

不锈钢管子—管板的激光焊接

赵仲黑 李力钧 张如馨 钟昌勤

(湖南大学, 长沙 410082)

提要 试验研究了不锈钢的深溶焊接。研究了聚焦光束回转的光具。在工件不动的情况下,焊接管子—管板连接环缝。焊缝质量满足压力容器的要求,焊接效率大大提高。

关键词 激光焊接,回转光具,压力容器

Laser welding of stainless steel tubes and tube plates

Zhao Zhongpi, Li Lijun, Zhang Ruxin, Zhong Changqin

(Hunan University, Changsha 410082)

Abstract Laser deep-penetration welding of stainless steel is experimentally studied. An optical system permitting rotation of focused laser beam for welding stationary tubes and tube plates has been developed. The quality of welded joints meets the demands of pressure container and the welding efficiency is raised greatly.

Key words laser welding, rotatory optical system, pressure container

1 前 言

我们利用自行研制的6 kW低阶模(TEM₀₁)CWCO₂激光器^[1]进行了不锈钢列管式换热器的管子—管板的激光焊接研究。列管式换热器有大量密集的管子插入两端管板的孔中,各管子和管板的结合面需按压力容器的要求焊接。其配合精度,稍加简单的处理即可满足激光焊接对配合间隙的要求,可大大提高效率。

现有激光深溶焊接环缝都是采用光束不动,工件回转的方式进行,导光系统简单。法国ETCA技术中心曾用工件回转法试验研究了薄不锈钢管和管板的激光焊接^[2],但不能用于列管式换热器管子—管板的环缝焊接。本研究工作研制和采用了使聚焦光束回转的光具。焊接质量符合压力容器要求。本文简要报道这一成果的主要工作。

2 管子—管板环缝激光焊接方法和装置

我们研制的光束锥面回转光具如图 1 所示。激光沿回转轴线入射,经平面镜反射偏折到球面反射镜聚焦。焦点偏离回转轴线的距离可通过偏转球面镜调整。平面镜、球面镜及镜筒由直流电机驱动回转,镜片通水冷却。保护气体喷管亦固定在镜筒上随聚焦光束一起回转。

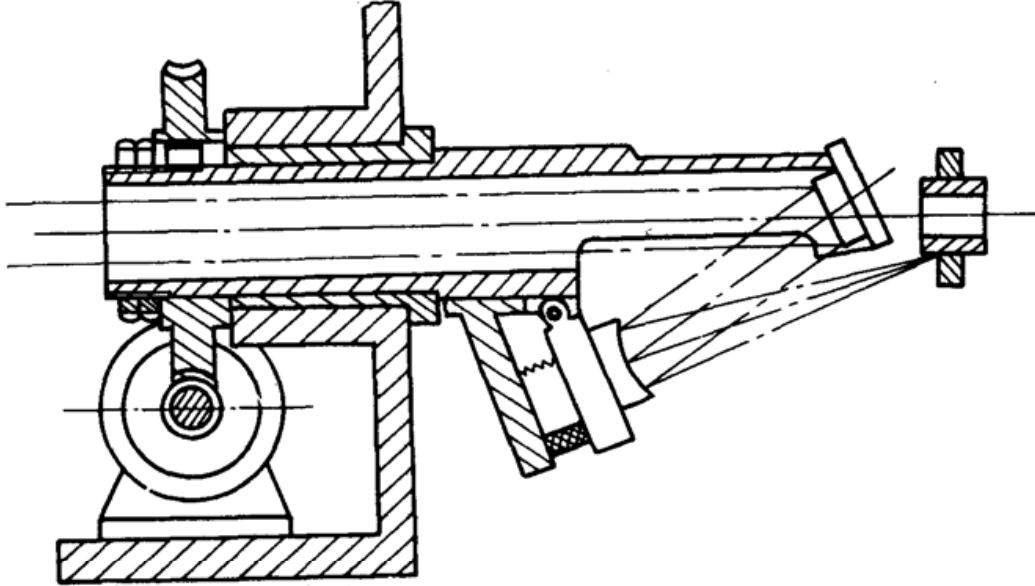


Fig. 1 Rotatory optical system

为使沿结合面有最大熔深,聚焦光束轴线与被焊管子轴线的夹角要小。为做到傍轴光线聚焦以减少像差,激光束对球面镜的入射角要小。在激光束截面尺寸较大的情况下,这些要求只有通过适当加大球面镜的焦距来达到。在本项工作的情况下,球面镜焦距为 250 mm。

试验用的激光器采用非稳谐振腔,输出 TEM_{01} 模环形激光,其发散半角 α 为 1 mrad。由此估算的激光焦斑直径 $d = 2f\alpha = 0.5$ mm。由于像差,实际焦斑直径为 0.7 mm 左右。当激光功率大于 2 kW 时,焦斑功率密度即达 5×10^5 W/cm² 以上。可以实现有“匙孔”效应(聚焦光束照射工件,立即形成小孔,能最大限度地吸收激光能量,谓之“匙孔”)的深熔焊接。

为保证环形焊缝首尾平滑连接,聚焦光束在额定功率下回转 360°后,激光功率在零点几秒内由额定功率值逐渐衰减到零

试件材料为 1 Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢。

3 焊接参数与焊缝断面

焊接参数与焊缝尺寸的关系,通过聚焦光束在不锈钢板上直线扫描进行试验,仍采用回转光具的光路聚焦,但光具不回转。

试验表明,离焦量对穿透深度和焊缝成型有相当影响,试验发现,当光束焦斑在试件表面以下 1~2 mm 时,穿透深度最大,焊缝深宽比最大。这和国外众多试验结果是一致的。我们对比试验了氩、氩、氮气和不加保护气体几种情况。在我们的试验条件下,它们对穿透深度没有明显影响。这和国外某些试验结果是矛盾的。Seaman 在 15 kW 激光功率下的试验结果表明,比之氩气,用氮气作保护气体,穿透深度成倍下降^[3]。究其原因,在于试验用激光功率密度不同。本试验所用激光功率为 2~4 kW,功率密度约为 $5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$ W/cm²,虽已能形成匙孔,实现深熔焊接,但聚焦于熔池上方的等离子体浓度低,呈淡蓝色,对激光能量的吸收小,保护气体的

作用主要不在吹除等离子体,而是排除和阻隔空气,氩气分子较重,排除空气的效果好,且较便宜,本实验采用氩气保护,流量 $3 \text{ m}^3/\text{h}$,在焊缝平面内逆光束移动方向倾斜 45° 喷射。

固定焊接速度为 30 mm/s ,激光功率分别为 $1, 2, 3 \text{ kW}$ 时,焊缝断面如图 2。1 kW 时,焊缝断面呈现出热传导焊所特有的半圆形。2 kW 时,焦斑功率密度已达 $5 \times 10^5 \text{ W}/\text{cm}^2$,开始有匙孔效应的深熔焊接,穿透深度显著增加。穿透深度与激光功率的关系如图 3。

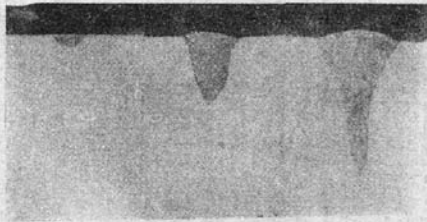


Fig. 2 Welding beads at different powers (Scale 5 : 1, workpiece : photograph)

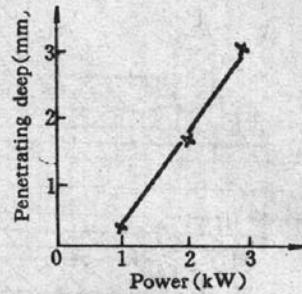


Fig. 3 Penetration depth versus laser power (scale 5 : 1)

固定激光功率为 3 kW ,焊速分别为 $17, 24, 30, 40, 50 \text{ mm/s}$ 时,焊缝断面如图 4。焊速减低,穿透深度增大,但有极限。速度过低,熔深不会显著增加,但正面宽度显著加大,使深宽比下降。焊速与穿透深度的关系如图 5 所示。在全部试验中,离焦量均控制在 1.4 mm 。

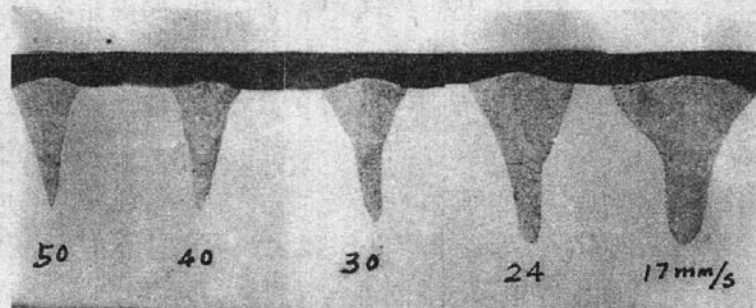


Fig. 4 Welding beads at different speeds (Scale 5 : 1)

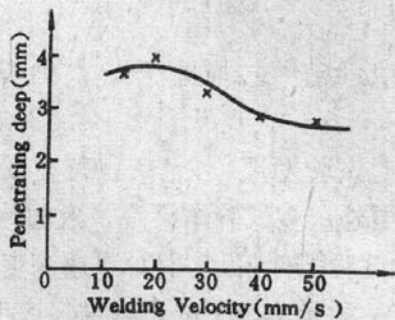


Fig. 5 Penetration depth versus speed

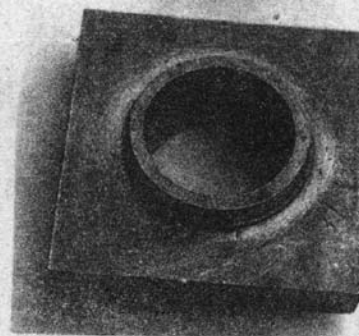


Fig. 6 Photograph of welded tube and tube plate

所试验的管子—管板焊接,要求焊接深度大于 3 mm。选取 3 kW 功率、20 mm/s 焊速能满足此要求。在此参数下焊接的管子—管板外观如图 6。直径 50 mm 的管子—管板环缝,在 8 s 内完成,仅为手工氩弧焊速度的 1/20。

在所有试验情况下,焊缝表面光滑,断面无夹渣、裂纹,但有时出现微小气孔。激光深熔焊接输入能量低、焊速高、熔池固化速度快,且焊缝深宽比大,气体不易释出而生成气孔,这是激光深熔焊接所固有的缺点,需要认真对待。在我们所采用的焊接参数下,只要严格清洁试件,用氩气充分保护焊接区,可以消除气孔。直线焊缝 X 射线探伤合格,管子—管板(管厚 5 mm,管板厚 10 mm)环形焊缝按规定任意切成四瓣,断面均无气孔。降低焊接速度,可减小生成气孔的倾向,但也损失了激光焊接的优点。

4 焊缝金相组织和机械性能

熔化区呈定向枝晶结构,结晶方向与温度梯度方向一致。图 7 示出焊缝显微组织,由奥氏体和网状 δ 铁索体构成。

对接直缝拉伸试验(拉伸件板厚 3 mm)表明,只要焊缝饱满,未焊偏,则试件的断裂强度极限(均在 670 MPa 左右)与母材相近。有的试件断在母材上,如图 8 所示。图中,左面的缝是焊缝,右面的斜缝是母材拉断后的拼装缝。试件面弯、背弯试验合格。焊缝机械性能满足压力容器的要求。



Fig. 7 Microstructure of welding bead
(Amplification 1000 \times)

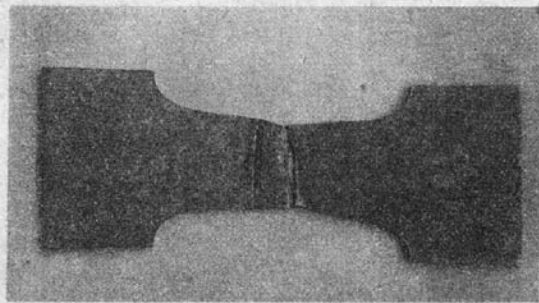


Fig. 8 (Scale 1:1)

参 考 文 献

- 1 李力钧, 秦玉钟 *et al.*, 中国激光, 17(激光器件专集), 35(1990)
- 2 J. M. Signamarcheix, M. Bousseaci, Laser Advanced Materials Processing, 1987, Japan
- 3 F. D. Seaman, SME Technical Paper NO, MR 77~982, 1977