

镁合金的低功率激光活性焊

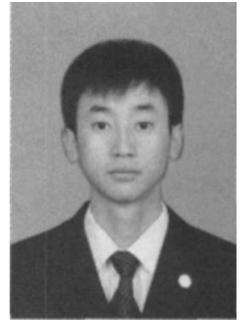
孙 昊, 张兆栋, 刘黎明

(大连理工大学 三束材料改性国家重点实验室及材料科学与工程学院, 大连 116024)

摘 要: 试验研究几种常见活性剂对镁合金激光焊接过程的影响。结果表明, 在低功率激光条件下, 氧化物和氯化物活性剂能够增加镁合金激光焊接的熔深和深宽比。试验中, SiO₂ 能够增加焊接熔深 220% 左右, 证明通过使用活性剂来增加熔深, 降低镁合金薄板激光焊接的成本是可行的; 焊接热输入是影响活性激光焊熔深的重要参数; 熔深增加的主要原因是活性剂微细粉末在激光作用初期增加对激光能量的吸收率。

关键词: 镁合金; 激光焊接; 活性剂; 氧化物

中图分类号: TG403 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2007)04-049-05



孙 昊

0 序 言

镁合金具有较高的比强度和比刚度, 并具有高的抗振能力, 还具有优良的切削加工性能, 易于铸造和锻压, 在航空航天、光学仪器、无线电技术等工业部门获得较多应用^[1], 被誉为 21 世纪最有发展潜力的基础材料之一。因此针对镁合金所进行的焊接方法和焊接工艺的研究日益受到人们的重视。

激光焊具有热输入小、能量密度高、热影响区窄而熔深大、热变形小、接头性能好及易于控制等优点, 因而日益得到广泛应用^[2]。但是镁合金对于激光束的反射率高, 激光能量利用率低, 导致设备的成本随着待焊工件厚度的增加而急剧增加。近年来, 一种可以提高焊缝熔深并且改善焊缝质量的高效焊接方法——活性焊接法引起人们的高度重视^[3]。将活性焊接技术同激光焊相结合来达到增加焊接熔深、降低成本, 是今后镁合金焊接的重要发展方向。文中将着重讨论活性剂在镁合金小功率激光焊接中所起的作用, 对其作用机理进行探讨, 为活性激光焊接技术的发展及其在镁合金上的应用提供理论依据和试验基础。

1 试 验

试验采用尺寸为 100 mm × 50 mm × 2.5 mm 的 AZ31B 变形镁合金板材, 进行平板堆焊, 其化学成分

见表 1。

焊接设备为小功率 YAG 固体脉冲激光加工器, 最大输出功率为 0.5 kW, 焊接工艺参数见表 2。

表 1 AZ31B 变形镁合金板材的化学成分(质量分数, %)
Table 1 Chemical compositions of AZ31B magnesium alloy

Al	Zn	Mn	Ca	Si	Cu	Ni	Fe	Mg
3.5	0.5-1.5	0.2-0.5	0.04	0.10	0.05	0.005	0.005	Bal

表 2 激光焊接工艺参数
Table 2 YAG laser welding parameter

焦距 f_s / mm	光斑直径 d / mm	激光波长 $L / \mu\text{m}$	脉宽 t / ms
150	0.3	1.064	3.2
脉冲频率 f / Hz	平均功率 P / kW	脉冲能量 E / J	离焦距 f_d / mm
40	0.3-0.5	7.5-12.5	-1~1

在进行焊接之前, 首先用砂纸打磨试样表面, 使试件露出金属光泽, 再用丙酮试剂擦拭, 清除试件表面的有机物并晾干。试验中选用 3 类最常用的活性剂^[4], 氧化物 (TiO₂, SiO₂, MgO), 氯化物 (CdCl₂, CaCl₂, NiCl₂) 和氟化物 (AlF₃, MgF₂, CaF₂)。为了使活性剂涂敷均匀, 在使用活性剂之前要对活性剂粉末进行充分的研磨, 使活性剂粉末的颗粒度达到 200 目, 使活性剂粉末颗粒相互之间重叠堆垛, 形成一层致密的涂层, 有利于对激光的吸收。然后将粉末与丙酮溶液混合成悬浊液, 用毛刷均匀刷在试件表面, 涂层厚度约为 0.3 mm。为了便于和未涂敷活性剂

时相比较, 焊道只涂刷一半, 示意图见图 1, 涂敷区和未涂敷区一次焊接完成。焊接过程中采用氩气作为试样保护气体, 焊后在涂敷活性剂的区域和未涂敷区域分别截取焊缝的横截面, 制成试样后经精磨、抛光、腐蚀后在显微镜下观察并测量焊缝熔深和熔宽, 计算焊缝的深宽比。

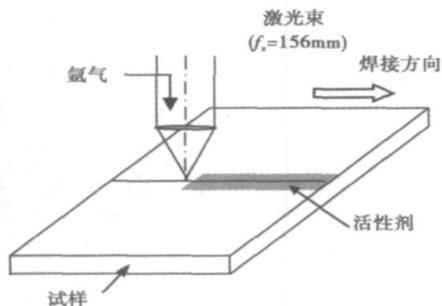


图 1 焊接方法示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experiment

2 结果与讨论

2.1 活性剂对焊缝熔深的影响

图 2, 图 3 是焊缝的截面形状以及熔深和焊缝深宽比随着不同活性剂的变化情况。图 2 为焊缝的截面形貌, 图 3 为涂敷各种不同活性剂时焊缝的熔深和深宽比。从图 2, 图 3 可以得到如下结论: ①选取的活性剂种类对焊缝熔深及深宽比影响很大, 在这 9 种常用活性剂中, 氧化物和氯化物能增加焊缝的熔深和深宽比, 而选取的三种氟化物都使焊缝的熔深有了明显的减小。②不同成分的活性剂增加焊缝熔深的程度不同, 试验中 SiO_2 活性剂增加焊缝熔深的效果最明显, 在试验条件下最大可以增加熔深达 220%。说明在镁合金的小功率激光焊接中, 通过使用活性剂来增加熔深, 降低激光焊接成本是可行的。③不同成分的活性剂增加焊缝熔深的程度不同。总体看来, 氧化物和氯化物活性剂对增加镁合金激光焊接熔深的帮助较大, 氟化物起反作用。

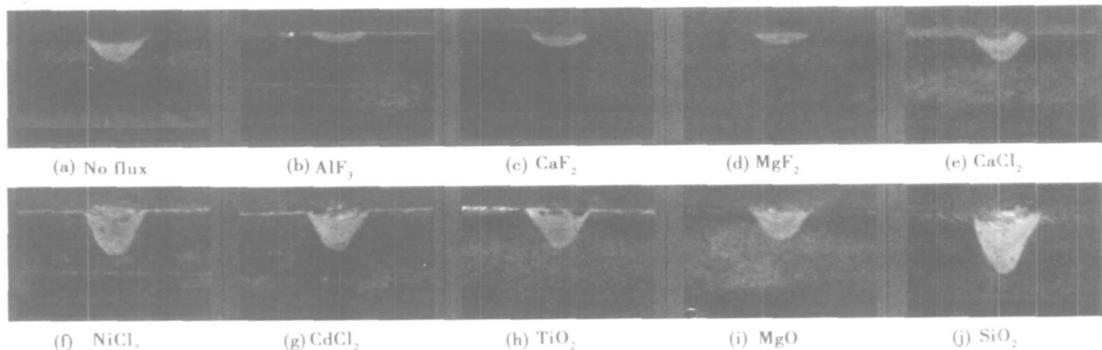


图 2 涂敷和不涂敷活性剂时镁合金激光焊接的接头形貌(激光功率 300 W, 焊接速度 600 mm/min, 离焦量 -0.5 mm)

Fig. 2 Cross section of AZ31B magnesium alloy joint for YAG laser welding without and with various fluxes

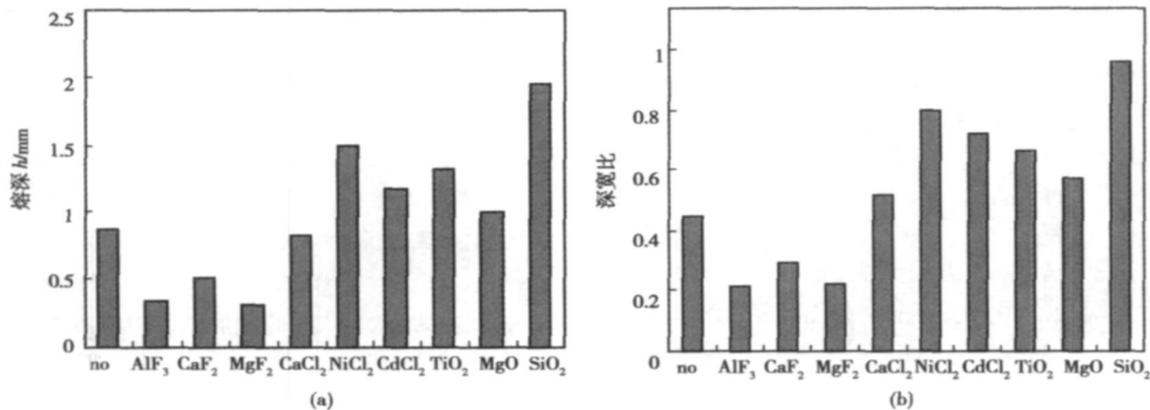


图 3 涂敷不同活性剂时的焊缝熔深和深宽比(激光功率 300 W 焊接速度 600 mm/min)

Fig. 3 Penetrations and depth-to-width ratio of weld for YAG laser welding without and with various fluxes

2.2 焊接工艺参数的影响

在活性激光焊接过程中, 保护气体的种类、聚焦镜的焦距、激光输出功率、焊接速度、离焦量等都对活性剂的作用产生一定的影响, 致使激光的能量传输率发生变化, 获得不同的熔深, 而且各个参量又是相互制约的。在实际的焊接中, 焊接材料和透镜焦距以及激光束的聚焦角等参数一经确定, 基本上就不再变化。文中主要针对涂敷氧化物活性剂前后的熔深随激光功率、焊接速度及离焦量等参量的变化进行研究。

图4为涂敷活性剂前后焊接参数变化时焊缝熔深的变化情况。图4a为涂敷活性剂前后焊缝的熔深随激光离焦量的变化趋势。熔深随离焦量的变化出现一个转折点, 在离焦量约为-0.5 mm的时候出现极值。这是因为在采用负离焦时, 材料内部功率密度比表面高, 金属更容易熔化, 使激光的能量可以向材料更深层传递, 提高激光能量传输效率, 获得较大熔深。而涂敷活性剂后, 发现熔深随离焦量的变化规律已经不明显, 三种活性剂熔深的最大值对应的离焦量也各不相同, 但相对于未涂敷活性剂, 离焦量为正或零时, 熔深有了显著提高。为了方便比较, 在接下来的试验中均选用离焦量为-0.5 mm。从图4b中可以看出, 未涂敷活性剂时, 焊缝熔深随激光功率的提高增加缓慢; 涂敷活性剂后, 焊缝熔深随激光功率的增加, 其增加趋势明显增大。图4c是焊接速度变化对焊缝熔深的影响。在一定的功率下, 未涂敷活性剂和涂敷活性剂时的焊缝熔深都是随焊接速度的提高而不断减小。作者引入焊接热输入 E_1 这一概念, 即

$$E_1 = P / v, \quad (1)$$

式中: P 为激光输出功率; v 为焊接速度。

以涂敷 TiO_2 活性剂为例, 比较涂敷活性剂前后激光焊熔深随焊接热输入的增加而变化的情况, 图中涂活性剂和未涂活性剂的各个数据点都对应着相同的参数, 如图5所示。

从图中可以看出, 在相同的焊接热输入条件下, 在涂敷 TiO_2 活性剂后, 焊缝熔深有了显著提高, 其主要原因为 TiO_2 表面涂层的加入提高了金属表面对激光能量的吸收。用计算机拟合熔深—热输入曲线, 得到熔深与热输入之间的函数表达式分别为

未涂活性剂

$$h = -25.569E^2 + 5.903E_1 - 1.2284, \quad (2)$$

涂活性剂后

$$h = -35.125E^2 + 21.623E_1 - 1.4908, \quad (3)$$

式中: h 为焊缝熔深; E_1 为热输入。

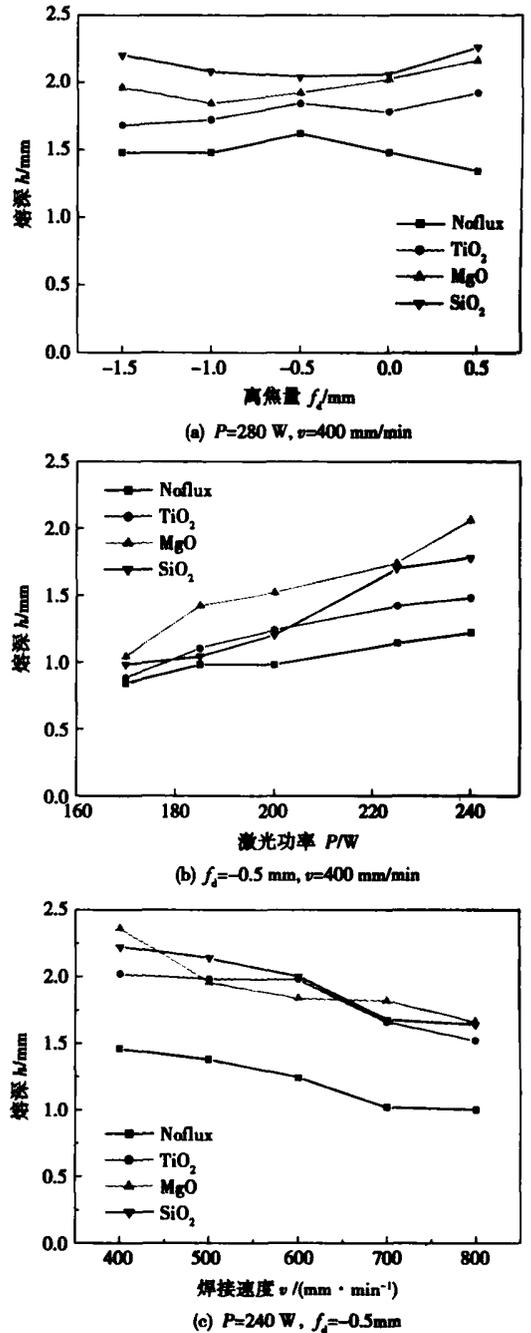


图4 焊接工艺参数对熔深的影响

Fig. 4 Effects of welding parameters on penetrations

对式(2), 式(3)进行求解可以得到涂敷活性剂前后, 热输入分别为0.32 kJ/cm和0.30 kJ/cm时熔深达到极大值, 在试验过程中继续提高激光功率或是降低焊接速度以增大焊接热输入, 焊缝熔深已经不再增加, 这主要是因为当激光作用在工件表面时, 镁合金被加热熔化、蒸发产生一定量的高温镁蒸气, 其粒子密度随着焊接热输入的增加而逐渐增大。当焊接热输入超过某一阈值时, 产生大量镁蒸气, 表现为焊接过程中出现飞溅, 这些镁蒸气的存在将会对工

件吸收激光能量产生屏蔽作用, 并导致焊接熔深不再随热输入的提高而继续增大。另外, 涂活性剂后, 熔深达到极值对应的热输入有所降低, 这主要是因为活性剂涂层自身熔化、蒸发, 也起到了屏蔽激光能量的作用。

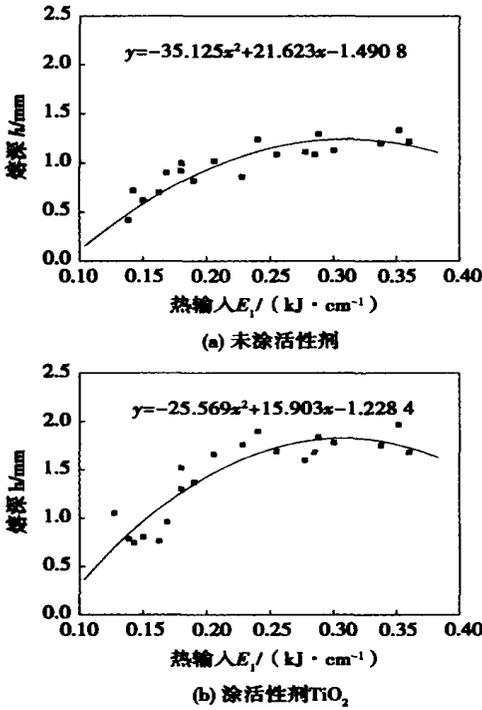


图 5 焊接热输入对熔深的影响

Fig. 5 Effects of heat input on penetrations

2.3 作用机理的探讨

从激光加热的原理来看, 激光对金属的加热首先是集中在表面的极薄层上, 表面加热后温度升高, 提高对激光的吸收能力。当光束照在清洁磨光的金属表面时一般存在着强烈的反射。金属对光束的反射能力与它的自由电子密度有关, 自由电子密度越大, 反射本领越强^[1]。因此镁合金对激光的高反射率成为限制镁合金激光焊熔深的主要因素。而当金属表面覆盖上一薄层均匀的活性剂涂层后, 由于基体的表层被细颗粒状的活性剂涂层覆盖, 当激光射入表面涂层介质后, 细颗粒表面对激光反射小, 而颗粒表面的不规则形状, 又使散射的光束被其它颗粒表面吸收, 使激光能量的损失率减小, 能量传输效率增大, 熔深会显著提高。因此, 活性剂涂层具有的吸收特性和良好的热导率会对激光作用的初期产生十分重要的影响。试验中, 涂敷氟化物以后熔深变小, 可能是因为在该试验条件下, 0.3 mm 的涂层相对太厚了, 致使激光能量不能有效地传到基体上。对于提高激光能量的吸收率, 金属氧化物表现出明显的优越性。图 6 为相同的参数规范下, 涂敷活性剂 SiO₂ 前后, 由高速摄像机采集到的焊接过程图像。从图 6 中可以看出, 在涂敷活性剂 SiO₂ 以后, 镁蒸气的形态发生了较大的改变, 体积增大, 亮度也有明显的增加。这正是因为在涂活性剂后, 激光能量的吸收率增加, 有更多的金属材料熔化、蒸发, 气态金属蒸气量增加。

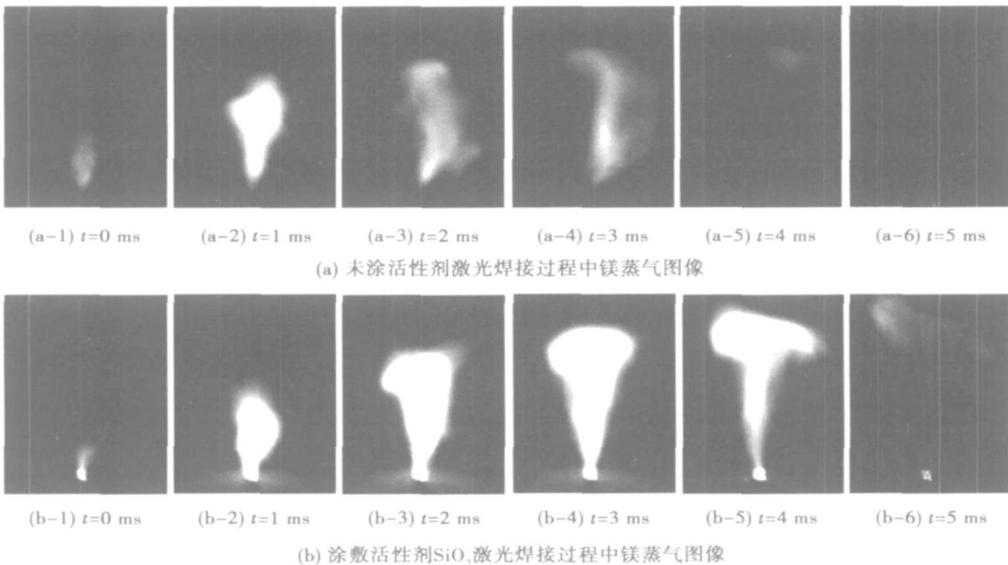


图 6 激光加工过程镁蒸气图像分析(激光功率 300 W, 焊接速度 600 mm/min, 离焦量 -0.5 mm)

Fig. 6 Shapes of magnesium vapor during laser welding

3 结 论

(1) 产品结构树的建立是 WCAPP 描述产品结构信息的基础,建立了基于 XML 的产品信息模型表示及各种操作实现,该模型集成了产品一部件一接头层次性的关系数据表示、产品图、部件图及接头参数(接头类型、接头图、母材类型及厚度)、接头工艺推导主参数、接头工艺规范数据等,解决了半结构化数据和非结构化数据的表示和存储。该结构能够描述复杂焊接结构件及所有接头信息,是后续进行工艺求解的前提。

(2) 实现了 CAD 与 WCAPP 的图形数据的基于共享内存的双向交互,突破了传统 CAD 矢量图在 CAPP 中的处理问题,即通常以位图图库来存储和表示接头图形信息,不便于修改图形接头参数,提高了图形处理效率。

[上接第 52 页]

3 结 论

(1) 在文中试验条件下,氧化物和氟化物活性剂的引入能够增加镁合金低功率激光焊焊缝的熔深和深宽比,提高激光焊的熔深能力。但氟化物不能使熔深增加。其中氧化物效果较好, SiO_2 可使熔深增加达 220%。

(2) 焊接参数的变化对活性剂的作用有很大影响。热输入较低时,焊缝熔深随热输入的增大骤然提高,继续增大焊接热输入,熔深增大趋势变得不明显。

(3) 活性激光焊中熔深和深宽比增加的主要原因为,活性剂的使用提高了激光作用初期试样对激

(3) 通过多类型工艺文档模板,实现不同工艺文档数据的输出及归档,保证了工艺数据的准确性、一致性和传递的及时性。

参考文献:

- [1] Zhu Zhiming, Zhang Chongke, Chen Bingsen. Study and development of assembly-welding CAPP system for welded structures[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2001, 22(4): 87-92.
- [2] 吕波,姚伟力,王延章.压力容器焊接专家系统设计与实现[J].焊接学报,2002,23(2):36-39.
- [3] 魏艳红,卢静,吴雪芬,等.焊接工艺文件管理与编制[J].焊接,1999(10):11-13.

作者简介:钱晓军,男,1971年出生,硕士,讲师。主要从事计算机应用软件研究,发表文章4篇。

Email: qxj6288991@sina.com

光能量的吸收率。

参考文献:

- [1] 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册(第2卷)[M].第2版.北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 张瑞华,樊丁.低碳钢 A-TIG 焊活性剂的焊接性[J].焊接学报,2003,24(1):85-90.
- [3] 齐向前,李玉昌,武建军,等.铝合金激光焊接技术特性[J].焊接技术,2005,34(3):30-32.
- [4] 张兆栋,刘黎明,沈勇,等.镁合金的活性电弧焊接[J].中国有色金属学报,2005,15(6):912-916.

作者简介:孙昊,男,1984年出生,硕士研究生。主要从事镁合金活性激光焊研究。

Email: liulm@dht.edu.cn

result of wear-resisting test shows that the wear-resisting volume of the coating is less than that of the base metal by 15–20 times.

Key words: tungsten inert-gas welding; coating; TiC particle; microstructure; wear-resisting property

Edge detection of metal transfer image based on wavelet transform

YANG Qian, WANG Guangwei, HUA Xueming, WU Yixiong (Material Science and Technology Department, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China). p38–40

Abstract: Wavelet transform and improved Prewitt operator were used to detect the edge of the droplet image in GMAW. After preprocessing, wavelet transform was used to perform decomposition to different detailed levels, and enhance diagonal detail coefficients by multiplying it with the proper parameters, then reconstruct image. Improved Prewitt operation was used to detect the edge of reconstructed image. The experiment results demonstrate that the method is effective to detect the real outline of droplet and real edge of weld pool, and the levels of decomposition and the multiples are vital factors, which depends on the real image.

Key words: wavelet transform; improved Prewitt operator; metal transfer; image processing; edge detection

Electron beam welding of dissimilar metal between Ti–43Al–

9V–0.3Y and TC4 ZHANG Binggang, CHEN Guoqing, HE Jingshan, FENG Jicai (National Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p41–44

Abstract: The morphology of welded joint between Ti–43Al–9V–0.3Y and TC4, the phase composition and the effect of the welding parameters on the tensile strength are analysed. The weld zone is mainly composed of the coarse columnar crystals, and its phase composition includes Ti_3Al , TiAl, B2 and YAl_2 . The columnar crystals in the weld near TC4 are grown up from the grains of the base metal, and the equiaxed grains in the heat-affected zone are coarse $\alpha+\beta$ structure, and the sizes of the two kinds of grains are distinct. The weld near TiAl is a corrosion resisting bleached zone, and it is composed of single B2 phase. The effect of the welding parameters on the tensile strength of the joint was analyzed. The results shows the welding speed has little influence on the tensile strength, a peak of the tensile strength appears with the change of seam current, the maximum of the tensile strength of the weld is 209.8 MPa in the tested range.

Key words: TiAl-based alloy; TC4 alloy; electron beam welding

Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of welded joint in PAW of SiCp/6061Al

LEI Yucheng, ZHU Fei, YUAN Weijin, CHENG Xiaonong (School of Material Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang

212013, Jiangsu, China). p45–48

Abstract: The weldability of SiCp/6061Al MMCs was studied with plasma arc welding. The effect of welding parameters (welding current, welding speed) on the microstructure and mechanical properties of welded joint with and without filler Ti was investigated. The results showed: Without the filler Ti, the welding parameters can only change the dimension and quantities of Al_4C_3 , which is the harmful particles but not restrain its generation; with the filler Ti, types and distribution of reinforcement phase are the main factors to affect the mechanical properties of welded joint. Adjusting the welding parameters properly is beneficial to form a completely new in-situ section with the TiC, TiN and AlN as the reinforced particles can be formed at the weld center. Meanwhile the width of the old and new reinforced phases coexistence is reduced and the segregation of reinforced SiC particles is eliminated, thereby the mechanical properties of welded joints is enhanced.

Key words: plasma arc welding; metal matrix composites; welding parameters; microstructure; mechanical properties

Low power laser welding of magnesium alloy with activating flux

SUN Hao, ZHANG Zhaodong, LIU Liming (State Key Laboratory of Materials Modification & School of Materials Science and Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China). p49–52, 57

Abstract: The behavior of the laser welding of magnesium alloy with several activating fluxes was studied under the same experimental condition. The results show that the addition of oxide and chloride activating fluxes can increase weld penetration and D/W (depth/width) ratio in the condition of low power laser welding. The flux SiO_2 can make the penetration increased as much as 220%. It is proved that the activating flux can be used to increase weld penetration and decrease the cost of laser welding of magnesium alloy thin plate. It is found that the heat input has a large influence on the increment of the weld penetration. The main reason for the increment of laser absorptivity is that fluxes absorb more laser energy and transmit it to the specimen during the early period of laser action.

Key words: magnesium alloy; laser beam welding; activating flux; oxide

Processing technology of process data based on WCAPP

QIAN Xiaojun¹, SHEN Chunlong¹, WANG Kehong² (1. Department of Computer, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 2. Department of materials, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China). p53–57

Abstract: On the base of analyzing process data representing and operation properties, the structure of welding structure product hierarchy information Model/View/Control was built. The expression and operation of model was described. Parameter data of welded joint, master parameters and information of welded joint were inte-