

文章编号: 1009-4490(2007)04-0051-05

2A12 铝合金真空电子束焊接工艺研究

王俊元, 王素慧

(中北大学机械工程与自动化学院, 山西 太原 030051)

摘要: 本文研究了 2A12 铝合金材料的性能, 探讨了真空电子束焊接技术的应用范围和焊接流程以及真空电子束焊接工艺的发展. 在此基础上采用了“试件法”的焊接方法, 对 2A12 铝合金进行了试验, 确定了焊接工艺参数, 保证了焊缝所需的力学性能, 满足了设计使用要求.

关键词: 2A12 铝合金; 真空电子束焊接; 焊接参数; 焊接工艺

中图分类号: O59 **文献标识码:** A

0 前言

随着科学技术的最新发展, 尤其原子能和导弹技术的发展, 大量应用了锆、钛、钽、铂、镍、铝及其合金. 焊接这些金属用一般的气体保护焊常常不能得到满意的结果. 电子束焊接研制成功才顺利地解决了这些稀有和难熔金属的焊接问题^[1].

电子束焊接是近三十年来发展起来的一种新颖、高能量密度的熔化焊方法. 它是通过高压加速装置形成的高功率电子束流, 经过磁透镜汇聚, 得到很小的焦点, 一般为 0.2mm ~ 0.6mm, 轰击置于真空或非真空中的焊件时, 能量密度可达 $10^6 \text{ W/cm}^2 \sim 10^8 \text{ W/cm}^2$ ^[2-4], 电子的部份动能迅速转变为热能, 熔化金属, 从而完成焊接的一种工艺.

电子束焊接的应用好坏与否, 不仅取决于设备的好坏, 在更大的程度上取决于工艺的掌握程度. 国外在发展电子束焊接同时, 对工艺研究一般都非常重视. 工艺的研究促进了设备的发展, 也扩大了电子束的应用范畴.

1 2A12 铝合金的性能

电子束焊接在工业上有着极其广泛的应用. 由于焦点小、电子速度很高, 因而产生的热量相当集中, 且具有相当的穿透能力, 故可得到焊缝深宽比较大、热影响区狭小的高质量焊缝. 另一方面, 在真空状态下焊接时, 可以基本杜绝空气对焊缝的影响, 使焊缝内部质量大大优于在非真空状态下的焊接质量.

基于以上特点, 真空电子束焊接方法常常用来焊接一些焊接性较差的高熔点和极易氧化的特种材料. 2A12 铝合金是 Al-Cu-Mg 系合金, 在高温下具有良好的塑性, 焊接性能良好, 常用于制造中等载荷零件、形状复杂锻件以及模锻件. 2A12 是一种极易被氧化的材料, 在空气中容易与氧结合生成紧密结实的 Al_2O_3 氧化薄膜 (厚度约 0.1 μm). 这些薄膜的熔点高达 2050, 密度 $3.950 \text{ kg/m}^3 \sim 4.10 \text{ kg/m}^3$, 约为铝的 1.4 倍, 它会吸附水分, 在焊接过程中形成气孔、夹渣等缺陷, 从而降低了焊接接头的力学性能. 少量的气体杂质对它的组织结构和力学性能产生强烈的影响, 对该材料的焊接十分不利, 故选用焊接质量高, 杂质气体

收稿日期: 2007-06-10

基金项目: 企业横向项目“真空电子束焊接工艺研究”

作者简介: 王俊元 (1968—), 男, 山西繁峙人, 中北大学机械工程与自动化学院副教授, 硕士生导师, 博士生, 主要从事机械系统监测与诊断方面的研究.

少的真空电子束焊接方法进行试验研究^[5].

本文中的研究零件是运用 2A12 铝合金旋压而成筒形零件. 表 1 为材料 2A12 的化学成分和机械性能.

表 1 2A12 的化学成分及力学性能

Tab 1 The Chemical Constitution and Mechanical Property of 2A12

化学成分 (%)								力学性能		
Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ni	Al	σ_b (MPa)	(%)	HBS
3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	0.5	0.5	0.3	0.1	余量	470	17	105
弹性模量: $E = 7.2 \times 10^{10} \text{N/m}^2$			泊松比: $\mu = 0.33$							
熔点: 503 ~ 530										
密度: $P = 2.7787 \times 10^3 \text{kg/m}^3$										

注: 力学性能为淬火 + 自然时效状态指标

2 2A12 铝管真空电子束焊接基本流程

真空电子束焊的工序一般包括待焊工件的清洗、焊前压配、焊接、探伤、焊后精加工^[6~7].

(1) 待焊工件的清洗. 真空电子束焊对零件焊接面的清洗要求比较高. 在焊接前, 要将焊接表面的油、锈、氧化物以及其他杂质清除干净. 特别是两个对接表面, 首先使用刮刀刮去表面的氧化物, 再使用丙酮或无水乙醇擦洗脱水, 清洗完毕后, 必须在 8h 内进行焊接.

(2) 焊前压配. 焊接前零件装配精度对电子束焊接质量的影响很大. 因为端面接触部位存在间隙和零件配合过松都会造成焊接变形. 所以, 在装配时要控制机加工的公差配合, 确保装配到位.

(3) 焊接. 电子束焊接参数的选用是否合适直接影响着焊缝内外表面的成形和焊缝的强度. 通过焊接试件, 调整焊接参数, 并将焊缝质量好的参数作为焊接参数.

(4) 探伤. 对于电子束焊的检验, 一般先目视检查其外观, 待车光焊缝凸起及锁底后, 可进行 X 光检查, 不允许有缺陷.

(5) 焊后精加工. 焊接完毕并经目视检查后, 要车光焊缝表面余高, 目的是消除 X 光、着色探伤的假象.

3 接工艺研究

3.1 试验设备

试验采用法国 TECHMETA 公司生产的 LARA52 中压高真空型真空电子束焊机, 电子枪是加三极型枪, 最大功率 30kW, 加速电压为 20kV ~ 60kV 可调, 稳定性小于 $\pm 0.1\%$; 聚焦电流 0A ~ 4A 可调, 稳定性小于 $\pm 0.1\%$; 束流强度为 0mA ~ 500mA 可调, 束流稳定性小于 $\pm 0.2\%$; 工作距离 50mm ~ 500mm 可调. 静电聚束功能由控制栅极兼顾实现, 间热式阴极 (钨制), 加热方式为电阻加热; 焊接工作室的真空度低于 10^{-3}Pa , 工作室尺寸为 6600mm \times 1000mm \times 1200mm.

3.2 真空电子束焊接工艺参数的选择

电子束焊接过程中, 选择工艺参数是个相当重要的问题. 可以说在工装设计好后, 工艺参数的选择直接关系到焊接质量的好坏. 对一种陌生的材料如何选择加速电压、电流、焊接速度和束振荡频率, 它们之间如何搭配才是最佳而不是次佳, 这都涉及到工艺参数的选择. 我们希望得到的工艺参数应该使焊缝没有焊接缺陷, 如气孔、夹渣、裂纹等, 而且表面成形美观、鱼鳞纹整齐而均匀; 焊缝的机械性能满足要求等.

在选择焊接参数时, 通常经历以下几个过程: (1) 在模拟试件上试焊, 初步确定焊接参数; (2) 对试件进行探伤, 是否有焊接缺陷; (3) 对试件解剖, 确定焊透的深度; (4) 多次试焊后确定焊接参数. 对于要求不高的焊缝, 可不必要求探伤、解剖, 而直接通过模拟试验件确定焊深^[8].

3.3 工艺参数的选择方法

选择工艺参数可先根据所叙述的线能量算法初步确定所需的线能量, 避免反复试验, 然后通过下述

方法对规范参数进行选择^[9].

(1)试件法:对于一般焊接结构通常都使用这种方法.具体的做法是加工一些与工件结构类似的模拟件进行试焊,得到规范参数后,再用这些参数对正式件进行焊接.如果对焊深的要求不高,那么就可以使用与工件等厚的单平板试件,进行试焊,选择焊接参数.焊接深度以平板背面微透即可^[9].

对于较为精密、对焊接要求较高的工件,可采用单平板试件和与正式件结构相同的对接试板.先在单平板试件上找出粗略的参数,然后在对接板试件上焊接.若对这一参数比较满意,还应在这条焊缝进行探伤、解剖、理化磨样等工作,了解焊缝是否有气孔等缺陷,焊接深度、焊根跳动等指标是否符合要求.对于一般要求不高的焊缝也可把试板做成带角度的倾斜试板,倾斜试板的好处是对焊缝的焊深比较容易观察.若焊深不够可以适当地加大束流,焊深大了可以适当地减少束流.








(2)曲线法:在积累大量资料数据的基础上,可以根据不同的参数绘制出不同的曲线,也可以通过试验做出常用材料的参数曲线.参数变量包括熔深、束流、加速电压、焊接速度、表面质量等.焊接时,可直接通过曲线寻找参数.这种方法的优点是可以节省试件,参数范围明确,缺点是选择的参数不是很精确.可对一般要求不高的焊缝和做概率估计使用.

(3)正交试验法:对一种陌生的材料,用大量的试件进行试焊,势必要浪费很多的人力、物力和时间,且不一定能找到最佳参数.通过正交试验法,利用正交表的正交性,进行少数几项试验就可以找到焊接参数的趋势和理想参数.

3.4 试验方法及 2A12 铝管真空电子束焊接工艺参数的确定

由于真空电子束焊接是目前国内外先进的焊接工艺方法,而且 2A12 铝合金也是新型的加工材料,在现有的资料中,关于 2A12 铝合金真空电子束焊接的资料甚少.因此在这次工艺研究中采用了“试件法”的方法.电子束焊接参数的选用是否合适直接影响着焊缝内外表面的成形和焊缝的强度.焊接选择的参数主要有:加速电压、束流、焊接速度、聚焦电流、焦点位置、工作距离以及电子束扫描形式等.可参照线能量公式 $q = IU/v$ 获得,要根据具体情况和工作经验灵活掌握^[2~5].根据该产品材料 2A12 的特性,以基本穿透焊接参数为基础,在筒形试件上通过熔敷焊接,试验不同焊接规范组合,调整焊接参数,使焊缝全焊透并兼顾两面(焊冠和焊漏)成形良好,优选焊接参数.表 2 为焊接过程中几种典型的焊接工艺参数.

表 2 焊接工艺参数
Tab.2 The Welding Condition

工艺序号	加速电压 (kV)	束流 (mA)	聚焦电流 (A)	焊接速度 (mm/min)	正面	反面	焊缝情况
1	35	210	1.33	3000	良好	良好	
2	55	120	1.71	3000	一般	尖锐	
3	55	55	1.71	1000	良好	良好	
4	55	60	1.71	1000	一般	一般	
5	55	70	1.71	1000	一般	可以	
6	55	75	1.71	1000	差	一般	
7	55	85	1.71	1000	可以	良好	

从表 2 中可以看到工艺 1、3、7 的正反两面的焊缝成形良好.因此,就根据 1、3、7 三种焊接工艺参数(表 3),进行对接圆筒焊接,验证焊接参数的重复性,并进行 X 光检查和力学性能试验.

力学性能试验按 GB 2651-89《焊接接头拉伸试验方法》的要求制备标准力学性能试样,进行焊接接头强度试验,拉伸数据如表 4.

对于工艺 1,由于焊接速度快,而焊接电流大,在焊缝中存在大量的气孔,严重影响焊接接头的力学性

能. 工艺 7 内外表面成形较差, 且存在少量气孔. 而工艺 3 内外表面成形非常好. 图 1 为 2A12 焊接铝管三维立体建模通过轴心的剖面样图, 焊缝为图中两种颜色的交接处, 焊缝厚度为 8mm. 在此焊接中, 两种焊接零件焊接表面零接触, 没有坡口. 图 2 为实际焊接零件图片, 从图中可以清楚地看到上下两个焊接零件以及焊缝. 如图 3, 图 4 分别为 2A12 铝管真空电子束焊接外表面和内表面图, 焊缝强度高, 是最优的焊接工艺参数. 因此确定工艺 3 的焊接工艺参数为最终焊接工艺参数 (表 5).

表 3 焊接工艺参数

Tab 3 The Welding Condition

工艺序号	加速电压 (kV)	束流 (mA)	聚焦电流 (A)	焊接速度 (mm/m in)	工作距离 (mm)
1	35	210	1.33	3000	
3	55	55	1.71	1000	455
7	55	85	1.71	1000	

表 4 8mm 铝管真空电子束焊缝力学性能

Tab 4 The Mechanical Property of 2A12 Weld Joint

工艺序号	材料	母材强度	强度 (%)		
1	2A12	465	320 (69%)	325 (70%)	
		442	312 (71%)	305 (70%)	
	退火	371	314 (84%)	315 (85%)	307 (83%)
3	2A12	459	328 (72%)	323 (70%)	
		455	322 (70%)	326 (72%)	
	退火	371	336 (91%)	339 (91%)	340 (92%)
7	2A12	418	325 (78%)	315 (75%)	
	退火	364	333 (91%)	333 (91%)	337 (93%)

表 5 焊接工艺参数

Tab 5 The Welding Condition

厚度 (mm)	加速电压 (kV)	束流 (mA)	聚焦电流 (A)	焊接速度 (mm/m in)	工作距离 (mm)
8	55	55	1.71	1000	455

5 结论

(1) 电子束焊接 2A12 铝合金薄壁筒形零件时, 可以采用高电压、低电流、慢速度的焊接方法, 试验证明, 这样焊接工艺是可行的. (2) 电子束焊接 2A12 材料时, 焊接接头处的力学性能比母材有所下降. (3) 采用真空电子束焊接工艺焊接 2A12 铝合金时, 其焊接成品内外表面成型良好, 焊接强度满足产品需要. 且焊接效率高, 焊缝质量好, 真空电子束焊接工艺是一种良好的焊接工艺. (4) 通过本次研究, 为以后的 2A12 铝合金真空电子束焊接奠定了研究基础, 也为以后铝合金材料的真空电子束焊接奠定了理论基础.

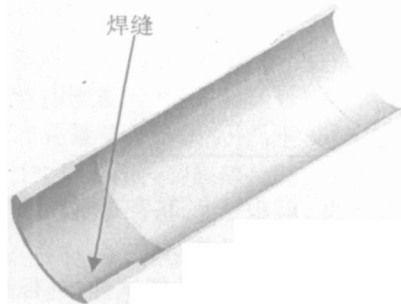


图 1 2A12 铝管真空电子束焊接样图
Fig 1 The Master Drawing of 2A12

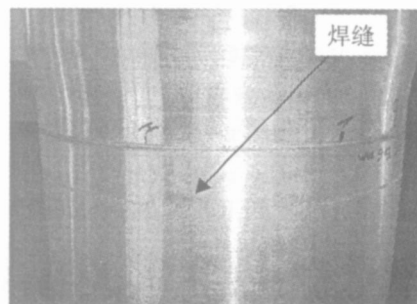


图 2 2A12 铝管真空电子束焊接图片
Fig 2 The Welding Picture of 2A12

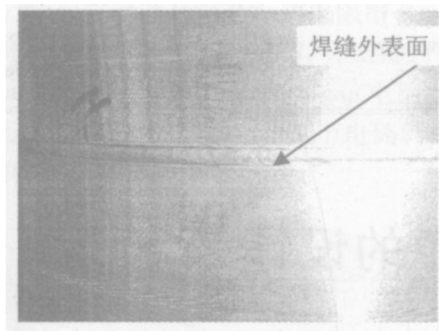


图 3 2A12 铝管真空电子束焊接外表面

Fig 3 The Exterior Surface of 2A12 A-alloy

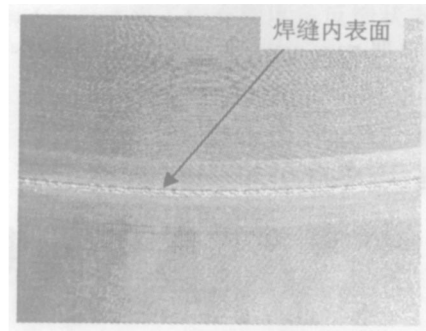


图 4 2A12 铝管真空电子束焊接内表面

Fig 4 The Internal Surface of 2A12 A-alloy

参考文献:

- [1] 常艳君,董俊慧. 铝合金电子束焊接气孔的分析焊接[J]. 焊接, 2005, (11): 43~44.
- [2] 杨志坤,李明,杨卫国,候德东,王邦龙,刘恩锦. 2A12 铝合金板焊接裂纹分析[J]. 《新技术新工艺》·热加工工艺技术与装备, 2006, (4): 90~92.
- [3] 胡振海,朱铭德,张建浩. 钛合金与铜合金的真空电子束焊接工艺研究[J]. 航天工艺, 2001, (1): 10~15.
- [4] 付鹏飞,毛智勇,刘方军. 真空电子束局部热处理技术的研究进展[J]. 金属热处理, 2004, 29(8): 31~34.
- [5] 张以忱. 真空技术及应用系列讲座 第十四讲:真空工程用焊接技术[J]. 真空, 2005, (5): 66~68.
- [6] Chen S C, Huang J C. Comparison of post-weld microstructures and mechanical properties of electron and laser-beam welded 8090Al-Li alloy plates[J]. Materials Transactions 1999, 4 (10): 1039~1078.
- [7] Shi Z J, Yang J M, Lee J C, et al. The Interfacial Characterization of Oxidized SiC(p)/2014 Al Composites[J]. Materials Science and Engineering, 2001, A303: 46~53.
- [8] Jr Starke E A, Quist W E. In flight vehicle materials, Structures and dynamics: Assessment and Future Directions[J]. American Society of Mechanical Engineers, 1992, (2): 118~160.
- [9] Kazakov V A, Nazarenko O K. State-of-art and prospects of development of electron beam welding of aerospace vehicles[J]. Welding in Space and Construction of Space Vehicles by Welding X25928, 1991: 151~161.

Welding Technology Research of Vacuum Electron Beam Welding for 2A12

WANG Jun-yuan, WANG Su-hui

(North University of China College of Mechanical Engineering
and Automation, Taiyuan 030051, Shanxi, China)

Abstract: In this paper we describe the quality of 2A12 aluminum alloy and applied range and the welding procedure of the vacuum electron beam welding and the development of the vacuum electron beam welding technology. Then we proceed test for 2A12 aluminum alloy with the welding method of "test piece method". The result indicates the welding parameter, and we have achieved the mechanics performance and satisfied the design requirements

Key words: 2A12 aluminum alloy; vacuum electron beam welding; welding parameter; welding technology