

Sn-9Zn-xAl 无铅钎料润湿性能

陈文学，薛松柏，王 慧，胡玉华
(南京航空航天大学 材料科学与技术学院 南京 210016)



陈文学

摘 要: 采用润湿平衡法测试了不同温度下 Sn-9Zn-xAl 无铅钎料在空气和氮气两种气氛下的润湿性能, 研究探索了合金元素 Al 的添加量、气氛和温度对 Sn-9Zn-xAl 无铅钎料润湿性能的影响规律。结果表明, 添加 Al 元素以后, Sn-9Zn-xAl 无铅钎料的润湿性得到明显改善, 在使用 $ZnCl_2-NH_4Cl$ 助焊剂时, Al 的最佳添加量为 0. 02% (质量分数), 在使用免清洗助焊剂时, Al 的最佳添加量为 0. 005% (质量分数); 采用氮气保护时, Cu 基板表面张力提高, 钎料的氧化减少、表面张力降低, 明显改善了钎料在 Cu 基板上的润湿性能; 在 215 ~ 245 ℃ 时, 温度升高使钎料的表面张力减小, 提高了钎料的润湿性能。
关键词: 无铅钎料; Sn-9Zn; Al; 润湿性; 氮气
中图分类号: TG425 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2008)08-0037-05

0 序 言

近年来, 在世界各国, 铅对地下水的污染问题日益突出, 其主要原因就是废弃电子产品中的焊接材料 Sn-Pb 合金中的铅溶出造成的^[1]。因此, 世界各国纷纷出台有关禁止含铅焊料在电子产业中应用的法令。

电子产品必须向无铅化转变。在这一转变中, 研制与现行电子装配工艺相适应的、便于加工的、环保的和可靠的无铅钎料是关键^[2]。在当前研究的二元或多元合金中, Sn-Ag, Sn-Cu, Sn-Ag-Cu 具有较好的应用前景。但是这些合金的熔点在 216 ~ 227 ℃ 之间, 与 Sn-37Pb 钎料的 183 ℃ 相比仍偏高, 而较高的钎焊温度会使电子元件及线路板受到损伤^[3]。Sn-9Zn 无铅钎料的共晶温度为 198 ℃, 较接近 Sn-37Pb 钎料熔点, 而且, Sn-Zn 系无铅钎料原材料来源广泛、价格成本低, 具有比 Sn-Pb 钎料更高的焊点抗剪强度, 室温下具有比 Sn-Pb 更好的抗疲劳性能, 电迁移效应也优于 Sn-Pb^[4], 受到人们的广泛关注。但是 Sn-Zn 系无铅钎料中的 Zn 元素具有活泼的化学性质, 使该合金抗氧化性和润湿性很差^[3], 制约了该合金在电子行业中的应用。研究表明, 添加合金元

素是改善 Sn-9Zn 系钎料润湿性能的有效手段, 但是已有研究基本上都是以添加 Bi, In 元素为主^[5,6]。由于 In 的价格昂贵 (比 Ag 还高出 2 倍), 属于稀缺元素, 没有工程实用价值; Bi 元素价格适中, 但是其“超电势”较低, 易导致“电子迁移”, 焊点开裂的可能性大, 在高密度元器件的大规模集成电路上, 国内外均持否定态度。文中作者在 Sn-9Zn 系无铅钎料添加了合金元素 Al, 采用润湿平衡法, 在 215 ~ 255 ℃ 范围内, 使用 $ZnCl_2-NH_4Cl$ 和免清洗两种助焊剂, 在空气和氮气两种气氛下, 研究了合金元素 Al、气氛及温度对 Sn-9Zn 无铅钎料润湿性能的影响。

1 试验方法

1. 1 试验材料与设备

试验采用 Sn-9Zn 无铅钎料为母合金, 添加的 Al 元素含量见表 1。

表 1 试验钎料的成分(质量分数, %)
Table 1 Composition of solder alloys

合金序号	1	2	3	4	5
Al 元素的添加量	0	0. 002	0. 005	0. 02	0. 1
母合金	Sn-9Zn				

试验采用规格为 30 mm × 5 mm × 0. 3 mm 的无氧铜片。采用 $ZnCl_2-NH_4Cl$ 和免清洗两种助焊剂做对

收稿日期: 2008-02-02
基金项目: 2007 年江苏省高等学校大学生实践创新训练计划项目, 苏教高(2007)17 号

比试验。气氛保护采用的气体为 99.99% 的氮气, 氮气流量为 5 L/min, 由 IZB-6WB 转子流量计控制。

试验设备为日本 Rhesca 公司生产的 SAT-5100 型可焊性测试仪。

1.2 试验步骤及原理

试验步骤参照日本工业标准 JS Z 3198: 2003 《无铅钎料试验方法—第 4 部分: 基于润湿平衡及接触角法的润湿性试验方法》^[7] 进行, 将酸洗处理的试验铜片浸入钎剂中 5 s 后, 立即固定在测试仪上, 用刮刀去除熔融钎料表面的氧化膜, 将铜片以 4 mm/s 的速度垂直浸入熔融钎料中, 浸入深度为 2 mm, 保持时间为 10 s。从浸入熔融钎料的瞬间开始, 试验设备对铜片作用力显示值随时间的动态变化被绘制成润湿曲线, 如图 1 所示。

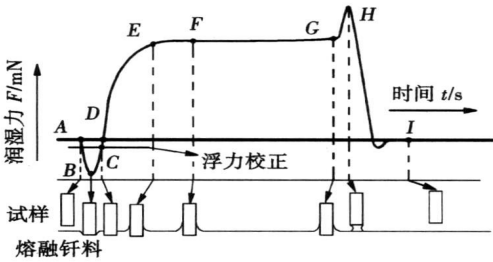


图 1 润湿平衡法的润湿曲线
Fig. 1 Profile of wetting balance method

铜片刚浸入熔融钎料时润湿还没有发生, 主要受向上的浮力作用, 而使曲线向下出现负值。随后铜片开始被润湿, 受到熔融钎料对它向下的润湿力, 该润湿力先克服浮力到达图中 D 点, 并随润湿过程逐渐增大, 至 F 点达到最大稳定值。将试验设备所测得的最大稳定值即最大合力加上铜片受到的浮力即得到该熔体对铜片的最大润湿力。图 1 所示润湿平衡法的润湿曲线由计算机自动记录显示, 并保存在计算机中。通过润湿时间和润湿力两个参数可对钎料在基板上的润湿性进行评价。润湿时间 t_0 为图 1 中 A 点~D 点之间的时间, 润湿力为 F 点所对应的力。润湿时间越短、润湿力越大则表明钎料的润湿性能越好。

分别测试了五种钎料在 215, 225, 235, 245 和 255 °C 温度下, 使用 $\text{ZnCl}_2\text{-NH}_4\text{Cl}$ 和免清洗两种助焊剂, 在空气和氮气两种气氛中的润湿时间和润湿力, 对 Sn-9Zn-xAl 无铅钎料在 Cu 基板上的润湿性进行评价。

2 结果和分析

2.1 Al 元素的添加量对 Sn-9Zn-xAl 钎料润湿性的影响

图 2 给出了在空气气氛中、温度 245 °C 下, 分别采用 $\text{ZnCl}_2\text{-NH}_4\text{Cl}$ 和免清洗两种助焊剂, Sn-9Zn-xAl 无铅钎料的润湿时间和润湿力的比较。

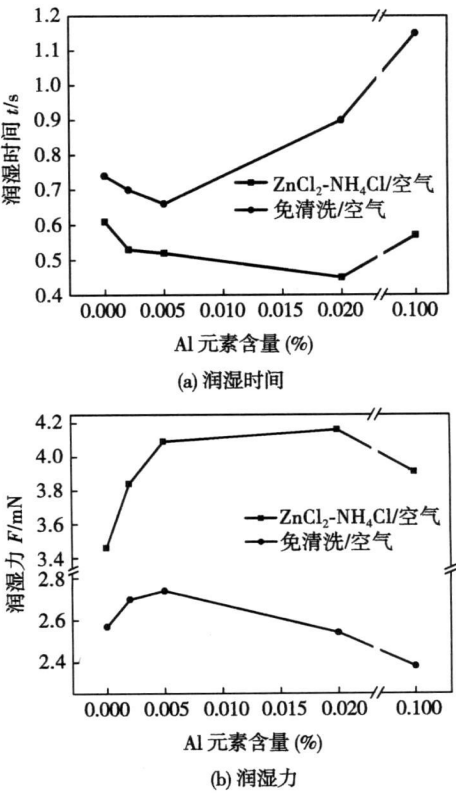


图 2 Al 元素的添加量对 Sn-9Zn-xAl 无铅钎料润湿性能的影响
Fig. 2 Wetting properties of Sn-9Zn-xAl lead-free solders with the addition of Al

如图 2 所示, 当使用 $\text{ZnCl}_2\text{-NH}_4\text{Cl}$ 助焊剂时, 在 Al 元素含量为 0~0.02% (质量分数) 时, 随着 Al 元素含量的增加, 钎料的润湿性逐渐增强, 在 Al 元素为 0.02% (质量分数) 时, 润湿时间为 0.45 s, 润湿力为 4.16 mN, 润湿性能达到最佳, 当 Al 元素的添加量增加到 0.1% (质量分数) 时, 润湿性反而有所降低。

表 2 列出了电子钎料中常用金属元素的氧化物在不同温度下的自由形成能^[8]。氧化物的形成自由能越低, 表明该氧化物更加稳定, 也表明这种氧化物越容易形成。由表 2 可见, Zn 是较容易氧化的元素, 所以含锌的熔融钎料表面更容易形成氧化物。而且, 研究^[9]发现钎料熔体表面形成的 ZnO 不同于

一些致密氧化物,其分子之间是一种松散的结构,对氧化层以下的原子起不到保护的作用。Sn-9Zn 钎料表面容易形成氧化层从而阻碍了钎料在基材上的润湿,因此其可焊性较差。由表 2 还可以看出,Al₂O₃ 的形成自由能比 ZnO 小,在 Sn-9Zn 钎料中加入 Al 元素以后,Al 会优先于 Sn 和 Zn 氧化并在钎料表面富集^[19],生成了稳定致密的 Al₂O₃ 膜,阻碍了内部钎料的氧化,从而提高了钎料的抗氧化性能,明显改善了钎料的润湿性。但是当 Al 元素的含量达到 0.1% (质量分数)时,因为在熔融钎料表面形成的 Al₂O₃ 膜过厚,反而使钎料的润湿性下降。

在使用免清洗助焊剂时,Al 的添加量在 0.005% (质量分数)时,钎料获得最好的润湿性能。

表 2 各种氧化物的形成自由能

Table 2 Standard free energy of oxides formation

氧化物	自由能 $\Delta G_{f, T}^0$ (kJ/mol)			
	298 K	400 K	500 K	600 K
Al ₂ O ₃	-509.8	-500.56	-491.5	-482.4
ZnO	-318.6	-312.8	-298.5	-288.9
SnO ₂	-260.2	-249.7	-239.7	-228.7
Sb ₂ O ₃	-208.1	-198.9	-189.9	-181.0
PbO	-118.8	-178.8	-168.7	-159.5
Bi ₂ O ₃	-165.7	-156.5	-147.7	-138.3
CuO	-129.4	-119.7	-111.0	-101.7
Ag ₂ O	-10.5	-3.8	2.5	8.8

2.2 不同气氛对 Sn-9Zn-xAl 钎料润湿性的影响

图 3 为在 245℃下,采用免清洗助焊剂,在空气和氮气两种不同气氛中 Sn-9Zn-xAl 无铅钎料的润湿时间和润湿力的比较。

从图 3 中可以看出,不管钎料中的 Al 元素含量为多少,钎料的润湿性能在氮气保护下均优于空气气氛下。

图 4 为钎料在 Cu 基板上的润湿角示意图。根据 Young 方程

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{gs} - \gamma_{ls}}{\gamma_{lg}}$$

式中: γ_{gs} 为基板表面张力; γ_{ls} 为钎料/基板界面张力; γ_{lg} 为钎料表面张力; θ 为三相界面润湿角。润湿角 θ 越小,润湿性能越好,因此增大 γ_{gs} 或者减小 γ_{ls} , γ_{lg} 均可减小润湿角,提高钎料的润湿性。在空气气氛中, Cu 基板经钎剂去膜后,表面会重新氧化,故对钎料的润湿铺展不利^[11]; 另外,熔融钎料由于氧化,也会在表面形成一层氧化膜,此时与基板之间就会是两种固态氧化膜的接触,因此润湿性不够理想^[12]。在有氮气保护的情况下,由于氧浓度较低,

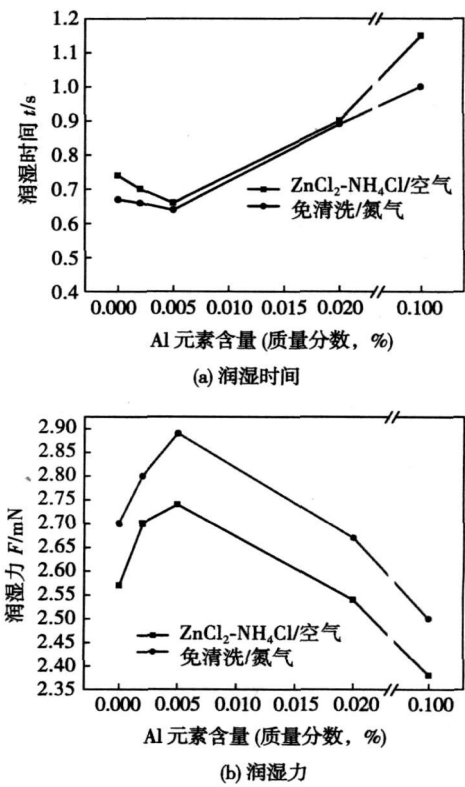


图 3 不同气氛对 Sn-9Zn-xAl 无铅钎料润湿性能的影响
Fig. 3 Wetting properties of Sn-9Zn-xAl lead-free solders in different atmospheres

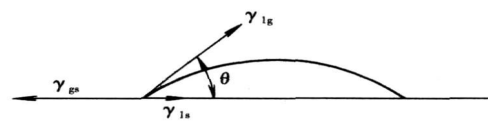


图 4 钎料在 Cu 基板上的润湿角
Fig. 4 Wetting angle of solder on the Cu substrate

在经过钎剂去膜的 Cu 基板表面较难重新形成氧化膜,相对于空气气氛来说 γ_{gs} 得到了很大的提高; 此外,在氧含量较低的氮气环境中 Sn-Zn-xAl 无铅钎料的氧化明显减少,钎料表面张力 γ_{lg} 比在空气中有所降低^[19],因此在其它条件相同时,氮气保护下的 Sn-9Zn-xAl 无铅钎料相对于在空气中可以得到更好的润湿性。

2.3 不同温度对 Sn-9Zn-0.005Al 钎料润湿性的影响

由 2.1 可知,当 Al 的添加量为 0.005% (质量分数)时 Sn-9Zn-xAl 无铅钎料能达到较好的润湿性能。故选择 Sn-9Zn-0.005Al 钎料研究温度对钎料润湿性能的影响。

图 5 为空气气氛下,采用 ZnCl₂-NH₄Cl 和免清洗

两种助焊剂, 分别在 215, 225, 235, 245 和 255 ℃ 五种温度下 Sn-9Zn-0.005Al 无铅钎料的润湿时间和润湿力的比较。

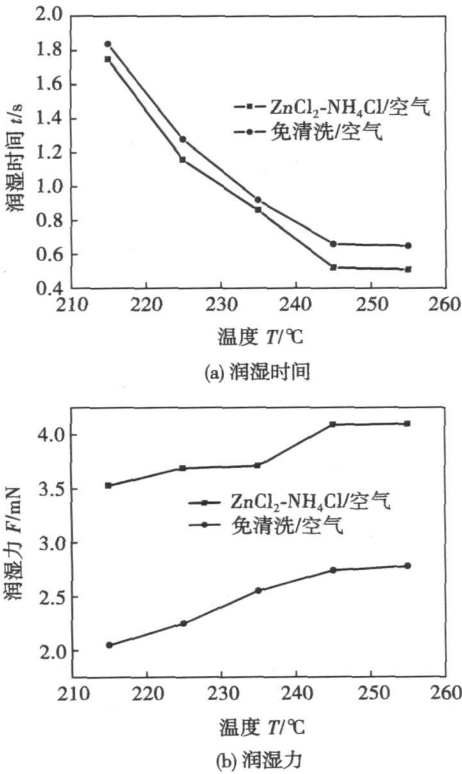


图 5 不同温度对 Sn-9Zn-0.005Al 无铅钎料润湿性能的影响
Fig. 5 Wetting properties of Sn-9Zn-0.005Al lead-free solders at different temperatures

从图 5 中可以看出, 当温度在 215 ~ 245 ℃ 时, 钎料的润湿时间逐渐减小, 润湿力显著增大, 钎料的润湿性能明显改善, 当温度继续升高到 255 ℃ 时, 钎料润湿性的改善幅度不明显。

钎料熔体的表面张力是影响钎料润湿性的重要因素。而表面张力除了和物质的本性以及所接触邻相的性质有关以外, 还与温度有着密切的联系^[13]。物质的表面张力通常随着温度的升高而降低, 这是因为温度升高时液体体积膨胀, 分子间距增大, 削弱了体相分子对表面层分子的作用力; 同时温度升高后, 气相蒸气压变大, 密度增加气相分子对液体表面分子作用增强, 这些都使表面张力下降。液体表面张力 γ 与温度 T 的关系为^[14]

$$\gamma = \frac{k(T_c - T - 6K)}{(m/\rho)^{\frac{2}{3}}}$$

式中: m 为液体的摩尔质量; ρ 为液体的密度; k 为经验常数; T_c 为表面张力为零时的临界温度。

由上式可知, 随着温度的升高, 熔融钎料的表面张力不断减小, 这在钎焊过程中有助于提高钎料对基板的润湿性, 另外, 熔融钎料与铜片之间的润湿是通过扩散形成的, 在较高的温度下, Sn 和 Zn 原子更加活泼, 而且原子扩散速度随钎焊温度升高而加速, 从而提高了钎料的润湿性能。

当温度继续升高到 255 ℃ 时, 钎料润湿性的改善不明显, 这可能是因为高温时钎料表面过分氧化而影响了润湿性能。温度过高, 钎料的流动性过强, 往往造成钎料的流失, 还会引起腐蚀等现象。此外, 现有的电子元件和印刷电路板也存在一定的耐热极限, 若焊接温度过高, 必然会导致电子元器件的损坏, 或产生热应力而导致焊点失效。

3 结 论

(1) 微量 Al 元素添加到 Sn-9Zn 无铅钎料中, Al 元素在熔融钎料表面富集, 形成致密的 Al₂O₃ 氧化膜, 阻碍了内部钎料的氧化, 从而提高了钎料的抗氧化性能, 明显改善钎料的润湿性。但 Al 的添加量过多, 形成的氧化膜过厚, 反而会恶化钎料的润湿性能。在使用 ZnCl₂-NH₄Cl 助焊剂时, Al 的最佳添加量为 0.02%; 而在使用免清洗助焊剂时, Al 的最佳添加量为 0.005%。

(2) 氮气气氛中, 在经过钎剂去膜的 Cu 基板表面较难重新形成氧化膜, 相对于空气气氛中来说基板表面张力得到了很大的提高; 此外, 在氧含量较低的氮气环境中 Sn-Zn-xAl 无铅钎料的氧化明显减少, 熔融钎料表面张力比在空气中有所降低。因此, 在其它条件相同时, 采用氮气保护可以改善 Sn-9Zn-xAl 钎料的润湿性能。

(3) 在 215 ~ 245 ℃ 范围内, 随着温度的升高, 熔融钎料的表面张力不断减小, 原子扩散速度随钎焊温度加速, 从而提高了钎料的润湿性能; 当温度继续升高到 255 ℃ 时, 钎料表面过分氧化, 钎料润湿性的改善幅度不明显。

参考文献:

[1] 黎小燕, 陈国海, 马莒生. Sn-Zn 无铅焊料的研究与发展[J]. 电子工业技术, 2004, 25(4): 150-153.
[2] Anderson I E, Foley J C, Cook B A, et al. Alloying effects in near-eutectic Sn-Ag-Cu solder alloys for improved microstructural stability[J]. Journal of Electronic Materials, 2001, 30: 1050-1059.
[3] 于大全, 赵 杰, 王 来. 稀土元素对 Sn-9Zn 合金润湿性的影响[J]. 中国有色金属学报, 2003, 13(4): 1001-1004.

的最大碰撞速度: $v_{\max3}=687\text{ m/s}$ 。
最后由式(17)可知: $v_{\max}=406.5\text{ m/s}$ 。

4 结 论

- (1) 非晶薄带涂层后的爆炸焊接上限不能再凭晶化限确定, 焊接界面的“过熔”及涂层与基体结合界面强度也对爆炸焊接上限起到限制作用, 因而涂层后非晶爆炸焊接上限由晶化限、焊接界面“过熔”及涂层界面结合强度三者共同确定。
- (2) 引入温升热软化模型, 使焊接界面强度估测达到量化效果, 使爆炸焊接上限数值确定更明确化。
- (3) 在设计中利用适当的消波层设计, 可以有效削弱反射拉伸波强度, 保护结合界面的完好, 有利于提高爆炸焊接上限, 扩大爆炸焊接窗口。

参考文献:

[1] Kawamura Y. Liquid phase and supercooled liquid phase welding of
(上接第 40 页)
[4] Villain I, Jillek W, Schmitt E, *et al.* Properties and reliability of Sn-Zn-based lead-free solder alloys[C] //2004 International IEEE Conference on Asian Green Electronics. Hong Kong, China, IEEE, 2004, 11-19.
[5] 刘汉城, 汪正平, 李宁成. 电子制造技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
[6] 周 健, 孙扬善, 薛 烽. Sn-Zn-Bi 无铅焊料表面张力及润湿性研究[J]. 电子元件与材料, 2005, 8(8): 49-52.
[7] JIS Z 3198 2003 鉛 フリ はんだ試験方法. 第四部: ウエツティングバンス法及ひ接触角法 による濡れ性試験方法[S]. 日本工业标准调查会, 2003: 8-21.
[8] Abtewa M, Selvaduray G. Lead-free solders in microelectronics[J]. Materials Science and Engineering R, 2000, 27(1): 95-141.
[9] Lin K L, Liu T P. High-temperature oxidation of a Sn-Zn-Al solder

bulk metallic glasses[J]. Materials Science and Engineering A, 2004, 375-377: 112-119.
[2] 闫鸿浩, 李晓杰, 奚进一, 等. 多层非晶薄带爆炸焊接温度场模型[J]. 高压物理学报, 2002, 16(1): 65-69.
[3] Bernard Crossland. Explosive welding of metals and its application [M]. Clarendon Press Qxford, 1982.
[4] 邵丙璜, 张 凯. 爆炸焊接原理及其工程应用[M]. 大连: 大连工学院出版社, 1987.
[5] 李晓杰. 双金属爆炸焊接上限[J]. 爆炸与冲击, 1991, 11(2): 134-138.
[6] 杨 扬, 李正华, 吕培成, 等. 爆炸复合界面温度场模型及应用[J]. 稀有金属材料及工程, 2000, 29(3): 161-163.
[7] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
[8] 孙宇新. 混凝土抗贯穿问题研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2002.
[9] 俞宇颖, 陈大年, 谭 华 等. 三角形波致 LY12 铝层裂的平板冲击实验研究[J]. 固体力学学报, 2006, 27(3): 261-267.

作者简介: 孙宇新, 1970 年出生, 男, 博士, 副教授。主要从事爆炸力学及其应用、毁伤与防护、特种材料制备方面的研究工作, 先后主持多个国家和部委课题。发表论文 30 余篇。
Email: yxsun@mail.njust.edu.cn

[J]. Oxidation of Metals, 1998, 50(3-4): 255-267.
[10] 周 健. 低熔点 Sn-Zn 系无铅焊料研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.
[11] 王俭辛, 薛松柏, 黄 翔, 等. 氮气保护对 Sn-Cu-Ni-Ce 无铅钎料润湿性的影响[J]. 焊接学报, 2007, 28(1): 49-52.
[12] 马 鑫, 何 鹏. 电子组装中的无铅软钎焊技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.
[13] 王俭辛, 薛松柏, 韩宗杰 等. 温度与镀层对 Sn-Cu-Ni 无铅钎料润湿性能的影响[J]. 焊接学报, 2006, 27(10): 53-56.
[14] 程兰征, 章燕豪. 物理化学[M]. 2 版. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.

作者简介: 陈文学, 男, 1985 年出生。主要从事微电子焊接技术及无铅钎料研究工作。发表论文 2 篇。
Email: wenxuechen@hnu.edu.cn

Mo, Si and Fe formed FeMoSi and Fe₃Si phases with heat treatment for 30 or 45 min.

Key words: plasma spraying; vacuum heat treatment; MoSi₂ coating; facies evolution

Wettability of lead-free solders of Sn-Zn-xAl CHEN Wenxue, XUE Songbai, WANG Hui, HU Yuhua (School of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China). p37—40, 44

Abstract: At different temperatures, the wettability of lead-free solders of Sn-9Zn-xAl was tested by means of wetting balance method in air and N₂ atmospheres. Effects of addition of Al, atmosphere and temperature on the wettability of lead-free solders of Sn-Zn-xAl were studied. The results indicate that with the addition of Al, the wettability of Sn-9Zn lead-free solders is improved obviously. With the ZnCl₂-NH₄Cl flux, the optimal addition of Al is about 0.02wt.%, and with the non-cleaning flux, the optimal addition of Al is about 0.005wt.%. In N₂ atmosphere, the wettability of solder on Cu substrate was extremely improved because the surface tension of the Cu substrate increases and the oxidation of the solders decreases, the surface tension of the solders decreases. With the increase of the temperature, from 215 °C to 245 °C, the wettability of the solders is improved due to the decrease of the surface tension of the solders.

Key words: lead-free solder; Sn-Zn; Al; wettability; nitrogen

Upper limit of coated amorphous foils explosive welding

SUN Yuxin^{1,2}, FU Yanshu¹, LI Qiang^{1,2}, WANG Jinxiang¹, ZHANG Xiaoli¹ (1. National Key Laboratory of Transient Physics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. The 27th Research Institute of CETC, Zhengzhou 450000, China). p41—44

Abstract: The temperature field of foil explosive welding was simplified to one dimension non-steady heat conduction, the temperature of welding interfaces was given and changed with time. With introduction of the thermo-softening model at welding interfaces and according to the time of the tensile wave arrived at the interface, the binding strength can be confirmed. Analyses indicate that the material crystallized limit and binding strength of coating material with based metal and welding interface are the most important factors, which control the upper limit of explosive welding. The Fe-based amorphous foil coated with copper was researched. During the experiment designing, ideas of damage mechanics were used to set defects to accelerate the decaying of tensile wave. The relationship between the tensile wave strength and impact velocity was simulated by LS-DYNA, then the three upper limits were calculated by the important factors, and the minimum of them was the upper limits.

Key words: explosive welding upper limits; tensile wave; thermo-softening; interface strength

Analysis of interfacial fracture of resistance spot welding of du-

al-phase steels ZHANG Xiaoyun, ZHANG Yansong, LAI Xinmin, CHEN Guanlong (School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China). p45—48

Abstract: The transformed martensite of dual-phase steel during the cooling stage of spot welding can make the weld nugget very brittle and result in interfacial fracture which was inspected by destructive methods. This failure mode can reduce the static strength and fatigue life of the weld. 1.4 mm DP600 sheets were taken as an example, percentage of residual area in the whole nugget is used to evaluate the interfacial fracture magnitude. Then orthogonal test is used to analyze the influence of welding parameters on fracture magnitude. After single factor analysis, it can be concluded that the welding current is the most important factor that influence the welding magnitude. Using interaction analysis, the optimized welding parameters can be obtained. Experiments are conducted to validate that the modified welding parameters can reduce interfacial fracture magnitude effectively.

Key words: resistance spot welding; dual-phase steel; interfacial fracture; orthogonal experiment design

Preparation of Fe³⁺/TiO₂ nanopowders by plasma spraying with liquid feedstock XU Dapeng, LEI Ali, FENG Lajun, YANG Shichuan (School of Material Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, 710048, China). p49—52

Abstract: TiO₂ nanopowders were modified through adding dopant material into precursor of liquid plasma spray. The powders were characterized by transmission electron microscopy (TEM), X-ray diffraction (XRD) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The results showed that iron-doped TiO₂ nanopowders can be prepared by liquid plasma spray, the prepared powders is in the range of 10—35 nm with spherical shape or near spherical shape and the powders were composed of mixed crystal of anatase and rutile when iron content is less than 2.0%, Fe³⁺ accelerates the transition from rutile phase to anatase phase and Fe₂Ti₃O₉ is precipitated when iron content is 10.0%. The iron doping can not cause long range waving of average crystallite size of powders. There are O, Ti, Fe and C elements in the prepared powders and the valency of Fe element is still +3.

Key words: TiO₂; iron ion doping; nanopowder; liquid plasma spray

Microstructure and mechanical properties of Monel alloy/copper explosive clad interface YANG Yang, CHEN Zhongping, LI Dahe, LIU Xiaohui (School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China). p53—56

Abstract: The Monel alloy/copper bimetal clad rod was produced with the explosive cladding technique. The microstructures and mechanical properties of the bonding interfaces were analyzed by means of optical microscope, scanning electron microscopy, energy spectrum analysis and shearing separate tests. The results showed that the smooth bonding interface was transformed to a wavy bonding interface as the explosive ratios increased. Deformation twins were