焊接工艺参数对镁合金 CO₂ 激光焊 焊缝表面成形的影响

王红英, 李志军

(深圳职业技术学院工业中心,广东深圳 518055)

摘 要: 探讨了焊接工艺参数包括激光功率、焊接速度、正面和背面的保护气体流量对 焊接工艺效果和接头成形的影响。结果表明,对 AZ61和 AZ31两种镁合金,激光功率 的增大,焊缝正面和背面的熔宽都明显增大;而焊接速度的增大,焊缝正面和背面的熔 宽明显减小。在同样的工艺参数情况下,AZ61的熔化效率比 AZ31更高,获得的焊缝正 面和背面熔宽更大。正面的保护气体流量大小对焊缝熔宽的影响较小,而背面保护气 体流量对焊缝熔宽基本没有影响,但正面和背面气体流量主要影响到焊缝正反面的保 护效果,影响到焊缝的表观。试验结果表明,在适当的工艺参数下,采用 CO₂激光焊接 方法可以较好地实现不同厚度的 AZ61和 AZ31镁合金的焊接,而且焊缝成形良好,接 头的力学性能优良。

关键词: 镁合金; 激光焊接; 工艺参数

中图分类号: TG 456.7 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2006)02-64-05

王红英

0序 言

镁合金是高强度、重量轻的结构材料,具有较高 的强度 重量比、好的铸造性能、优良的可回收性、无 污染和资源丰富等一系列优点。在汽车、摩托车、兵 器和航空航天工业等领域有着广泛的应用前景,成 为减重节能、保护环境的首选材料^[1,4]。近年来镁 合金的产量在全球的年增长率高达 20%,显示出了 极大的应用潜力^[3]。

随着镁合金的应用日益增多,它的焊接性能也 开始受到了人们的关注和研究。由于镁合金熔点 低,导热率高,线膨胀系数大,与氧、氮的亲和力强, 使得镁合金的焊接较一般的钢材更加困难,对焊接 工艺的要求也更高。在早期的研究和应用中,镁合 金的焊接主要是采用弧焊的方法^[4~6]。但由于弧焊 方法有较高的热输入,使得焊接过程形成的热影响 区很宽,晶粒比较粗大,形成的焊缝性能较差;同时 也会导致较大的焊接变形和高的残余应力。激光焊 接是一种比较先进的焊接镁合金的方法,具有速度 快、热输入量低、焊接变形小、容易实现自动化生产 等优点^[7~9],比传统的弧焊方法更加适合于镁合金 结构件的焊接生产。

针对目前应用较多的两种镁合金 AZ61和

AZ31,研究了这两种镁合金的 CO2 激光焊接的工艺 特点,讨论了不同厚度的镁合金板材激光焊接中,焊 接工艺参数对焊缝正面和背面熔宽以及焊缝成形的 影响,并对获得的典型焊接接头性能进行了分析。

1 试验方法

试验材料选择了 AZ61 和 AZ31 两种镁合金板 材,板材厚度分别为 1.5 mm、2 0 mm 和 2 6 mm, 两 种材料的成分如表 1 所示。板材首先被切成了 80 mm×245 mm的试件,焊接前样品用丙酮清洗以 去除表面的油脂。试验是在如图 1 所示的 CO₂ 激 光焊接试验系统上进行的,此试验系统包括一个最 大输出功率为 2 0 kW 的 CO₂ 激光器、具有特殊保 护功能的焊枪、特制的焊接夹具和机械自动行走机 构等。焊接过程中,氩气从焊枪和焊接夹具两面同 时加入,用于保护焊接区域正反面的熔池。正面的 氩气从焊枪两侧加入,以旁轴形式吹出。背面的氩 气从夹具背面加入到焊接夹具的气室中,可直接保 护焊缝背面。

焊接试验采用平板对接方式,焊接过程不填充 金属。试验过程中研究了四个工艺参数(激光功 率、焊接速度、正面和背面的保护气流量)变化对镁



表 1 AZ61和 AZ31镁合金的化学成分(质量分数,%) Table 1 Chemical compositions of AZ61 and AZ31 materials

	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Ni	M g
AZ61	5 5~7.5	0 5 ~1.5	0. 15~0 4	$\leqslant 0$ 01	≪0. 10	≪ 0. 005	余量
AZ31	2 5~3 5	0 7~1.2	≪ 0. 004	$\leqslant 0~007$	≪0.02	≪ 0. 002	余量



图 1 CO₂激光焊接试验系统照片 Fig 1 Experimientalsystem of CO₂ baserwebling

合金焊接效果的影响。虽然激光的聚焦点也是比较 重要的参数,但试验发现,当激光的聚焦点聚焦到工 件的表面,镁合金才能获得较高的熔化效率,因此试 验研究始终将激光的聚焦点固定在了工件表面。试 验工艺条件根据不同的板材厚度进行了相应的调 整,激光功率在08~15kW之间变化,采用连续方 式输出。焊接速度变化范围为400~1000mm /m in 正反面保护气流量在5~25L/m in之间变化。

焊接试验后,采用 JT12A 投影式测量仪测量了 各种条件下形成的焊缝的正面和背面熔化区宽度。 作者选择了 2个典型的焊缝,分析了焊接接头的性 能。用 HRS –150数字式显微硬度测试仪测量了焊 接区的显微硬度,测试负载压力为 98 N;在 CMT – 4304拉伸试验机上对焊接接头进行了拉伸试验,其 最大负载为 30 kg

- 2 结果和讨论
- 21 激光功率的影响

首先研究了不同激光功率情况下焊缝熔宽的变化,激光功率从 800W 增加到 1 500W,测量了焊缝 正面和背面的熔化宽度。对于不同厚度的 AZ61和 AZ31镁合金薄板,采用了不同的焊接速度。三种厚 度 1.5mm、20mm 和 26mm 的镁合金板采用的焊 接速 度分别为 1400mm min、1000mm min 和 600mm min 主要是为了在所研究的激光功率范 围内能获得较好的焊缝成形,防止出现烧穿或焊不 透的情况。试验过程中正面和背面的保护气流量保 持不变,分别为 25 L m in 和 20 L m in 以保证熔池 正面和背面获得良好的保护。图 2给出了试验获得 的焊缝正面熔宽随激光功率的变化关系。从中可 见,对不同厚度和不同材料的镁合金,随激光功率的 增加正面熔宽都增大。这是因为激光功率增大,热 输入增加,使得熔化的金属量增加,正面熔宽也就相 应增大。不同厚度的镁合金薄板所获得的正面熔宽 变化的规律基本相同。



图 2 焊缝正面熔宽随激光功率的变化关系 Fg. 2 Effect of laser power on top weld width

对比相同厚度的两种镁合金材料获得的正面熔 宽可以发现,在相同的焊接条件下,对 1.5 mm 的厚 度,AZ61和 AZ31获得的正面熔宽相差不大;但对 20.26mm 的板厚,AZ61获得的正面熔宽明显大 于 AZ31。这可能与两种镁合金的合金成分不同有 关,AZ61的合金成分(主要是 A1)明显高于 AZ31。 对镁合金来说,随着合金成分的增加,镁合金的熔点 降低,焊接过程熔化的金属量和范围增加,从而使熔 化宽度增加。对 1.5 mm 的厚度,由于焊接时用的 焊接速度很快,单位长度的热输入本身较小,所以对 两种不同镁合金材料表现不明显,熔宽相差不大。

由于所有试验的焊缝都完全熔透,所以焊后也 测量了焊缝背面熔化区的宽度。图 3是焊缝背面熔 宽随激光功率的变化曲线,从图中可见,背面熔宽随 激光功率的变化关系与正面熔宽的规律基本相同, 随功率的增大,背面熔宽增大。因此激光功率的变 化,可以明显改变焊缝的尺寸。





22 焊接速度的影响

试验中还研究了焊接速度的变化对焊缝熔化宽 度的影响。为获得好的焊缝成形和保证焊接熔透, 焊接不同厚度的镁合金薄板采用了不同的激光功 率,对1.5mm、2.0mm和2.6mm的镁合金板采用 的激光功率分别为1000W、1200W和1400W。保 护气体流量与前面的试验相同。图4表示的是不同 焊接速度情况下获得的焊缝正面熔宽。从中可见, 焊接速度增大,正面熔宽明显减小。对比两种镁合 金材料的熔宽数据发现,在相同焊接参数情况下也 是 AZ61的熔宽大于 AZ31的熔宽。





图 5示出了不同焊接速度情况下获得的焊缝背面熔宽。从图中可以看出,焊接速度增大,背面熔宽也减小,这与正面熔宽的变化规律是一致的。焊接速度的增大,单位长度的热输入减小,导致熔化金属减少,使得焊缝尺寸减小。说明焊接速度是影响焊缝尺寸和成形的又一个主要的因素。从图 5的背面熔宽的变化曲线可以看出,在焊接速度较低时,对 1 5mm和 2 0mm厚的 AZ61镁合金板,存在一个背面熔宽显著变化的奇异区间。在焊接速度较小 (如 400mm min)时,背面熔宽很大,然后随焊接速 度的增大,背面熔宽才回到正常的曲线范围。这是 因为在 AZ61母材较薄时,采用的激光功率相对较 大,而焊接速度又很小,使得母材大量熔化,背面熔 化金属和熔池下塌都较多,从而使背面熔宽较大。 同样的焊接条件下,在材料 AZ31上未发现有这种 奇异的背面熔宽增大的现象,这也与两者的合金成 分相差较大有关。



23 保护气流量的影响

保护用的氩气分别从焊枪和焊接夹具加入,用 于保护焊缝的正面和背面,防止氧化。首先试验了正 面保护气体流量(从焊枪加入)大小的影响,保护气 流量在 5~30 L m in之间变化。试验用的镁合金板 厚度为 2 6 mm,激光功率和焊接速度分别为 1 200W和 800 mm m in 背面保护气流量固定在 20 L m in. 试验的结果如图 6所示,从中可见,正面气 体流量对正面和背面的焊缝熔宽影响都比较小。对 AZ61材料,在气体流量较小时,气体流量增大,正面 焊缝宽度略有增加;但熔体流量增加较大时,正面熔 宽略有减小。对 AZ31 材料情况有所不同,特别是 气流量较大时,正面熔宽下降较多,这可能是因为气 体流量太大时,气体带走的热量增加,使得散热明显





加快,熔宽就下降了。正面气流量对背面熔宽影响 不大,随气流增大,背面熔宽略有增大。

其次还试验了背面保护气体流量(从夹具加入)大小的影响,气流量也在 5~30 L m in 之间变化。此试验用的镁合金板厚度为 2 0 mm,激光功率 和焊接速度分别为 1 200W 和 800 mm m in 正面保 护气流量固定在 25 L m in 试验结果如图 7所示, 从中可见,背面保护气体流量对焊缝的正面和背面 熔宽的大小基本没有影响。对比图 6和图 7可以发





现,图 6中正面和背面熔宽相差较大,而图 7中正面 和背面熔宽相差很小。这主要是因为两个试验采用 了相同的激光功率和焊接速度,但板材厚度不同,板 材越厚,穿透到背面越少,形成的背面熔宽越小,这 样造成了正面和背面的熔宽相差更大。

虽然正面和背面保护气体流量对熔宽影响不 大,但它们主要影响到正面和背面焊缝的保护效果, 如果流量太小,则熔化金属表面不能获得很好的保 护,表面氧化严重,呈现黑色的表观。试验发现,正 面和背面的保护气体流量都应当大于 20 L m in 才 能获得好的保护效果。

24 典型焊缝的分析

通过选择两个典型的镁合金焊缝进行分析,典 型焊缝的焊接试验条件以及正面和背面熔宽如表 2 所示。试件 A和 B分别是不同材料的 2 6mm 镁合 金薄板对接焊缝。图 8给出了两个典型焊缝的正面 外观照片。从图中可见,激光焊接的焊缝表观连续 均匀、成形美观、无表面缺陷,焊缝狭窄,热影响区较 小。图 9表示的是两个典型焊缝的横断面的形貌。 从中可见,在不填充金属的情况下焊缝有一定的下 塌量。同样的参数情况下,AZ61获得的熔化区面积 比 AZ31稍大。

	表 2 典型焊缝的上艺条件机熔宽
Table 2	Process conditions and weld widths of typical welds

试样 编号	材料	激光功率 P W	焊接速度 v(mm・m in ⁻¹)	正面气流量 q ₁ /(L·min ⁻¹)	背面气流量 q ₂ /(L·min ⁻¹)	正面熔宽 _{W1} /mm	背面熔宽 w ₂ /nm
A	AZ61	1 400	1 000	25	20	3. 23	2 24
В	AZ31	1 400	1 000	25	20	2.68	2 02





Fig 9 Micrographs of cross section of typical laser we bls of magnesium alloys 对两个典型焊缝进行了显微硬度测量和力学拉 伸试验。测量的显微硬度结果如表 3 所示,从中可 见,熔合区和热影响区的硬度均高于母材,说明焊缝 区域的硬度优于母材。拉伸试验结果发现,AZ61接 头试样是在约 3 18 kN的拉力情况下,在母材金属 区域被拉断,计算出的抗拉强度约为 265 MPa。而 AZ31试样是在约 3 03 kN的拉力情况下,也是在母 材金属区域被拉断,计算出的抗拉强度约为 250 MPa 这表明 AZ61和 AZ31焊接接头的抗拉强 度都高于母材的抗拉强度,因此,采用激光焊接方法 焊接镁合金获得的焊接接头具有很好的力学性能。

表 3 镁合金焊缝的显微硬度测试结果(HRS) Table 3 Microhaldness of typical webs of magnesium albys

试样 编号	母材金属 区硬度	热影响 区硬度	熔合区 硬度
А	45. 5	55 7	53 2
В	41. 2	58 6	52 5

3 结 论

(1)研究了 CO2激光焊接工艺参数对镁合金 焊接的影响,激光功率和焊接速度是影响焊缝成形 和熔宽的主要因素,保护气体流量的影响较小。

(2) 同样的工艺条件下, CO₂激光焊接 AZ61镁 合金获得的焊缝熔宽比焊接 AZ31镁合金获得的焊 缝熔宽更大, AZ61的熔化效率更高。

(3) 在适当的工艺参数条件下, CO₂激光焊接 AZ61和 AZ31镁合金能获得很好的焊缝成形, 焊缝 均匀美观、热影响区较小。 (4) 典型的 AZ61和 AZ31焊接接头性能分析 结果表明,焊接区域的硬度和抗拉强度都明显高于 母材金属区,说明激光焊接方法焊接镁合金获得的 焊接接头具有优良的力学性能。

参考文献:

- A vedesian M, Baker H. Magnesium and magnesium alloys [M].
 A SM International Materials Park Ohio 1999.
- [2] 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册(第二卷)[M].北京: 机械工业出版社,1992 521-522
- [3] 王渠东,丁文江. 镁合金及其成形技术的国内外动态与发展 [J]. 世界科技研究与发展, 2004 26(3): 39-46
- [4] Zhang Y M, Zhang S B. Welding alum inum alby 6061 with opposing dual torch GTAW process[J]. Welding Research Supplement 1999 (6): 202-206
- [5] 徐锦锋, 翟秋亚. AZ91B镁合金 TIC焊接头组织与性能[J].
 特种铸造及有色金属, 2004 (4): 23-25
- [6] 郑 荣,林 然. AZ31B镁合金薄板 TIG 焊接[J]. 焊接, 2003 (4): 43-44.
- [7] 王继峰,刘黎明,宋 刚. 激光焊接 AZ31B 镁合金接头微观 组织特征[J]. 焊接学报, 2004 25(3): 15-18.
- [8] Weisheit A, Galum R Mobdike B L CO₂ laser beam welding of magnesium - based alloys[J]. Welding Journal 1998 77(4): 149-154
- [9] DhahriM, Masse JE Mathieu JF, etal Laserwelding of AZ91 and WE43 magnesium alloys for automotive and aerospace indus tries[J]. Advanced Engineering Materia & 2001, 3(7): 504 – 507.

作者简介: 王红英, 女, 1970年 1月出生, 副教授, 主任。主要研 究方向为新材料的焊接工艺与方法研究。获专利 4项, 发表论文 10 篇。

Email wanghy@oa szpt net

effect of vacuum electron beam welding by different processing parameter optimize the welding parameters and reduce the cost. The result shows that the residual stress peak value of joint welded by EBW with mediumvoltage electron beam welding is higher than that of the joint with high voltage and its high residual stresses zone is much more concentreted on the central section of the joint

 $\label{eq:constraint} \textbf{Keywords} \quad \text{electron beam welding numerical sinulation} \ \text{resid}$ ual stresses

Sin ulation system of IGM are welding robot stationLUYong^{1, 2}, WANG Ke hong¹, YANG Jing yu², DU Shanshan², Du Shansan²(1. Nan Jing University of Science & Technology Nanjing 210094China, 2 Material Department of Science & Engineer Computer Department of Science & Technology Nanjing 210094China). p59 - 63

Abstracts Under the present situation that teach and play robot is used in the automatic welding universal off line programming system of ICM are welding robot was developed. The three dimensional (3D) sin ulation of robot welding process is a graphic platform of off line programming. A new development way had been put forward to realize the sinulation system of 3D graphics which was to develop independently an offline programming system of the work station including an OLE item based on C *I*S structure. And no slot integration of the three dimensional graphic and topological information of the welding workpiece had been realized by COM interface. Under VC+++ development environment framework with three degrees of freedom joint type arcwer kling robot with six degrees of freedom and positioner with two degrees of freedom had been developeds by using OpenGL graphic developing instrument based on object oriented programming.

Keywords are welding robot graphic sinulation, OpenGL

Effects of welding parameters on CO₂ have rwelding of magnesium albys WANG Hong ying LI Zhi jun (Industry Center Shenzhen Polytechnic Guangdong Shenzhen 518055 China). p 64 – 68

Abstract The effect of welding parameters including laser power welding speed and shielding gas flow rate on the laser welding process of magnesium alloys were researched. It was indicated that the weld widths at top and back side are both increased when the laser power is higher. And the weld width decrease with welding speed being increased. AZ61 magnesium alloys had a higher molten efficiency than AZ31 under the same welding parameters and a larger weld width is obtained for AZ61. The top and back shielding gas flow rate have few effect on the weld width. However, they directly determine the shielding effect of weld surface. The welding of AZ61 and AZ31 magnesium alloy sheets with differ ent thickness can be successfully carried out by using CO₂ laser welding.

method under the proper process conditions Moreover the formed weld has ideal appearance and good mechanical properties

Keywords magnesium a lbys kaserwelding welding parameters

M icrostructure and m echanical properties of laser welded joint of ti

taniam alby YAO Wei GONG Shui li CHEN Li(National Key Laboratory ForHigh Energy Density Beam Processing Technology Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute Beijing 100024 China). p 69 – 72 76

Abstract The microstructure in various zones of laserwelded joint of BT20 titan ium alloy with 2.5 mm thickness was observed and the me chanical properties such as the microhardness the tensile and the ber ding properties the fatigue life and the fracture toughness of the joint at room temperatures were tested. The microstructure in various zones con sists of martens ite and the microhardness of the joint is higher than that of the base metal. The tensile strength of the joint is equal to that of the base metal and the ductility of the joint is slightly lower. The stress level has an important influence on the fatigue life of the joint, which is equal to that of the base metal at low stress level but obviously lower at high stress level. The fracture toughness of the weld metal is lower than that of the base metal and the fracture toughness of heat affected zone (HAZ) is in tervenient between those of weld metal and base metal.

Key words titan ium al by laser penetration welding microstruc ture, mechanical property

Plasm a cloud sensing of keyhole molten pool during pulsed plasma arcwelding MALi HU Sheng sun ZHU Yu xin YN Feng liang (Material Science and Technology Institute Tianjin University Tianjin 300072 China). p73 – 76

Abstract Based on the theory of sensing the plasma cloud with a metal probe an applied multiprobe plasma cloud charge sensor was de veloped and its reliability and precision were tested and compared with a designed efflux plasma charge sensor. The plasma cloud charge sensor was applied to detect the status of keyholem olten pool during pulsed plasma a crowelding furthermore the detected signals were studied. As a result the detected undershoot of plasma cloud signal can be used as the criterion of the keyhole molten pool's status and the frequency of the undershoot can be used as the criterion to judgewhether the pulse welding is one pulse one keyhole or not. It was shown that the detected plasma cloud signal can reflect the keyhole molten pool's status.

Keywords pulsed current plasma arc welding keyholem olten pool plasma cloud sensing