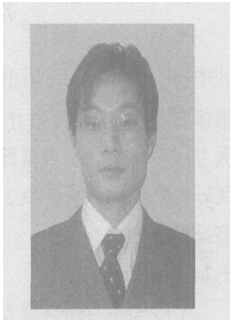


半导体激光加热时间对焊膏在铜基板上 润湿铺展性能的影响

黄 翔， 薛松柏， 张 玲， 王俭辛^{*}

(南京航空航天大学 材料科学与技术学院, 南京 210016)



黄 翔

摘 要: 采用半导体激光软钎焊系统对 Sn63Pb37 和 Sn96Ag3.5Cu0.5 焊膏在铜基板上的润湿铺展性能进行了试验, 研究了不同激光加热时间对钎料润湿铺展性能的影响, 采用扫描电镜分析了 Sn63Pb37 和 Sn96Ag3.5Cu0.5 钎缝的显微组织和钎缝界面区组织特征。结果表明, 在一定的激光输出功率下, 随着激光加热时间的增加, 两种钎料的润湿性都得到提高。其中 Sn—Pb 钎料焊膏的加热时间达到 1.5 s 时, 润湿面积和润湿角趋于稳定, 而 Sn—Ag—Cu 钎料焊膏润湿性需要达到 2.5 s 时润湿面积和润湿角才趋于稳定。

关键词: 半导体激光软钎焊; 润湿性; Sn—Pb; Sn—Ag—Cu

中图分类号: TG456 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2006)11-045-05

0 序 言

激光软钎焊是适应电子产品高密度、高可靠性要求而产生的先进的焊接方法^[1-3], 自从 1974 年 Bohman 首次提出了激光软钎焊方法以来, 激光软钎焊技术得到了快速的发展和广泛的应用。半导体激光以其波长较短、体积小、重量轻、结构简单、能将电能直接转换为激光能、功率转换效率高, 便于直接调制、节省电能、特别是辐射能量更易被钎料吸收等优点, 应用领域日益扩大^[3]。

由于激光具有能量密度高的特点, 在钎焊过程中钎料的温度和钎料—基体界面的温度急剧变化, 熔融钎料焊膏在铜基板上的润湿条件和润湿铺展行为有不同于其它钎料铺展的特点^[4,5]。关于半导体激光热源作用下钎料焊膏的润湿行为研究的报道较少, 文中着重研究了以半导体激光作为热源时, 不同的激光输出功率条件下, 加热时间对 Sn—Pb 和 Sn—Ag—Cu 焊膏在铜基板上润湿铺展性能的影响, 并对钎缝的显微组织也进行了研究分析。

1 试验条件

1.1 试验材料和试验设备

1.1.1 试验材料

(1) 铜基板: 尺寸为 10 mm×10 mm×0.2 mm 纯

铜片, 用 800 号砂纸打磨去除其表面氧化膜, 再用丙酮清洗干净后, 用无水乙醇脱水处理备用。

(2) 钎料焊膏: Sn63Pb37 焊膏和 Sn96Ag3.5Cu0.5 无铅焊膏。

1.1.2 试验设备

(1) 试验采用 90 W 半导体激光软钎焊系统。钎焊系统由计算机控制, 可根据需要连续调节激光输出功率(通过改变 D/A 电流值)、激光加热时间, 频率等参数, 以满足试验过程的需要。

(2) Quanta2000 型扫描电镜。

1.2 半导体激光参数的设定

(1) 离焦量为+2.8 mm, 光斑直径为 0.3 mm。

(2) 激光输出方式为连续。

(3) 激光输出功率设定: 加热 Sn63Pb37 焊膏时输出功率为 32.4 W, 加热 Sn96Ag3.5Cu0.5 无铅焊膏时输出功率为 40 W。

(4) 激光的输出波长为 808 nm±10 nm。

(5) 激光加热时间范围: 0.7~3.0 s。

2 试验原理

当液态处于自由状态下, 为使其本身处于稳定状态, 均力图保持球形的形状。当液体与固体接触时, 这种情况将发生改变, 其变化取决于液体的内聚力和液—固两相间的界面张力, 当内聚力大于附着力时, 液体不能粘附在固体表面上, 当附着力大于内聚力时, 液体就能粘附在固体表面, 即发生润湿作用。

收稿日期: 2006-07-28

基金项目: 2006 年江苏省“六大人才高峰”资助项目

^{*} 参加此项研究工作的还有韩宗杰

在激光加热条件下, 液态钎料在纯铜片表面的润湿铺展, 构成了一个由固、液、气相组成的三相界面体系。钎料的润湿铺展情况, 要取决于三相接触界面张力对液态熔融钎料的综合作用。各主要工艺参数对界面张力的影响最终决定了钎料的润湿铺展程度。钎料润湿铺展的热力学过程遵循著名的杨氏方程^[6], 即

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

式中: γ_{gs} , γ_{ls} , γ_{lg} 分别为固体与气体间的界面张力、液体与固体间的界面张力、气体与液体之间的界面张力; θ 为润湿角。根据钎焊理论, θ 越小, 润湿性越好。增大 γ_{gs} 或者减小 γ_{ls} , γ_{lg} 均可减小润湿角, 提高钎料润湿性。

2 1 试验方法

采用 90 W 半导体激光软钎焊系统分别对两种钎料焊膏进行加热, 加热时间经初步试验, 最后确定为 0.7 s, 0.9 s, 1.1 s, 1.5 s, 2.0 s, 2.5 s, 3.0 s 几个时间, 各试验三次, 试验结果取三次的平均值, 试验方法如图 1 所示。

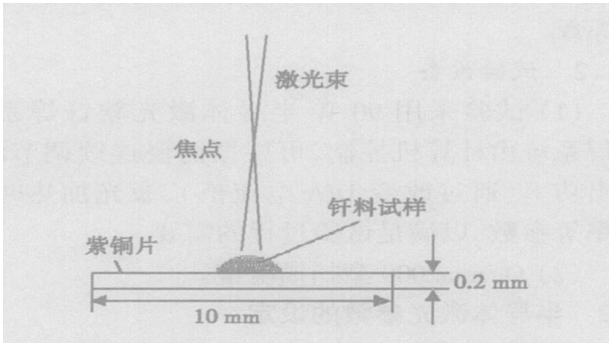


图 1 试验方法示意图
Fig. 1 Principle of spreadability test

完成润湿铺展试验后的试件先用扫描仪扫描, 再用 Auto CAD 的查询功能, 求出其铺展面积的平均值。沿铺展试样钎焊金属的中心剖开, 用扫描仪扫描试样断口, 用 Auto CAD 的角度标注功能测定润湿角 $\theta_{\text{左}}$, $\theta_{\text{右}}$, 按下列公式求出润湿角: $\theta = (\theta_{\text{左}} + \theta_{\text{右}}) / 2$ 。

3 试验结果与分析

3 1 加热时间对钎料铺展面积和润湿角的影响

从表 1, 表 2 的结果可以看出, 在一定的激光输出功率条件下, 随着激光加热时间的增加, Sn-Pb 钎料和 Sn-Ag-Cu 钎料在纯铜片上的润湿角减

小, 铺展面积增大。从图 2, 图 3 可以更直观地看出, 当输出功率不变时, 激光加热时间对不同钎料润湿性能的影响非常显著。随着加热时间的延长, 润湿角明显下降, 铺展面积增大。

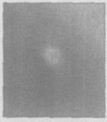
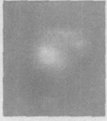
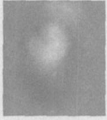
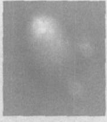
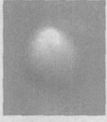
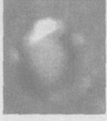
从图 2 可以看出, 对 Sn-Pb 钎料而言, 由于其熔点只有 183 °C, 在激光加热时间从 $t = 0.7$ s 增加到 $t = 0.9$ s 时, 润湿角从 67.55° 迅速下降到 15.49°。从 $t = 0.9$ s 增加到 $t = 1.5$ s, 润湿角仍呈下降趋势, 下降到 8.03°。加热时间继续延长, 润湿角一直保持在 8° 左右, 如图 2 所示。

Sn-Ag-Cu 钎料润湿角随着加热时间的增加一直是平缓地减小, 没有出现“突变”的现象。加热时间为 $t = 2.0$ s 时, 润湿角下降到 17.85°, 随后润湿角变化速率趋缓, 在 $t = 3.0$ s 时, 润湿角下降到 10.46°, 这说明钎料的成分对润湿铺展性能影响很大, 因此, 激光参数的选取也应考虑这一点。

表 1 激光加热时间对 Sn63Pb37 钎料焊膏润湿性的影响
Table 1 Effects of laser heating time on wettability of Sn63Pb37 solder paste

试验结果 (实物图)	加热时间 t/s	润湿角 $\theta(^{\circ})$	润湿面积 S/mm^2
	0.7	67.55	2.02
	0.9	15.49	9.14
	1.1	12.09	11.26
	1.5	8.03	15.42
	2.0	8.64	15.26
	2.5	8.48	15.54
	3.0	7.51	17.35

表 2 激光加热时间对 Sn96Ag3.5Cu0.5 焊膏润湿性的影响
Table 2 Effects of laser heating time on wettability of Sn96Ag3.5Cu0.5 solder paste

试验结果 (实物图)	加热时间 t/s	润湿角 $\theta(^{\circ})$	润湿面积 S/mm^2
	0.7	84.39	1.95
	0.9	59.93	3.24
	1.1	48.2	5.05
	1.5	26.26	6.38
	2.0	17.85	10.16
	2.5	13.37	12.21
	3.0	10.46	13.85

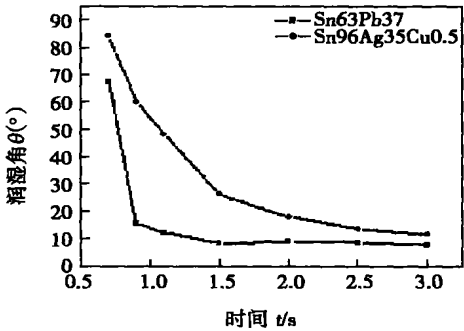


图 2 激光加热时间对钎料润湿角的影响
Fig. 2 Influences of heating time on wetting of solders

图 2 和图 3 直观地反映出了两种钎料润湿角和铺展面积随加热时间的变化情况。随着加热时间的增加,两种钎料均能在铜片上充分熔化、润湿、铺展,所以润湿角逐渐变小,润湿面积逐渐增大。但随着激光加热时间的进一步延长,则会出现氧化现象。

如 Sn—Pb 钎料焊膏的加热时间 $t=2.0\text{ s}$ 、Sn—Ag—Cu 钎料焊膏的加热时间 $t=3.0\text{ s}$ 时,焊点的周围出现了氧化现象。这是因为加热时间过长,钎料中的一些成分会因为长时间处于熔化状态而发生氧化,焊点表面不光滑,容易生成缺陷。有些温度较低的钎剂组分还会由于长时间加热挥发而影响助焊效果^[7]。所以要想得到良好的焊接效果应合理地选择激光输出功率和加热时间。

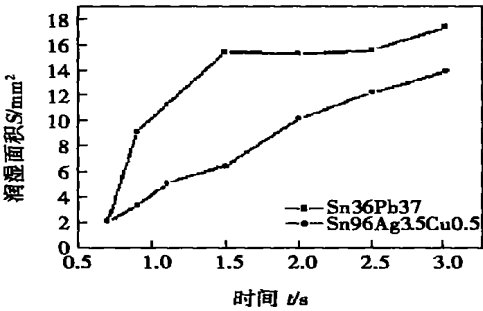


图 3 两种钎料润湿面积随激光加热时间的变化
Fig. 3 Influences of heating time on spreading area angle of solders

3.2 激光加热时间对钎料显微组织的影响

为了进一步研究分析钎焊接头的性能,采用扫描电镜观察分析了焊点的显微组织。图 4a 为 Sn—Pb 钎料合金的显微组织。从图 4b 和图 4c 可以看出,对于 Sn—Pb 焊膏而言,激光加热后形成的焊点组织均比 Sn—Pb 钎料合金自身的显微组织细密。当激光加热时间 $t=0.9\text{ s}$ 时,焊点与基体的融合还不是很好。当激光加热时间 $t=1.5\text{ s}$ 时晶粒进一步长大,且变得均匀。在 $t=0.9\text{ s}$ 时,基体材料向钎缝的扩散厚度约有 $2\text{ }\mu\text{m}$,而在 $t=1.5\text{ s}$ 时,基体材料向钎缝扩散的厚度约有 $5\text{ }\mu\text{m}$,钎缝与基体的界面融合紧密,而当 $t=2.0\text{ s}$ 焊点时已有氧化现象。因此,根据试验结果,可以认为,在现有的钎焊条件下,激光软钎焊 Sn—Pb 焊膏的最佳加热时间为 $t=1.5\text{ s}$ 。

对于 Sn—Ag—Cu 焊膏而言,图 5a 为 Sn—Ag—Cu 钎料合金的显微组织。由图 5b 和图 5c 可以看出,Sn—Ag—Cu 焊膏经激光加热后形成的焊点组织也比 Sn—Ag—Cu 钎料合金自身的显微组织细密,加热时间 $t=2\text{ s}$ 时,钎料与基体还没有完全熔合,钎缝与基体的过渡区界面接合较差。激光加热时间达到 $t=2.5\text{ s}$ 时,钎料完全熔化,钎缝与基体的结合紧密,形成了良好的冶金结合。之所以 Sn—Ag—Cu 焊膏的最佳加热时间比 Sn—Pb 焊膏的最佳加热时间长了 1 s ,是因为 Sn—Ag—Cu 钎料合金自身的熔点比 Sn—Pb 钎料合金的熔点高出了 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上所致。

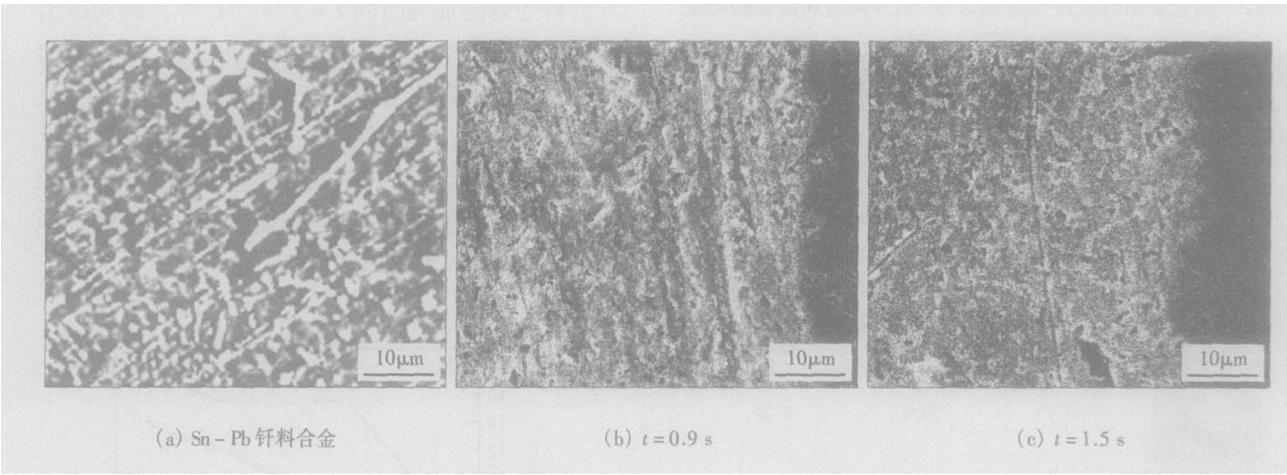


图 4 Sn-Pb 焊点的显微组织
Fig. 4 Microstructures of soldered joint with Sn-Pb solder

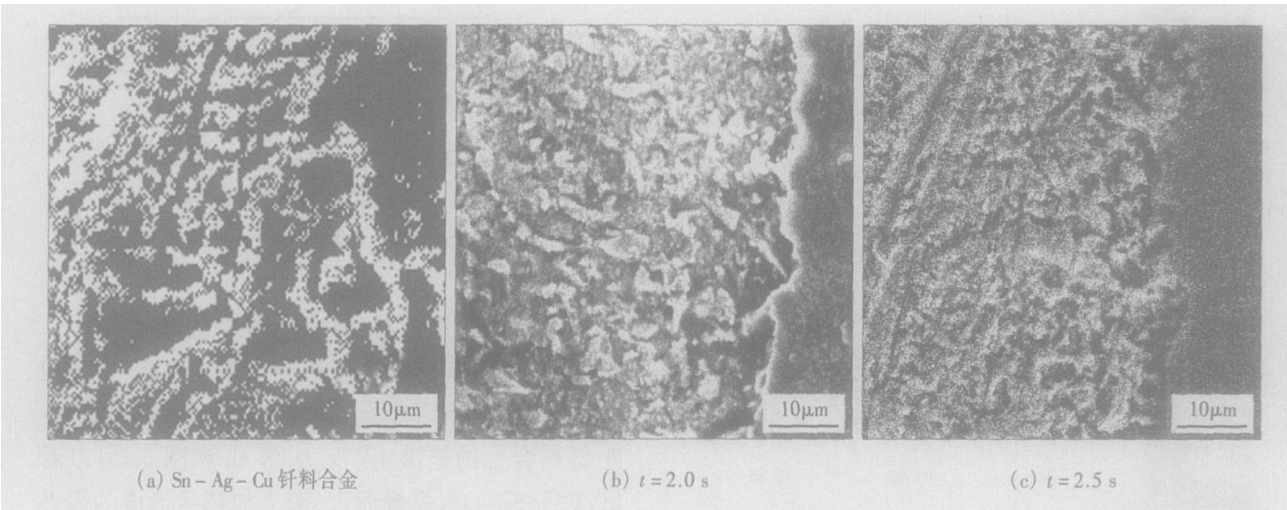


图 5 Sn-Ag-Cu 焊点的微观组织
Fig. 5 Microstructures of soldered joint with Sn-Ag-Cu solder

从图 5b 和图 5c 还可以看出, 在 $t=2.0\text{ s}$ 时, 虽然基板材料向钎缝扩散的厚度约有 $2\text{ }\mu\text{m}$, 在 $t=2.5\text{ s}$ 时基板材料向钎缝扩散的厚度约有 $3\text{ }\mu\text{m}$, 变化不是很大, 但是观察钎缝与基体界面的结合情况, 发现 $t=2.5\text{ s}$ 时, 钎料与基体界面的结合明显好于 $t=2.0\text{ s}$ 的钎焊接头。当 $t=2.5\text{ s}$ 时, 钎缝的显微组织均匀, 钎缝成形良好。文中试验发现, 激光加热的的时间、焊点的晶粒的状态与钎缝和基体的界面融合情况, 三者之间存在着密切的联系。Sn-Pb 焊膏经激光加热后形成的焊点组织均比 Sn-Pb 钎料合金自身的显微组织细密, 钎缝与基体的界面融合在激光加热时间 $t=1.5\text{ s}$ 时最佳。而 Sn-Ag-Cu 焊膏随着加热时间的增加, 钎缝与基体逐渐熔合, 钎缝显微组织也变得均匀, 钎缝与基体的界面结合良好。

由于半导体激光输出的波长短, 激光能量易被钎料吸收, 因此, 在半导体激光软钎焊中, 加热时间

稍长时就会导致焊点温度过高, 使焊点出现氧化现象, 从而导致焊点内部组织粗化、基体 Cu 与钎料中的 Sn 反应, 冷却后形成脆性的 Cu_6Sn_5 金属间化合物, 使钎焊接头性能恶化等许多不良后果^[8]。因此在采用半导体激光软钎焊时, 对不同成分的焊膏和不同的元器件, 应特别注意选择合适的激光输出功率和加热时间。

3 结 论

(1) 在合适的激光输出功率下, 随着激光加热时间增加, Sn-Pb 焊膏的润湿性能提高速率较大, 加热时间达到 $t=1.5\text{ s}$ 时, 润湿面积和润湿角趋于稳定; 而 Sn-Ag-Cu 焊膏的润湿性能提高速率缓慢, 加热时间达到 $t=2.5\text{ s}$ 时润湿面积和润湿角趋于稳定。

(2) 激光加热的的时间、焊点的晶粒的状态与钎缝和基体的界面融合情况,三者之间存在着密切的联系。Sn—Pb 焊膏经激光加热后形成的焊点组织均比 Sn—Pb 钎料合金自身的显微组织细密,钎缝与基体的界面融合在激光加热时间 $t=1.5\text{ s}$ 时达到最佳。而 Sn—Ag—Cu 焊膏随着加热时间的增加,钎缝与基体逐渐融合,钎缝显微组织也变得均匀,钎缝与基体的界面结合良好,在激光加热时间 $t=2.5\text{ s}$ 时达到最佳。

参考文献:

[1] Beckett P M, Fleming A R, Gilbert J M, *et al.* The laser in manufacture-its use in the soldering of electronic assemblies[J]. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 1999 21(1): 2—7

[2] Flanagan A, Connelly A, Glynn T J. Application of high-power lasers in electronic assembly[J]. Key Eng Material, 1996 118 (119): 147—154

[3] 薛松柏,姚立华,韩宗杰,等. 半导体激光工艺参数对 Sn—Ag—Cu 钎料润湿性影响分析[J]. 焊接学报, 2005, 26 (12): 39—42

[4] Bachmann F. Industrial application of high power diode lasers in materials processing[J]. Applied Surface Science, 2003, (208—209): 125—136.

[5] 梁旭文. SMT 激光软钎焊焊点形成机理及其质量控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1996.

[6] 张启运, 庄鸿寿. 钎焊手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.

[7] Chaminade C, Fogarassy E, Boisselier D. Diode laser soldering using a lead-free filler material for electronic packaging structures[J]. Applied Surface Science, 2006 252 (13): 4406—4410.

[8] Kim K S, Huh S H, Suganuma K. Effects of intermetallic compounds on properties of Sn—Ag—Cu lead-free soldered joints[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2003, 352 (1—2): 226—236.

作者简介: 黄 翔,男,1981 年 9 月出生,硕士研究生。主要从事微电子焊接及无铅钎料的研究,发表论文 1 篇。

Email: huangxiangnuaa@163. com

[上接第 44 页]

相比较表明,穿孔剪切能够很好的表征焊接接头的力学性能。

(3) 比较拉伸试验曲线和有限元模拟结果说明穿孔剪切得出的接头的拉伸性能有一定的准确性。

(4) 提出了利用穿孔剪切获得离焊缝中心不同距离区域的材料性能的基本方法。

参考文献:

[1] 史耀武,周宁宁,张新平,等. 微剪切试验及对焊接接头力学性能的评价[J]. 焊接学报,1994, 15(4): 235—240.

[2] Scott D. Raymond, Peter M. Wild. On modeling of the weld line in finite element analyses of tailor-welded blank forming operations[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 147(1): 28—37.

[3] Asif Husain, Sehgal D K, RK Pandey. An inverse finite element proce-

duce for the determination of constitutive tensile behavior of materials using miniature specimen[J]. Computational Materials Science, 2004, 31: 84—92

[4] 朱 亮,陈剑虹. 力学性能不均匀焊接接头的强度预测[J]. 焊接学报,2005 26(5): 13—16.

[5] 李硕本. 冲压工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.

[6] 黄克智,黄永刚. 固体本构关系[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.

[7] Thomas H, Courtney. Mechanical behavior of materials[M]. Beijing China Machine Press, 2004.

[8] 布莱恩,匹克林. 钢的组织 and 性能[M]. 北京: 科学技术出版社, 1999.

作者简介: 乔及森,男,1973 年 11 月出生,博士研究生。主要从事焊接结构设计和优化研究,发表论文 5 篇。

Email: qiaojisen@lut. cn

portions with same length to approximate the complicated space curve under the conditions of keeping constant welding speed and satisfying the given approximation error. It takes the general connection form of cylinder pipe for example to illustrate the algorithm, and then OpenGL is used to simulate the composite motion track. Simulation results show that the real-time interpolation algorithm is feasible.

Key words: line of intersection; welding; interpolation algorithm; simulation

Characterization of mechanical properties for aluminium alloy welded joint

QIAO Ji-sen, ZHOU Qing-lin, ZHU Liang, CHEN Jian-hong (State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China). p41—44, 49

Abstract: The characterization of local material properties has been evaluated using the punch shearing test. An inversed technique was illustrated to assess the tension behavior of materials from this punch shearing test. In addition, an typical aluminium alloy 6063 and welded joints for auto industry have been tested by the punch shearing procedure to identify the relation between yield strength, ultimate strength and strain-hardening coefficient of local material of welded joint. Results show that the material mechanical properties can be identified accurately by the punch shearing procedure, which will supply the information of joint deformation and failure for aluminium automobile crash assessment.

Key words: punch-shearing test; local mechanical properties; welded joint

Effects of heating time on wettability and spreadability of paste solders on Cu substrate with diode laser soldering system

HUANG Xiang, XUE Song-bai, ZHANG Ling, WANG Jian-xin, HAN Zong-jie (College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China). p45—49

Abstract: Diode laser soldering system was used to study and explore the ways to improve the wettability and spreadability of Sn63Pb37 paste solder and Sn96Ag3.5Cu0.5 lead-free paste solder on Cu substrate. The effects of heating time of the laser on the wettability of paste solders were investigated and it was also analyzed that the microstructures of the joints and interfacial region of Sn63Pb37 and Sn96Ag3.5Cu0.5 under different time conditions by means of SEM. The Results indicate that the wettability and spreadability of the two kinds of solders on Cu substrate are improved with the increase of heating time under the condition of selected laser output power. When the heating time is longer than 1.5 s, the spreading area and wetting angle of Sn63Pb37 solder are tending towards stability and when the heating time is longer than 2.5 s, the spreading area and wetting angle of Sn-Ag-Cu solder are tending towards stability as well.

Key words: diode laser soldering; wettability; Sn-Pb solder; Sn-Ag-Cu solder

Friction welding technology between titanium alloy and pure aluminum

BAI Jian-hong, FU Li, DU Sui-geng (College of Materials Science, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China). p50—52

Abstract: Titanium alloy and aluminum alloy are good for the structure materials in the fields of aerospace and aviation because of their excellent properties. It is necessary to join these two materials for wider applications. TC4 titanium alloy and L5 pure aluminum are joined by friction welded and then post-welding tempering treatment have been conducted. By means of the optical microscope detecting, EDX analysis, micro-sclerometer and tensile test, we explore experimentally the microstructure characteristics and diffusion behavior of the friction welded joint of TC4 titanium alloy and L5 pure aluminum. As expected, there are good friction weldability between TC4 titanium alloy and L5 pure aluminum and no intermetallic phases created in friction welding zone under the welding parameters used in this trial. Furthermore, the tensile strength of the welded joint exceeds that of the base metal aluminum. After post-welding heat treatment, the diffusion zone of main alloying elements Ti, Al and V widens and the microhardness of the friction welded joints near titanium increases greatly because of the aging effect.

Key words: friction welding; post-welding heat treatment; TC4 titanium alloy; L5 pure aluminum; microstructure

MAG welding molten pool image character and useful information analysis

WANG Ke-hong, SHEN Ying-ji, QIAN Feng, YOU Qiu-rong (Dept of materials, Nanjing University Science & Technology, Nanjing 210094, China). p53—56

Abstract: A passive vision sensing system for taking the image of MAG welding molten pool has been set up. Near-infrared CCD and compound filters system composed of 1 064 nm narrow-band filter and 0.1% neutral dimmer film are used to eliminate the arc light disturbance and a lot of clear images are obtained. Image-processing software is used to extract the characteristic information which reflects the welding quality. For the single image, the gray character is analyzed and three equivalent contour lines are obtained. For continuous multi-frame images, the image aberration shade detection and mean gray distribution are put forward to study the process of MAG welding.

Key words: metal active-gas welding; molten pool image; characteristic information; gray analysis

Numerical simulation of hydrogen diffusion under welding residual stress

JIANG Wen-chun, GONG Jian-ming, TANG Jian-qun, CHEN Hu, TU Shan-dong (College of Mechanical and Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China). p57—60, 64

Abstract: Using finite element analysis code ABAQUS, a sequential coupling calculating program on hydrogen diffusion has been developed. Using this program, the effect of as-welded residual stress on the hydrogen diffusion was numerically simulated for the