

· 激光焊接 ·

文章编号: 1001-5078(2000)03-0166-03

# 合金钢激光焊接的研究

陈安健

(厦门大学机电工程系, 厦门 361005)

**摘要:** 就合金钢 35CrMo 的机械特性研究了激光焊接中的机理及特性效应和最佳焊接工艺参数, 指出影响激光焊接的主要因素。

**关键词:** 激光焊接; 特性效应; 焊接工艺参数

**中图分类号:** TG456.7; **文献标识码:** A

## Study on Alloy Steels for Laser Welding

CHEN An-jian

(Dept. of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen Univ. Xiamen 361005)

**Abstract:** The mechanical characteristic of alloy steels on 35CrMo, that the mechanism and characteristic effect and optimum technological parameter in laser welding is studied in this paper. The main element of influence of laser welding is pointed out.

**Key words:** laser welding; characteristic effect; welding technological parameter.

### 1 引言

激光焊接技术是六十年代发展起来的一门新兴工程技术, 随着大功率激光器的出现, 激光深熔域穿透焊接技术得到了迅速发展。激光焊接的厚度已从零点几毫米提高到 50mm, 所需功率密度高达  $10^6 \text{W}/\text{cm}^2$ 。目前在世界各国激光加工的应用领域中, 激光焊接的应用仅次于激光切割的应用。特别是激光器与 CAD/CAM 微机结合焊接系统<sup>[1]</sup>, 更是大大提高了激光焊接的效率和自动化程度, 为激光焊接的推广应用开辟了广阔的前景。本文以就 35CrMo 合金钢的激光焊接的机理研究中得出最佳焊接工艺参数及其影响激光焊接的主要因素。

### 2 焊接机理

激光焊接系统由 100W 基模的  $\text{CO}_2$  激光器、可见光导引系统、聚焦系统及冷却配气系统组成。激光器以稳定的基模输出, 光束直径 20mm, 激光经反射镜后再由透镜(锗透镜  $f=100\text{mm}$ ) 聚焦并随时扫描焊接接头。如图 1 所示: 深熔穿透焊接所用的激光功

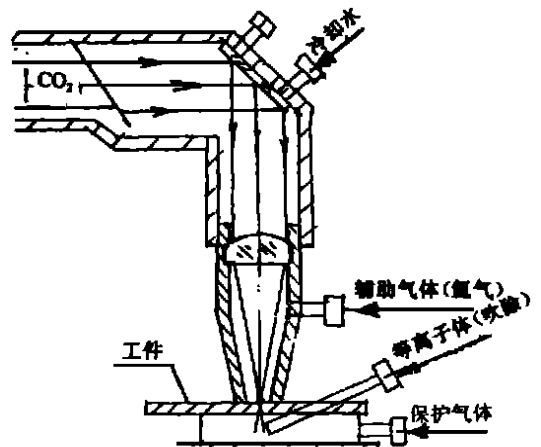


图 1 激光焊接光学系统

作者简介: 陈安健(1950-), 男, 工程师, 研究生学位课程班。主要从事光学与激光仪器光电扫描自动调焦测试技术设计、研究和教学工作。现在本系测控教研室任教、科研。

收稿日期: 1999-11-30

率密度很高,激光束辐照在金属表面上,即刻导致辐照区表层,材料吸收光能后转化成热能并迅速熔化乃至汽化,产生蒸汽压力,并在其作用下使材料内部形成一个特别高温热源小孔。热量从小孔周边成梯度传递而形成具有一定熔化深度的熔池。随着工件在光束中移动,辐照时间的增加,这个孔眼不断向下表层延伸,孔眼四周的金属立即充填小孔<sup>[2]</sup>以形成扫描光束下没有气孔且具有相当韧性的焊缝。用 BHM 363U 摄影金相显微镜观察,激光焊缝组织及形状工整,焊缝平均抗拉强度高于母材。

### 3 焊接特性效应及工艺参数

#### 3.1 聚焦光斑大小和激光模式

光斑大小对于工艺过程是非常重要的参数,它不仅决定激光束的功率密度,而且决定焊缝的宽度。对于高斯分布的激光束,光斑直径为光强下降到中心光强  $1/e^2$  时含有 85% 激光能量的光斑直径。

根据激光光学理论,聚焦后焦平面上激光光斑直径为:

$$\phi_m = 4\lambda f / \pi D (2m + 1)^{1/2}$$

激光为基模输出的高斯光束,  $m = 0$ , 因此有:

$$\phi_m = 4\lambda f / \pi D = f \cdot 4\lambda / \pi D = f \cdot \theta$$

式中,  $\phi_m$  光斑直径,  $\lambda$  激光波长,  $f$  聚焦透镜焦距,  $D$  聚焦前束腰,  $m$  激光横模阶数,  $\theta$  基模光束发散角。从上式可知,高阶模激光束聚焦后的焦斑直径是基模光束的  $(2m + 1)^{1/2}$  倍,因此,对于一定波长的激光束,  $f$  越短,光束模式越好,得到的聚焦光斑也越小,激光功率密度越高<sup>[3]</sup>。

在激光焊接中,由于高功率密度的激光束随衍焊缝,焊接特性效应发生。

#### 3.2 深熔焊接小孔效应

在功率密度高达  $10^7 \text{ W/cm}^2$  的激光束辐照下,其能量输入焊缝的速率远大于热传递、对流和辐射时的散失速率,使得激光辐照区内的金属迅速汽化,并在高蒸汽作用下,在熔池中形成小孔穴。这种孔穴为光学绝对黑体,它可将入射的光能量全部吸收,吸收率会从 3% 急剧上升到 98%,激光束通过孔穴直射孔底,其孔穴深度就决定了熔化的深度。如图 2 所示。

#### 3.3 聚焦透镜的热透镜效应

高功率激光透射系统中,常遇到的是连续工作时间过长而使透镜热畸变。受热膨胀后各处光强度分布不均匀,中心部分高而突起,产生光学畸变。焦距  $f$  变短使焦斑位置偏移而离焦,使焊缝小孔周围气流被压缩吸附,使熔池产生瞬时衍射效应。

#### 3.4 熔池中孔壁对激光的聚焦效应

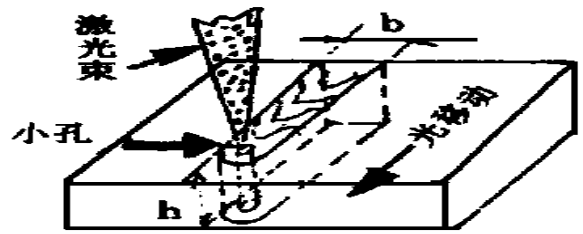


图 2 深熔焊孔穴效应

在激光辐照下,熔池形成孔穴的过程中,由于入射到孔壁上的激光束的入射角通常较大,使入射激光束在孔壁受到反射而传向孔穴底部,因而出现孔穴中光束能量叠加,有效的增加了孔穴中光强度。多次孔壁反射的结果,有利于细长深孔的形成而实现深熔焊接。表 1 给出了 35CrMo 焊接时的最佳工艺参数。

#### 3.5 焊缝机械性能

提高焊接件的结合强度是激光焊接的主要目的。对强度的测定一般是依据焊件侧弯断裂时的弯曲力矩计算焊缝的抗拉强度,或更直观地将焊接件弯折。若焊缝不断裂,则说明焊接件有足够的结合强度。用机械力矩受力简图可表示这一现象。施加外力  $F$  并逐渐增大此力,读取焊缝断裂时临界的数据。力臂为  $H$ , 则机械力矩为  $M = F \times H$ 。弯曲表明,焊缝抗弯强度大于  $1 \text{ GPa}$  ( $1 \text{ kN/mm}^2$ ),激光焊接件强度是普通焊接的 2 倍以上,其机械强度亦大于母材。

表 1 激光深熔焊接工艺参数

形式	功率 W	焊速 m/min	离焦 mm	熔深 mm
单面	700 以上	1.2	0 ~ -1	1.27
双面	600 以上	1.1	+1 ~ -1	1.42

### 4 主要因素分析

激光焊接时影响焊缝质量的主要因素是与激光器的有效功率、焊接速度、离焦距离、保护气体的种类、材料的物理性质等工艺参数有关。更主要的是激光的功率和焊接速度之间有一确定的关键工艺因素。

激光焊接时,要使材料熔化而汽化,其吸收的光能量  $Q$  必须满足能量平衡方程:

$$Q = \rho h [c(T - T_0)] + \eta$$

式中,  $h$  - 熔深,  $\rho$  - 材料密度,  $c$  - 比热,  $T - T_0$  - 熔化温度,  $T_0$  - 熔化初时温度,  $\eta$  - 熔解热。

#### 4.1 深熔与激光功率及焊接速度的关系

激光器的有效功率密度越低,焊接速度越大,则熔深越浅,小孔效应就越不稳定<sup>[4]</sup>,甚至形成不了熔池;当输出的激光束的模式不好,即使有效的功率足够,也形成不了小孔效应。当激光处于连续焊接时,焊缝宽度  $b$  及焊接速度可用经验公式确定<sup>[2]</sup>:

则  $b = 0.485e \cdot P/V \cdot d \cdot E \cdot T$   $v = 0.485e \cdot P/b \cdot d \cdot E \cdot T$  式中:  $P$ —激光功率,  $e$ —热扩散率,  $E$ —热传导率,  $d$ —光斑直径。因此,熔深  $h$  与激光功率  $P$ 、焊接速度  $V$  之间关系为:

$$h = P^{(0.7-0.8)} / v^{0.5}$$

其关系曲线如图3所示。从图可知,采用1.7kW激光束时,  $f = 125$ , 速度1.2m/min, 采用1.5kW激光束时,  $f = 75$ , 焊速0.5m/min。由表2给出。

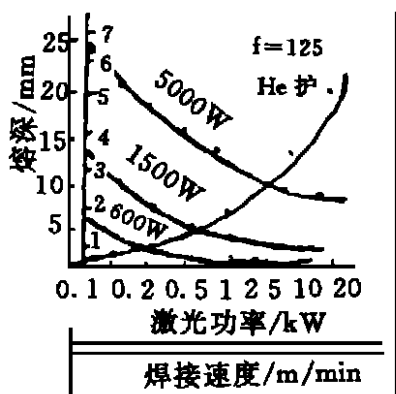


图3 焊接深度与激光功率及速率的关系

#### 4.2 聚焦位置的影响

激光焊接时,通常处于离焦状态进行焊接。即所需熔池形成就得到深熔焊缝。有时为了增加熔深,常将焦点位于工件下表面(0~1mm),会聚焦距取决于功率密度并相匹配。当负离焦处于2mm焊接时,

表2 激光焊接工艺参数及结果

焊件编号	功率 W	焊速 m/min	离焦量 mm	深宽比
1	700	1.0	+3	0.25/0.29
2	700	1.0	+2	0.82/0.46
3	700	1.0	+1	1.10/0.59
4	700	1.0	-1	1.39/0.71
5	700	1.0	-2	0.98/0.55
6	700	1.0	-3	0.33/0.30

其熔池最长,焊缝宽度最窄,深宽比达最大值。因此,离焦2mm时为最佳焊接工艺状态。

#### 4.3 冷却配气系统的影响

激光焊接中,为了防止焊缝氧化和消除等离子体影响,常采用一些辅助气体加以保护。如  $He$ 、 $Ar$ 、 $CO_2$  等。而采用  $He$  气体保护将得到熔深最大,保护效果最佳。一般随保护气体流量增加到一定程度后,熔深趋于稳定,当焊速为0.5m/min使最佳流量为22L/min,最佳气压为90mm H<sub>2</sub>O,采用氩气主要用来保护透镜和焊缝。

#### 参 考 文 献

- [1] 李力均. 现代激光加工及其设备 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993.
- [2] 刘东华. 激光焊接[J]. 激光杂志, 1992, 5.
- [3] 魏光辉, 杨培根, 等. 激光技术在兵器工业中的应用 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.
- [4] 史晓强. 金刚石锯片的激光焊接 [J]. 应用激光, 1996, 16.

## 2000年全国光学仪器及产业研讨会在杭州举行

由中国光学光电子行业协会、浙江大学光电信息工程学系联合主办的全国光学仪器及产业研讨会于2000年4月25~28日在杭州举行,参加会议共有67个单位、100位代表。会议交流报告内容涉及我国光学仪器、光学元器件和材料的发展动态,我国光学仪器在科研、测量、分析、遥感、控制、医疗、工业、环保、国防等各个领域中有广泛的应用。光学元器件、玻璃、晶体、光学薄膜、镀膜材料在技术与产业上发展迅速,市场活跃。会上有来自我国台湾、日本

和韩国企业的代表作了有关报告。会议代表还参观了浙大光电信息工程学系的实验室和最近的科研成果。

会议代表来自大学、研究所、企业、贸易公司、新闻媒体等,各方面人士相互沟通信息、交流经验、洽谈合作与贸易,与会代表认为本次研讨会会有较大收获。

(本刊通讯员)