

文章编号: 0258-7025(2003)05-0463-04

8 mm 厚不锈钢板的 Nd:YAG 激光焊接

王海林, 黄维玲, 周卓尤, 曹红兵

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要 探讨了采用高功率 Nd:YAG 连续激光器焊接 8 mm 厚不锈钢板的工艺方法及工艺参数。实验结果表明, 用氮气作为保护气体, 在激光功率 4000 W, 焊接速度 0.5 m/min, 焦点位置在工件表面下 2 mm 处时, 即使两块厚不锈钢板之间有 0.3 mm 间隙, 且存在 0.8 mm 的高度差, 仍可获得满意的焊接效果。焊缝的硬度是母材硬度的 2 倍。

关键词 激光技术; 不锈钢板; 激光焊接; 深熔焊

中图分类号 TG 456.7 **文献标识码** A

Laser Welding of 8 mm Thick Stainless Steel Plates

WANG Hai-lin, HUANG Wei-ling, ZHOU Zhuo-you, CAO Hong-bing

(State Key Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract This paper describes the method and processing parameters of laser welding of 8 mm thick stainless steel with high power Nd:YAG CW laser. The experiments show good welding quality can be achieved although there is gap and step between the two welding parts. The measurement result illustrates that the hardness of welding seam is twice as that of base material.

Key words laser technique; stainless steel; laser welding; deep penetration welding

1 引言

目前焊接厚不锈钢板的方法主要是氩弧焊, 然而采用氩弧焊焊接厚不锈钢板时, 需要进行多层焊接, 如图 1 所示。并需使用填充焊丝, 使得焊接速度慢, 效率低, 焊接过程中输入工件的热量高, 导致工件变形和热影响区较大。

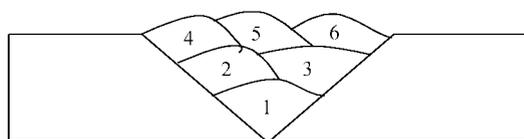


图 1 多层焊接示意图

Fig. 1 Schematic diagram of multi-welding

与氩弧焊相比, 激光焊接具有聚焦光斑功率密度高、热输入量低、焊缝窄、热影响区小、焊接变形

小、速度快、熔深大等优点^[1]。过去, 由于受 Nd:YAG 激光器输出功率的限制, 激光焊接厚不锈钢板主要是采用高功率的 CO₂ 激光器, 焊接熔深在 6 mm 以上^[2,3]。近几年, 随着高功率 Nd:YAG 激光器的发展, Nd:YAG 激光器正逐步进入厚不锈钢板焊接领域。

Nd:YAG 激光波长为 1.06 μm, 比 CO₂ 激光短一个数量级, 易被金属材料吸收, 加工性能良好; 并能通过光纤传输, 方便地将一束激光传输到远距离工位, 若与机器人结合, 则可实现柔性加工^[4]。本文采用高功率 Nd:YAG 连续激光器对 8 mm 厚不锈钢板进行了深熔焊工艺实验, 获得了较好的焊接效果。

2 实验装置与方法

采用德国 HAAS 公司的 6000 W Nd:YAG 连

收稿日期: 2002-04-09; 收到修改稿日期: 2002-06-10

作者简介: 王海林(1971. 10—), 男, 在读博士生, 现主要从事固体激光器件及其应用的研究。E-mail: wanghl@mail. hust. edu. cn

续激光器, 光纤芯径 $D = 0.6 \text{ mm}$ 。激光束从光纤出射后, 经焦距 $f_1 = 200 \text{ mm}$ 的透镜准直, 然后由焦距 $f_2 = 150 \text{ mm}$ 的透镜会聚后垂直入射到焊接部位。由公式

$$d = \frac{f_2}{f_1} D$$

可算出聚焦光斑直径 d 为 0.45 mm 。焊接运动轨迹由意大利产高精度 6 轴 Tricept 机器人手实现。

焊接材料为 8 mm 厚的不锈钢板 (1Cr18Ni9Ti), 实验用工件尺寸为 $100 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$, 焊接接头采用对接方式, 如图 2 所示。要求工件完全焊透, 焊接牢靠, 焊缝中无微裂纹。由于存在加工误差, 同时为了满足装配要求, 两被焊工件之间存在间隙和高度差, 间隙范围为 $0 \sim 0.3 \text{ mm}$, 最大高度差 0.8 mm 。为减少焊接缺陷, 焊前用丙酮清洗焊接部位。焊后沿垂直于焊缝方向切割焊接工件, 抛光后经酸腐蚀, 用光学显微镜观察焊缝及焊接质量, 并用硬度计测量焊缝及热影响区的硬度。

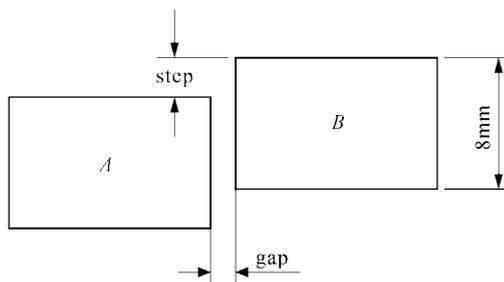


图 2 焊接接头示意图

Fig. 2 Joint arrangement of laser welding

3 实验结果及分析

3.1 焊接工艺

激光深熔焊的能量转换机制是通过“小孔”来完成的^[5]。在已知被焊材料及其厚度、接头方式、聚焦光斑直径的条件下, 影响焊接质量的参数主要是激光功率 P , 焦点位置, 保护气体及焊接速度 V 。

3.1.1 激光功率

激光深熔焊时, 熔深与光束功率密度相关。当光斑直径一定时, 功率越高, 熔深越大, 焊接速度也越快。在激光功率为 3500 W 时, 要焊透 8 mm 厚不锈钢板, 焊接速度不能高于 0.35 m/min ; 而当激光功率为 5000 W 时, 焊接速度可以到 0.8 m/min 。但是过大的激光功率会使焊接过程中飞溅增多, 污染聚焦透镜; 同时为防止在焊接过程中未通水冷却的聚焦透镜过热而炸裂, 激光功率不宜过大。采用

4000 W 为宜。

3.1.2 焦点位置

激光焊接时, 为了保证工件表面有足够的功率密度, 聚焦光斑的焦点位置至关重要。当焦点位于工件表面时, 熔深较浅, 不宜作深熔焊。当焦点位于工件表面以下时, 工件内部功率密度比表面还高, 易形成较大熔深。

图 3 为焦点在工件表面下位置与焊接熔深的关系曲线。可以看出, 随着焦点从工件表面下移, 焊接熔深逐渐增大, 当焦点位于工件表面以下 2 mm 附近时, 熔深最大; 焦点继续下移, 熔深则迅速变浅。另外, 焊缝金相表明, 焦点位置过低时, 焊接工件接头部位部分材料未充分熔化形成缝隙。因此, 焊接时焦点应位于工件表面以下 2 mm 处。

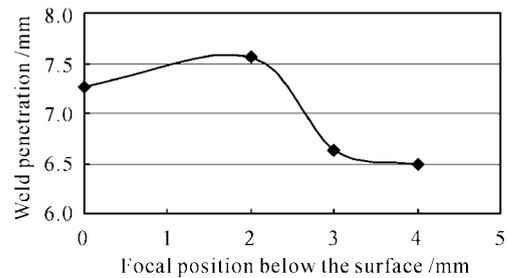


图 3 焦点在工件表面下的位置对焊接熔深的影响

Fig. 3 Effect of focal position on weld penetration for stainless steel

($P = 4000 \text{ W}$, $V = 0.8 \text{ m/min}$, $\text{gap} = 0$, $\text{step} = 0$)

3.1.3 焊接保护气体

焊接保护气体主要作用是防止焊接过程中工件表面氧化和去除高功率深熔焊过程中产生的对激光束有吸收和散射作用的等离子云。

焊接时采用侧吹保护气方法, 侧吹喷嘴与焊接平面成 30° 。保护气体应有足够的流量将等离子云吹离焊接区域并保护焊缝不氧化; 但保护气流量过大会将熔融金属吹走, 影响焊缝成形, 增加焊缝缺陷。经过实验, 确定保护气体流量为 3 L/min 。为保护焊接接头中的聚焦透镜, 在其侧下方放置一长条狭缝, 如图 4 所示, 高压空气从狭缝中高速喷出, 将焊接过程中产生的金属蒸气和飞溅物吹走。

保护气体对焊缝形状影响见图 5(a), (b)。从图可以看出, 在焊接过程中不吹保护气体, 则焊缝表面较窄, 同时部分熔融金属在重力作用下从焊缝下部流出, 使焊接熔池上表面凹陷, 降低接头强度。经测量, 焊缝表面宽度为 3.8 mm , 凹陷深度 0.9 mm 。当焊接过程中用氮气保护时, 焊缝上表面明显变宽,

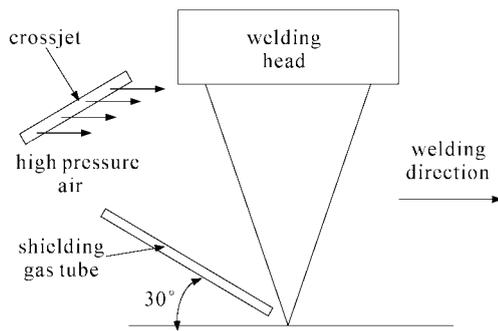


图 4 焊接保护气体及高压气体布置示意图
Fig. 4 Arrangement of shielding gas and high pressure air

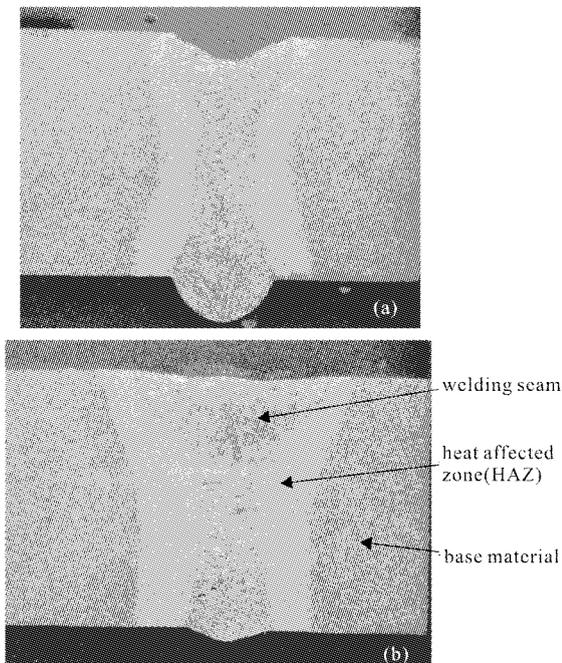


图 5 焊接保护气体对焊缝的影响

(a) 无保护气, 速度 0.65 m/min;

(b) 氮气保护, 速度 0.55 m/min

Fig. 5 Effect of shielding gas

(a) without protecting gas, $V = 0.65$ m/min;

(b) N_2 , $V = 0.55$ m/min

($P = 4000$ W, defocus = -2 mm, gap = 0, step = 0)

达 5.6 mm, 只有少量熔融金属从焊缝下部流出, 焊缝上表面无明显凹陷, 8 mm 厚不锈钢板被完全焊透。

使用保护气体会造成焊接速度变慢。不使用保护气体时, 焊透 8 mm 厚板的上限速度为 0.65 m/min, 使用氮气时, 上限速度则降为 0.55 m/min。

另外, 保护气体的种类对熔深影响较大。使用氩气保护, 焊接熔深要比用氮气浅 10% 左右, 这是

因为氩气易被在焊接过程中产生的高温金属等离子云电离, 屏蔽了射向工件的部分激光束, 减少了焊接时的有效功率所致。

3.1.4 焊接速度

实验表明, 两被焊工件间不存在间隙和高度差, 在激光功率为 4000 W, 焦点位于工件表面下 2 mm 处的条件下, 当焊接速度高于 0.6 m/min 时, 焊接熔深较浅, 工件未被完全焊透; 速度过低又会导致材料过度熔化, 使得熔融金属从焊缝下表面流出, 焊缝表面凹陷, 如焊接速度在 0.45 m/min 时, 焊缝表面下凹深度为 0.6 mm。因此最后选定焊接速度为 0.50~0.55 m/min。

3.2 间隙及高度差的影响

激光焊接要求两被焊工件间的间隙不能太大, 否则大部分激光束将直接从间隙中穿过, 不被工件吸收, 导致焊接失败; 另外, 由于未使用填充焊丝, 间隙要靠熔融金属填充, 因此间隙过大会造成焊缝上下表面凹陷, 降低接头强度。

实验表明, 焊接 8 mm 厚不锈钢板时, 两被焊工件间存在 0.3 mm 的间隙对焊接工艺没有影响, 只是焊缝表面稍有凹陷, 其深度小于 0.2 mm。

实验还表明当被焊工件间高度差小于 0.3 mm 时, 焊接参数不受影响; 高度差大于 0.3 mm 时, 焊接速度从高度差为 0 时的 0.55 m/min 降到 0.5 m/min。另外, 确定焦点位置是很重要的。当焦点位于工件 A (图 2) 表面下 2 mm 时, 工件 A, B 被很好地焊在一起, 如图 6 所示; 当焦点位于工件 B (图 2) 表面下 2 mm 时, 工件 B 接头处完全熔透, 而工件 A 接头处下表面未熔透。

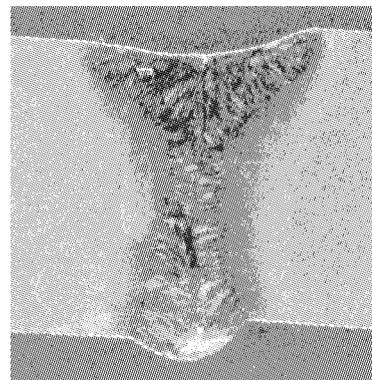


图 6 两被焊工件间存在间隙和高度差时的焊缝形状
Fig. 6 Welding seam with a gap and a step between two welding parts

($P = 4000$ W, $V = 0.5$ m/min, defocus = -2 mm, gap = 0.3 mm, step = 0.8 mm, N_2)

3.3 焊缝及热影响区的硬度

由于激光焊接时焊缝的冷却速度很高,焊接完成后,焊缝的硬度要远高于母材。图 7 给出了以焊缝中心线为基线,激光焊接 8 mm 厚不锈钢板的焊缝上部和中部的显微硬度分布曲线,可以看出,焊缝硬度是母材的 2 倍。

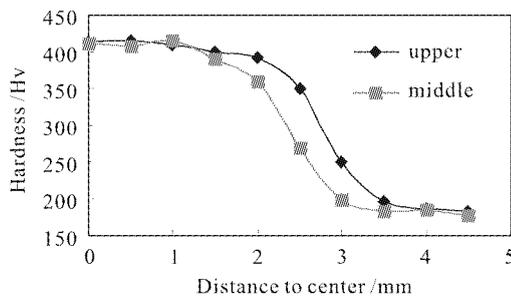


图 7 焊缝的硬度

Fig. 7 Hardness of the welding seam

4 结 论

实验表明:1) 用氮气作为保护气体,在激光功率 4000 W,焊接速度 0.5 m/min,焦点在工件表面

下 2 mm 处的条件下,高功率 Nd:YAG 连续激光焊接 8 mm 厚不锈钢板是可行的,而且焊接速度快、焊接可靠、变形小,不需要多层焊接;2) 在激光功率及焊接速度一定时,焦点位于工件表面下 2 mm 处时可获得最大熔深;3) 焊接保护气对焊接速度及焊缝形状影响较大;4) 两工件间存在 0.3 mm 间隙和 0.8 mm 高度差时对焊接参数没有太大影响。

参 考 文 献

- 1 Guang Zhengzhong. Manual for Laser Processing Parameters [M]. Beijing: Press of Chinese Measurement, 1998. 109~132 (in Chinese)
- 2 Wang Tao, Zheng Qiguang, Tao Xingzi et al.. Study of laser welding of thick steel plates [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1997, **A24**(2):179~184 (in Chinese)
- 3 B. Irving. What's the latest news on laser beam welding and cutting [J]. *Welding Journal*, 1994, (2):31~35
- 4 R. Ifflander. Solid-State Lasers for Materials Processing [M]. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001. 1~5
- 5 William M. Steen. Laser Material Processing [M]. London: Springer-Verlag London Limited, 1996. 108~133

第九届中国国际激光及光电子产品展览会 (ILOPE 2003)

由国务院批准创办的“中国国际激光及光电子产品展览会”(英文简写“ILOPE”)是中国最早创办,最具代表性和影响力的国际专业光电贸易展会。2003 年 10 月 22~25 日,第九届中国国际激光及光电子产品展览会将在中国北京国际展览中心举行。

主办单位 中国国际贸易促进委员会,中国光学光电子行业协会,中国国际展览中心集团公司

承办单位 中国光学光电子行业协会,中展集团北京华港展览有限公司

支持单位 信息产业部,国家科学技术部,中国科学院,中国兵器工业集团公司,亚太经济合作组织

展品大类 光电材料和元件,激光器与应用,光通讯产品,显示技术及设备,光信息产品,光学仪器,红外、传感技术等相关应用

展位规格及价位表

类 型	国内企业	国外企业
	及国内产品	及国外产品
标准展位(起租 9 m ²)	¥6750 元/9 m ²	US \$ 3600 元/9 m ²
室内光地(起租 18 m ²)	¥650 元/m ²	US \$ 350 元/m ²

优惠办法 (1) 凡在 6 月 15 日前报名的企业可享受 5% 的优惠。(2) 凡参加过 ILOPE2002, 2001 和 ILOPE2000 的企业以及中国光学光电子行业协会的会员单位均可享受 5% 的优惠(可累加)。

联系方式

中展集团北京华港展览有限公司:

方 芳,刘宝存,梁 晨,李 超

电话:(010)84600341,84600339,84600335

传真:(010)84600325,84600346

电子邮件:fang@cicc-exhibition.com,

lc@cicc-exhibition.com

中国光学光电子行业协会:

所洪涛,吕玉华

电话:(010)64362211-490

传真:(010)64347322

电子邮件:COEMA@PUBLIC2.BTA.NET.CN

展会网址:www.ilope-expo.com

Http://ilope.cicc-exhibition.com