

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0532-03

激光焊接参数对微米晶粒钢焊接接头成形、组织性能的影响*

王 成¹ 陈武柱¹ 彭 云¹ 张旭东¹ 潘 建¹ 田志凌²

(¹ 清华大学机械工程系, 北京 100084)
(² 北京钢铁研究总院, 北京 100081)

提要 实验研究了不同激光能量输入情况下,微米晶粒钢焊接接头各区域的硬度及尺寸。并对能量输入差别较大的不同焊接方法(激光、等离子弧)焊接微米晶粒钢的焊缝宏观形貌、晶粒度、硬度及冲击韧性进行了对比研究。表明激光焊接微米晶粒钢的优越性。

关键词 微米晶粒钢, 激光焊接, 成形及组织性能, 线能量

中图分类号 TG456.7 **文献标识码** A

Effect of Laser Welding Parameters on the Figuration and Microstructure Properties of Micron-grained Steel Welding Joint

WANG Cheng¹ CHEN Wu-zhu¹ PENG Yun¹ ZHANG Xu-dong¹ PAN Jian¹ TIAN Zhi-ling²

(¹ Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)
(² Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The hardness and the dimension of micron-grained steel welding joint were studied with different laser energy inputting. The macroscopical configuration, grain size, hardness, and impact toughness of micron-grained steel joint that was acquired by different weld techniques with different energy inputting were investigated and compared. The research shows the micron-grained steel welded by laser has great superiority.

Key words micron-grained steel, laser welding, figuration and microstructure properties, line energy

1 引 言

微米晶粒钢是通过特殊冶炼和轧制方法得到的高洁净度、高纯度和超细晶粒组织的新一代钢铁材料,晶粒尺寸为 8~10 μm ,强韧性比常用钢材提高一倍。微米晶粒钢在焊接热循环作用下,热影响区晶粒会长大,导致接头塑性和韧性下降,而且会出现形变的回复,导致接头性能软化使强度下降^[1]。因此微米晶粒钢的焊接性研究对其投产及使用具有重要意义。

激光焊接由于具有热输入小、冷却速度大、热影响区窄的特点,无疑是高质量焊接微米晶粒钢的首选方法。本文对 SS400 微米晶粒钢激光焊接接头

的组织性能进行了研究,并与其他焊接方法进行了对比。

2 激光焊接微米晶粒钢

微米晶粒钢的化学成分如表 1 所示,板厚为 3 mm。激光功率低于 3000 W 的焊接规范时,激光器使用 3 kW 快速轴流 CO₂ 激光器,聚焦元件为焦距 127 mm 的 ZnSe 透镜;激光功率大于 3000 W 时,激光器选用 6 kW Turbo 型射频激励快速轴流 CO₂ 激光器,聚焦镜为焦距 200 mm 的抛物铜镜。以上两种情况,焊接过程中均采用 Ar 作为保护气体。

实验采用四种激光焊接规范:

- 1) $P = 5000 \text{ W}$, $V = 3.5 \text{ m/min}$,
线能量为 86J/mm;
- 2) $P = 3500 \text{ W}$, $V = 1.6 \text{ m/min}$,

* 国家重点基础研究发展规划(973)(G1998061500)、清华大学 985 基金(012-101050)资助课题。

- 线能量为 131J/mm;
- 3) $P=2400\text{ W}$, $V=1.0\text{ m/min}$,
线能量为 144J/mm;
- 4) $P=2100\text{ W}$, $V=0.8\text{ m/min}$,
线能量为 158J/mm。

表 1 微米晶粒钢的化学成分

C	0.171	Al	0.025
Si	0.09	Cu	0.01
Mn	0.36	Cr	0.02
P	0.013	Mo	0.01
S	0.013	Ni	0.03

图 1、图 2 分别为激光焊接不同能量输入对焊缝、热影响区尺寸及硬度分布的影响。由图 1 和图 2 看出:随着线能量的增加,焊缝宽度和热影响区的尺寸都增加。可见,考虑焊缝和热影响区尺寸,在保证熔透的条件下,应选择高的激光功率和高的焊接速度,因为这样可以使线能量较低,以获得更窄的焊缝和热影响区。由图 2 还可以看出,随着线能量的增加,焊缝区的硬度降低,显微硬度值在 360 与 200 之间变化,而且均没有出现软化区。

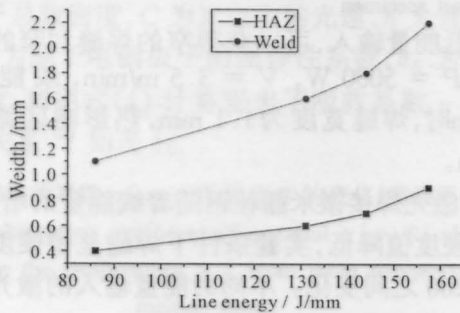


图 1 激光焊接不同能量输入对焊缝及热影响区尺寸的影响

Fig. 1 The effect of laser energy inputting on the size of weld and HAZ

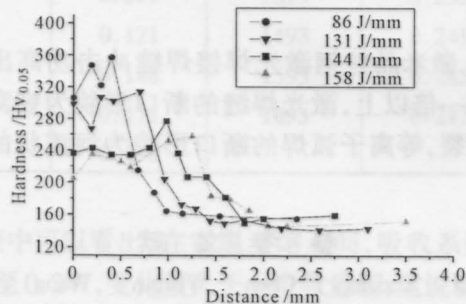


图 2 激光焊接不同能量输入对接头硬度分布的影响

Fig. 2 The effect of laser energy inputting on joint hardness

3 激光焊接微米晶粒钢与其它焊接方法的对比

激光焊接属高能量密度、低热量输入焊接方法,实验中同大能量输入的等离子弧焊接进行了对比。两者的焊接规范分别为:激光焊接, $P=2400\text{ W}$, $V=1.0\text{ m/min}$,线能量为 144 J/min;等离子弧焊接, $U=30\text{ V}$, $I=120\text{ A}$, $V=260\text{ mm/min}$,线能量为 830 J/mm。

表 2 反映的是不同焊接方法焊接微米晶粒钢各区域的尺寸、晶粒度的大小及各区域的组织,由表 2 可以看出:激光焊接所得到的焊缝和热影响区宽度要远小于传统焊接方法,激光焊接接头的尺寸大致为等离子弧焊的 1/4 左右。两种焊接方法焊接微米晶粒钢接头宏观形貌见图 3 所示。与母材比较,两种焊接方法得到的焊缝和粗晶区均有不同程度的晶粒长大倾向,但激光焊接的焊缝和粗晶区晶粒长大倾向远小于传统焊接方法,激光焊接粗晶区晶粒尺寸仅为等离子弧焊接的 1/6 左右。这是由于激光焊接热循环的升温 and 冷却速度很快,高温停留时间很短,奥氏体晶粒没有充分的时间长大。

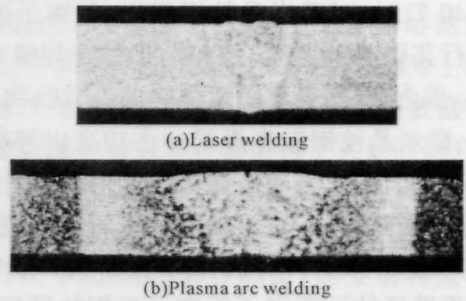


图 3 两种焊接方法焊接微米晶粒钢焊接接头宏观形貌

Fig. 3 Microscopical configuration of micron-grained steel joint with different weld technique

图 4 为微米晶粒钢激光焊接、等离子弧焊接接头硬度分布曲线。可以看到,微米晶粒钢采用激光

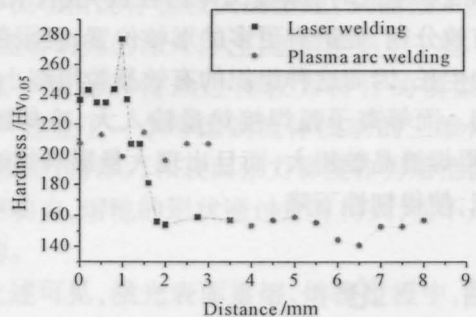


图 4 微米晶粒钢不同焊接接头硬度分布

Fig. 4 Hardness of different micron-grained steel joint

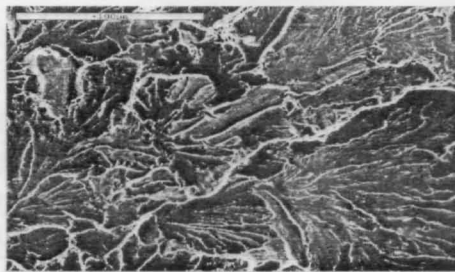
焊接时,焊缝的硬度要高于等离子弧所得焊缝区域的硬度,但硬化区宽度要窄得多。而且采用大能量

输入的等离子弧焊接微米晶粒钢出现了软化区,而激光焊接则没有出现。

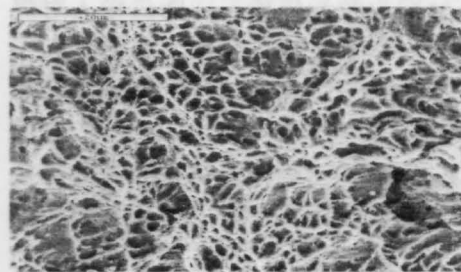
表 2 不同焊接方法焊接微米晶粒钢各区域的尺寸及晶粒度的大小

Table 2 The macroscopical dimension and grain size of micron-grained steel joint with different weld technique

weld technique	analyzed object	weld melt	phase-transformation recrystalization	base metal
laser welding 144 J/mm	width /mm	(face)1.8	0.7	rest
	microstructure	B+M+F	B+M+F	F+P
	average grainsize / μm	30	20	$\approx 8\sim 10$
plasma arc welding 830 J/mm	width /mm	(face)5.7	3.4	rest
	microstructure	F+W _F +P+B	F+W _F +P+B	F+P
	average grainsize / μm	80	125	$\approx 8\sim 10$



(a)plasma arc welding



(b)Laser welding

图 5 冲击试样断口形貌

Fig. 5 Fracture configuration of impact specimen

-40℃时,对微米晶粒钢激光、等离子弧焊缝分别进行艾氏冲击实验,实验得到:激光焊缝冲击吸收功 A_{KI} 值为 23 J,等离子弧焊缝冲击吸收功 A_{KI} 值为 10 J,微米晶粒钢激光焊缝冲击功高出等离子弧的一倍以上。图 5 为冲击试样断口形貌照片,可以看出激光焊的断口形貌为韧窝状的延性断裂,等离子弧焊的断口形貌为河流状的脆性断裂。微米晶粒钢激光焊缝区的硬度高于等离子弧焊的硬度,而冲击功也高于等离子弧焊。这主要是由于激光焊接能量密度高,热输入量低,焊缝区域的晶粒较等离子弧的小得多;而且由于激光焊接冷却速度极快,焊缝组织中会出现板条马氏体和下贝氏体。板条马氏体和下贝氏体混和生成时,原奥氏体晶粒被先析出的下贝氏体有效分割,促进有更多的形核位置,且限制了马氏体的生长,因而这种组织的有效晶粒很细小,对韧性有利。而等离子弧焊接热量输入大、冷却速度较慢,使得焊缝晶粒粗大,而且出现大量影响韧性的魏氏组织,使得韧性下降。

4 结 论

1) 在保证熔透的条件下,激光焊接微米晶粒钢

采用较低能量输入,可以获得窄的焊缝和窄的热影响区。 $P = 5000 \text{ W}$, $V = 3.5 \text{ m/min}$,线能量为 86 J/mm时,焊缝宽度为 1.1 mm,热影响区宽度为 0.4 mm。

2) 激光焊接微米晶粒钢随着线能量的增加,焊缝区的硬度值降低,实验条件下焊缝显微硬度值在 360 与 200 之间变化。不同的能量输入的激光焊接均没有出现软化区。

3) 微米晶粒钢激光焊接接头(包括焊缝和热影响区)的尺寸大致为等离子弧焊的 1/4 左右,粗晶区晶粒尺寸仅为等离子弧焊接的 1/6 大小。采用大能量输入的等离子弧焊接微米晶粒钢出现了软化区。

4) 微米晶粒钢激光焊接焊缝冲击功高出等离子弧的一倍以上,激光焊缝的断口形貌为韧窝状的延性断裂,等离子弧焊的断口形貌为河流状的脆性断裂。

参 考 文 献

- 1 Zhang Xudong, Chen Wuzhu, Wang Cheng. Microstructure and mechanical properties of laser welded super-fine grain steel. *Applied Laser* (应用激光), 2000, 20(3):104~106(in Chinese)