

文章编号:1001-5078(2007)01-0034-03

## 18-8 型奥氏体不锈钢低功率Nd:YAG激光焊接研究

耿平,杨玉玲,张多  
(东北大学理学院,辽宁沈阳110004)

**摘要:**文中采用YAG激光作为焊接热源,对1.0mm厚的奥氏体不锈钢薄板的双面激光焊接工艺进行了研究。主要研究了试样的焊前打磨抛光、保护气体的选择及激光工艺参数(包括激光功率密度、焊接速度、脉冲宽度、脉冲频率等)的匹配对焊缝形成及表观形貌的影响。试验结果表明,此不锈钢非常适合用激光焊接。施焊前对试样进行充分的打磨和抛光十分必要,必须保证对焊面能紧密接触,以防止焊接过程中产生过多的气孔,同时还对提高焊缝的机械性能有重要作用。焊接过程中合适的保护气体及其送气方式也是十分必要的。大量试验表明,激光功率密度、焊接速度、脉冲宽度和脉冲频率四个参数的合理组合是实现不锈钢薄板焊接的关键因素。最佳工艺参数组合为在激光功率密度恒为 $5.7 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$ 的条件下,焊接速度不高于2mm/s,脉冲宽度为3.0ms,脉冲频率为9Hz。

**关键词:**YAG激光焊接;不锈钢;焊缝形貌

**中图分类号:** TG456.7 **文献标识码:** A

### Low Power Nd:YAG Laser Welding of 18-8 Type Austenitic Stainless Steel

GENG Ping, YANG Yu-ling, ZHANG Duo  
(College of science, Northeastern University, Shenyang, 110004, China)

**Abstract:** The welding technology of low power YAG laser welding for 18-8 type austenitic stainless steel with the thickness of 1.0mm and the effect of laser parameters on the laser welding and the weld beam were studied. The main factors of influencing the welding beam shape including laser power density, welding speed, pulse frequency and pulse width were analyzed in detail. Besides these, the results of polishment before welding and the selection of shielding gas to the weld beam were studied. The results show that the rational combination of welding parameters such as the laser power density, the welding speed, the pulse frequency and pulse width influence the quality of the weld beam. The optimum values of these parameters to gain an excellent beam were confirmed to be: when the laser power density is  $5.7 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$ , the welding speed is no more than 2mm/s, the pulse frequency is 9Hz and the pulse width is 3.0ms.

**Key words:** YAG laser welding; stainless steel; weld beam shape

#### 1 引言

不锈钢是在普通碳钢的基础上,加入一组铬的质量分数大于12%的合金元素的钢材,它在空气作用下能保持金属光泽,也就是具有不生锈的特性。不锈钢通常以金相组织进行分类。按照金相组织可分为:铁素体型不锈钢、马氏体型不锈钢、奥氏体型不锈钢、奥氏体-铁素体型双相不锈钢、奥氏体-马氏体型双相不锈钢和沉淀硬化型不锈钢。奥氏体不锈钢与碳钢相比,具有电阻率高(约为碳钢的5倍),线胀系数大(比碳钢大40%)以及热导率低(约为碳钢的1/3)等特点。通常奥氏体不锈钢都具

有非常好的塑性和韧性,这决定了它具有良好的弯折、卷曲和冲压成型性,因而便于制造成各种形状的构件、容器或管道,用途非常广泛。奥氏体不锈钢的耐腐蚀性能特别优良,是它获得最为广泛应用的根本原因<sup>[1-3]</sup>。

对于奥氏体不锈钢,传统的焊接方式多采用焊

**基金项目:**辽宁省博士启动基金(20051012);辽宁省自然科学基金(20052020)资助。

**作者简介:**耿平(1956-),男,教授,博士,主要从事高纯高韧钢方面的研究。E-mail: zhangduo2008@163.com

**收稿日期:**2006-07-14

条电弧焊和埋弧焊。焊条电弧焊使用的设备简单,操作方便,灵活可靠,适应性强,这是其获得广泛应用的重要原因之一。但其焊接接头质量在一定程度上取决于焊工的操作技能,而且焊条电弧焊劳动条件差,生产效率低。埋弧焊虽然机械化程度高,填充金属耗量低,焊接速度高,但在施焊过程中无法观察电弧与坡口的相对位置,如没有焊缝自动跟踪装置,很容易造成焊偏和焊漏<sup>[4]</sup>。激光焊接具有能量集中、热输入小、焊缝成形好,还有“净化效应”等显著优越性,因而广泛应用于工业生产中<sup>[5-6]</sup>。激光焊接的迅速发展为不锈钢薄板的焊接提供了新的手段。本研究主要致力于低功率激光焊接工艺参数的合理搭配和选择,对获得具有理想机械性能的优良焊缝有一定的实际意义。

## 2 试验材料、设备与试验方法

### 2.1 试验材料

试验所用材料为 18-8 型奥氏体不锈钢,厚度为 1mm,其显微组织为奥氏体。它是以 Cr<sub>18</sub>Ni<sub>9</sub> 铁基合金为基础的高铬不锈钢中添加适当的镍(镍的质量分数为 8%~25%)而形成的,其成分如表 1。

表 1 不锈钢的主要成分

Tab. 1 Main components of the stainless steel

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
w%	≤0.15	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	8.00~10.00	17.00~19.00	余量

### 2.2 试验设备

焊接设备是 JHM-1GY-400 型 YAG 激光器,激光波长为 1064nm,最大输出功率为 500W。

### 2.3 试验方法

首先用线切割方法,将待焊材料切割成 10cm×2cm 规格的样品,分组编号后,打磨抛光,用丙酮清洗干净后吹干,清洗后的样品放在专用夹具上,且在 24h 内焊完,否则需重新清洗。

光束斑点大小是激光焊的重要变量之一,因为它决定功率密度。本试验中,激光功率较低,最大输出功率为 500W,因此光斑直径使用最小值,从而保证激光功率密度始终为  $5.7 \times 10^5 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,且采用双面焊接。不同的工艺参数组合如表 2 所示。试验中,选用 Ar 气作为保护气体,保护气体的另两个作用分别是保护聚焦透镜免受金属蒸汽污染和液体滴的溅射以及对驱散激光焊接时产生的等离子屏蔽很有效。金属蒸汽吸收激光束电离成等离子体云,金属蒸汽周围的保护气体也会受热电离。如果把保护气体吹向焊接区,等离子云就会被抑制。另外,激光焊接常需要一定的离焦量,按照几何光学理论,当正负离焦量相等时,所对应平面上功率密度近似相同,但实际上所获得的熔池形状不同。负离焦时,可获得更大的熔深,这与熔池的形成过程有关。实验

表明,激光加热 50~200 $\mu\text{s}$  后材料开始熔化,形成液相金属并出现部分汽化,形成高压蒸汽,并以极高的速度喷射,发出耀眼的白光。与此同时,高浓度气体使液相金属运动至熔池边缘,在熔池中心形成凹陷。当负离焦时,材料内部功率密度比表面还高,易形成更强的熔化、汽化,使光能向材料更深处传递。所以在实际应用中,当要求熔深较大时,采用负离焦;焊接薄材料时,宜用正离焦<sup>[7-8]</sup>。本实验中采用的是正离焦。

用金相显微镜对焊缝的表面形貌及其焊缝宽度进行了观测。

脉冲能量为 100J,脉冲频率为 1~500Hz,脉冲宽度为 0.1~10ms,焊接机整体及焊头结构如图 1 所示。实验参数匹配如表 2 所示。

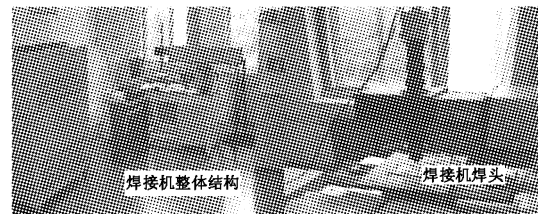


图 1 焊接机整体及焊头结构

Fig. 1 structure of welding machine

表 2 焊接工艺参数匹配表

Tab. 2 Parameters of laser welding technique

No.	pulse frequency /Hz	pulse width /ms	welding speed /( $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ )
A1	15	1.2	1.0
A2	15	1.2	0.5
A3	15	1.5	0.5
A4	20	3.0	2.0
A5	9	3.0	2.0

## 3 试验结果与讨论

### 3.1 焊接速度对焊缝形貌的影响

图 2 所示为当脉冲频率和脉冲宽度相同而焊接速度改变时得到的焊接样品 A1、A2 的焊缝形貌照片。

由图 2 可见,当焊接速度变化时,焊缝的宽度以及焊缝内形貌也随之发生变化。随着焊接速度的减小,焊缝的宽度也变窄,同时焊缝也变得均匀,没有明显的鱼鳞状。在试验过程中还发现,当焊接速度减小时,焊缝表面也在变暗,且出现了兰色的氧化物层。这是因为焊接速度慢时,焊缝单位距离上吸收的热量更多,氧化加重,纹理更致密且汽化凝结的金属可以覆盖在焊缝处。虽然焊速低可以使熔池加深,但是实际应用中发现当焊速过低时很容易造成工件焊穿,所以焊接速度不是越低越好。在一系列试验基础上我们发现,对于厚度为 1.1mm 左右的不锈钢薄板合适的焊接速度不高于 2mm/s。

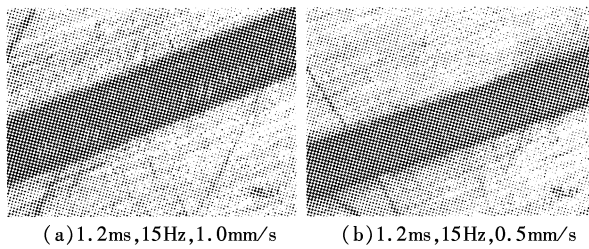


图2 不同焊接速度下得到的焊缝形貌

Fig.2 seam shape under different welding speed

### 3.2 脉冲宽度对焊缝形貌的影响

脉宽是脉冲激光焊接的重要参数之一,它既是区别于材料去除和材料熔化的重要参数,也是决定加工设备造价及体积的关键参数。图3为不同脉宽条件下得到的焊接样品A2、A3的焊缝形貌。

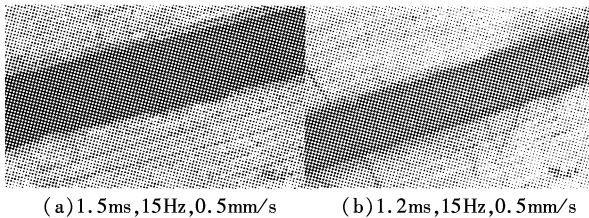


图3 不同脉冲宽度下得到的焊缝形貌

Fig.3 seam shape under different laser pulse width

由图可见,脉宽增大时,焊缝宽度随之减小,且焊缝颜色也逐渐变浅。缝内金属比较均匀,没有明显的凹凸。因为热影响区与脉宽有关,脉宽越宽,热影响区越大<sup>[7]</sup>,由此可见,增大脉冲宽度虽有利于获得较窄的焊缝但同时却增大了热影响区,因此在实际焊接应用过程中要根据实际需要选择合适的脉冲宽度。

### 3.3 脉冲频率对焊缝形貌的影响

不同脉冲频率得到的焊缝形貌如图4所示。由图可见,当脉冲频率减小时,焊缝内的金属更均匀,鱼鳞状结构变得细化。

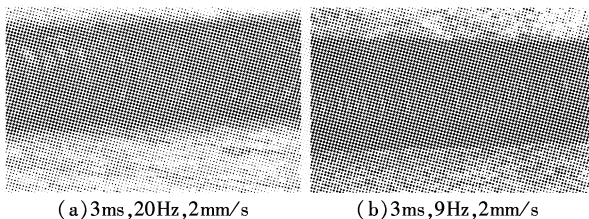


图4 不同脉冲频率得到的焊缝形貌

Fig.4 seam shape under different pulse frequency

### 3.4 焊缝横截面熔池形貌

焊缝熔池深度与激光功率密度、脉冲宽度、焊接速度都有关系。就本实验而言,与脉冲宽度的关系更为密切。根据理论分析,熔深的增加随脉宽的1/2次方增加<sup>[4]</sup>。实验中,脉冲宽度在3.0ms及以下时,熔深可达约0.25~0.55mm,脉宽增加,熔深还会增加。图5是A5号样品的横断面形貌图,采用的是单面激光焊接,为的是研究在激光功率密度为

$5.7 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$  时最大的熔深,激光脉冲宽度为1.2ms,频率为15Hz,焊接速度为0.5mm/s。可以看出熔深约为0.5mm。样品的厚度为1mm,因此,采用双面焊接可保证样品能焊透。

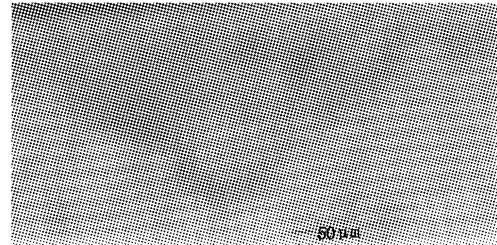


图5 单面焊接熔池深度

Fig.5 depth of the weld pool

## 4 结论

(1)采用功率为500W,最大功率密度为 $5.7 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$ 的YAG激光可实现厚度为1mm的18-8型奥氏体不锈钢的激光焊接。单面焊接时熔深可达到0.5mm左右,因此采用双面焊接可保证不锈钢能焊透;

(2)焊接速度、脉冲宽度以及脉冲频率是影响焊缝形貌的主要因素。试验发现,三者的最佳组合是焊接速度不高于2mm/s,脉冲宽度为3.0ms,脉冲频率为9Hz;

(3)试验前对样品表面进行充分的打磨和抛光以保证对焊面紧密接触,对实现不锈钢板的焊接是十分有利的。焊接过程中为防止氧化,采用顶、侧、底三路送气方式比较有效。

## 参考文献:

- [1] 易树平. 激光焊接技术及其在汽车制造中的应用[J]. 机械制造,1995,9:10-11.
- [2] 李福秀. 用激光焊接不锈钢板[J]. 上海钢研,2002,2:8.
- [3] Young-Tae yoo, Dong-Gyu Ahn. Welding characteristics of S45C medium carbon steel in laser welding process using a high power CW Nd:YAG laser[J]. Journal of materials science. 2004,39:6117-6119.
- [4] 张其枢,堵耀庭. 不锈钢焊接[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [5] Roessler D M, Jenuwine W C, Koons J N, et al. Laser Material Processing in General Motors Corporation[A]. 25<sup>th</sup> ISATA Conference[C]. Florence, June 1992.
- [6] K Behler, J Berkmanns, A Ehrhardt, et al. Laser beam welding of low weight materials and structures[J]. Materials & Design,1997,18(4/6):261-267.
- [7] 关振中. 激光加工工艺手册[M]. 北京:中国计量出版社,1998:113-124.
- [8] 王小玉,徐庆鸿,陈彦斌,等. 20CrMnTi 钢激光焊接工艺与焊缝组织的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,1994,26(3):114-118.