

304 不锈钢薄板激光搭接焊工艺研究

朱加雷¹ 徐世龙² 焦向东¹ 马正住¹ 李卫强¹

¹北京石油化工学院机械工程学院, 北京 102617

²唐山开元焊接自动化技术研究有限公司, 河北 唐山 063000

摘要 针对304不锈钢薄板进行连续激光搭接焊工艺试验,研究工艺参数对焊缝成形及焊缝性能的影响规律。结果表明:随着激光功率增加,焊缝结合面宽度及背宽、接头拉伸剪切力均有所增加;随着焊接速度的增加,焊缝结合面宽度及背宽、接头拉伸剪切力均有所降低;而在保证焊缝成形的前提下,离焦量的变化对焊缝成形质量影响较小;叠层间隙在0.6 mm以内时,均可实现单面焊双面成形;激光焊接焊缝中心区组织为细小的等轴晶,焊缝区和母材交界处为细小的柱状晶组织,热影响区不明显。

关键词 激光搭接焊; 不锈钢薄板; 离焦量; 叠层间隙

中图分类号 TG456.7

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP52.071404

Study on Laser Lap Welding of 304 Stainless Steel Sheet

Zhu Jialei¹ Xu Shilong² Jiao Xiangdong¹ Ma Zhengzhu¹ Li Weiqiang¹

¹School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, China

²Tangshan Kaiyuan Welding Automation Technology Institute Corporation, Tangshan, Hebei 063000, China

Abstract Continuous laser lap welding process test is conducted on 304 stainless steel sheet, and effects of process parameters on weld shape and weld properties are studied. The results show that surface width, back width and lap shear stress of the weld increase with the increasing of laser power and decrease with the increasing of welding speed. On the premise of good weld formation, change of defocusing distance has smaller influence on weld quality. One side welding with back formation is realized when the gap is within 0.6 mm. The microstructure is fine equiaxed crystal in weld center and small columnar crystal in the junction of weld metal and the parent material, and the heat affected zone is not obvious.

Key words laser lap welding; stainless steel sheet; defocusing distance; gap

OCIS codes 140.3390; 350.3390

1 引言

304 不锈钢耐腐蚀性好、强度高,在汽车、轨道客车、核电、能源、医疗器械等领域应用广泛。现有 304 不锈钢薄板叠焊多采用钎焊、电阻点焊、缝焊和传统弧焊方法,由于不锈钢线膨胀系数大、热导率低,易出现变形、裂纹、烧穿等缺陷^[1-2];激光焊作为一种高能束焊接方法,具有焊缝窄、热影响区小、工件变形小、焊接速度快、激光可达性好、生产效率高以及显著的“净化效应”等特点,在不锈钢薄板焊接中日益受到重视^[3-6]。本文针对 304 不锈钢叠焊接头型式,进行了激光焊接工艺探索和优化。

2 试验设备、材料及方法

试验采用美国 IPG YLR-4000 型光纤激光器,激光焊接头型号为 YW52,激光波长 1070 nm,最大输出功率 4 kW。试板选用冷轧成形厚度为 1.8 mm 的 SUS304。接头形式为搭接接头,焊接方式为连续激光焊,焊接过

收稿日期: 2015-01-16; 收到修改稿日期: 2015-03-05; 网络出版日期: 2015-05-13

基金项目: 国家自然科学基金(51205026, 51175046)、北京石油化工学院优秀青年教师和管理骨干培育计划项目(BIPT-BPOYTMB-2013)、北京石油化工学院大学生研究训练计划(2014J00049, 2015J00084)

作者简介: 朱加雷(1981—),男,博士,副教授,主要从事水下焊接技术及高能束焊接技术方面的研究。

E-mail: zhujialei2002@163.com

程中采用纯氩气正面保护,气体流量为18 L/min,试验系统如图1所示,搭接焊示意图及焊缝照片如图2所示。由于不锈钢表面光洁度较高,易出现激光反射现象,因此将工件沿焊缝横截面方向倾斜 5° 角,以减少激光反射。

通过单因素变化方式研究激光功率、焊接速度、离焦量以及叠层间隙 g 对焊缝成形和接头拉剪强度的影响,采用的工艺参数见表1。焊接完成后,使用金相显微镜进行焊缝宏观分析及金相显微组织分析,使用万能拉伸试验机进行拉伸剪切试验。

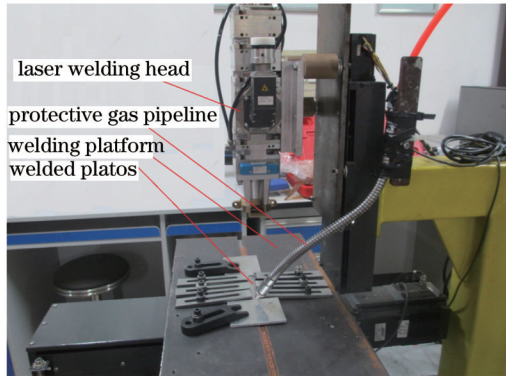


图1 激光焊接试验系统

Fig.1 Laser welding test system

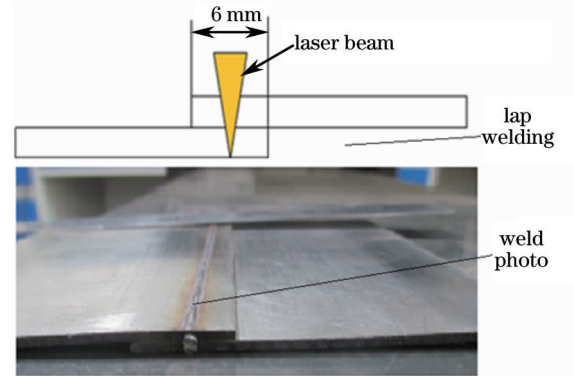


图2 激光搭接焊示意图及焊缝照片

Fig.2 Schematic diagram and weld of laser lap welding

表1 试验工艺参数

Table 1 Test parameters

Number	Laser power /kW	Welding speed /(cm/min)	Defocusing distance /mm	g /mm
S1	2.2	150	-2	0
S2	2.5	150	-2	0
S3	2.8	150	-2	0
S4	3	150	-2	0
S5	2.8	180	-2	0
S6	2.8	210	-2	0
S7	2.8	150	-1	0
S8	2.8	150	0	0
S10	2.8	150	-2	0.4
S11	2.8	150	-2	0.6

3 试验结果及分析

3.1 激光功率的影响

表2为表1中各试样单位长度拉伸剪切力数值。图3所示为S1~S4号试样焊缝接头形貌,图形中间的横线为上下两件试板的结合面。从图中可以看出,随着激光功率的增加,焊缝熔深增加,焊缝背面成形质量得到改善,同时焊缝背面宽度也随之增加。但功率增加到一定程度后,焊缝表面飞溅较多。在激光功率较低情况下,可以看出,焊缝背面成形出现未焊透的情况,如图3中S1号试样所示,而S3号试样焊缝正面和背面均成形良好。从图中可以看到随激光功率增加,结合面处的宽度变化相对较小,而焊缝背面宽度则变化较大;随功率增加,背面宽度呈上升趋势。通过表2可知,随着激光功率的增加,焊缝单位长度最大拉伸剪切力也在增加。

由于激光功率对焊缝熔深和接头拉伸剪切力以及结合面宽度均有显著影响,因此,选择一个合适的激光功率既可以保证高效焊接质量,同时又能保证焊接过程可靠。综合考虑焊缝正面、背面成形及接头拉剪力等情况,选择 $P=2.8$ kW为较理想的激光功率。

表2 拉伸剪切应力值

Table 2 Tensile shear stress

Number	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S10	S11
Tensile shear stress /kN	8.18	9.26	9.31	10.20	9.06	8.57	9.54	9.52	10.68	8.44

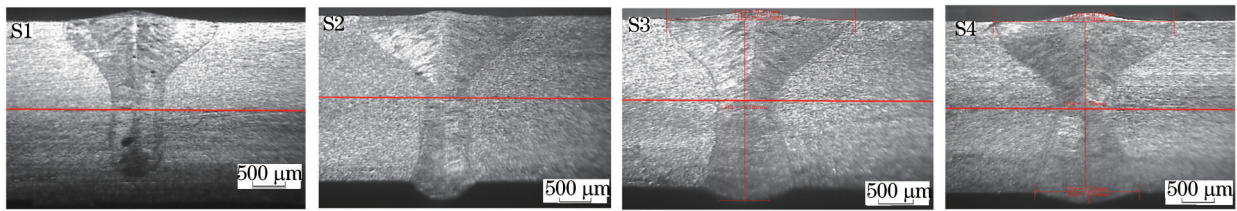


图3 激光功率对焊缝的影响

Fig.3 Effect of laser power on weld

3.2 焊接速度的影响

图4为不同焊接速度情况下的焊缝接头形貌,在激光功率及离焦量不变条件下,随着焊接速度的增加,焊缝熔深发生变化,增加到一定程度后焊缝未焊透,此时焊缝容易出现气孔。随着焊接速度的增加,焊缝结合面宽度在略增加后迅速降低,这是由于随着焊接速度的增加,工件表面获得的热量呈线性递减趋势,达到一定程度后下层板未焊透,导致接头结合面宽度大大减小。因此,随着焊接速度的增加,接头拉伸剪切力也呈线性降低趋势。

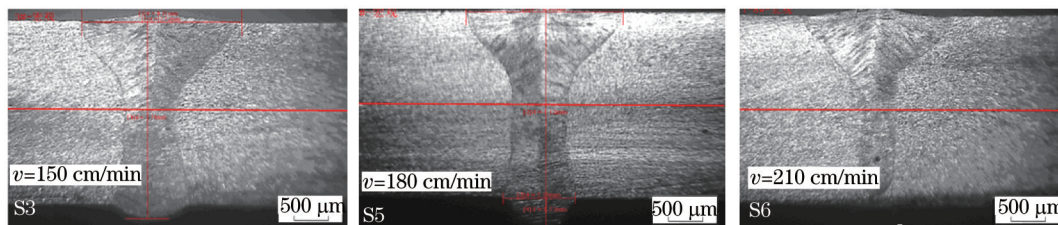


图4 焊接速度对焊缝的影响

Fig.4 Effect of welding speed on weld

从上述结果可以看出,焊接速度对焊缝接头形貌及单位长度拉伸剪切力影响显著,速度在150~180 cm/min之间变化时对接头结合面宽度影响不大,速度大于180 cm/min时接头结合面宽度迅速下降。从焊缝成形质量考虑,选择焊接速度为180 cm/min相对比较合理。

3.3 离焦量的影响

图5为不同离焦量情况下的焊接接头形貌,从图中可以看到,离焦量 Δf 从-2 mm到0变化时,离焦量对焊缝表面成形影响较小。但由于离焦量直接影响到光斑半径,而功率密度与光斑半径的平方呈正比关系,因此离焦量的绝对值较小时,功率密度较大,导致工件表面飞溅产生,同时焊缝表面出现不平整。从焊缝截面形貌而言,离焦量在小范围波动时,对焊缝结合面宽度及焊缝背面宽度影响不是非常明显,接头拉伸剪切力的变化也比较小,因此根据现有试验结果,选择离焦量为-2、-1 mm均比较理想。

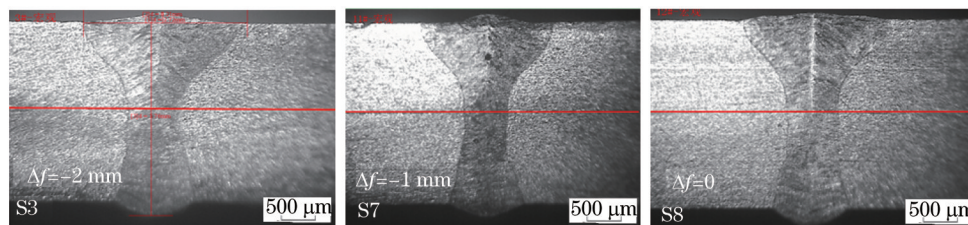


图5 离焦量对焊缝的影响

Fig.5 Effect of defocusing distance on weld

3.4 叠层间隙的影响

在工件实际生产装配过程中不可避免地存在叠层间隙,而间隙对焊缝表面成形有很大影响,进而影响到焊缝的力学性能。

图6所示为不同叠层间隙条件下的焊缝接头形貌。通过对比可看出,板间存在间隙时,焊缝上表面出现下塌,间隙越大,上表面下塌越严重,当间隙 g 达到1 mm时,焊缝未焊上且起始段上层板出现烧穿现象。观察接头横截面形貌发现,间隙在0.6 mm时下层板焊缝中出现气孔缺陷,这也是导致接头力学性能下降的原因。

通过不同叠层间隙情况下接头拉伸剪切力测试可知,随着叠层间隙的增加,焊缝拉伸剪切力先增加后

减小。在这种叠焊时存在一定间隙(0.6 mm)激光焊仍能获得较好的焊接质量,此时接头拉伸剪切力约达母材抗拉力的60%,叠层间隙在0.4 mm以内均可实现有效焊接。

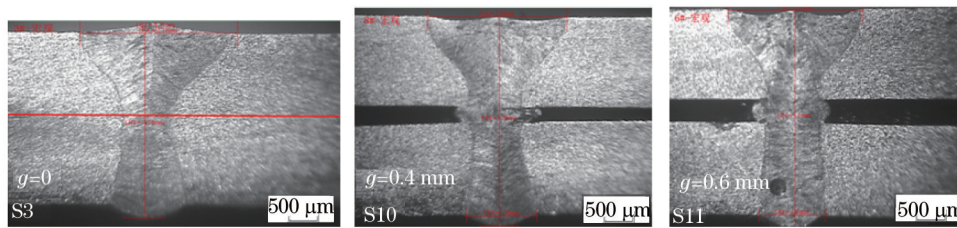


图6 叠层间隙对焊缝的影响

Fig.6 Effect of gap on weld

3.5 金相组织分析

通过以上各焊缝横截面可以看出,焊缝均表现出了激光深熔焊的特征,其中S10试样在叠层间隙为0.4 mm的情况下,其抗拉伸剪切应力值最大。因此,以S10试样接头为例进行金相组织分析,显微组织图如图7所示,从图中可以看出母材为奥氏体组织,熔合区中靠近母材热影响区位置为粗晶粒奥氏体,并有少量MC型碳化物产生。焊缝区组织为奥氏体和枝晶分布,其中焊缝中心区由等轴晶组成。焊缝边缘和母材交界处组织由细小柱状晶组成。由于激光焊热量集中,焊接时接头局部区域迅速被加热,母材受到的热作用较小,基本没有升温,因此热影响区非常小,在图中不明显。焊缝边缘由于靠近母材,受到母材的冷却作用,温度梯度较小且分布相对均匀,利于等轴晶的生成。

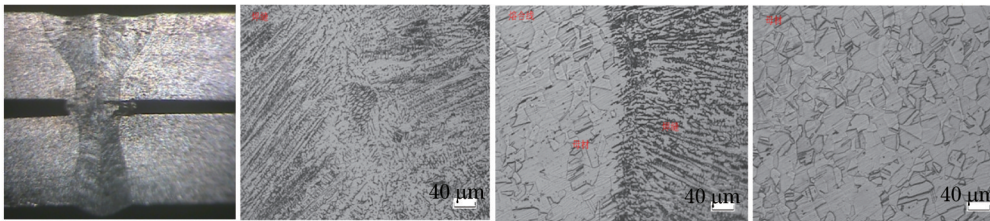


图7 S10号试样显微组织

Fig.7 Microstructure of S10 sample

4 结 论

通过上述试验研究,可以得出如下结论:

- 1) 激光功率对焊缝成形影响显著,随着激光功率的增加,焊缝结合面处宽度及背面宽度均增加,结合面处的宽度变化相对较小,接头拉伸剪切力增加。当功率较大时焊接飞溅增多。
- 2) 焊接速度对焊缝成形质量影响明显,随着焊接速度的增加,焊缝结合面处宽度及背宽均降低,但在一定范围内,结合面宽度变化值较小。
- 3) 熔透情况下,在一定范围内选择离焦量时,其数值变化对焊缝成形质量影响不明显。
- 4) 激光搭接焊单面焊双面成形时,容许有一定的叠层间隙,当激光功率为2.8 kW,焊接速度为150 cm/min,离焦量为-2 mm时,容许的叠层间隙可以达到0.6 mm,此时搭接焊接头拉伸剪切力约达母材抗拉力的60%。
- 5) 激光搭接焊接头焊缝中心区组织为细小的等轴晶,焊缝区和母材交界处为细小的柱状晶组织,热影响区不明显。

参 考 文 献

- 1 Liu Jian, Shi Yan, Liu Jia, *et al.*. Effect of shielding gas on laser welding of austenitic stainless steel[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2014, 51(5): 051402.
刘 键, 石 岩, 刘 佳, 等. 保护气体对奥氏体不锈钢激光焊接的影响[J]. *激光与光电子学进展*, 2014, 51(5): 051402.
- 2 Li Yanli, Hu Fangyou, Liu Hongjun, *et al.*. Analysis on microstructure and tensile property of laser welding 1Cr18Ni9Ti [J]. *Chinese J Lasers*, 2006, 33(suppl): 450-452.
李艳丽, 胡芳友, 刘洪军, 等. 1Cr18Ni9Ti激光焊接接头的结构与性能[J]. *中国激光*, 2006, 33(suppl): 450-452.

- 3 Zhang Weizhe. Research on Laser Welding 304 Austenitic Stainless Steel Sheet[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009: 1-9.
张维哲. 304 不锈钢薄板激光焊接技术研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009: 1-9.
- 4 Hu Liang. Study of Fiber Laser Welding for 6 mm Stainless Steel 304[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010: 2-10.
胡 亮. 6 mm 不锈钢(304)光纤激光焊接工艺的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2010: 2-10.
- 5 Rong-Tai Yang, Zhi-Wei Chen. A Study on Fiber Laser Lap Welding of Thin Stainless Steel[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2013, 14(2): 207-214.
- 6 Chen Yuhua, Ke Liming, Xu Shilong, *et al.*. Study on the micro laser welding parameter of ultrathin stainless steel sheet[J]. Journal of Materials Engineering, 2008, 11: 28-31.
陈玉华, 柯黎明, 徐世龙, 等. 超薄不锈钢片的微激光焊工艺研究[J]. 材料工程, 2008, 11: 28-31.

栏目编辑: 殷建芳