic. Incubatorul utilizat este prezentat în figura 6.1 și face parte din cadrul Hollywel Park of Materials Degradation Centre de la Universitatea din Loughborough,UK fiind de la firma MERMMET.





Figura 6.1 Incubator pentru accelerarea excrescențelor whiskers

Pentru a verifica cu certitudine ce probe duc la creșterea excrescențelor whiskers s-a dublat timpul de menținere. După simularea accelerării excrescențelor whisker s-a constatat că au apărut whiskers la anumite probe după o perioadă de șase luni.

### **6.3. Analiza îmbinărilor supuse simulării germinării și creșterii excrescențelor whiskers la îmbinările lipite**

#### **a) Creștere a excrescențelor whiskers la îmbinările lipite cu $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$ comercial**

La aliajul  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit prin reflow pe cupru s-a constatat că după ce proba a fost ținută șase luni în cuptor au crescut whiskers cu formă de tip noduli (figura 6.2). Acest tip excrescențe whiskers pot crește din cele relatate anterior datorită dislocațiilor și compușilor intermetalici de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ . Tensiunile interne la proba lipită pe cupru prin reflow a fost de  $\sigma = -21.911\text{MPa}$ . Această probă a avut tensiunile cele mai mari. Tot la această probă în urma analizelor de mapping și difracției de raze X s-a constatat prezența compușilor intermetalici de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ .

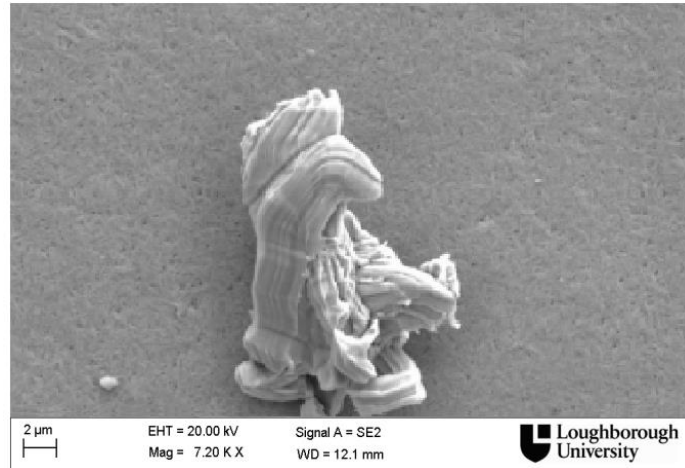


Figura 6.2 Excrescențe whiskers la  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial la lipirea prin reflow pe cupru

Tot la acest aliaj s-a constatat că avem excrescențe whiskers și la lipirea cu ciocanul de lipit pe cupru figura 6.3. De asemenea se poate observa că excrescențele whiskers la această probă sunt de tip filament. Se mai remarcă și prezența oxidului de staniu. Conform celor relatate anterior aceste excrescențe pot să crească datorită formării oxidului de staniu și a compușilor intermetalici de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ . Acest tip de excrescențe whiskers sunt caracteristice unei structuri cristaline. La lipirea acestui aliaj pe cupru cu ciocanul de lipit tensiunile interne determinate au fost de  $\sigma = -16.510$  MPa. Conform analizelor de mapping și difracții de raze X și la această probă s-a constatat prezența compușilor intermetalici  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ . Aceștia împreună cu oxidul de staniu au dus creșterea tensiunilor interne de compresiune fapt ce a dus la accelerarea excrescențelor whiskers.

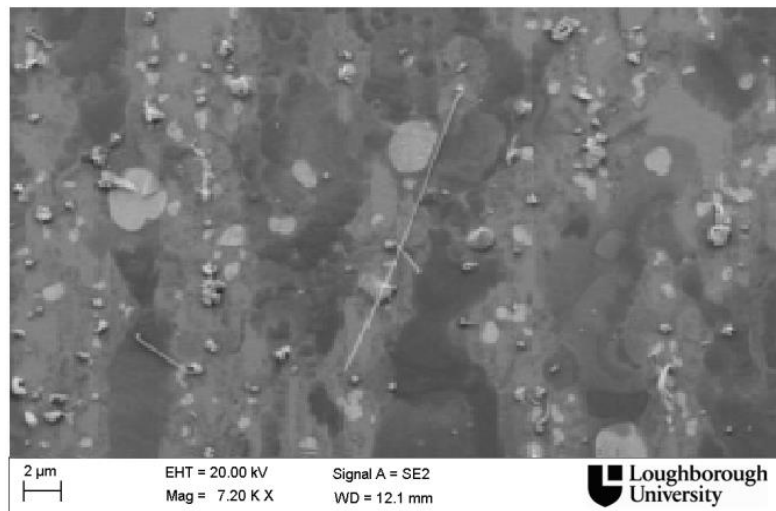


Figura 6.3 Excrescențe whiskers la  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial la lipirea cu ciocanul de lipit

### b) Simularea condițiilor de creștere a excrescențelor whiskers la îmbinările lipite cu $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$

La aliajul din această familie s-au observat că avem excrescențe whiskers la lipirea prin reflow pe cupru și la lipirea cu ciocanul de lipit pe cupru. În figura 6.4 avem excrescențe whiskers la lipirea prin reflow pe cupru unde sunt mult mai mici. Tensiunile interne determinate la lipirea prin reflow pe cupru ce au fost de  $\sigma = -10.954\text{MPa}$ . În urma caracterizării structurale la proba lipită cu acest aliaj prin reflow pe cupru s-au evidențiat compuși intermetalici de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ , aceștia generând astfel creșterea excrescențelor whiskers.

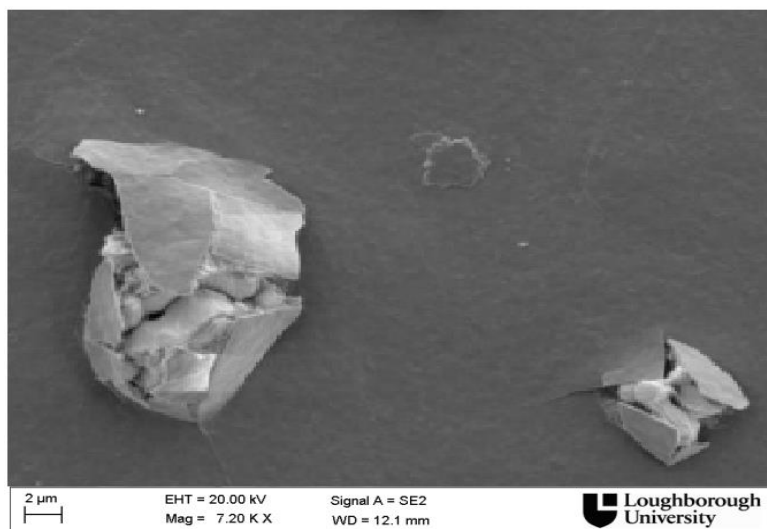


Figura 6.4 Excrescențe whiskers la  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  lipit prin reflow pe cupru

În figura 6.5 avem excrescențe whiskers la lipirea cu ciocanul de lipit. Aceste excrescențe whiskers sunt de tip noduli dar și filament. Factorii care influențează creșterea excrescențelor whiskers de acest tip sunt compușii intermetalici ( $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ) și dislocațiile. Tensiunile interne determinate la lipirea acestui aliaj pe cupru cu ciocanul de lipit sunt de  $\sigma = -10.928\text{MPa}$ . La această probă s-a constatat că prezența compușilor intermetalici de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  care sunt în proporție mai mare la lipirea cu ciocanul de lipit, ducând la creșterea excrescențelor whiskers.

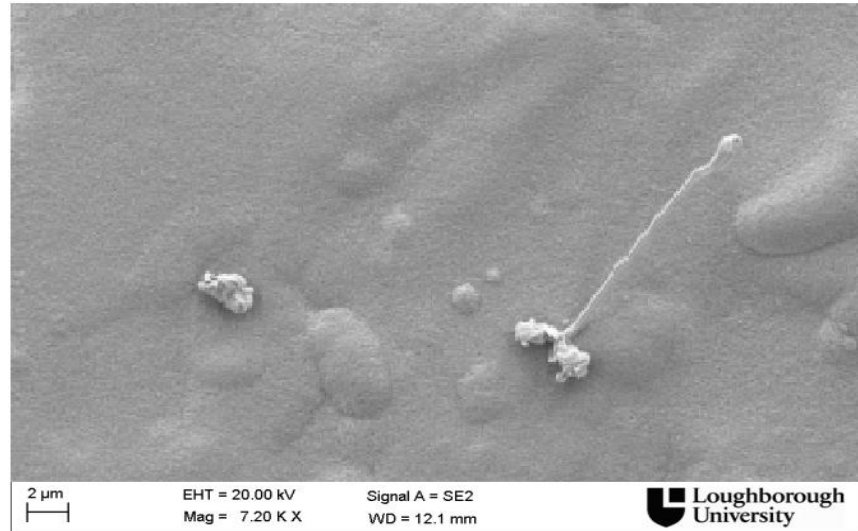


Figura 6.5 Excrescențe whiskers la aliajul Sn<sub>94</sub>Cu<sub>4</sub>Ni<sub>2</sub> la lipirea cu ciocanul de lipit pe cupru

### c) Simularea condițiilor de creștere a excrescențelor whiskers la îmbinările lipite cu Sn<sub>95</sub>Cu<sub>2</sub>Co<sub>3</sub>

La acest aliaj după ce probele au fost ținute în incubator pentru accelerarea excrescențelor whiskers s-au observat excrescențe whiskers la proba lipită pe cupru cu ciocanul de lipit. În figura 6.6 avem prezentate excrescențele whiskers la această probă. La această probă s-a constatat prezența într-o proporție mare a compușilor intermetalici de tipul Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> după analizele efectuate pentru caracterizarea structurală. Tensiunile interne de compresiune determinate au fost  $\sigma = -13.987$  MPa. Aceste tensiuni au fost cele mai mari pentru acest aliaj.



Figura 6.6 Excrescențe whiskers la aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  la lipirea cu ciocanul de lipit pe cupru

**d) Simularea condițiilor de creștere a excrescențelor whiskers la îmbinările lipite cu  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$**

La îmbinările lipite cu  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  nu s-au găsit excrescențe whiskers la nici o probă (figura 6.7). Acest lucru este confirmat și de analizele de caracterizare structurală unde s-a evidențiat absența compușilor intermetalici de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  dar și tensiunile de compresiune cele mai mici.

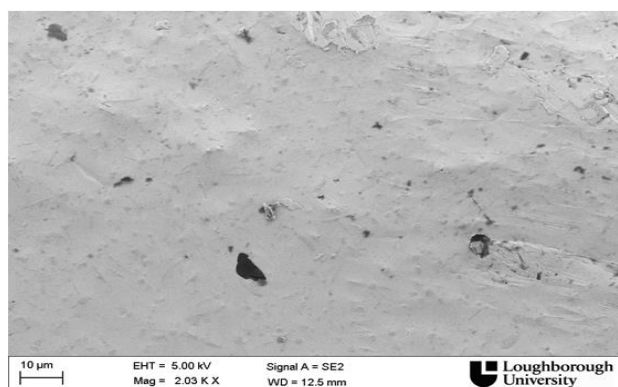


Figura 6.7 Îmbinarea lipită cu  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  pe cupru cu ciocanul de lipit

#### 6.4 Concluzii

În urma supunerii probelor la accelerarea excrescențelor whiskers s-a constatat că avem excrescențe whiskers la aliajul din familia  $\text{Sn}_{99}\text{Ag}_{0,3}\text{Cu}_{0,7}$  comercial lipit atât prin reflow cât și cu ciocanul de lipit. Aceste excrescențe whiskers sunt excrescențe de tip noduli și filament. Factorii care au dus la creșterea excrescențelor whiskers la acest aliaj au fost compușii intermetalici  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ , tensiunile interne și oxidul de staniu.

La aliajul din familia  $\text{Sn}_{94}\text{Cu}_4\text{Ni}_2$  s-au determinat excrescențe whiskers de tip noduli dar și filament la proba lipită cu ciocanul de lipit pe strat de cupru. Tot la acest aliaj avem excrescențe whiskers și la proba lipită prin reflow pe cupru dar sunt foarte mici și nu se poate determina ce tip de excrescențe sunt. La acest aliaj excrescențele whiskers au crescut datorită formării compușilor intermetalici și a tensiunilor interne.

La aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Co}_3$  s-a constatat că excrescențele whiskers au crescut la proba lipită cu ciocanul de lipit pe cupru. Acestea au crescut datorită tensiunilor interne mari.

La aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  nu au crescut excrescențe whiskers. La acest aliaj tensiunile interne au fost cele mai mici. În urma analizelor efectuate pentru caracterizarea structurală s-a constatat o reducere a proporției de compuși intermetalici dar și o granulație mai fină. La toate aliajele lipite pe material de bază cupru acoperit cu staniu nu au crescut excrescențe whiskers, datorită faptului că tensiunile interne la lipirea pe cupru acoperit cu staniu sunt mai mici față de lipirea pe cupru. La probele unde au fost determinate excrescențe whiskers o influență semnificativă privind creșterea acestora o are și materialul de bază pe care s-a făcut lipirea. Aliajul  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  prezentând cele mai mici tensiuni, o granulație fină și absența compușilor intermetalici de tipul  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  este cel mai bun aliaj privind prevenirea excrescențelor whiskers. Din punctul de vedere al materialului de bază utilizat lipirea pe cupru acoperit cu staniu este cel mai bun material de bază privind inhibarea creșterii excrescențelor whiskers. În concluzie soluțiile privind prevenirea creșterii excrescențelor whiskers sunt utilizarea aliajului  $\text{Sn}_{95}\text{Cu}_2\text{Ga}_3$  pentru lipirea componentelor electronice dar și a utilizării unui strat intermediar de staniu deșus pe cupru prin galvanizare.



## 7. Concluzii finale, contribuții originale și direcții viitoare de cercetare

Lipirea componentelor electronice reprezintă un fenomen complex și se realizează cu aliaje de lipire care au o temperatură de topire cuprinsă între 250-350°C. În cazul procesului de lipire este necesar să se ia în considerare o serie de fenomene care pot afecta calitatea suprafețelor îmbinate. Dintre acestea amintim: capilaritatea, difuzia, umectarea, unghiul de contact, întinderea, fluxurile și formarea oxizilor. În funcție de componentele care sunt lipite avem diferite tehnologii de lipire. Tehnologia SMT este tehnologia care se utilizează la asamblarea componentelor de tip SMD folosind lipirea prin reflow. Tehnologia THT este tehnologia care permite asamblarea componentelor de tip THD utilizând lipirea în val. Dacă până în anii 90 aceste componente se lipeau cu ajutorul unor aliaje pe bază de plumb ulterior s-a trecut la înlocuirea acestuia în favoarea aliajelor pe bază de staniu consecință a toxicității plumbului atât pentru mediul înconjurător cât și pentru sănătatea oamenilor.

Trecerea la lipirea componentelor electronice cu aliaje pe bază de staniu a adus beneficii pe plan economic prin automatizarea unor utilități, o creștere ridicată a producției, costuri reduse respectiv profit firmelor producătoare. Defectele apărute în procesul lipirii constituie însă un impediment deseori major al acestor familii de aliaje. Dintre defectele cauzate de lipirea cu aliaje pe bază de staniu se pot aminti: filamentul anodic conductor (CAF), dendritele, ciuma staniului, excrescențele whiskers. Atât CAF cât și dendritele sunt rezultatele migrației electrochimice. Trebuie să se facă deosebirea între CAF și dendrite. CAF este o migrație electrochimică a atomilor de cupru de la anod la catod. Acesta apare în interiorul PCB-urilor între straturile acestuia. CAF este un proces în două etape: degradarea fibrei de sticlă, urmată de reacția electrochimică.

Dendritele se pot vedea cu ochiul liber. Acestea cresc la suprafața PCB-urilor spre deosebire de CAF. Dendritele sunt tot o migrație electrochimică dar de la catod la anod. Procesul de creștere al dendritelor începe cu oxidarea unui metal, care formează ioni metalici la anod, care migrează spre catod, apoi are loc reducerea lor la de metalul de bază. Dendritele sunt o consecință a răcirii foarte lente.

Defectele de tipul excrescențelor whiskers sunt cele mai periculoase și fac obiectul cercetării acestei lucrări. Acestea sunt structuri cristaline conductoare din punct de vedere electric ce cresc la îmbinările lipite. Lungimea excrescențelor whiskers depinde de rata de creștere. De obicei, excrescențele whiskers au o lungime de 500μm și diametru 0.3-10 μm. Cea mai lungă excrescență whiskers care a fost raportată vreodată a avut 10mm. Densitatea excrescențelor whiskers poate varia în funcție de componentele unde sunt determinate acestea. Cea mai mare densitate care a fost raportată a fost de 10<sup>4</sup>/cm<sup>2</sup>. Rata de creștere a excrescențelor whiskers este de 9mm/an. De obicei intensitatea curentului la excrescențele whiskers este de 10~32 mA. Diametrul afectează rezistența electrică a unei excrescențe whiskers.

Avariile produse de excrescențele whiskers s-au întâlnit frecvent în funcționarea reactoarelor nucleare, a sateliților, avioanelor militare, aparaturii medicale, autovehiculelor deseori cu efecte catastrofale.

Factorii care influențează apariția acestor excrescențe whiskers sunt: galvanizarea chimică, procesul de galvanizare, caracteristicile aliajului de lipire, aliajul substratului care se află pe traseele de pe PCB și nu în ultimul rând mediul.

Aliajul de lipire are o influență majoră privind apariția și dezvoltarea excrescențelor whiskers.

Cercetările publicate în literatura de specialitate (capitolul 2) au relevat faptul că principalii factori ai prezenței acestor defecte în imbinările lipite sunt forma și mărimea și orientarea grăunților, grosimea stratului depus, formarea oxidului de Sn, tensiunile interne din material, etc. Astfel se apreciază că apariția excrescențelor este favorizată de:

- structură columnară și o granulație mare
- prezența compușii intermetalici
- formarea și neuniformitatea stratului de oxid de staniu
- crearea tensiunilor interne datorate deformările induse de multiplicarea dislocațiilor

Ca și consecință a celor precizate rezultă că utilizarea unui aliaj de lipire cu o granulație fină și o structură ne-orientată poate fi un factor determinant în diminuarea apariției excrescențelor whiskers.

Cercetările proprii efectuate și prezentate în capitolul 4, au arătat că aliajele pe bază de Sn pot avea, în anumite condiții, o granulație fină ce tinde spre o structură metastabilă. S-a optat pentru alierea cu anumite elemente chimice și utilizarea unor tehnici de răcire ultrarapidă (metoda melt spinning). Se știe că prin această metodă s-au obținut aliaje metastabile și amorfe pentru brazare.

Aliajele studiate au fost cele din familiile:

- Sn-Cu-Ag,
- Sn-Cu-Ni,
- Sn-Cu-Ga,
- Sn-Cu-Co.

Aceste aliaje au fost elaborate sub formă de benzi și caracterizate prin microscopie electronică cu baleaj, difracții de raze X și analiză calorimetrică diferențială. Analizele efectuate au evidențiat existența unei granulații fine ce tinde spre o structură metastabilă la aliajul din familia Sn-Cu-Ga, cu intervale de solidificare recomandabile aliajelor de lipire.

Experimentările privind imbinarea componentele electronice cu aliajele de lipire elaborate au fost prezentate în detaliu în capitolul 5 :

- s-au utilizat două metode de lipire manuală și prin reflow;
- s-au utilizat două materiale de bază: cupru dar și cupru acoperit cu staniu depus prin galvanizare;
- probele obținute s-au utilizat pentru accelerarea formării excrescențelor whiskers și caracterizarea structurală;
- caracterizarea structurală a probelor s-a făcut prin microscopie optică, microscopie electronică, mapping, EDX și difracții de raze X.

Analizele efectuate au relevat reducerea drastică a compușilor intermetalici la aliajul din familia Sn-Cu-Ga. La aliajul din familia Sn-Cu-Ga s-a constatat o granulație foarte fină. Tensiunile interne determinate prin prelucrarea difractogramelor de raze X au avut valorile cele mai mari la aliajul din familia Sn-Cu-Ag comercial. Făcând comparația între cele două metode de lipire cele mai mari tensiuni au fost la lipirea prin reflow iar în cazul materialului de bază utilizat cele mai mari tensiuni au fost la cel de bază cupru.

În urma supunerii probelor la accelerarea excrescențelor whiskers s-a constatat:

- ❖ apariția excrescențelor whiskers de tip noduli și filament, la aliajul din familia **Sn<sub>99</sub>Ag<sub>0,3</sub>Cu<sub>0,7</sub>** comercial lipit atât prin reflow cât și cu ciocanul de lipit Factorii care au dus la creșterea excrescențelor



whiskers la acest aliaj au fost compușii intermetalici, tensiunile interne și oxidul de staniu.

- ❖ evidențierea excrescențe whiskers de tip noduli dar și filament la proba lipită cu ciocanul de lipit pe strat de cupru la aliajul din familia **Sn<sub>94</sub>Cu<sub>4</sub>Ni<sub>2</sub>** cauzate de formarea compușilor intermetalici și a tensiunilor interne; tot la acest aliaj s-au format excrescențe whiskers e drept de dimensiuni foarte mici - și la proba lipită prin reflow pe cupru;
- ❖ prezența excrescențelor whiskers pe proba lipită cu ciocanul de lipit pe cupru la aliajul **Sn<sub>95</sub>Cu<sub>2</sub>Co<sub>3</sub>** ;acestea au crescut datorită tensiunilor interne mari.
- ❖ lipsa excrescențelor la aliajul **Sn<sub>95</sub>Cu<sub>2</sub>Ga<sub>3</sub>** și tensiuni interne mici consecință a proporției reduse de compuși intermetalici dar și a granulației mai fine;
- ❖ la toate aliajele lipite pe material de bază cupru acoperit cu staniu s-a observat atât absența excrescențelor whiskers cât și tensiunile interne mai mici față de lipirea pe cupru; rezultă că o altă posibilă modalitate de prevenire a creșterii excrescențelor whiskers este utilizarea unui strat intermediar de staniu depus electrochimic prin galvanizare electronice dar și a utilizării unui strat intermediar de staniu.

Rezultatele studiilor teoretice respectiv a celor experimentale realizate în cadrul prezentei lucrări permit stabilirea **următoarelor contribuții originale:**

1. S-au sintetizat și ierarhizat factorii care influențează apariția excrescențelor whiskers.
2. S-au elaborat și caracterizat din punct de vedere structural noi aliaje de lipire pe bază de staniu.
3. S-au realizat îmbinări lipite cu noile aliaje prin două tehnologii(ciocan de lipit, reflow).
4. S-a propus o nouă tehnologie de lipire prin utilizarea unui strat intermediar de staniu depus pe cupru prin galvanizare.
5. S-au caracterizat îmbinările lipite din punct de vedere structural și al stării de tensiune.
6. S-a simulat creșterea excrescențelor whiskers la îmbinările lipite.
7. S-a evidențiat că aliajele cu structură foarte fină ce tind spre o structură nanocristalină precum și depunerea unui strat intermediar de staniu contribuie la inhibarea creșterii excrescențelor whiskers.

#### **Direcții viitoare de cercetare:**

- Simularea germinării și creșterii excrescențelor whiskers la îmbinările lipite cu staniu pur atât sub formă de benzi cât și comercial
- Caracterizarea din punct de vedere electric a îmbinărilor lipite cu aliajele sub formă de benzi.
- Realizarea de îmbinări cu noi aliaje sub formă de benzi utilizând atmosferă protectoare.
- Optimizarea profilului termic pentru reflow la fiecare aliaj sub formă de benzi.
- Simularea creșterii excrescențelor whiskers în condițiile mediului ambiant.

**LISTA PUBLICAȚIILOR REZULTATE ÎN URMA TEZEI DE DOCTORAT,  
PUBLICATE SUB AFILIERE UPT**

**1. Lucrări științifice publicate în reviste indexate ISI**

- [1] **Georgiana Melcioiu**, Cosmin Codrean, Florin Marian Cornea, Dacian-Ioan Toșa "The analysis of whiskers growth from structural and statistical point of view" *Metalurgia International* Volume: 18 Special Issue: Pages:39-42 Published: 2013
- [2] Florin-Marian Cornea, Cosmin Codrean, **Georgiana Melcioiu**, Dacian-Ioan Toșa „Non-conventional technology for processing specimens of amorphous alloys in ribbons form used on tensile test”; *Metalurgia International* Volume: 18 Special Issue: 2 Pages:80-84 Published: 2013

**2. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) indexate ISI Proceedings**

- [1] **Melcioiu Georgiana**, Serban Viorel-Aurel, Codrean Cosmin, Locovei Cosmin, Cornea Florin Marian -"Determinig properties of alloys of Ni-Sn-Cu-P in the form of ribbons used for soldering electronic components", *Metal 2012*, 21<sup>ST</sup> International Conference of Metallurgy and Materials, Conference Proceedings, Mai 23-25 Brno Cehia, Pages:1375-1380 Published: 2012 ISBN 978-80-87294-29-1
- [2] **Georgiana Melcioiu**, Viorel-Aurel Șerban, Cosmin Codrean, Ion Dragoș Uțu, Cosmin Locovei „Obtaining and characterization of nanocrystalline alloys for lead-free soldering of electronic components" *Nanocon 4<sup>th</sup> International Conference*, October 23rd - 25th 2012 Brno, Czech Republic, EU ISBN ISBN 978-80-87294-35-2 Pages 18-23
- [3] Cosmin Codrean, Viorel-Aurel Șerban, Bogdan Condriuc, **Georgiana Melcioiu**, Dragoș Buzdugan" Research regarding the obtaining of bulk nanocrystalline aluminium alloys" " *Nanocon 4<sup>th</sup> International Conference*, October 23rd - 25th 2012 Brno, Czech Republic, EU ISBN ISBN 978-80-87294-35-2, Pages 247-253

**3. Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate indexate BDI**

- [1] Florin-Marian Cornea, Viorel-Aurel Șerban, Cosmin Codrean, **Georgiana Melcioiu**, Dragoș Buzdugan „The obtaining and characterization of amorphous alloys in ribbons form used for brazing of advanced materials" *The Bulletin of the National R&D Institute for Welding and Material Testing – 3/2012 ISIM Timișoara*, Romania ISSN 1453-0392

**4. Lucrări științifice publicate în volumele unor manifestări științifice**

- [1] **Georgiana Melcioiu**, Cosmin Locovei, Cosmin Codrean, Dragoș Buzdugan, Florin Marian Cornea" Whiskers growths to printed circuit boards used in the automotive industry" *Scientific Bulletin of the „Politehnica" University of Timisoara*, Romania Transactions on Mechanics Vol. 56 (70) ISSN 1224 - 6077 Fasc. 1,
- [2] **G. Melcioiu**, V. A. Șerban, C. Codrean, D. Buzdugan, F. M. Cornea "Obtaining solder alloys from Sn-Ni-Cu-P family in ribbon form by melt-spinning method for electronic components soldering" *ACM-V XIII<sup>TH</sup> International Symposium Young People and Multidisciplinary Research Organizer: Association for Multidisciplinary Research in the West Zone of Romania Scientific Bulletin „Politehnica" University of Timisoara*, Transactions on Mechanics Tom 56 (70) ISSN 1224 - 6077 Fasc. S1, 2011 pp 43-47
- [3] **Melcioiu Georgiana**, Serban Viorel-Aurel, Codrean Cosmin, Locovei Cosmin, Cornea Florin Marian, Dragoș Buzdugan-"Obtaining solder nanoalloys

- from Sn-Cu-P-Ni family in ribbon form for electronic components soldering” Modtech 2012 Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Conference Modern Technologies, Quality and Innovation, Volume II, Mai 24-26, Sinaia, Romania, ISSN 2069-6736 PP.545-548
- [4] **G. Melcioiu**, V.A. Șerban, C. Codrean, F. M. Cornea, D. Buzdugan “New solders with Sn-based alloys elaborated by melt-spinning method for electronic components soldering” Timisoara Romania Tima 2012 The 6<sup>th</sup> International Conference Innovative Technologies for Joining Advanced Materials
- [5] **Georgiana Melcioiu**, Viorel-Aurel Șerban, Geoffrey Wilcox, Mark Ashworth, Cosmin Codrean, Marin Lita „An evaluation of Sn-Cu-Ga and Sn-Cu-Ag solder alloys for applications within the electronics industry” 5<sup>th</sup> International Conference on Advanced Materials and Structures – AMS’ 13 Timisoara, 24- 25 October 2013 ISBN 2248-0781

## Anexe

Anexa 1 Probe lipite prin reflow

| Probe lipite prin reflow             |                | Profilul termic la reflow |           |           |
|--------------------------------------|----------------|---------------------------|-----------|-----------|
| Familii de aliaje                    | Numărul probei | 270°C                     | 290°C-30s | 290°C- 1m |
| Sn-Cu-Ga pe Cu                       | 21.1           | ✓                         |           |           |
|                                      | 21.2           | ✓                         |           |           |
|                                      | 21.3           | ✓                         |           |           |
|                                      | 21.4           | ✓                         |           |           |
|                                      | 21.5           | ✓                         |           |           |
|                                      | 21.6           | ✓                         |           |           |
|                                      | 21.7           | ✓                         |           |           |
|                                      | 21.8           | ✓                         |           |           |
|                                      | 21.9           |                           |           | ✓         |
|                                      | 21.10          |                           |           | ✓         |
|                                      | 21.11          |                           |           | ✓         |
|                                      | 21.12          |                           |           | ✓         |
| Sn-Cu-Ga pe cupru acoperit cu staniu | 22.1           | ✓                         |           |           |
|                                      | 22.2           | ✓                         |           |           |
| Sn-Cu-Ni pe Cu                       | 23.1           | ✓                         |           |           |
|                                      | 23.2           | ✓                         |           |           |
|                                      | 23.3           | ✓                         |           |           |
|                                      | 23.4           | ✓                         |           |           |
|                                      | 23.5           | ✓                         |           |           |
|                                      | 23.6           |                           |           | ✓         |
|                                      | 23.7           |                           |           | ✓         |
|                                      | 23.8           |                           | ✓         |           |
|                                      | 23.9           |                           | ✓         |           |
|                                      | 23.10          |                           |           | ✓         |
|                                      | 23.11          |                           | ✓         |           |
| Sn-Cu-Ni cupru acoperit cu staniu    | 24.1           | ✓                         |           |           |
|                                      | 24.2           | ✓                         |           |           |
|                                      | 24.3           | ✓                         |           |           |
|                                      | 24.4           | ✓                         |           |           |
| Sn-Cu-Ag pe Cu                       | 25.1           | ✓                         |           |           |
|                                      | 25.2           | ✓                         |           |           |

|  |       |   |  |   |
|--|-------|---|--|---|
| benzi  | 25.3  | ✓ |  |   |
|  | 25.4  | ✓ |  |   |
| Sn-Cu-Ag pe cupru acoperit cu staniu benzi     | 26.1  | ✓ |  |   |
|  | 26.2  | ✓ |  |   |
| Sn-Cu-Co electroplating                        | 27.1  |   |  | ✓ |
|  | 27.2  |   |  | ✓ |
| Sn-Cu-Co pe Cu                                 | 28.1  |   |  | ✓ |
|  | 28.2  |   |  | ✓ |
|  | 28.3  |   |  | ✓ |
|  | 28.4  | ✓ |  |   |
|  | 28.5  | ✓ |  |   |
|  | 28.6  | ✓ |  |   |
|  | 28.7  | ✓ |  |   |
|  | 28.8  | ✓ |  |   |
|  | 28.9  | ✓ |  |   |
|  | 28.10 | ✓ |  |   |
|  | 28.11 | ✓ |  |   |
| Sn-Cu-Ag comercial pe cupru acoperit cu staniu | 29.1  | ✓ |  |   |
|  | 29.2  | ✓ |  |   |
| Sn-Cu-Ag comercial pe Cu                       | 30    | ✓ |  |   |

Total 51 probe  
 39 pe Cu  
 12 pe cupru acoperit cu staniu  
 Total 35 probe bune  
 10 probe bune pe cupru acoperit cu staniu  
 20 samples pe Cu

| Familii de aliaje | Profil termic |      |            |      |           |      | Total probe | Total probe bune | Total Probe necorespunzătoare |
|-------------------|---------------|------|------------|------|-----------|------|-------------|------------------|-------------------------------|
|                   | 270°C         |      | 290°C- 30s |      | 290°C- 1m |      |             |                  |                               |
|                   | goods         | bads | goods      | bads | goods     | bads |             |                  |                               |
| Sn-Cu-            | 8             | 0    | 0          | 0    | 0         | 4    | 12          | 8                | 4                             |

|  |         |   |         |   |          |   |    |   |   |
|--|---------|---|---------|---|----------|---|----|---|---|
| Ga<br>pe Cu  | Total 8 |   | Total 0 |   | Total; 4 |   |    |   |   |
| Sn-<br>Cu-<br>Ga pe<br>cupru<br>acope<br>rit cu<br>stani<br>u    | 2       | 0 | 0       | 0 | 0        | 0 | 2  | 2 | 0 |
|  | Total 2 |   | Total 0 |   | Total 0  |   |    |   |   |
| Sn-<br>Cu-Ni<br>pe Cu  | 3       | 2 | 0       | 3 | 3        | 0 | 11 | 6 | 5 |
|  | Total 5 |   | Total 3 |   | Total 3  |   |    |   |   |
| Sn-<br>Cu-Ni<br>pe<br>cupru<br>acope<br>rit cu<br>stani<br>u     | 2       | 2 | 0       | 0 | 0        | 0 | 4  | 2 | 2 |
|  | Total 4 |   | Total 0 |   | Total 0  |   |    |   |   |
| Sn-<br>Cu-<br>Co<br>pe<br>cupru<br>acope<br>rit cu<br>stani<br>u | 0       | 0 | 0       | 0 | 2        | 0 | 2  | 2 | 0 |
|  | Total 0 |   | Total 0 |   | Total 2  |   |    |   |   |
| Sn-<br>Cu-<br>Co pe<br>Cu  | 5       | 3 | 0       | 0 | 1        | 2 | 11 | 6 | 5 |
|  | Total 8 |   | Total 0 |   | Total 3  |   |    |   |   |
| Sn-<br>Cu-<br>Ag<br>pe<br>benzi                                  | 4       | 0 | 0       | 0 | 0        | 0 | 4  | 4 | 0 |
|  | Total 4 |   | Total 0 |   | Total 0  |   |    |   |   |
| Sn-<br>Cu-<br>Ag pe<br>cupru<br>pe                               | 2       | 0 | 0       | 0 | 0        | 0 | 2  | 2 | 0 |
|  | Total 2 |   | Total 0 |   | Total 0  |   |    |   |   |

|  |         |    |         |   |         |   |    |    |   |
|--|---------|----|---------|---|---------|---|----|----|---|
| acoperit cu staniu benzi                       |         |    |         |   |         |   |    |    |   |
| Sn-Cu-Ag comercial pe cupru acoperit cu staniu | 2       | 0  | 0       | 0 | 0       | 0 | 2  | 2  | 0 |
|  | Total 1 |    | Total 0 |   | Total 0 |   |    |    |   |
| Sn-Cu-Ag comercial pe pe Cu                    | 1       | 0  | 0       | 0 | 0       | 0 | 1  | 1  | 0 |
|  | Total 1 |    | Total 0 |   | Total 0 |   |    |    |   |
| Total  | 25      | 11 | 0       | 3 | 5       | 7 | 51 | 30 |   |

**Anexa 2. Diagrame de echilibru**

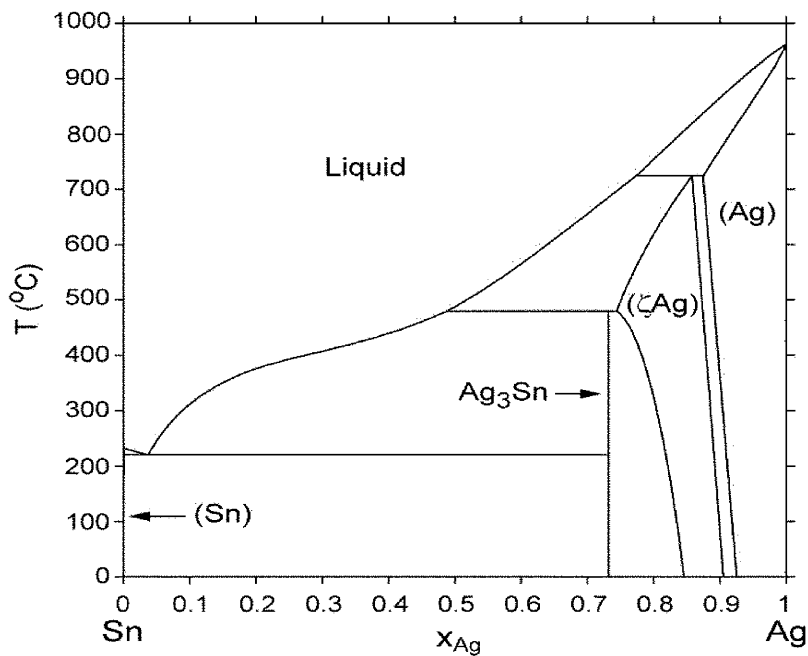


Figura A 2.1 Diagrama de echilibru pentru Sn-Ag



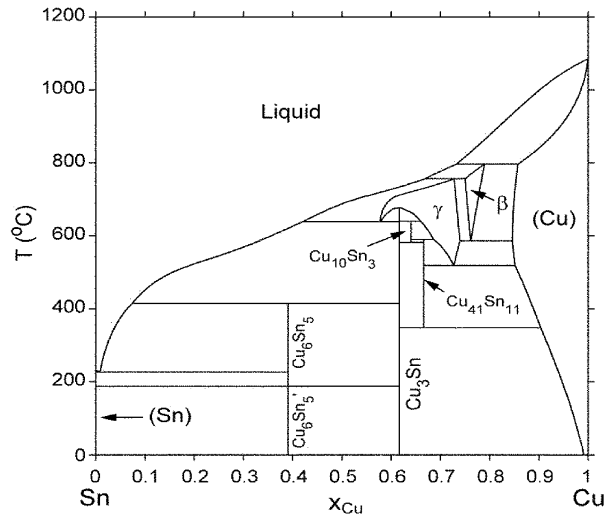


Figura A 2.2 Diagrama de echilibru pentru Sn-Cu

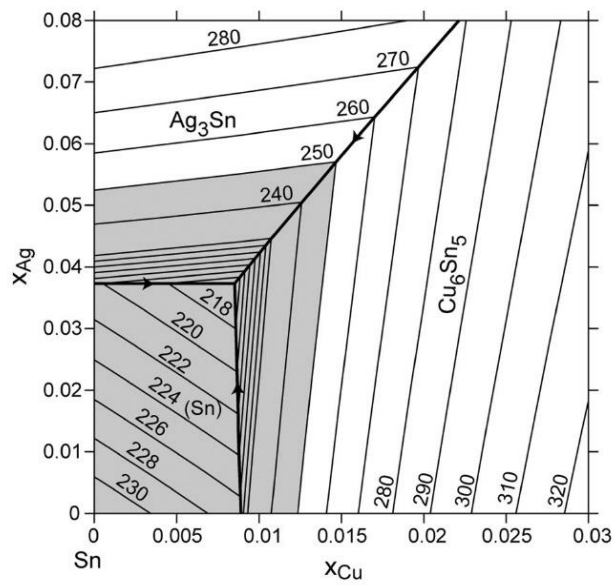


Figura A 2.3 Diagrama de echilibru pentru Sn-Cu-Ag

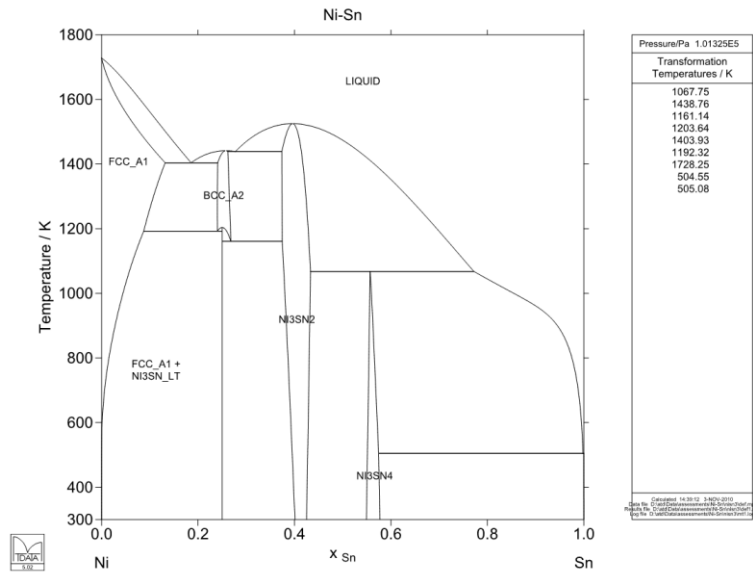


Figura A 2.4 Diagrama de echilibru pentru Sn-Ni

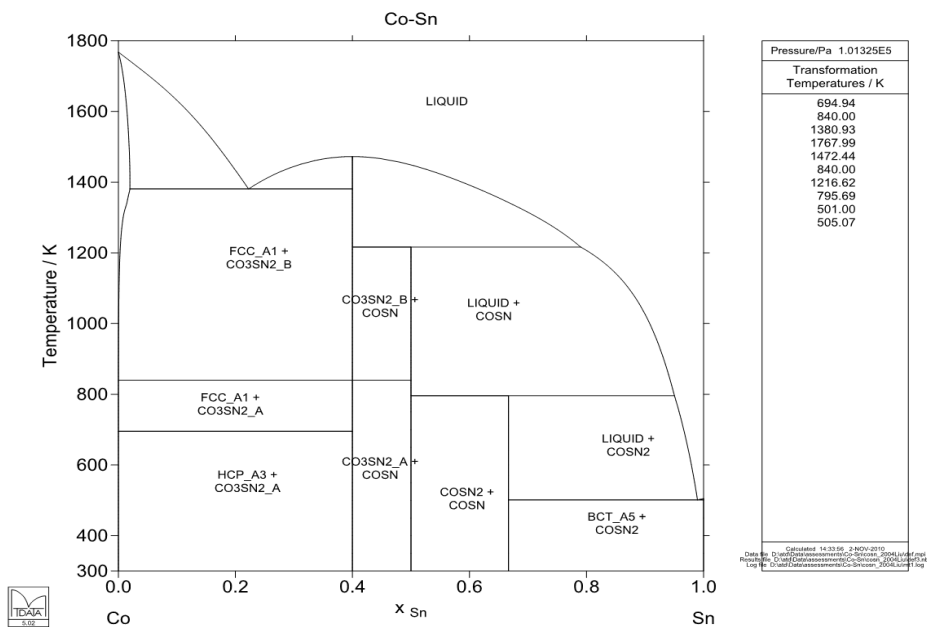


Figura A 2.5 Diagrama de echilibru pentru Co-Sn

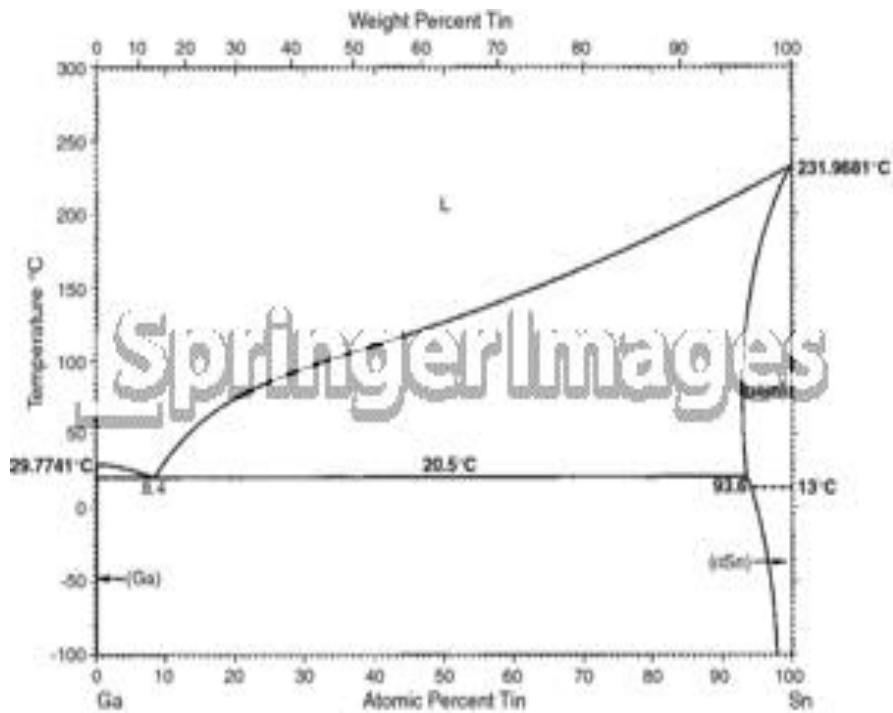


Figura A 2.6 Diagrama de echilibru pentru Ga-Sn

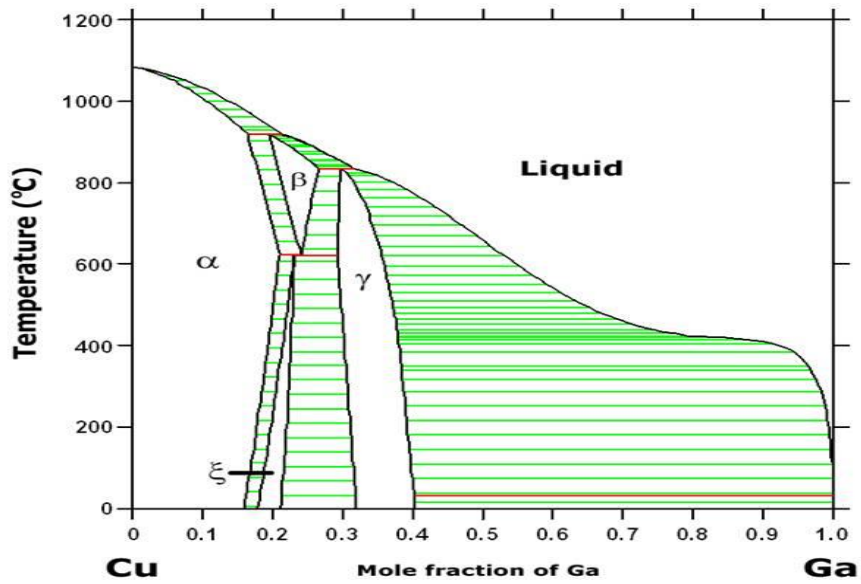


Figura A 2.7 Diagrama de echilibru pentru Cu-Ga

## Bibliografie

- [1] **adafruit learn** <http://learn.adafruit.com/adafruit-guide-excellent-soldering/common-problems>
- [2] **Akiko Kobayashi Yuichi Aoki, Keiko Toi Technical Development Headquarters** „Evaluating the CAF (conductive anodic filament) resistance of multi-layered PWBs”, -Espec Technology Report No.24 , 2010.
- [3] **Alan Brewin, Zou Ling și Hunt Christopher** „Susceptibility of glass-reinforced epoxy laminates to conductive anodic filamentation”, Materials Centre National Physical Laboratory Teddington, Middlesex UK. TW11 0LW, Crown 2004, ISSN 1473 2734, January 2004- pg. 1-57.
- [4] **Arnold S M** „The Growth of metal whiskers on electrical components”, Proceedings of the IEEE Electronic Component Conference, 1959, pg. 75-82.
- [5] **Ashworth A. Mark [și alții]** „An investigation into zinc diffusion and tin whisker growth for electroplated tin deposits on brass” ,Journal of ELECTRONIC MATERIALS, Loughborough, Leicestershire LE11 3TU, UK, 2014,- DOI: 10.1007/s11664-014-2983-y.
- [6] **Bhanu Sood, Osterman Michael și Pecht Michael** „Tin whisker analysis of Toyota's electronic throttle controls”, Circuit World, Emerald Group Publishing Limited, 2011, ISSN 0305-6120, Vol. 37/3, pg. 4-9.
- [7] **Brusse J. A., G. J. Ewell, and J. P. Siplon,** „Tin Whiskers: mitigation”, Attributes and proceedings of 22nd Capacitor and Resistor Technology Symposium, 25-29 March, 2002,- pg. 67-80.
- [8] **Bunyan D [și alții]** „Tin whisker growth from electroplated finishes - a review”, Transactions of the Institute of Metal Finishing, 2013, 91(5), pp.249-259, DOI: 10.1179/0020296713Z.000000000119.
- [9] **Burns Douglas Neil** „A tin pest failure” (2009) 9:461-465, DOI 10.1007/s11668-009-9280-8, IMR Test Labs, Lansing, NY, USA, ASM International , 2009, Springer. - 2009. - pg. 461-465.
- [10] **Carol Handwerker Ursula Kattner, Kil-Won Moon** „Fundamental properties of Pb-free solder alloys” - New York: Springer <http://www.springer.com/978-0-387-32466-1>, 2007.
- [11] **Center NASA Goddard Space Flight** „Tin Whisker (and Other Metal Whisker)” <http://nepp.nasa.gov/whisker>,- April 2005,-2010,
- [12] **Chason Eric [și alții]** „How do whiskers and hillocks grow in Pb-free Sn coatings?”, Brown University, Div. of Engineering, SMTA 2010 Orlando, Fl.- Brown, 2010.
- [13] **Chen K și Wilcox G D** „Observations of the spontaneous growth of tin whiskers on tin-manganese alloy electrodeposits”, Physical Review Letters, vol.94, no.6, 18 Feb. 2005.
- [14] **Chicot D [și alții]** „Mechanical properties of an Al91-Mn6-Nd3 nanostructured alloy” Materials Science and Engineering, 2011, pg. 7041-7051.
- [15] **Chiu Tsung-Chieh și Lin Kwang-Lung** „Tin whiskers induced within the unreacted solder are believed to be due to the mechanical stress induced by this IMC rotation” Microstructural electromigration through a Cu/Sn3.5Ag/Au solder joint Scripta Materialia, Elsevier Ltd. , 2009, 60, pg. 1121-1124.

- [16] **Clyde F. Coombs Jr.** „*Printed circuits handbook*“, Sixth Edition Printed circuits handbook, Sixth Edition.- New York : The McGraw-Hill, 0-07-146734-3, DOI: 10.1036/0071467343, 2008.
- [17] **Cobb H L** „*Cadmium whiskers*“, Monthly Review of American Electroplaters Society, Vol. 33, No. 28, January 1946, pg. 28-30.
- [18] **Courey Karim Joseph** „*An investigation of the electrical short circuit Characteristics of Tin Whiskers*“ University of Miami, Karim.J.Courey@nasa.gov. – 2008, pg. 30-37.
- [19] **Crandall Erika R.** „*Factors governing tin whisker growth*“- Auburn: A dissertation submitted to the Graduate Faculty of Auburn University Doctor of Philosophy, 2012.
- [20] **darby** worksheet
- [21] **Dorn L** „*Hartlöten Grundlagen und Anwendungen*“ - Expert Verlag, 1985.
- [22] **Dunn B D** „*Mechanical and electrical characteristics of tin whiskers with special reference to spacecraft systems*“, European Space Agency, 1988.
- [23] **Dunn B D** „*Whisker Formation on Electronic Materials*“, Circuit World, Vol. 2, No. 4, pp. 32-40, 1976.
- [24] **Electronic Cookson** „*SMT troubleshooting guide easy-to-use advice for common SMT assembly*“, Surrey, UK: www.alpha.cooksonelectronics.com, <http://www.solderworld.net/docs/SMT-troubleshooting-guide.pdf>, 2008.
- [25] **Fitzpatrick M.E.** „*Determination of residual stresses by X-ray diffraction*“ Issue 2 University, Teddington, Middlesex, United Kingdom : September 2005 ISSN 1744-3911, 2005.
- [26] **Furuta N și Hamamura K** „*Growth mechanisms of proper tin-whisker*“, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 9, No. 12, 1969, pg. 1404-1410.
- [27] **Ganesan Sanka, Pecht Michael** „*Lead-free electronics*“- New Jersey 10987654321 Copyright 2006 by John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [28] **Horváth Barbara** „*Examination of tin whisker growth in electronic assemblies*“, Budapest, Ph.D. thesis, 2012.
- [29] <http://blogs.indium.com/blog/tombstoning>, 2013- 5 1 2014
- [30] <http://learn.adafruit.com/adafruit-guide-excellent>
- [31] **soldering/common-problems**, <http://learn.adafruit.com/adafruit-guide-excellent-soldering/common-problems>.-2013.-4.1.2014
- [32] [http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0127\\_hjm/index.html](http://www.ami.ac.uk/courses/topics/0127_hjm/index.html)
- [33] **J.W Plumbridge** „*Tin pest issues in lead-free electronic solders*“ Published online: 27 September 2006 , Springer Science+Business Media, LLC 2006 , The Open University, Milton Keynes, UK , DOI 10.1007/s10854-006-9025-3, J Mater Sci: Mater Electron (2007) 18:307–318,- 2006, Mater Sci. Mater Electron (2007) 18:307–318.
- [34] **Jacobson Giles Humpston David M.** „*Principles of soldering*“- Ohio: 4/1/2004, ISBN 0-87170-792-6, ASM International®, Materials Park, Ohio 44073-0002, 2004.
- [35] **Jadhav N [și alții]** „*Real-time SEM/FIB studies of whisker growth and surface modification*“, JOM, 2010, No. 7, Vol. Vol. 62,- pg. 30-37.
- [36] **John H. Lau C. P. Wong, Ning-Cheng Lee, S. W. Ricky Lee** „*Electronics manufacturing with lead free*“, New York, 2003 by The McGraw-Hill Companies, Inc. DOI: 10.1036/0071386246, 2003.

- [37] **Judd M și Brindley K.** „*Soldering in electronics assembly*”, Editura Tree Planta, Butterworth-Heinemann Ltd, 1999, pg. 120-150, ISBN: 0750635452 ISBN: 9780750635455.
- [38] **Karavakis Konstantine (Gus) și Bertling Silvio Park** „*Conductive anodic filament (CAF)*”, The Threat to Miniaturization of the Electronics Industry Packaging Reliability, Nelco Inc., Tempe, AZ , MEPTEC REPORT / QUARTER FOUR 2004, www.meptec.org - 2004 pg. 24-27.
- [39] **Karim Joseph Courey** „*An investigation of the electrical short circuit characteristics of tin whiskers*”, Miami, Coral Gables, Florida University of Miami, Karim.J.Courey@nasa.gov, 2008.
- [40] **Katsuaki Suganuma [și alții]** „*Sn whisker growth during thermal cycling*” Acta Materialia 59, Published by Elsevier Ltd, 2011, Vol. 59. pg. 7255–7267.
- [41] **Kattner Ursula R.** „*Phase diagrams for lead-free solder alloys*” ,JOM - 2002 pg. 45-51.
- [42] **Kim K S [et al.]** “*Investigation of relation between intermetallic and tin whisker growths under ambient condition*”, Microelectronics Reliability,Ed. Ltd. 2007 Elsevier, Science Direct, 2008, 48, pp. 111–118.
- [43] **Kurtz Olaf [și alții]** „*Big grain and flat morphology-A new tin electrolyte for minimal whiskering and excellent solderability*”, Metal Finishing, 2010, pg. 22-28.
- [44] **Lasky Ronald C** „*Tin pest: a forgotten issue in lead-free soldering?*” Dartmouth College ,Indium Corporation of America, Utica, NY , rlasky@indium.com.- 2010.
- [45] **Lasky Ronald C.** „*Tin pest: exclusive threat in lead-free soldering?*” ASM International 2010, 10:(437–443), DOI 10.1007/s11668-010-9391-2 Submitted: 18 August 2010 / Published online: 19 October, 2010, pg. 437-443.
- [46] **Lawson Wayne** „*The effects of design and environmental factors on the reliability of electronic products*”, Salford, Degree of Doctor of Philosophy, December 2007, Materials Research Institute (MRI), University of Salford, Salford, UK,, 2007.
- [47] **Lee Ning-Cheng** “*Reflow soldering processes and troubleshooting: SMT. BGA, CSP and flip chip technologies*”, Copyright 2002 by Newnes, an imprint of Butterworth-Heinemann, Planta Tree, 10987654321, 2002.
- [48] **Leidecker H și Kadesch J S** “*Effects of uralane conformal coating on tin whisker growth*”, Proceedings of IMAPS Nordic, the 37 Annual Conference, 10-13 September, 2000, pg. 108-116.
- [49] **Liță Marin** „*Tehnici pentru investigația materialelor –aplicații*”, Timișoara, Editura Politehnica, 2009, Vol. 1,ISBN 978-973-625-837-4.
- [50] **Lucian Feraru, Robert Rosca, Corneliu Tanco, Iacob Nicolae Trif** „*Tehnologii de lipire și brazare în industria electrotehnică (Technology soldering and brazing in the electrical industry)*” Buletin AGIR nr 1/2011 ianuarie-martie, ISSN-L 1224-7928, ISSN 2247-3548.- 2011, pg. 64-69.
- [51] **Ma Hongtao** „*Characterization of lead-free solders*” - Auburn: A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of Auburn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy , Auburn, Alabama May 10, 2007.

- [52] **Maawad E. K. S.** „Residual stress analysis and fatigue behavior of mechanically surface treated titanium alloys”, Geesthacht, Technischen Universität Claustha, 2013.
- [53] **Melcioiu Georgiana [și alții]** „An evaluation of Sn-Cu-Ga and Sn-Cu-Ag solder alloys for applications within the electronics industry”, Advanced Materials Structures, Timișoara, 2013.
- [54] **Melcioiu Georgiana [și alții]** „The analysis of whiskers growth from structural and statistical point of view”, București, Metalurgia International, Romat, 2012.
- [55] **Melcioiu Georgiana [și alții]** „Whiskers growths to printed circuit boards used in the automotive industry”, Timisoara, Scientific Bulletin of The „Politehnica” University of Timisoara, Romania Transactions on Mechanics, 2011, Fasc. 1, Vol. Vol. 56 (70), ISSN 1224 - 6077 .
- [56] **MML** „Lead-free surface finishes for electronic components”, Tin Whisker Growth, October, 2005,  
[http://www.nist.gov/mml/msed/thermodynamics\\_kinetics/lead-free\\_surface\\_finishes.cfm](http://www.nist.gov/mml/msed/thermodynamics_kinetics/lead-free_surface_finishes.cfm).
- [57] **Nakai K [și alții]** „A model for nucleation of tin whisker through dislocation” International Conference on Advanced Structural and Functional Materials Design 2008, Journal of Physics: Conference Series 165 (2009) 012089 IOP Publishing, 2009- pg. 1-4.
- [58] **NASA** „Parts advisory: tin whiskers”, NA-044,  
<http://nepp.nasa.gov/npsl/Prohibited/na-044.pdf>. - June 2004 - 2010
- [59] **Nitin Jadhav [și alții]** „Understanding the correlation between intermetallic growth, stress evolution, and Sn whisker nucleation,” IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRONICS PACKAGING MANUFACTURING, BBROWN UNIVERSITY, 2010.
- [60] **Novastar DDM** „Selective solder troubleshooting guide - boro line road”, PA 19406, USA: 2009 DDM Novastar LLC Prices and Specifications subject to change without notice, 2009.
- [61] **Osman Anderoglu** „Residual stress measurement using x-ray diffraction”, Texas A&M University , 2004 .
- [62] **Osterman M [și alții]** „Evaluation of faradayic plating method for controlling tin whisker growth” ,Maryland, University of Maryland, CALCE EPSC, 2007.
- [63] **Osterman M** „Mitigation strategies for tin whiskers”, CALCE EPSC, University of Maryland, Maryland, <http://www.calce.umd.edu/lead-free/tin-whiskers/TINWHISKERMITIGATION.pdf>, Aug., 2002.
- [64] **Osterman M.** „Assessing the risk posed by tin whiskers” Retrieved November 27, <http://www.calce.umd.edu/lead-free/STMAKeyNote.pdf>. 27 11 2006- 15 2 2010,
- [65] **Osterman M.** „Mitigation strategies for tin whiskers” <http://www.calce.umd.edu/lead-free/tin-whiskers/>,2002-2010,
- [66] **Panashchenko Lyudmyla** „Evaluation of environmental tests for tin whisker assessment”, Maryland, Masters of Science, 2009



- [67] **Panashchenko Lyudmyla și Osterman Michael** „*Examination of nickel underlayer as a tin whisker mitigator*”, Center for Advanced Life Cycle Engineering, Maryland University, San Diego, IEEE ECTC Conference, 2009.
- [68] **Plumbridge J.W.**, „*Tin pest issues in lead-free electronic solders*”, DOI 10.1007/s10854-006-9025-3, The Open University, Milton Keynes, UK, W. J. Plumbridge , Springer Science+Business Media, LLC 2006, Published online: 27 September 2006, J Mater Sci: Mater Electron (2007) 18:307–318. - 2006. - pg. 307-318.
- [69] **Prevéy Paul S.** „*Current applications of x-ray diffraction residual stress measurement*”, Lambda Technologies/ ed. ASM International Materials Park, OH, 1996, pg 103-110
- [70] **Puttlitz Karl J.** „*Handbook of lead-free solder technology for microelectronic assemblies*”- New York: Marcel Dekker, Inc. All Rights Reserved. 10987654321, 2004.
- [71] **Qian Sun și Selvaduray Guna** „*Understanding and minimizing tin whiskers, a review of the literature*”, Chemical & Materials Engineering Department, San Jose State University, 2003.
- [72] **Ready W.J. și Turbini L.J.** „*The effect of flux chemistry, applied voltage, conductor spacing and temperature on conductive, anodic filament formation*” Journal of Electronic Materials, Vol. 31, No. 11, 2002 Special Issue Paper MicroCoating Technologies, (Received February 13, 2002; accepted May 21, 2002) Atlanta, Centre for Microelectronics Assembly and Packaging, University of Toronto, 2002, pg. 1208-1224.
- [73] **Șerban V A, [și alții]** „*Technological solutions to reduce energy consumption by obtaining of advanced brazing alloys selected*” Topics in Energy, Environment, Sustainable Development and Landscaping, Timisoara, 2010, Vol. 1. pg. 176-181, ISSN: 1792-5924, ISSN: 1792-5940.
- [74] **Șerban V.A. [și alții]** „*Amorphous alloys for brazing copper based alloys*” Conference Series The 13th International Conference on Rapidly Quenched and Metastable Materials, - Brasov: Journal of Physics,, 2009 - Vol. 144- pg. 1-4 ISBN. 1742-6596.
- [75] **Șerban Viorel-Aurel și Codrean Cosmin** „*Metale amorfe și nanocristaline*”, Timișoara, Editura Politehnica, 2007, ISBN 978-973-625-405-5.
- [76] **Șerban Viorel-Aurel și Răduță Aurel** „*Știința și ingineria materialelor*”, Timișoara, Editura Politehnica, 2006, ISBN (10) 973-625-322-8.
- [78] **Silverstein S** „*Reasons for failure lost with galaxy 4*”, August 17 - 23, 1998.
- [79] **Smetana Joe** „*Theory of tin whisker growth*” iNEMI Tin Whisker Workshop at ECTC May 31, 2005.
- [80] <http://learn.adafruit.com/adafruit-guide-excellent-soldering/common-problems>, 2013-4.1.2014
- [81] **Strauss Rudolf** „*SMT soldering handbook*” - Manchester, Great Britain : ISBN 0 7506 35894, Typeset by Vision Typesetting, Printed and bound in by Biddles Ltd of Guildford and King’s Lyn, 1994.
- [82] **Sun Qian** „*Understanding and minimization of tin whiskers*”, In Partial Fulfillments of Requirements, 2003.



- [83] **Tong Fang** „*Tin whisker risk assessment studies*” Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2005, Maryland.
- [84] **Toshiba** „*Toshiba leading innovation mechanical & systems engineering solder joint thermal fatigue crack propagation simulation*”, Toshiba Leading Innovation, 2013, [http://www.toshiba.co.jp/rdc/rd/fields/06\\_t34\\_e.htm](http://www.toshiba.co.jp/rdc/rd/fields/06_t34_e.htm).
- [85] **Turbini Laura J.** „*Conductive anodic filament (CAF) formation: an historic perspective*” HKPCA Journal No.18 University of Toronto ,Ontario, Canada, [www.pdfactory.com](http://www.pdfactory.com), 2005, pg. 1-18.
- [86] **Vaszilcsin Nicolae** „*Introducere în electrochimie*”- Timișoara: Editura Politehnica, 2009,- ISBN 978-973-625-978-4.
- [87] **Wickham Martin [și alții]** „*Developing a test method to characterise internal stress in tin coatings: phase 2*”, NPL Report DEPC-MPR 014 / ed. Teddington Middlesex, UK, TW11 0LW. - 2005. - pg. 1-23. - ISSN 1744-0270.
- [88] [http://ro.wikipedia.org/wiki/Tensiune\\_superficial%C4%83](http://ro.wikipedia.org/wiki/Tensiune_superficial%C4%83), 13.7.2013.- 26.9.2013-
- [89] <http://ro.wikipedia.org/wiki/Galvanizare>
- [90] **Wilcox GD** „*Tin whisker growth from electroplated finishes*”, In Transfair 2013, Department of Materials, Loughborough University, Leicestershire, LE11 3TU, UK,- Loughborough, Heritage Motor Centre, Gayden, Warwickshire, UK, 2013, pg. 1-22
- [91] **Wilcox GD** „*Tin whiskers research at Loughborough University*” In R2i Connecting Research to Industry, Loughborough, 2012, pg.1-1.
- [92] **Wilcox GD [și alții]** „*Tin and zinc whisker growth from electroplated finishes*” In Interfinish 2012,- Milan, Italy, 2012, pg. 1-1.
- [93] **Wilcox GD, Wang J și Ashworth MA** „*An investigation into the role of lead as a suppressant for tin whisker growth in electronics*”, In 6th International Symposium on Tin Whiskers, Loughborough University, pg.1-1, 2012.
- [94] **Yu Cheng-Fu, Chan Chi-Ming și Hsieh Ker-Chang** „*The effect of tin grain structure on whisker growth*”, Microelectronics Reliability, 2010, Elsevier Ltd., pg. 1146-1151.
- [95] **Yung Winco K.C.** „*Conductive anodic filament: mechanisms and affecting factors*” HKPCA Journal Issue 21, PCB Technology Centre, Department of Industrial and Systems Engineering, The Hong Kong Polytechnic University – 2010, pg. 1-6.