

铍的激光深熔焊工艺及显微组织

何建军 李盛和 谢志强 姜云波

(中国工程物理研究院,绵阳 621900)

文 摘 为了提高铍激光焊接的熔深,对其焊接工艺进行了探索。以 Nd YAG激光作为热源,用 $AlSi_2$ 为钎料。采用 SEM、EDS分析等手段研究了接头的显微组织、成分分布,分析了铍激光深熔焊的裂纹产生机理。研究表明:通过优化焊接工艺参数,实现铍的激光深熔焊可能性较大。

关键词 铍,激光深熔焊,裂纹

Welding Procure and Microstructure of Beryllium by Laser Keyhole Welding

He Jianjun Li Shenghe Xie Zhiqiang Jiang Yunbo

(China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900)

Abstract In order to improve weld penetration of beryllium seam, welding procure of beryllium keyhole welding by laser beam was explored Nd YAG laser was used as welding heat source $AlSi_2$ was used as brazing filler metal in the process of welding Microstructure and component distributing of welded joint were researched by SEM and EDS Mechanism of weld crack were analyzed in the process of beryllium keyhole welding by laser beam. It is very possible to realize laser keyhole welding of beryllium by further optimizing welding parameter

Key words Beryllium, Laser keyhole weld, Crack

1 前言

铍的低密度和高弹性模量使其成为宇航器和军用飞机的理想结构材料;在高温应用领域,铍可以成为高效散热片、热屏蔽、航天飞机和汽车制动器的理想材料;在核工业领域,铍可以应用于燃料包覆、减速剂和高通量反应堆的反射层^[1]。

由于铍为粉末冶金材料,塑性非常低,在焊接时容易产生缺陷,其最严重的缺陷是焊接裂纹^[2-3],产生裂纹的方式既有富铝晶界膜引起的热裂纹,又有产生于缺陷处(夹杂物、孔洞、氧化物颗粒)的开裂。经过国内外学者多年研究,铍的焊接取得了较大进展,钨极气体保护焊、电子束焊^[4]和激光焊^[5]等方法已经应用于铍的焊接。其中铍的激光焊接具有热影响区窄、效率高及便于防护的优点,因而具有非常广泛的应用前景。目前激光焊接铍主要采用热导焊的方式,由于铍的反射率比较高,因此熔深有限。为了提高铍对激光的吸收率,本文对铍激光深熔焊工艺进行了探索。在实验中采用 Nd YAG激光为热源,使用

$AlSi_2$ 为钎料。焊接后采用扫描电镜(SEM)、能谱(EDS)等手段研究了接头的显微组织、成分分布,并对焊接裂纹的产生机理进行了探索。

2 试验

焊前将试件加工为环状,接头采用止口对接形式,在焊缝处添加铝硅钎料,钎料厚度分别为 0.6和 0.8 mm,铍材及 $AlSi_2$ 的化学成分见表 1及表 2。

表 1 铍材的化学成分

Tab 1 Chemical component of Be

										%(质量分数)	
Fe	Al	Si	Mg	C	Be ₂ C	BeO	Cr	Mn	CuO		
0.15	0.08	0.08	0.1	0.10	0.1	2.5	0.035	0.035	0.02		

激光焊机光束输出为连续输出,使用石英透镜作为聚焦镜,透镜焦距为 200 mm。焊接在密封的手套箱内进行,焊前用 99.99%的氩气置换手套箱内气氛。焊接过程中侧吹氩气保护。焊后采用 PH LIPS 的场发射扫描电子显微镜及 FEI Sirion200型电子探针对接头区的显微组织、组成元素进行定性分析。

收稿日期:2008-01-24;修回日期:2008-04-07

基金项目:中国工程物理研究院重大基金(2005Z0302)

作者简介:何建军,1977年出生,硕士,主要从事焊接工艺及设备的研究工作

表 2 $AlSi_{12}$ 的化学成分

Tab 2 Chemical component of $AlSi_{12}$

% (质量分数)						
Al	Si	Fe	Mg	Cu	Zn	Pb
85.84	12.5~14.0	0.1	0.1	0.05	0.0014	0.005

3 结果及讨论

3.1 焊接工艺参数

为了降低钎焊接的裂纹敏感性,需对钎管进行预热处理。从图 1^[6]可知钎的伸长率当温度为 300 时达到最大值,所以采用的预热温度为 300。焊接工艺参数见表 3。

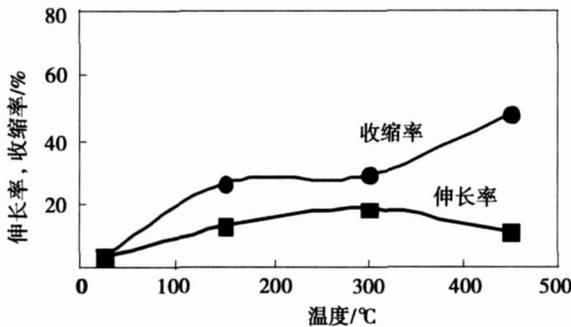


图 1 伸长率、断面收缩率与温度关系曲线

Fig 1 Relationship curves of temperature with elongation and shrinkage percent

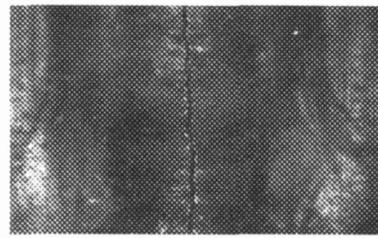
表 3 38 mm 钎环激光深熔焊焊接工艺

Tab 3 Welding procure of 38 mm beryllium ring by laser keyhole welding

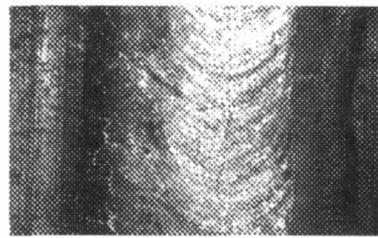
样品	预热温度 /	功率 /W	焊接速度 /mm·min ⁻¹	焦距 /mm	钎料厚度 /mm
1 [#]	300	1900	900	200	0.6
2 [#]	300	2000~1500	900	200	0.6
3 [#]	300	2000~1600	900	200	0.6
4 [#]	300	2000~1700	900	200	0.6
5 [#]	300	2500~2300	900	200	0.8

图 2 为典型试件的外观形貌。1[#]~5[#]试件的焊接都产生了严重的裂纹。其中 2[#]试件只有 1/3 的焊缝表面成型良好,其余部分出现了明显的焊缝中心裂纹,并且出现塌陷和沟槽现象 [图 2(a)]。出现这种现象的原因,一是由于深熔焊的功率密度非常高 (10⁷ W/cm²);二是由于焊接件的尺寸较小,散热能力较差。随着焊接过程的进行,热输入量持续增大,当其增大到一定程度后,便在焊缝表面出现塌陷和沟槽。为了避免出现塌陷和沟槽现象,在焊接试件 2[#]~4[#]试件时,采用了变功率设置的方法 (图 3),对激光输出的功率曲线进行了调整,在焊接 4[#]试件时取得了成功 [图 2(b)],4[#]试件在整个焊道上都形成了深熔焊缝,未出现塌陷和沟槽,但焊缝的中心裂纹依然存在。在焊接 5[#]试件时,采用了厚度 0.8 mm 的 $AlSi_{12}$ 宇航材料工艺 2008 年 第 4 期

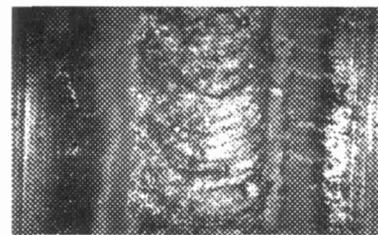
钎料,由于钎料比较厚,激光的焦斑主要作用在钎料上,铝合金的反射率比较高,为了形成激光深熔焊,需对激光的功率输出进行较大的调整,由最高时的 2500 W 逐步降低到 2300 W。焊接后,同样在焊缝区发现焊接裂纹,如图 2(c)所示。



(a) 2[#]试件



(b) 4[#]试件



(c) 5[#]试件

图 2 焊接试件的外观形貌

Fig 2 Bead appearance of workpiece

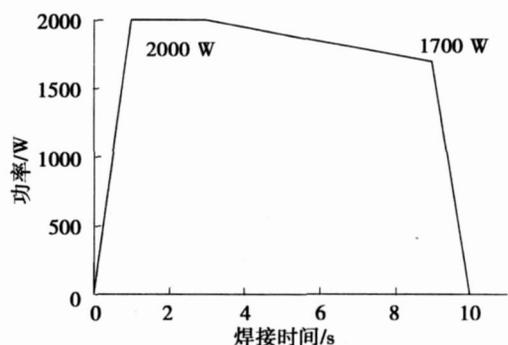


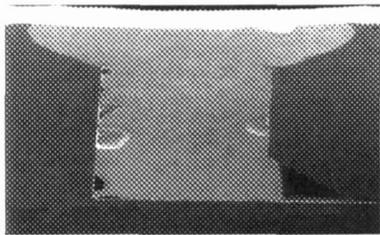
图 3 4[#]试件激光功率设置曲线

Fig 3 Curve of laser power

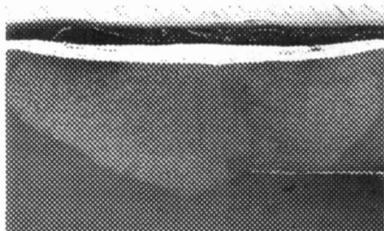
3.2 焊缝区组织分析

3.2.1 钎激光焊接接头的宏观形貌

钎激光热导焊与深熔焊的焊缝形貌相差很大,当采用热导焊时,熔深比较小 [图 4(a)];当采用深熔焊时,由于激光深熔焊存在小孔效应,穿透能力强,所以熔深比较大 [图 4(b)]。由于在钎焊缝中添加了铝硅钎料,所以其焊缝显得稍宽。



(a) 热导焊



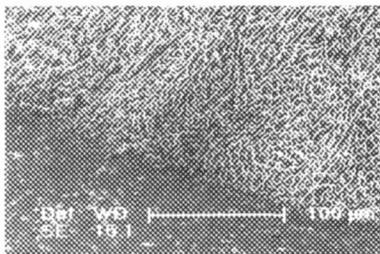
(b) 深熔焊

图 4 焊接接头区形貌

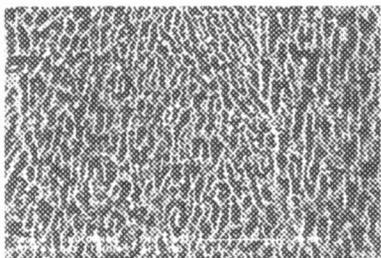
Fig 4 Microstructure of welding zone

3.2.2 焊缝凝固组织的微观形态

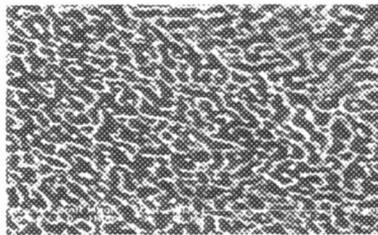
由图 5(a)可知,熔合线附近为粗大的柱状晶,且呈外延结晶趋势。这是由于熔合线附近未熔化的母材是焊缝金属结晶时的现成表面,可以起到非自发形核的作用。根据凝固条件和合金成分不同,焊缝凝固组织可以出现不同的形态,凝固组织形态主要受控于 G/V (温度梯度/冷却速度) 之值。由于在焊缝不同的位置具有的 G/V 值不同,焊缝的凝固组织形态与焊缝位置有关,在焊缝根部, G/V 值较大,一般为平面晶或胞晶。在焊缝中上部, G/V 值较小,一般为枝晶。在实际的焊缝金属中,这些凝固组织生长形态并不是全部出现,而是根据材质及焊接条件的不同而出现不同的凝固组织。在本研究中,铍激光深熔焊的焊缝根部组织主要为柱状晶 [图 5(b)],焊缝的中上部组织为主要为等轴晶 [图 5(c)]。



(a) 熔合线处



(b) 焊缝根部



(c) 焊缝中心

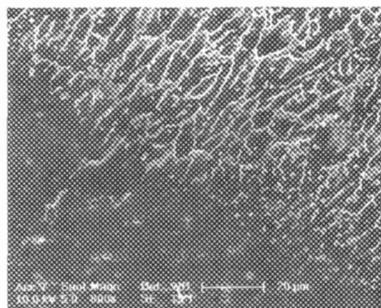
图 5 铍激光深熔焊显微组织

Fig 5 Microstructure of beryllium keyhole weld by laser beam

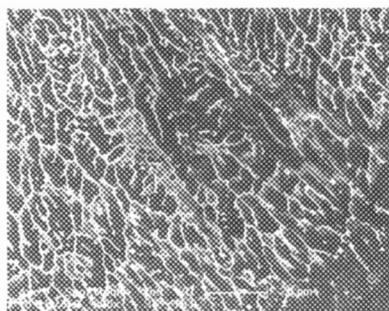
$P = 2\ 000 \sim 1\ 700\ \text{W}$, $V = 650\ \text{mm/min}$, 钎料 $\phi = 0.4\ \text{mm}$ 。

3.2.3 缺陷分析

铍激光深熔焊在焊接时极易在热影响区尤其是在靠近熔合线附近产生焊接冷裂纹 [图 6(a)]。铍的伸长率通常只有 3% ~ 5%,在焊接冷却时,由于收缩力而引起的应变超过了铍材的塑性容限,在热影响区处产生裂纹,在熔池内部也易产生微裂纹 [图 6(b)]。



(a) 熔合线处



(b) 熔池内部

图 6 焊接裂纹

Fig 6 Welding crack

对其进行 EDS 分析,能谱分析中取样点的位置如图 7 所示,其中“1”和“2”两个取样点位于接头的裂纹区域,由图 8(a)、图 8(b)可知裂纹区的碳和氧的含量都比较高,表明裂纹处产生大量的碳化物和氧化物。由于碳化物和氧化物都属于硬脆相,具有硬度高、塑性差的特点,因此当熔池中的碳化物和氧化物沿晶界析出并聚集时,就会导致该区域塑性下降,在焊接热应力的作用下,裂纹将在该区域产生并扩展。“3”取样点位于富铝熔融区,由图 8(c)可知该区域的铝和硅的含量相当高,这表明富铝熔融区可以降低焊接接头热应力,填充微裂纹,改善焊缝的力学性能,

宇航材料工艺 2008年 第4期

降低接头的裂纹敏感性。

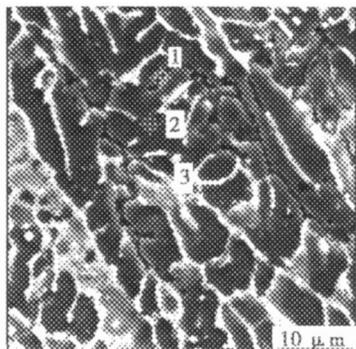
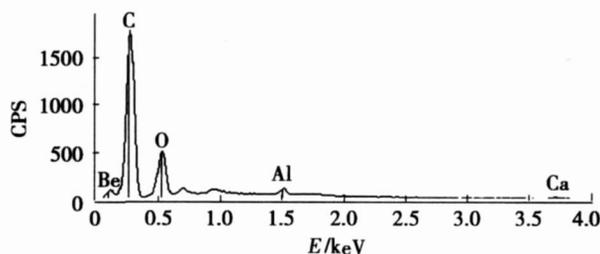
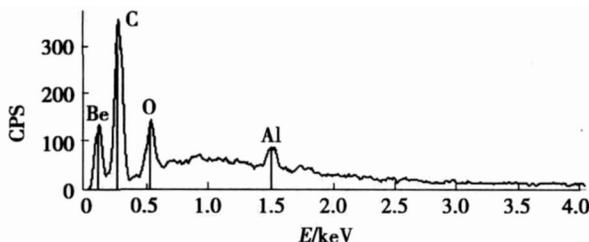


图 7 取样点的位置

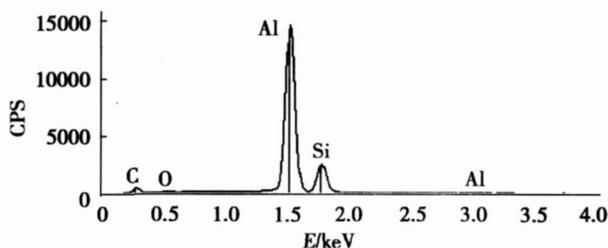
Fig 7 Position of sampling point



(a) “1 点处的能谱



(b) “2 点处的能谱



(c) “3 点处的能谱

图 8 取样点处的能谱

Fig 8 Energy spectrum at sampling point

4 结论

在本研究中铍激光深熔焊虽然未能取得较好效果,但是找到了铍激光深熔焊的问题和难点。其主要问题是焊接裂纹。产生裂纹的主要原因有:

(1)铍自身呈脆性,伸长率比较低;

(2)激光深熔焊的功率密度比较大,达到了 10^7 W/cm^2 ,熔池和基体金属之间的温度梯度比较高,从而造成接头存在较大的热应力;

(3)母材或钎料中的碳化物和氧化物沿晶界处析出、聚集,降低了晶界强度,裂纹易在此处产生并扩展;

(4)接头的结构设计不合理,所用铍环的厚度较薄,在进行激光深熔焊时,熔池穿过外止口面,由于止口处没有铝硅钎料填充,从而导致裂纹在止口处产生并扩展。

从研究结果来看,通过进一步优化焊接工艺参数,实现铍的激光深熔焊可能性较大。

参考文献

- 1 Marder J. Powder metallurgy of beryllium. In: 9th edition of metals handbook, vol 7, 1984
- 2 Harries D R. Welding Techniques for the rarer metals Nuclear Power, 1958; 3 (5): 219 ~ 221
- 3 Gilliland R G. Fusion welding end caps in beryllium tubes Welding Journal, 1963; 42 (1): 29
- 4 Passmore E M. Fusion welding of beryllium. Welding Journal, Research Supplement, 1964; 43 (3): 116s
- 5 李盛和等. 铍的 Nd YAG激光焊接阈值功率影响因素. 焊接学报, 2006; 27 (12): 25 ~ 28
- 6 李盛和, 谢志强等. 铍的 YAG激光焊接裂纹敏感性研究. 宇航材料工艺, 2005; 35 (3): 43 ~ 46

(编辑 吴坚)