

文章编号: 1001-3806(2004)05-0452-03

激光-高频感应复合焊接技术

王春明¹, 胡伦骥¹, 胡席远¹, 李 杨¹, 沈 威¹, 刘 青², 黄法松²

(1. 华中科技大学 材料科学与工程学院, 武汉 430074; 2. 鄂州新型材料研究所, 鄂州 436000)

摘要: 为了克服激光深熔焊易产生气孔、焊接高碳钢高合金钢等材料时接头组织性能恶化并容易出现裂纹以及材料对激光吸收率低等缺点, 研究了一种将高频感应加热与激光相结合的复合焊接方法。以 30CrMnSiA 为对象, 与激光焊接相比, 采用激光-高频感应复合焊的焊缝组织中马氏体成分减少, 贝氏体成分增加, 接头的裂纹倾向降低了, 同时焊缝的熔深熔宽也有明显的提高, 而并未使焊接热影响区变宽或组织恶化。实验结果表明, 激光-高频感应复合焊接与单纯激光焊接相比, 可以起到改善接头组织性能、降低裂纹和气孔倾向以及进一步提高焊接效率的效果。

关键词: 激光焊接; 高频感应; 复合焊接; 焊接裂纹

中图分类号: TG402 **文献标识码:** A

Laser/ high-frequency induction hybrid welding

WANG Chun-ming¹, HU Lun-ji¹, HU Xi-yuan¹, LI Yang¹, SHEN Wei¹, LIU Qing², HUANG Fasong²

(1. School of Materials Science and Engineering, HUST, Wuhan 430074, China; 2. Ezhou New Materials Research Institute, Ezhou 436000, China)

Abstract Laser welding is widely used in practice, but it also has some disadvantages, such as porosity, low absorptivity for laser, and crack when high carbon or high alloy steels are welded. To overcome these shortcomings, a laser/high-frequency induction hybrid welding technology was presented, and 30CrMnSiA was welded by this method. Compared with laser welding, the martensite composition in the weld structure is less, the bainite composition is more, and the inclination of crack is less. The weld penetration and width are obviously increased by the hybrid welding. At the same time, the aided heat source of high-frequency induction neither enlarges the width of HAZ, nor worsens HAZ metallurgical structure. The experiment results have proved that the laser/high-frequency induction hybrid welding has the following advantages than laser welding: more excellent organization and performance of weld joint, lower inclination to bring porosity or crack, and higher welding efficiency.

Key words: laser welding; high-frequency induction; hybrid welding; weld crack

引 言

激光焊接是 20 世纪 70 年代发展起来的高能束熔化焊方法, 具有加热集中、母材热损伤小、焊件变形小、精度高, 易于实现自动化生产等特点, 在汽车、航空航天、机械、电子等制造业中得到了越来越广泛的应用。然而激光焊接对于焊件的装配精度要求高, 新型高强钢和金属基复合材料激光焊还存在易产生焊接裂纹、接头性能恶化的工艺问题; 同时, 激光焊接设备一次性投资比常规焊接方法大得多。为此, 有必要对激光焊接技术进一步改善, 以更为充分

利用昂贵激光设备进行优质高效焊接, 并克服上述缺点。将普通热源与激光相结合起来的复合焊接技术是近年来的一个重要发展方向。近年来, 美国、日本、德国十分重视复合激光焊接技术的研究, 已开发出激光-TIG 弧焊、激光-MIG 弧焊、激光-MAG 弧焊等复合激光焊接技术。

电磁感应是一种依赖于工件内部产生的涡流电阻热进行加热的方法, 与激光一样属非接触性环保型加热, 加热速度快, 可实现加热区域和深度的精确控制, 特别适合于自动化材料加工过程, 已在工业上得到了广泛的应用。将电磁感应和激光两种热源结合起来, 开发复合激光焊接技术, 一方面实现焊接过程的同步加热或后热, 控制焊接接头的冷却速度, 防止焊接裂纹的产生, 改善焊接接头的组织和性能; 另一方面是改善材料对激光的吸收, 可在激光功率

作者简介: 王春明(1975-), 男, 博士研究生, 讲师, 主要从事激光加工质量实时监测技术及工艺研究。

E-mail: cmwang_hust@163.com

收稿日期: 2003-11-24; 收到修改稿日期: 2003-12-25

一定的情况下进一步提高焊接熔深,保证焊缝成型,提高焊接制造质量的可靠性。美、德等国已有人开始利用电磁感应进行激光焊接同步加热或后热,成功地防止了一些易裂材料焊接裂纹的产生,如1mm厚高强度钢 ZstE180BH 和 ZstE340 板坯拼焊^[1],碳含量0.25%的SAE1050钢汽车安全轴激光焊接^[2]。

1 试验设备与方法

为有效地将高频感应与激光两种热源结合起来,达到理想的焊接效果,对感应加热设备的体积、大小、感应线圈的效率等均提出了较高的要求,华中科技大学与湖北省鄂州新型材料研究所合作,专门针对平板的激光-高频感应复合焊接技术共同研发了一种高频感应设备 GP-35A。因平板只能利用线圈漏磁进行加热,为提高效率,在线圈中增加了高导磁率的铁感氧铁芯;考虑到感应线圈需要与激光焊接头集成并可移动,感应设备采用分体式结构,将输出变压器与主控电路和输入变压器分离封装,体积较小的输出变压器易于集成在激光焊接设备上。

激光焊接头与感应线圈按图1所示方式集成,根据行走的方向不同,感应线圈可以方便的实现平板激光焊的同步预热或后热。

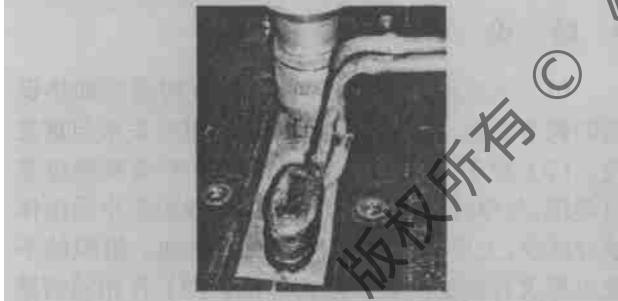


Fig. 1 Laser/high frequency induction weld head

实验中将电磁感应加热与激光两种热源结合起来对高强度钢 30CrMnSiA (其成分见表1) 进行激光焊接过程的同步预热。实验的目的主要是考察在有无同步加入高频感应热源的情况下,30CrMnSiA 试样激光焊缝组织和熔深的变化,探讨同步感应预热对激光焊接接头组织性能的改善作用。

Table 1 Chemical composition of 30CrMnSiA

C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu
0.28~0.34	0.9~1.2	0.8~1.1	0.8~1.1	≤0.04	≤0.04	≤0.25	≤0.30

为了探索感应加热设备各种控制参数与工件预热效果之间的关系及重复性,首先进行了设备输出电流大小(功率)、工件移动速度与预热温度对应关

系的研究。温度测量使用 Raytek 红外测温仪。通过功率调节和工作台移动速度的变化来达到需要的预热温度。通过对在设定焊接速度即工作台移动速度的条件下调节高频感应加热设备输出电流,多次重复测量预热温度。其中一组预热温度记录见表2(材料:30CrMnSiA; 板材尺寸:100mm×30mm×2.5mm)。

Table 2 Preheating temperature test

No.	current/A	speed/(m·min ⁻¹)	temperature/°C
1	1178	1.62	262
2	1178	1.62	271
3	1178	1.62	265

从表2可知,当其它条件确定时,电流、工件移动速度与加热温度有良好的对应关系及重复性。

2 试验结果及分析

根据上述试验基础,采用如表3所示的工艺参数进行激光-高频感应复合焊接试验。1号焊缝为未加同步感应预热试样,2,3,4号焊缝均为同步感应预热激光焊接试样。

Table 3 Hybrid welding parameters
materials: 30CrMnSiA; size: 100mm×30mm×2.5mm

weld No.	preheat temperature / °C	current / A	weld speed / (m·min ⁻¹)	laser power / kW
1	0	0	1.62	1.4
2	140	602	1.62	1.4
3	250	899	1.62	1.4
4	330	1198	1.62	1.4

首先考察焊缝的成形情况,通过直接观察焊缝背面,发现在没进行预热时试件背面明显未焊透(见图2a),在进行同步预热激光焊后观察试件背面

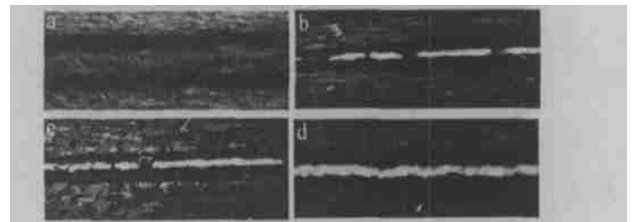


Fig. 2 Back of No. 1~ No. 4 weld

a—No. 1 b—No. 2 c—No. 3 d—No. 4

发现试件已经有焊透的迹象,且随预热温度的提高熔透状况进一步得到改善。图2b~图2d所示为2,3,4号焊缝背面形态,取样区长度均为30mm。当预热温度为140℃左右时,局部出现熔透;当预热温度为250℃左右时,熔透区增加;当预热温度达到330℃时,整条焊缝已经完全熔透。

1~4号焊缝的宏观形貌见图3,可以看出,未同步高频感应加热时形成的是非穿透焊缝,当预热到140℃左右时焊缝刚刚熔透,随着预热温度进一步提高,焊缝出现完全熔透,并且熔宽也变大。同步预热使熔深熔宽增大有两方面原因,一方面提供一个辅助热源,增加了热输入;另一方面同步预热使试样表面温度升高,材料对激光的吸收率有所提高,改善了材料表面对激光的吸收。

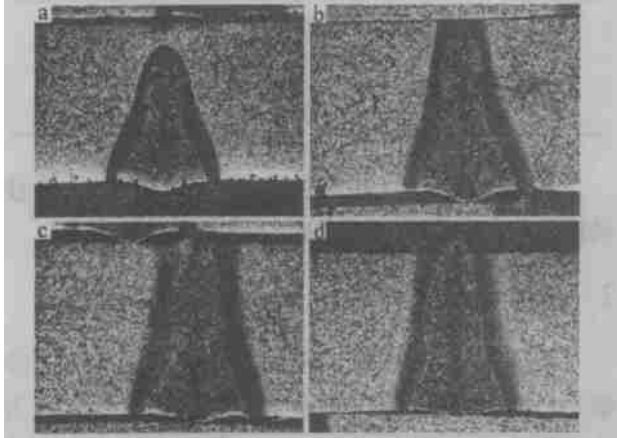


Fig. 3 Weld seam cross section of No. 1~ No. 4
a—No. 1 b—No. 2 c—No. 3 d—No. 4

另外,从图3可知,在未预热时,观察到焊缝根部存在气孔,同步预热后焊缝中气孔消失,即便是同样未完全焊透的2号焊缝中亦未发现气孔,之所以如此,是因为感应同步预热减小了焊缝的冷却速度,增加了焊缝凝固过程中的气体排出时间,从而在一定程度上可避免激光深熔焊中易产生的气孔问题。

1~4号焊缝的组织金相图见图4。未预热激光

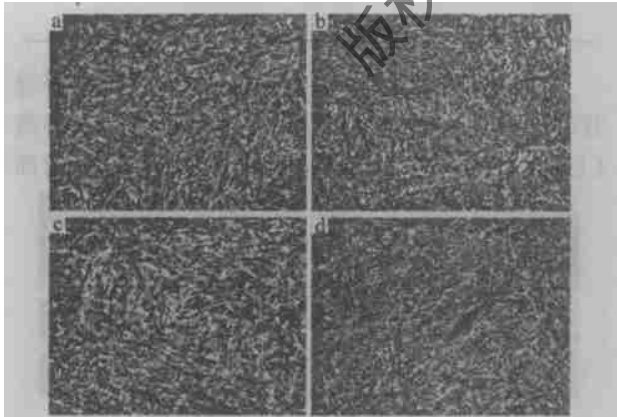


Fig. 4 Metallographic structure of No. 1~ No. 4 weld
a—No. 1 500× b—No. 2 500× c—No. 3 500× d—No. 4 500×

焊接30CrMnSiA钢时焊缝为过热淬火组织,焊缝和热影响区的淬硬倾向十分明显,但因激光束能量高度集中和加热过程迅速,在焊接过程中奥氏体晶粒来不及充分长大,1号焊缝组织主要是马氏体组织(见图4a),2号焊缝为马氏体加少量贝氏体,3号焊

缝也为马氏体加少量贝氏体,但马氏体含量减少,4号焊缝为马氏体加贝氏体,马氏体含量进一步减少,贝氏体成分已经较多。可见,加入感应同步预热后,降低了焊缝组织的冷却速度,故焊缝组织除了马氏体成分减少外还出现上贝氏体和下贝氏体,且随预热温度的提高马氏体含量逐渐减少。因此,对于裂纹敏感的高合金钢、高碳钢、金属基复合等材料,采用激光-高频感应复合焊接技术,在获得优质高效的激光焊缝的同时,可望有效地防止裂纹的产生。

值得提出的是,在本实验条件下尽管同步预热温度达到300℃以上,激光焊接后板材未出现明显变形,且焊接热影响区的组织亦未有明显的变化,1号、4号焊缝热影响区组织见图5,同为细针马氏体加碳化物,4号热影响区中并未见晶粒尺寸粗大,预热温度的提高也未使热影响区的宽度显著加宽。

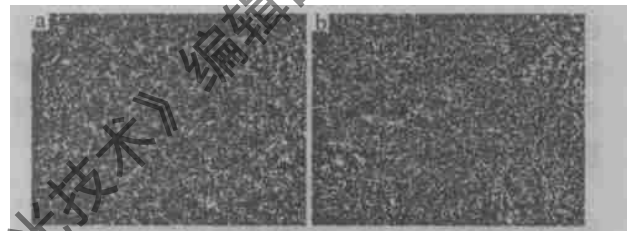


Fig. 5 HAZ structure of No. 1 & No. 4 weld
a—No. 1 500× b—No. 2 500×

3 结论

(1) 当试件条件确定时,试验所用感应加热设备的调节参数与预热温度有较好的对应关系与重复性。(2) 对于30CrMnSiA钢,采用激光-高频感应复合焊接,与单纯用激光焊接相比,焊缝组织中马氏体成分减少,上贝氏体下贝氏体成分增加。组织的不稳定程度和接头的裂纹倾向降低。(3) 在相同的激光焊工艺条件下,加入高频感应辅助热源在一定程度上增加了焊缝的熔深熔宽,提高了激光的利用率。(4) 高频感应同步预热使得激光焊接组织冷却速度减低,凝固时间增长,有利于深熔焊熔池中气体的排出,可望在一定程度上防止气孔的产生。(5) 本试验同步预热条件下,在改善焊接接头组织的同时,并未发现板材变形及热影响区组织性能的恶化。

参 考 文 献

- [1] KHERSONSKY A, LEEH. Induction heating for efficient laser applications [J]. *Advanced Materials & Processes*, 2000 (4): 39~41.
- [2] DRAUGELATESU, BOUAFIB, STEFAN D. Effect of the post-weld treatment on the weld properties of masr seam welded and laser beam welded sheets [J]. *Schweissen & Schneiden (Welding and Cutting)*, 2000, 52(1): E27~ E31.