

热—剪切循环条件下 Sn3.5Ag0.5Cu/Ni 界面化合物生长行为

齐丽华， 黄继华， 赵兴科， 张 华  
(北京科技大学 材料科学与工程学院 北京 100083)

摘 要: 对热—剪切循环条件下(25~125 ℃) Sn3.5Ag0.5Cu/Ni 界面上原子扩散和化合物的生长行为进行了研究, 并将其与恒温时效条件下界面化合物的生长行为进行了比较。结果表明, 再流焊后, 在 Sn3.5Ag0.5Cu/Ni 界面上形成  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物; 随着热—剪切循环周数的增加,  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物形态从笋状向平面状生长; 热—剪切循环 200 周后,  $(\text{Ni}_x\text{Cu}_{1-x})\text{Sn}_3$  化合物在  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物周围形成并呈片状快速长大。界面近域的钎料内, 颗粒状的  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  聚集长大成块状。界面金属间化合物的厚度随循环周数的增加而增加, 且生长基本遵循抛物线规律, 说明 Cu 原子的扩散控制了  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物的生长。

关键词: 热—剪切循环; 金属间化合物; 钎料; 界面

中图分类号: TG425 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2007)12-061-04



齐丽华

0 序 言

表面组装中钎焊焊点的可靠性和稳定性对集成电路的可靠性具有决定性影响。在已开发研究的众多无铅钎料中, Sn-Ag-Cu 系合金具有优良的润湿性能和力学性能, 已被认为是最有前景的 Sn-Pb 系钎料的替代合金<sup>[1,2]</sup>。

目前, 国内外对 SnAgCu/Cu 或者镀镍铜界面反应已有很多研究, 但主要集中在恒温时效或热循环过程中热效应对焊点界面化合物的组织结构和生长行为的影响方面<sup>[3]</sup>。Ni 作为阻挡层金属镀层已经被广泛应用, 也有人提出用纯镍金属薄膜代替铜薄膜的想法, 但是目前还没有关于 SnAgCu/Ni 界面化合物生长行为研究的相关报道。而且, 焊点在承受热循环温度载荷时, 由于印刷电路板、焊接钎料和表面组装元器件的线膨胀系数存在很大差异, 焊点内部还存在应力应变循环(这也是焊点在热循环作用下失效的根本原因)。作者研究了热—剪切循环条件下 Sn3.5Ag0.5Cu/Ni 界面的显微结构。应用扫描电镜和能谱分析等手段, 研究了界面及其近域金属间化合物在热—剪切循环条件下的生长行为。

1 模拟试块及其检测

试验采用模拟试样, 由铜条和钨条在两端钎焊而成, 利用钨与芯片、铜与 FR4 电路板的线膨胀系数接近的特点(线膨胀系数  $\alpha$  为  $4.59 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , Cu 为  $16.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ), 热循环的同时在接头中产生剪切应力应变循环。制作试样时先将镍箔(5 mm×5 mm×0.1 mm)与钨条( $\phi 8 \text{ mm}$ )用 BNi-2 钎料箔在真空度为  $1.6 \times 10^{-4} \text{ Pa}$  条件下 1 120 ℃高温钎焊在一起, 然后用 Sn3.5Ag0.5Cu 软钎料将镍箔的另一侧与铜条钎焊好, 如图 1 所示。

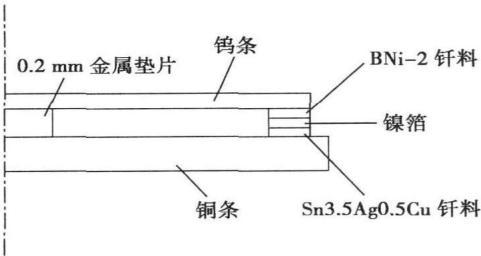


图 1 热—剪切循环试验的模拟半试样示意图  
Fig 1 Schematic diagram of thermal-shearing cycling test half sample

分别为 180 mm×10 mm×10 mm 和 90 mm×10 mm×10 mm, 并且将与铜条钎焊好的试样命名为大试样和小试样。对钎焊好的试样进行 24, 200, 400 和 720 周热一剪切循环, 循环温度范围为 25~125 ℃。试样在 25 ℃和 125 ℃分别保温 25 min, 升降温时间 5 min, 升降温速度 20 ℃/min。将 25 ℃和 125 ℃一个温度循环过程称作一个周期, 时间为 1 h。将循环后的试样线切割成 5 mm×5 mm×2 mm 的小试样。小试样经镶制抛光后, 用 5% HCl 水溶液轻微腐蚀。通过扫描电镜、能谱分析、电子探针观察试样的界面显微结构。

2 结果和讨论

2.1 界面化合物的显微结构和生长

图 2 为大试样热一剪切循环 Sn3.5Ag0.5Cu/Ni 界面的扫描电镜照片。由图可知, 24 周后, 在钎料与 Ni 界面上形成一层断续的笋状化合物层, 平均厚度为 2.1 μm, 有的如尖笋状伸向钎料内部, 其最大厚度约为 4.5 μm, 而化合物层最薄处仅有 0.5 μm。

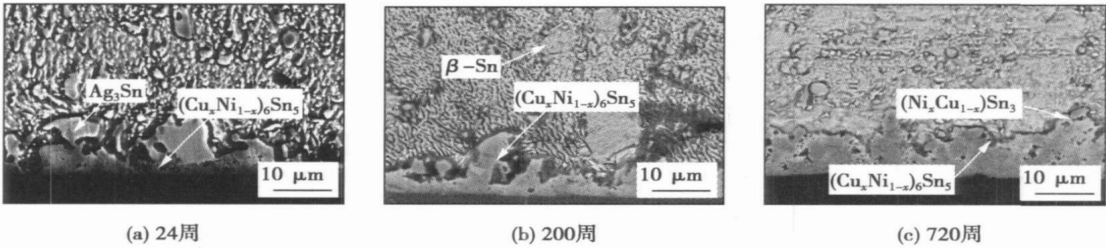


图 2 大试样热一剪切循环时效后 Sn3.5Ag0.5Cu/Ni 界面的扫描电镜照片  
Fig. 2 SEM pictures of big samples at Sn3.5Ag0.5Cu/Ni interface after thermal-shearing cycling

表 1 大小试样 Sn3.5Ag0.5Cu/Ni 界面化合物的能谱分析  
(原子分数, %)

Table 1 Energy spectrum analysis of compound at Sn3.5Ag0.5Cu/Ni interface of big and small samples			
名称	Cu	Ni	Sn
大试样	42.54	15.76	41.7
小试样	50.20	6.37	41.95

不均匀造成的。

随着热一剪切循环周数的增加, Sn3.5Ag0.5Cu/Ni 界面化合物的形态从尖突的笋状向层状转变, 两个笋状中间沟槽的化合物厚度显著增加。热一剪切循环至 200 周, 界面上形成连续的化合物层。界面化合物形态的变化说明, 固态钎料下原子的扩散速率急剧减小, 则形成化合物的速率也相应降低, 所以

能谱分析可知, 化合物的成分(原子分数, %)为 Cu 42.54, Ni 15.76 和 Sn 41.70, 是以 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 化合物为基的 (Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 化合物, 如表 1 所示。可见, 由于 Ni 和 Cu 有相同的面心立方结构和相近的原子序数, 界面上 Ni 原子可以替代 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 中的部分 Cu 原子形成 (Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 金属间化合物。由笋状的化合物形态可以看出, 钎料在熔融状态下, 化合物的笋状形态表面积较大有利于 Cu 和 Ni 原子的高速扩散和化合物的生成, 其吉布斯自由能的减少足以弥补笋状化合物表面能的增加。(Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 化合物的形成可能是因为在熔融状态下, 铜基体中的 Cu 原子能够溶解到钎料中, 并与钎料中少量的 Cu 一起快速扩散到镍基体的表面与钎料和少量的 Ni 原子形成了以 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 为基的化合物。表 1 不仅表明了熔融条件下 Cu 原子的溶解和扩散速率较 Ni 原子快, 而且表明了相同条件下 Cu 原子的参与反应速率较 Ni 原子快得多<sup>[4]</sup> (这也是表面组装中铜基板电镀镍作为阻挡涂层的原因)。而化合物层的不连续可能是由于 Cu 界面和钎料中的 Cu 原子溶解和扩散速率

在化合物层较薄处厚度增加较明显, 即 Ni 原子通过两个笋状化合物的中间沟槽直接扩散到钎料中, 因此在沟槽处形成 (Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 化合物的厚度显著增加。从线扫描分析可知, 大试样界面 (Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 金属间化合物前沿有第二相化合物生成。

热一剪切循环至 720 周后, 界面上 (Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> 化合物的形态基本没有变化, 而在其周围生成的第二相化合物以片状形式快速长大。由能谱分析可知, 其化合物的成分(原子分数, %)为 Sn 76.33, Cu 19.04 和 Ni 4.62, 接近 (Ni<sub>x</sub>Cu<sub>1-x</sub>)Sn<sub>3</sub> 组成成分。Tu 等人<sup>[5]</sup> 研究指出, Sn-Pb 钎料与 Ni 界面反应形成 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>, 然而当温度小于 160 ℃时, 一种亚稳相化合物 NiSn<sub>3</sub> 将会取代 Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub> 并以层片状快速长大。作者在 Sn3.5Ag0.5Cu/Ni 界面, 低温剪切循环条件下

(25 ~ 125 ℃)也得出了相近的结论。选取大试样不同的视野测量化合物的厚度得到,  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物从 24 周的  $2.1\text{ }\mu\text{m}$  左右稳定生长至 720 周的  $3.6\text{ }\mu\text{m}$  左右;第二相  $(\text{Ni}_x\text{Cu}_{1-x})\text{Sn}_3$  化合物从 200 周的刚刚出现快速生长到 720 周的  $4.3\text{ }\mu\text{m}$  左右。而在小试样的界面直至 720 周  $(\text{Ni}_x\text{Cu}_{1-x})\text{Sn}_3$  化合物的厚度约为  $1\text{ }\mu\text{m}$  左右,且化合物总厚度远远小于相应周期的大试样界面化合物的生长厚度。由上述现象可知,钎料熔融状态时由于 Cu 原子的快速扩散,在  $\text{Sn}_{3.5}\text{Ag}_{0.5}\text{Cu}/\text{Ni}$  界面上易生成 Cu-Ni-Sn 系化合物;热-剪切循环条件下,钎料中的 Cu 和对面基体中的 Cu 溶解扩散速率显著降低, Ni 界面的  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物生长相对缓慢,说明 Cu 原子的扩散控制了  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物的生长;循环周数的增加,晶格缺陷相应增加,有利于 Ni 原子扩散到  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物的顶部与钎料中的富 Sn 相结合生成层片状的  $(\text{Ni}_x\text{Cu}_{1-x})\text{Sn}_3$  化合物。

2.2 热-剪切循环后金属间化合物的生长速率

金属间化合物的生长速率取决于原子在化合物中的扩散速率和界面生成化合物的反应速率两个因素。若扩散速率小于反应速率,则扩散速率是化合物生成的控制因素,此时化合物的生长符合抛物线规律<sup>[6]</sup>,即

$$Y=Y_0+(Dt)^{1/2},$$

式中:  $Y$  为  $t$  时刻界面金属间化合物的厚度,与时间的平方根相关;  $Y_0$  为开始时刻界面金属间化合物的厚度;  $t$  为热-剪切循环时间;  $D$  为平均扩散系数。

图 3 是热-剪切循环后  $\text{SnAgCu}/\text{Ni}$  界面金属间化合物厚度与热-剪切循环时间的算术平方根的关系。图中表明其  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物的生长厚度与循环时间的平方根成线性关系,说明 Cu 原子的扩散控制了化合物的生长。但循环至 720 周后,由于  $\text{SnAgCu}/\text{Ni}$  界面第二相  $(\text{Ni}_x\text{Cu}_{1-x})\text{Sn}_3$  化合物以片状形式快速长大,使两种化合物的厚度总和快速增加,这对钎焊节点的可靠性会造成不利影响。如果循环温度高于  $160\text{ }\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $(\text{Ni}_x\text{Cu}_{1-x})\text{Sn}_3$  化合物将被  $\text{Ni}_3\text{Sn}$ <sup>[3-7]</sup> 或  $\text{Ni}_3\text{Sn}_2$  化合物<sup>[7]</sup> 所取代。并且通过大小试样界面化合物生长的对比可以看出,化合物生长除了与热效应有关外,剪切应力的增加使晶格畸变相应增加,有利于 Ni 原子扩散到  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物的顶部与钎料中的富 Sn 相结合生成层片状的  $(\text{Ni}_x\text{Cu}_{1-x})\text{Sn}_3$  化合物。从而在热-剪切循环条件下(即电路板的实际工作条件下),如果存在较大的元器件不匹配,则镀镍层并不能有效地阻挡原子的扩散。将两种试样与恒温时效试样比较<sup>[8]</sup>,有剪切应

力的界面化合物的生长厚度明显快于只具有热效应的恒温时效条件下的化合物的生长厚度,如图 4 所示。

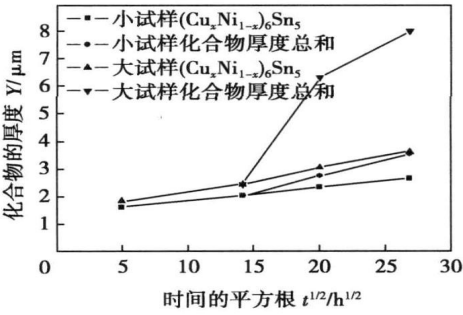


图 3 热-剪切循环后  $\text{SnAgCu}/\text{Ni}$  界面大小试样化合物厚度与循环时间的关系

Fig 3 Comparison of IMCs growth at  $\text{SnAgCu}/\text{Ni}$  interfaces between big sample and small sample after thermal-shearing cycling

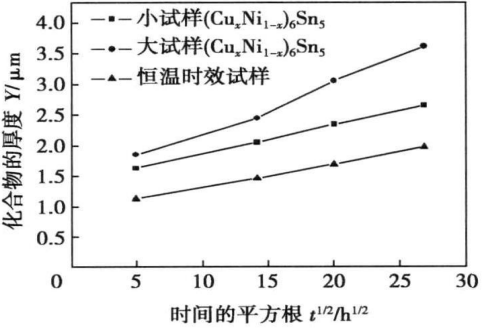


图 4 热-剪切循环条件下大小试样化合物厚度与恒温时效条件下化合物的对比关系

Fig 4 Comparison of IMCs growth for big sample and small sample under thermal-shearing cycling and isothermal aging

2.3  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  化合物的生长

图 5 表明经再流焊和热-剪切循环后,  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  化合物弥散分布于钎料中或以树枝状分布于界面化合物上,一些大的片状  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  出现在  $\text{SnAgCu}$  钎料和  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物之间。研究资料表明,当钎焊的冷却速度大于  $1.5\text{ K/s}$  时,树枝状的  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  化合物会在液态、冷却过程中和钎料凝固之前快速生长<sup>[9]</sup>。作者的研究表明,当再流焊的冷却速度为  $1.8\text{ K/s}$  时,  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  以颗粒状弥散分布于钎料中或以树枝状分布在界面化合物上,随着热-剪切循环周数的增加,  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  化合物聚集长大成块状组织,甚至树枝状的组织会贯穿整个钎料。原因在于钎料中

Cu 的消耗随着热—剪切循环周数的增加而增加, 则在 $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物的表面 Ag 和 Sn 的含量相对增多, 且热—剪切循环造成的晶格缺陷也为 Ag 和 Sn 原子的扩散提供了通道, 所以  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  化合物较易形成并聚集长大, 如图 5 所示。研究资料表明, 由于

$\text{Ag}_3\text{Sn}$  颗粒的硬度高于  $\text{SnAgCu}$  钎料的硬度, 所以弥散分布的颗粒状  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  化合物有利于增加钎焊接头的连接强度<sup>[10]</sup>, 然而大片状的  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  化合物显著降低了接头的力学性能, 在外加剪切应力的作用下, 形成韧—脆性断裂裂纹。

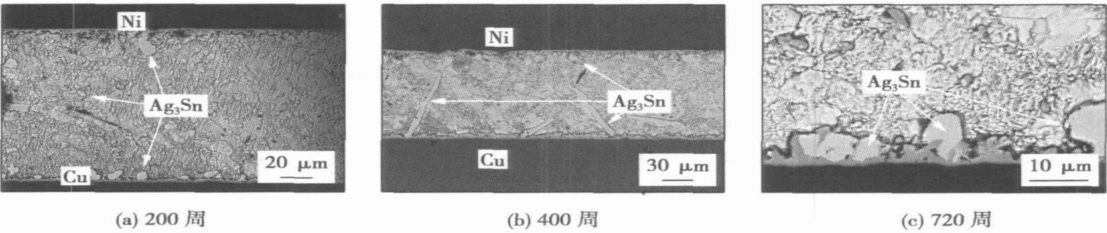


图 5 热—剪切循环后  $\text{Sn}3.5\text{Ag}0.5\text{Cu}/\text{Ni}$  界面  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  的扫描电镜照片  
Fig. 5 SEM pictures of  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  at  $\text{Sn}3.5\text{Ag}0.5\text{Cu}/\text{Ni}$  interface after thermal sheering cycling

3 结 论

(1) 再流焊时, Ni 界面上形成以  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  为基的  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物, 其形态为断续尖笋状。随着热—剪切循环周数的增加, 逐渐形成连续的笋状组织并趋于平缓。循环到 200 周在  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物的周围出现第二相化合物  $(\text{Ni}_x\text{Cu}_{1-x})\text{Sn}_3$ 。720 周后,  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物的形态基本没有变化, 厚度稍有增加, 但其周围的  $(\text{Ni}_x\text{Cu}_{1-x})\text{Sn}_3$  化合物以片状形式迅速长大。

(2) 热—剪切循环条件下, Ni 界面上  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物生长缓慢, 且化合物的生长厚度与循环时间的平方根成线性关系。并且大试样界面化合物的生长厚度大于相同条件下小试样界面化合物的生长厚度。说明 Cu 原子的扩散控制了  $(\text{Cu}_x\text{Ni}_{1-x})_6\text{Sn}_5$  化合物的生长。

(3) 热—剪切循环后颗粒状的  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  易聚集长大为块状。因此, 热和剪切循环的共同作用使晶格缺陷增加, 有利于原子的扩散和化合物的生长, 但是过厚的化合物层不利于钎焊接头的连接。

参考文献:

[1] Young-Sun Kim, Keun-Soo Kim, Chi-Wom Hwang *et al.* Effect of composition and cooling rate on microstructure and tensile properties of  $\text{Sn}-\text{Zn}-\text{Bi}$  alloys[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2003, 352: 237—245.  
[2] Kyung-Seob Kim, Jun-Mo Yang, Chong-Hee Yu *et al.* Analysis on

interfacial reactions between  $\text{Sn}-\text{Zn}$  solders and the  $\text{Au}/\text{Ni}$  electrolytic-plated  $\text{Cu}$  pad[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2004, 379: 314—318.  
[3] Wei Chen Luo, Robert Kao C. Liquid/solid and solid/solid reactions between  $\text{SnAgCu}$  lead-free solders and  $\text{Ni}$  surface finish[C] // *Proceedings of the 4th International Symposium on Electronic Materials and Packaging Conference*, P. R. Taiwan, China, 2002: 330—334.  
[4] Pang H L J, Tan K H, Shi X Q *et al.* Microstructure and intermetallic growth effects on shear and fatigue strength of solder joints subjected to thermal cycling aging[J]. *Materials Science and Engineering*, 2001, A307: 42—50.  
[5] Tu K N, Zeng K. Tin-lead ( $\text{Sn}-\text{Pb}$ ) solder reaction in flip chip technology[J]. *Materials Science and Engineering*, 2001, 34(1): 1—58.  
[6] 戚林, 赵杰, 王来, 等. 波峰焊及再流焊无铅焊点组织演变规律的研究[J]. *电子工艺技术*, 2004, 25(2): 64—67.  
[7] Ahmed Sharif, Islam M N, Chan Y C. Interfacial reactions of  $\text{BGA Sn}-3.5\%\text{Ag}-0.5\%\text{Cu}$  and  $\text{Sn}-3.5\%\text{Ag}$  solders during high-temperature aging with  $\text{Ni}/\text{Au}$  metallization[J]. *Materials Science and Engineering B*, 2004, 113(3): 184—189.  
[8] Pang John H L, Low T H, Xiong B S *et al.* Thermal cycling aging effects on  $\text{Sn}-\text{Ag}-\text{Cu}$  solder joint microstructure IMC and strength[J]. *Thin Solid Films*, 2004, 462—463: 370—375.  
[9] Henderson Donald W, Timothy Gosselin, Amit Sarkhel.  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  plate formation in the solidification of near ternary eutectic  $\text{Sn}-\text{Ag}-\text{Cu}$  alloys[J]. *Journal of Materials Research*, 2002, 17: 2775—2778.  
[10] Li Dezhi, Liu Changqing, Conway Paul P. Characteristics of intermetallics and micromechanical properties during thermal aging of  $\text{Sn}-\text{Ag}-\text{Cu}$  flip-chip solder interconnects[J]. *Materials Science and Engineering*, 2005, A391: 95—103.

作者简介: 齐丽华, 女, 1973 年出生, 工程师, 博士研究生。主要从事电子封装可靠性研究工作。发表论文 8 篇。

Email: qih1973@sina.com

**joints of TA15 titanium alloys** WANG Min, YANG Lei, WEI Yanhong, WU Lin (State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p56—60

**Abstract:** Near-alpha TA15 titanium alloy has good mechanical properties which has a wide application in airframe. Systemic TIG (tungsten inert-gas) welding experiments were performed for TA15 titanium alloy and the tensile tests of their welded joints were also carried out. Main factors were then selected after relating the parameters to tensile properties based on the principle of artificial neural network (ANN). Finally, the input and output parameters were confirmed and the ANN prediction models for tensile properties of titanium alloys TA15 TIG welded joints were established. Those models were then optimized and the model errors were analyzed. It showed that the prediction models better than the traditional regression method could be well used to predict tensile properties of titanium alloys TA15 TIG welded joints.

**Key words:** artificial neural networks; mechanical property prediction; welded joint

**Growth behavior of compounds at Sn<sub>3</sub>.5Ag0.5Cu/Ni under thermal-shearing cycling** QI Lihua, HUANG Jihua, ZHAO Xingke, ZHANG Hua (School of Material Science and Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China). p61—64

**Abstract:** The atoms diffusion and growth behavior of intermetallic compound (IMC) at Sn<sub>3</sub>.5Ag0.5Cu/Ni interface after thermal-shearing cycling (25—125 °C) were investigated, which was compared to compound growth behavior under isothermal aging condition. The results showed that there is a type of (Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> IMC formed at the interface after reflowing and the morphology of compound changes from scallop-like with the cycling increasing. There is another kind of compound (Ni<sub>x</sub>Cu<sub>1-x</sub>)Sn<sub>3</sub> formed surrounding (Cu<sub>x</sub>Ni<sub>1-x</sub>)<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> after 200 cycles and grow up rapidly as planar-like. As the thermal-shearing cycling increasing, Ag<sub>3</sub>Sn formed uniform particles after reflowing congregates to grow up to chunk-like in the solder. The IMC at the interface growth follows a parabolic growth kinetics with the thermal-shearing cycling increasing, implying that it was controlled by Cu atom diffusion.

**Key words:** thermal-shearing cycling; intermetallic compounds; solder; interface

**Threshold calibrating of 6D touching force in welding seam identifying** LIU Lijun<sup>1,2</sup>, DAI Hongbin<sup>2</sup>, GAO Hongming<sup>3</sup>, WU Lin<sup>3</sup> (1. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, Zhejiang, China; 2. School of Material Science & Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China; 3. State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin

150001, China). p65—68

**Abstract:** The welding seam identifying (WSI) is one prerequisite for remote welding. The welding seam is usually identified by vision sensor. While the study on WSI based on 6 dimensional (6D) force is less reported. When the 6D force sensor fixed on welding robot moves along with space welding seam, the weight of probe fixed on 6D force sensor will influence on 6D force value of WSI. As 6D force probe does not contact with welding seam, the blind section of 6D force is calibrated in different space position by testing 6D force value in  $x-z$ ,  $y-z$  plane. When 6D force probe contacts with welding seam, the threshold of 6D touching force is calibrated in different space position. The experiment of WSI efficiency is achieved by use of this technologies. The experimental results show that the efficiency of WSI is improved sixty percent comparing with manual WSI. It provides condition for the welding seam identified quickly and exactly.

**Key words:** welding seam identifying; 6 dimensional touching force; threshold calibrating

**Optimization of mechanical properties prediction models of welded joints combined neural network with genetic algorithm**

DONG Zhibo<sup>1</sup>, WEI Yanhong<sup>2</sup>, Zhan Xiaohong<sup>1</sup>, WEI Yongqiang<sup>1</sup> (1. State Key Laboratory of Advanced Welding Technology Production, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Department of Material Science and technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China). p69—72

**Abstract:** Genetic algorithm was used to optimize the back-propagation neural network connection weights and improve the models predicted precision and generalization ability on the basis of the mechanical properties prediction models of welded joints established with back-propagation neural network. The performance analysis shows that the predicted trend agrees well with the previous research work and the predicted error is less than 5%. It is obvious that the models will be more applicable and valuable in the practice with the enlargement of database and the data-covering space.

**Key words:** genetic algorithm; neural network; back propagation; mechanical properties prediction model

**Two typical anti-interference designs of digital tungsten inert-gas welding inverter** WANG Shouyan, YAO Heqing, FAN Xinghui, YIN Yongzhen (College of Mechanical and Electrical Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, Jiangsu, China). p73—76, 80

**Abstract:** The causes of interference in the propagation of the bat-handle switch and arc voltage signal are pointed and their affections to arc welding machine are analyzed. Two useful anti-interference transmission circuits toward the two signals are designed. Drooping characteristic pulse transformer is used to ensure isolation between working signal and interfering signal in bat-handle switch signal transmission circuit. LC filter and linear optocoupler are used