

LD31 铝合金电刷镀 SnPb 钎料合金软钎焊

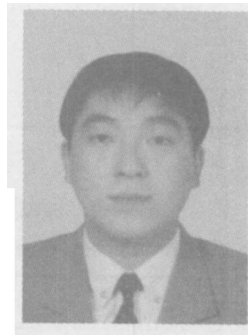
赵振清¹, 王春青¹, 杜 淼², 黄 毅¹

(1 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150001; 2 哈尔滨焊接研究所, 哈尔滨 150080)

摘 要: 采用在 LD31 表面电刷镍阻挡层、铜改性层, 将 LD31 铝合金的连接转化为铜的连接, 在镀铜层的表面电刷镀 SnPb 钎料直接进行钎焊, 通过开发低应力镀镍液和调整电刷镀工艺参数解决镍过渡层的裂纹问题, 研究分析了镀层的显微结构及表面状态, 焊缝的结构及元素分布, 考察了焊接加热过程对镀层的影响。研究表明, 通过在镀铜层表面直接刷镀 SnPb 钎料合金可以实现软钎焊连接, 接头的抗剪强度可达 20MPa。镀镍层、镀铜层钎焊后无裂纹、剥离等缺陷产生。

关键词: LD31 铝合金; 电刷镀; 镀层; 钎焊

中图分类号: TG454 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2005)07-67-05



赵振清

0 序 言

采用 Al-S 钎料对铝及其合金真空钎焊, 因其连接强度高, 焊缝成形美观, 是目前铝及其合金连接最广泛采用的方法。但是相对于铝材的熔点, Al-S 钎料的温度相对较高, 因此在炉中钎焊时会发生因炉温的不均匀分布而产生局部熔化, 而且, 高的钎焊温度也会导致材料本身性能的下降^[1~3]。

采用温度较低的钎料如 Zn-Al 钎料, 虽然连接强度也较高, 但是由于钎焊接头的耐蚀性差, 因此目前应用较少^[4]。采用熔点更低的锡基软钎料, 如 Sn-Pb 钎料, 由于钎料与母材成分差别大、相互作用弱, 焊缝钎料与母材的界面处生成一种不稳定结构, 而铝与钎料中的锡和铅电极电位相差很大, 在电化学腐蚀下界面很快破坏, 因而无法实现可靠的连接^[5]。

电镀、电刷镀等电化学沉积方法在电子工业中应用非常广泛, 大部分研究都集中在印刷电路板、元器件引线表面沉积锡或锡基合金, 以提高其软钎焊性能^[6,7]。对于铝及其合金进行表面电沉积处理也是通过电镀锡基合金用于提高其导电性, 焊接性等^[8]。

文中所要讨论的内容, 是一种 LD31 铝合金低温软钎焊方法, 在 LD31 铝合金表面先电刷镀镍阻挡层, 铜改性层, 将铝合金的钎焊转化为铜的钎焊连接, 在铜镀层的表面再电刷镀 Sn-Pb 低熔点钎料

合金后直接进行钎焊, 这种方法的优点是, 可以有效解决采用锡基钎料钎焊钎缝的耐蚀性问题, 通过控制电刷镀钎料合金的厚度对钎料量进行精确控制, 从而实现对钎缝成形的控制。此研究可用于电子工业中铝合金的低温精密连接。

1 试验方法及过程

1.1 电刷镀材料及方法

电刷镀过程中基体材料为 LD31 铝合金, 其规格为 80mm×50mm×1.5mm, 电刷镀设备为 MBPK-50 刷镀电源。

由于铝与氧有很强的亲和能力, 表面上总有氧化膜的存在, 因此, 在对 LD31 铝合金进行电刷镀之前, 必须经过严格的预处理, 此过程也是影响电刷镀质量的关键。试验中, 在电刷镀之前, 依次经过有机溶剂除油、化学除油、碱蚀、出光、浸锌、退锌、清洗等预处理过程。

研究中采用的镀镍液的成分见表 1, 其配制过程是在 60~80℃ 的温度下以保证硼酸的溶解, 电刷镀镍层的刷镀电压为 3V, 电刷镀镍层的过程中镀镍液温度保持在 60~80℃, 以保证镀液中对氨基苯磺酸的活性, 防止镀镍层中裂纹出现, 镀液的 pH 值为 4.5。铜镀液的成分见表 2, 电刷镀铜的刷镀电压 2~3V, 镀液温度为 25℃, 铜镀液的 pH 值为 7.5~8。电刷镀 SnPb 钎料合金镀层所采用的镀液成分见表 3。

表 1 镀镍液化学组成

Table 1 Composition of electric brushing Ni solution

成分	含量 g/L
氨基磺酸镍	500~600
硼酸	30
溴化钾	7
糖精	0.5
对氨基苯磺酸	1

表 2 镀铜液化学组成

Table 2 Composition of electric brushing Cu solution

成分	含量 g/L
硫酸铜 (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	250
乙二胺	170
硝酸铵	50
硫酸钠	30

表 3 SnPb 镀液化学组成

Table 3 Composition of electric brushing SnPb solution

成分及工艺条件	含量 g/L
二价锡 [以 Sn(BF ₄) ₂ 形式加入]	11.5~15.5
铅 [以 Pb(BF ₄) ₂ 形式加入]	7~11
游离氟硼酸 (HBF ₄)	460
硼酸 (H ₃ BO ₃)	30
温度 T/℃	15~30
电流密度 A/dm ²	1~2

1.2 钎焊方法及工艺

将表面刷镀镍层、铜层、钎料合金层的试件切割成 30mm×6mm×1.5mm 的钎焊试件,将 BGA(球栅阵列)水溶性钎剂均匀涂抹于钎焊件的待焊位置,放入热风再流焊中进行钎焊,钎焊工艺见表 4

表 4 软钎焊工艺条件

Table 4 Parameters of soldering procedure

工艺条件	参数
预热时间 t ₁ /s	100~120
预热温度 T ₁ /℃	140~160
液相线以上保温时间 t ₂ /s	60~90
液相线以上最高温度 T ₂ /℃	250~260
冷却温度 T ₃ /℃	100~120
降温速率 ν/(℃·min ⁻¹)	3~10

2 试验结果分析

2.1 镀层厚度、缺陷、表面形貌

采用镍层作为打底层来保证铜镀层与铝基体间的结合强度,同时作为阻挡层阻止由于上层的铜层或其它镀层的不均匀而引起的钎料层与母材(LD31)的接触,而镀镍层厚度过厚由于应力大而在镀层中产生裂纹等缺陷,因此,镍镀层的厚度应为 3~5 μm 为宜。考虑到铜在液态钎料中钎焊过程中的溶解,且在钎焊后应保留有一定的厚度,电刷镀铜层的厚度为 10~15 μm;钎料(SnPb)层保证在钎焊过程中提供的钎料量可以完成填缝过程,并且厚度过大会造成钎焊后钎料的堆积,故钎料镀层的厚度为 15~25 μm 为最佳。

2.1.1 镀镍层裂纹产生原理与控制

镀镍层介于镀铜层与铝基体之间,既起到过渡铝与镀铜层或钎料层之间电极电位的作用,同时又作为阻挡层,阻挡镀铜层或钎料层与铝基体之间接触,以免造成镀层的破碎,降低整体的结合强度。当镀镍层的质量差时,在钎焊的热冲击下,镀镍层、镀铜层整体破碎,从铝基体剥离,见图 1,无法形成可靠的钎焊连接。因此,在电刷镀过程中有效的控制镀镍层裂纹的产生,是控制钎焊质量的关键。

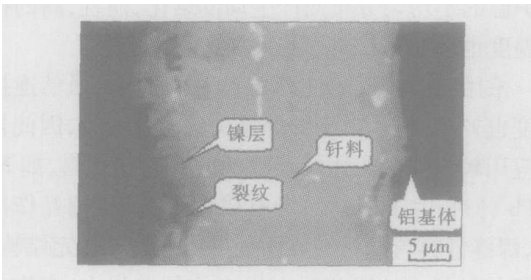


图 1 镀镍层有缺陷时焊后界面照片
Fig 1 Soldering interface when defect was in Ni coating

采用快速镀镍液,将在镀镍层残留很高的应力,在电刷镀镍层的最初过程中发现,镀镍层中有垂直于基体表面且贯穿整个镀层的裂纹出现,如图 2a 镀层的内应力是由于电沉积过程中不平衡的结晶过程引起的^[9]。电沉积产生的微晶体,在邻近基体金属的表面呈外延形成核,其晶格形式与基体金属的晶格形式相同,随着厚度的增加,逐步过渡到镀层金属固有的晶格类型。在这个薄层内产生晶格的扭曲和变形,产生内应力。同时,电沉积产生的晶体之间及晶体与基体金属之间的压缩作用,镀层金属中存在的大量位错也是内应力产生的主要因素。在电沉

积过程中, 阴极上析出的氢存在于镀层之中, 镀液中的杂质, 以及在阴极附近由于 pH 值升高而产生的氢氧化物等被夹杂在镀层内, 使镀层的体积和力学性能发生变化, 产生内应力。

为获得合格的镀镍底层, 试验中自主开发了电刷镀低应力底层镀镍液, 镀液成分见表 1。其中氨基苯磺酸为根据试验情况加入的, 其结果是增加了镀层中的压应力, 减少了镀后晶间开裂的可能。而且, 只有在 60~80℃ 的温度区间内, 氨基苯磺酸的活性才能最大, 才能有效去除镀镍层的残余拉应力。图 2b 为调整镀液后镀镍层的剖面照片, 从镀层的剖面看, 镀镍层无裂纹, 且厚度均匀, 约为 4 μm。

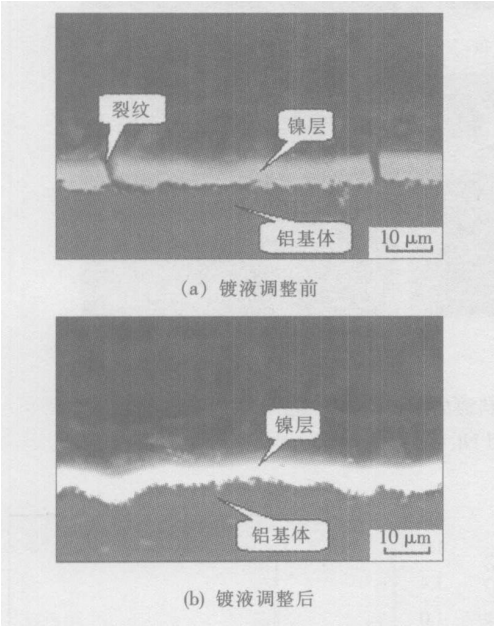


图 2 LD31 铝合金表面刷镀镍层的剖面照片
Fig 2 Cross section micrograph after LD31 aluminum was electric brush plated Ni coating

2.1.2 Cu 镀层厚度控制

图 3 为 LD31 铝合金表面依次电刷镀镍过渡层, 铜改性层后的剖面照片, 从图中可以看出, 镀镍层厚度均匀, 无裂纹缺陷。镀铜层的厚度为 10 μm, 满足试验设计要求, 镀层厚度均匀, 致密, 无明显缺陷, 与镀镍层结合良好。

2.1.3 电刷镀 SnPb 后表面状态及元素分布

图 4 显示的是 LD31 铝合金表面依次电刷镀镍层、铜层、SnPb 合金镀层后 SnPb 合金镀层表面的形貌照片。图 4a 为刷镀电压为 4 V 时 SnPb 镀层的表面照片, 图 4b 为刷镀电压为 3 V 时 SnPb 镀层的表面照片。钎焊结果表明, 当表面状态为图 4a 所示时, 无法实现钎焊连接, 而当表面状态为图 4b 所示

时, 可以实现钎焊连接, 这可能是由于在高的电流密度下 Sn 局部出现氧化的结果。从图 5 所示的元素的面分布照片中可以看出电刷镀产生的 SnPb 钎料合金镀层微观凹凸不平, 为一层绒毛状结构, 厚度约为 20 μm, 从后续的软钎焊过程来看, 由于钎料合金的熔化, 微观的表面不平整对钎焊性无影响。从电刷镀后镀层结构中铝、镍、铜、锡、铅等元素的面分布来看, SnPb 钎料合金镀层中锡的含量远高于铅的含量。

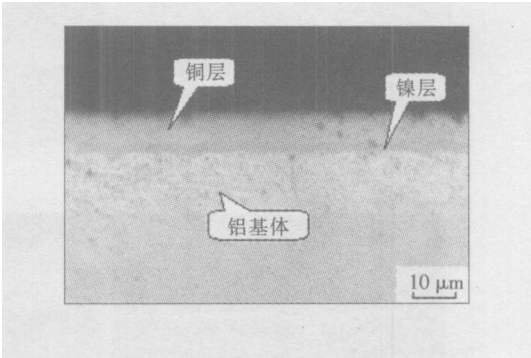


图 3 LD31 铝合金表面刷镀镍层、铜层后的剖面照片
Fig 3 Cross section micrograph after LD31 aluminum was electric brush plated Ni and Cu coatings

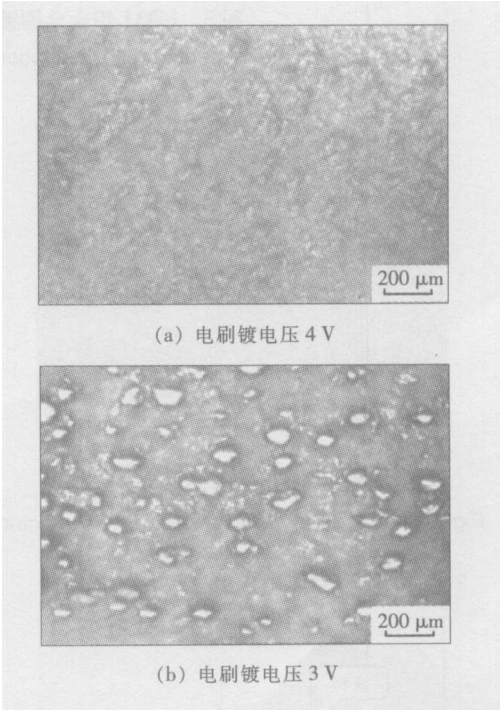


图 4 电刷镀 SnPb 镀层表面形貌
Fig 4 Morphology image of SnPb coating

2.2 钎焊结果及界面分析

从电刷镀镍层、铜层、SnPb 钎料合金层后炉中钎焊的情况来看, 在配合 BGA 水溶性钎剂钎焊时,

镀层有很好的钎焊性能,刷镀的钎料合金镀层在钎焊时流动性、填缝性俱佳,形成的钎缝饱满,见图 6。图 7 为 SnPb 钎料合金与镀铜层的界面处的扫描电镜照片,在镀铜层与 SnPb 合金镀层之间形成了一层很薄的金属间化合物,对其进行 EDX (X 射线能量分析)结果见图 8。其中铜 54.26%,锡 45.74%

(摩尔分数),经分析此化合物为 Cu_6Sn_5 ,钎缝中钎料中的白色相为富铅相,说明 SnPb 钎料合金层在钎焊过程中与镀铜层之间有冶金反应发生。钎焊后镀层与镀层之间、镀层与基体之间结合紧密,无镀层之间的脱落和剥离现象,说明镀层之间的结合能够承受钎焊加热过程的影响。

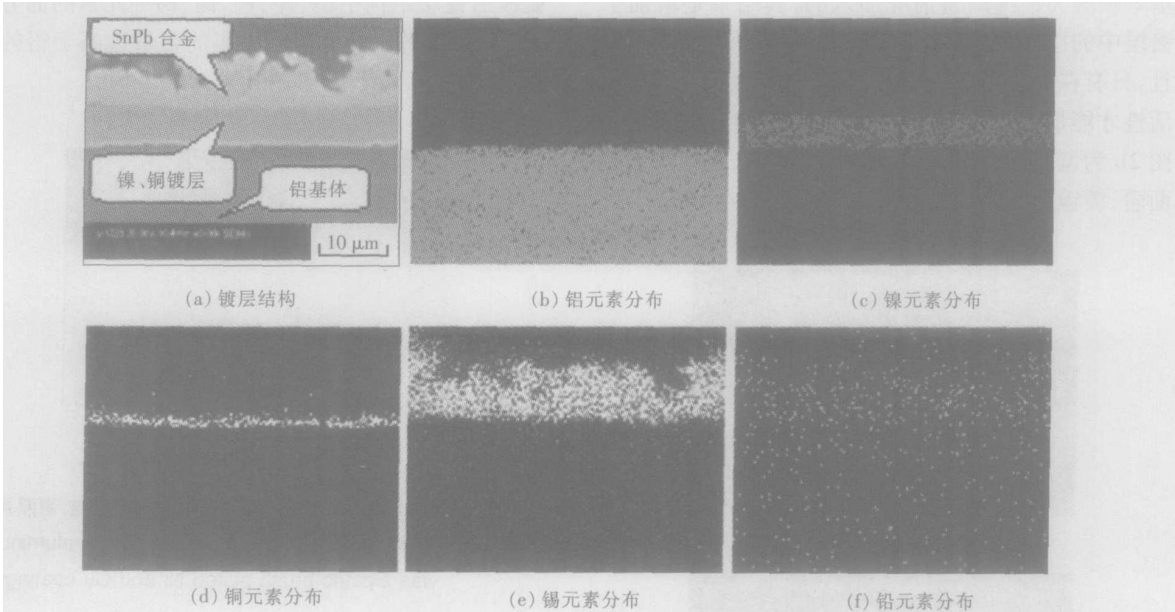


图 5 LD31 铝合金刷镀镍、铜、SnPb 钎料镀层后各元素的面分布
Fig. 5 Elements face d strbution of as deposited NiCu and SnPb solder coatings

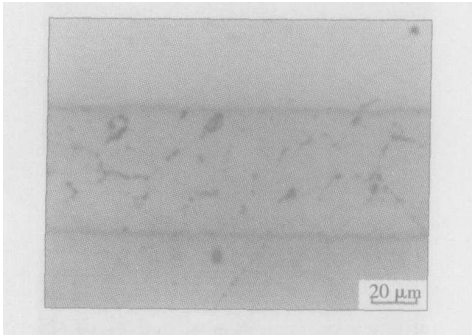


图 6 刷镀 SnPb 钎料合金钎焊后焊缝
Fig. 6 Solder joint after soldering with electric brush plating SnPb solder alloy

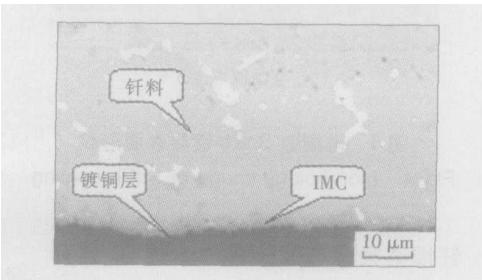


图 7 钎焊后 SnPb 钎料与镀铜层界面
Fig. 7 Interface of SnPb solder and deposited Cu coating

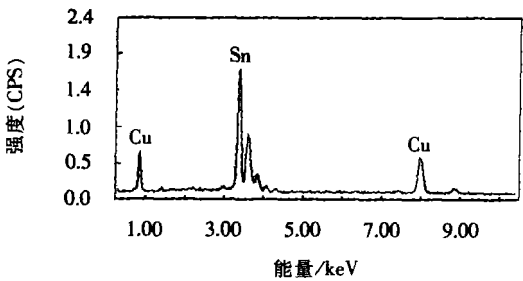


图 8 SnPb 钎料与镀铜层界面化合物 EDX 分析
Fig. 8 EDX analysis of n e metallic compound at SnPb solder and Cu coating interface

2.3 力学性能测试分析

为了进一步检验电刷镀后的钎焊质量,将电刷镀后钎焊的试件进行了拉伸试验,拉伸试验在室温下进行,拉伸速率为 1 mm/min。拉伸曲线见图 9。拉伸试验结果表明,拉伸钎焊接头断于钎缝中钎料部分,接头的抗剪强度达到 20 MPa。对拉伸断口观察分析表明没有镀铜层、镀镍层从 LD31 铝合金基体剥离的现象,镍层中也没有裂纹产生,进一步说明镀

[下转第 74 页]

(3) 通过将焊缝区域分成若干区域并逐步杀死和激活的方法实现了不规则路径的焊缝填丝问题。

参考文献:

[1] 程良骏. 水轮机[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982 18 - 29

[2] Sotnikov A A. A russian turbine experience[J]. Water Power of Dan Construction 1998 50(5): 45 - 48.

[3] Baetz J P. The repairwelding of ARSW turbine[J]. Journal of Hydraulic Research 1986 24(3): 45 - 50

[4] 孙鸿秉. 岩滩水轮机转轮叶片裂纹原因探析[J]. 红水河, 1995 15(3): 32 - 37

[5] Wu Yangao, Li Wushen, Zou Hongjun et al State of the art of

numerical simulation in welding[J]. Transactions of the China Welding Institution 2002 23(3): 89 - 92

吴言高, 李午申, 邹宏军, 等. 焊接数值模拟技术发展现状[J]. 焊接学报, 2002 23(3): 89 - 92

[6] 蔡志鹏. 电子束焊接数值模拟中分段移动双椭圆热源模型的建立[J]. 机械工程学报, 2004 40(1): 23 - 27

[7] 鹿安理. 焊接温度场、应力场和应变场相似准则的推导及验证[J]. 中国机械工程, 2001 12(10): 1165 - 1169.

作者简介: 姬书得, 男, 1977 年生, 博士研究生。主要从事水轮机转轮失效方面的研究, 发表论文 8 篇。

Email superjd@hit.edu.cn

[上接第 70 页]

镍层与 LD31 铝合金之间, 镀层与镀层之间结合强度能够满足钎焊连接的要求。

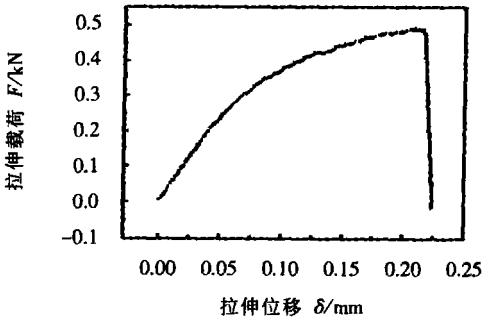


图 9 拉伸载荷 - 位移曲线

Fig 9 Curve of tensile load with tensile displacement

3 结 论

采用 LD31 铝合金表面电刷镀镍过渡层、铜改性层, SnPb 钎料合金层后直接进行软钎焊连接, 能够实现 LD31 铝合金的可靠连接, 连接的抗剪强度达到 20MPa 使用低应力镀镍液和调整电刷镀工艺, 有效地解决了镍过渡层的裂纹问题; 在铜表面电刷镀 20 μm 厚的 SnPb 钎料合金, 钎焊性能好, 钎缝成形好; 镀镍层和 LD31 铝合金基体之间、镀层与镀层之间结合良好, 钎焊后拉伸试验钎缝断于钎料合

金, 镀层无脱落、剥离, 可以承受钎焊过程的热冲击, 镀层结合强度满足钎焊的要求。

参考文献:

[1] Sugiyama Y. Brazing of aluminum alloys [J]. Welding International 1989 3(10): 700 - 710

[2] Hattori T, Sakai S, Sakamoto A, et al. Brazability of aluminum in vacuum - nitrogen partial pressure atmosphere brazing [J]. Welding Journal 1994 73(10): 233 - 240.

[3] Kawas H, Takamoto T, Asano M, et al. Study of a method for evaluating the brazability of aluminum sheet [J]. Welding Journal 1989 68(10): 396s - 403s

[4] 张启运, 庄鸿寿. 钎焊手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999 55 - 56.

[5] 邹 禧. 钎焊[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989 104 - 05.

[6] 庄瑞舫. 锡和锡基合金镀层的可焊性研究[J]. 电镀与精饰, 1997 (7): 4 - 11

[7] 马今朝. 无铅可焊性镀层及其在电子工业中的应用[J]. 电子工艺技术, 2000 (5): 98 - 100

[8] 钟建武. 铝及铝合金电镀高可焊性锡基合金工艺[J]. 材料保护, 2002 (11): 41 - 43.

[9] 林春华, 葛祥荣. 电刷镀技术便览[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991. 185 - 186

作者简介: 赵振清, 男, 1973 年出生, 博士研究生。主要从事电子组装与封装、精密钎焊连接等研究工作, 发表论文 7 篇。

Email zhaozq@hit.edu.cn

welded by using scanning heating technology to prepare the powder metallurgical transition layer

Keywords electron beam (EB); scanning control system; scanning track; energy control

Diffusion bonding of TC4/Ni/QA103-1.5 GUO Wei¹, ZHAO Xihua¹, SONG Minxia¹, FENG Jicai², YANG Biao¹ (1 School of Material, Jilin University, Changchun 130025, China; 2 State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p63-66

Abstract TC4 and QA103-1.5 were diffusion bonded with Ni interlayer. The diffusion bonded joints were evaluated by scanning electron microscopy (JEOL JSM 6700F) and its attaching energy dispersive spectroscopy (EDS). Intermetallic compounds at the interface were detected via X-ray diffraction (XRD) and microhardness tests and tensile testings were done to evaluate the properties of bond joints. The results indicated that TC4 and QA103-1.5 with Ni interlayer were bonded firmly under the condition of 870 °C temperature, 10 MPa bond stress and 60 min holding time and the bond strength was up to 325 MPa. Furthermore, various reaction bands appeared in the diffusion zone and NiTi phase (NiTi+Ni₃Ti) phase and Ni(Cu) solid solution were produced at the interface zone.

Keywords diffusion bonding; titanium alloy; copper alloy; Ni interlayer; microstructure

Soldering of LD31 aluminum alloy with electro brush plated Sn-Pb alloys ZHAO Zhenqing¹, WANG Chunqing¹, DU Miao², HUANG Yi¹ (1 Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2 Harbin Welding Institute, Harbin 150080, China). p67-70, 74

Abstract The bonding of LD31 aluminum alloy with electron brush plated Sn-Pb solder after the deposition of Ni and Cu transient layers was investigated in this paper. The influence of electric deposition parameters of Sn-Pb alloy on the coating quality and subsequent solderability was studied. The constitution of coatings, the morphology of Sn-Pb coating, the bonding mechanism in the soldering and the elements distribution in the soldered joint were studied by scanning electron microscope, energy dispersive X-ray analysis and metallographic analysis. The results of soldering experiment showed that after the deposition of Ni and Cu coatings, the bonding of LD31 aluminum alloy could be transformed to the bonding of copper and the bonding of coatings could bear the heating condition in the soldered. The shear strength of the soldered joint could reach as high as 20 MPa.

Keywords LD31 aluminum alloy; electron brush plating; coating; soldering

Particularity analysis of Francis turbine runner's simulation during

welding JI Shude¹, FANG Hongyuan¹, LIU Xuesong¹, MENG Qingguo¹ (Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p71-74

Abstract Aiming at the particularity of Francis turbine runner's simulation in the process of welding, the method was adopted which solved the loading of welding thermal source by means of node to node connection and the method was brought forward which solved the problem of weld's wire feed by dividing the weld into many parts. These two methods were proved reasonably by the runner's temperature field. Moreover, the problem of heat conduction between independent entities and the problem of heat elimination between blade and air were successfully solved by using contact bodies. It had important guiding significance to the numerical simulation of complicated weldments.

Keywords runner; welding; numerical simulation; temperature field

Optimization of water dissolution modification process using silver brazing fluxes CHEN Haiyan¹, LI Weimin¹, LI Feng¹, SHU Chang¹ (Faculty of Material and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510643, China). p75-76, 80

Abstract The optimization of the water dissolution process using silver brazing fluxes was conducted by orthogonal test. The test result showed that effect of bake time on flux property is the best, notably, next proportioning of compositions affected flux property, then bake temperature affected flux property. The optimum process parameters are component of 42% KF + 23% KBF₄ + 35% B₂O₃, bake time of 45 min and bake temperature of 350 °C. By using the silver brazing fluxes, the best results of the jointing can be carried out.

Keywords silver brazing flux; orthogonal test; absorptivity; melting point; spreading property

Modeling of welding pool surface reflectance of aluminum alloy pulse GTAW LI Lai ping¹, CHEN Shan ben¹, LIN Tao¹ (School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China). p77-80

Abstract The key to the surface height calculation of pulse GTAW welding pool based on shape from shading (SFS) is to build up a surface model of welding pool. Based on the imaging characteristics of an aluminum alloy pulse GTAW welding pool, the surface reflectance model is built after analyzing arc intensity, filter system, welding pool shape and reflectance characteristics. With smooth constraint condition of the welding pool surface and variable factor successive over relaxation (SOR) method, the height of welding pool surface is calculated and the error is analyzed.

Keywords aluminum alloy; pulse GTAW; surface reflectance; model of welding pool; shape from