

# 大功率多束 YAG 激光耦合系统的性能分析\*

## Capability of High Power Multi-Beam YAG Laser Coupling Equipment

中航工业北京航空制造工程研究所 宋巍 张雁 左从进

**[摘要]** 研制了一套 YAG 激光耦合装置,利用非相干合成技术将三束激光合成一束大功率激光,再通过耦合技术经由一根光纤输出。从功率损耗、光束质量及焊接性能三个方面对耦合装置的性能进行分析。结果表明,耦合装置能量损失小于 10%;耦合后光束能量分布均匀;与单束激光源相比,激光器的输出功率得到大幅度增加,激光焊接厚度得到增大,焊接效率得到提高。

**关键词:** 激光耦合装置 大功率激光 激光焊接

**[ABSTRACT]** A coupling equipment for YAG lasers has been designed. By incoherent combing technology, three laser beams is combined to a higher power laser source delivered by a fiber output. The performance loss of power, beam quality and welding properties of the coupling device had been analyzed. The results show that the coupling device energy loss is less than 10%. The coupling laser beam energy distribution is symmetrical. Comparing with the single beam laser source, not only the output power of the laser is greatly increased, but also the thickness of metal welded by laser and the welding efficiency are increased.

**Keywords:** Laser coupling equipment High-power laser Laser welding

激光焊接作为一种先进的焊接技术,在国民生产中发挥着日益重要的作用。由于热效应、非线性效应等多种因素的影响<sup>[1-2]</sup>,固体激光器的输出功率相对较小,主要用于焊接薄板。对于中厚板的焊接,现有激光器的输出功率水平和输出光束质量很难适应。在航空航天工业领域,常需要对中厚板进行焊接,尤其是铝合金焊接时,由于材料表面的高反射率,更需要增加激光器的功率。另外,激光功率增大,焊接加工效率也会得到提高。现有超大功率激光器一次焊接的深度比较大,但焊接稳定性差,焊接质量难以保障。并且设备价格昂贵、运行费极高<sup>[3-4]</sup>。

针对激光焊接厚板过程中遇到的问题,研制了一套

用于焊接的 YAG 激光耦合装置。将 3 束通过光纤传输的 YAG 激光利用非相干合成技术合成为一束激光,再利用耦合技术通过光纤输出,从功率损耗、光束质量及焊接性能等 3 方面对该装置的性能进行分析。

### 1 多光束耦合方案

根据现有一台 GSI 公司 AM356 YAG 激光器、两台 Trumpf 公司 HL3006D YAG 激光器。制定了一个 3 光束耦合系统的方案。所设计方案如图 1 所示。

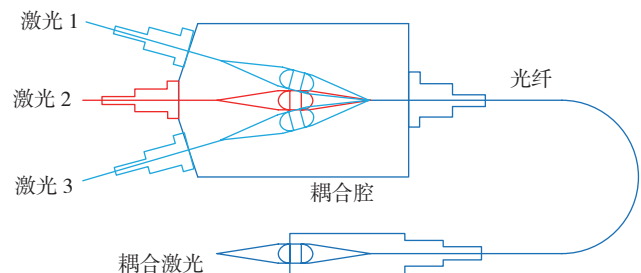


图1 3光束激光耦合方案示意图  
Fig.1 Three-beam laser coupling scheme

从图 1 可以看出,设计 3 路光纤输入通道。其中一个通道为 GSI 光纤接收器,两个通道为 Trumpf 光纤接收器。3 束激光输入耦合装置,利用透镜作为耦合元件,再经由一根光纤输出。

耦合器的控制系统可以对耦合通道进行任意选择。当 3 台激光器光纤全部输入耦合器后,通过软件控制光闸(Shutter),可以像传统应用一样只触发其中一个激光器;也可以选择触发其中任意两个激光器,实现双光束耦合;也可以打开所有光闸,从而实现 3 光束耦合。

为了保证耦合系统正常工作,充分考虑到激光器大功率输出时,镜片及加工头的冷却问题。设计了合理的水冷回路,并配备了专门的水冷机。控制系统可以对循环水的温度、流量进行监测,并在屏幕上进行显示。如果水温过高或者水流量过低,则发出警报并且切断光闸,从而对整个装置进行保护。

### 2 试验及结果分析

#### 2.1 激光耦合功率测试分析

利用 OPHIR 公司的 Laserstar 型激光功率计分别对

\* 科技重大专项(2011ZX04016-061)资助。

AM356 激光器、HL3006D 激光器以及两束激光耦合后的输出功率进行测试。测试结果如表 1 所示。

表1 耦合能量对比 W

序号	AM356 输出功率	HL3006D 输出功率	耦合后 输出功率
1	250	250	474
2	500	500	957
3	1000	1000	1842
4	1000	2000	2758
5	2000	2000	3649

从表 1 可以看出,耦合装置输出的激光功率比所有激光输入累加的功率低,耦合后的激光功率比耦合前激光功率总和损失 5% 左右,符合大功率激光光纤耦合的标准。经过耦合器以后,激光功率存在 5% 功率损失的主要原因为:

(1) 耦合时由于调节不准,或者由于激光聚焦角大于光纤的数值孔径。

(2) 光纤端面的反射损失。光纤端面未镀增透膜时,则反射率由式(1)表示。

$$R = \left( \frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0} \right)^2, \quad (1)$$

式中,  $n_0$  为空气折射率;  $n_1$  为纤芯折射率。如果  $n_0=1$ ,  $n_1=1.5$ , 则  $R=4\%$ 。

(3) 光纤内部的传输损耗,如散射、吸收、辐射等。这部分的损耗可以用公式(2)来计算:

$$\frac{P_F}{P} = 10^{-VL/10}, \quad (2)$$

式中,  $P$  为激光输入功率;  $P_F$  为激光输出功率;  $V$  为损耗系数 (dB/km),  $L$  为光纤长度 (km)。

以上各种损耗中,反射损耗影响较大,因此改善聚焦透镜的透过率及光纤端面的吸收率都会提高光纤传输的总体效率。

## 2.2 耦合激光光束质量测试与分析

利用 Laserscope UFF100 型光束质量分析仪,分别对 HL3006D 激光器、AM356 激光器及两台激光器耦合后的光束质量进行分析。

由分析结果可以看出,在不同功率输出时,所使用的固体激光器的光束质量模式分布在横向均出现发散,这是因为两台固体激光器已经使用多年,一些光电器件已出现老化,其光束质量也受其影响有所降低,两束激光经光纤再次经光纤耦合后,光束模式重新进行了分布,从耦合后的光束质量图片可以看出,在横向方向呈光束模式分布相对均匀的多模高斯分布。

## 2.3 焊接适用性分析

将一台 AM356 YAG 激光器、两台 Trumpf 公司 HL3006D YAG 激光器输出的激光作为所研制耦合器的输入,对经过耦合装置输出的激光与未耦合的单束激光的焊接性能进行对比测试,测试结果如图 2 所示。

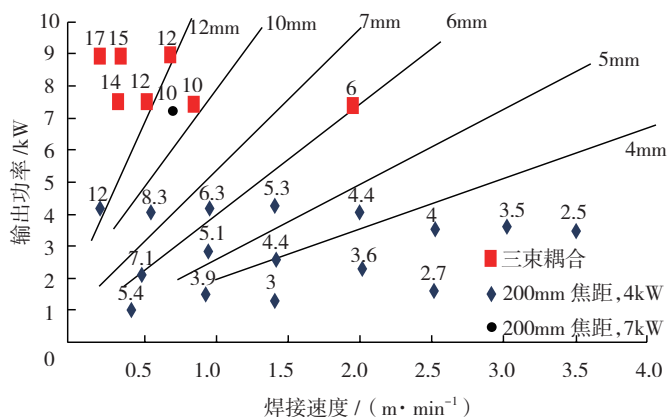


图2 效果对比测试

Fig.2 Comparison test of welding effect

从图 2 可以看出,对于 6mm 的不锈钢,单一激光器要实现该厚度焊接,焊接速度为 1m/min;而利用耦合后的光束进行焊接,焊接速度能达到 2m/min,焊接效率提高了一倍。并且,在相同情况下,耦合后的激光可以实现更大厚度的焊接,最大厚度达到了 17mm,这是现有单一激光器无法实现的焊接厚度。

## 3 结论

研究表明:

(1) 3 束激光耦合后用于激光材料加工,可以加大可焊接材料的厚度;

(2) 对于同种厚度的材料,则耦合后的激光,焊接速度增大,使加工效率提高。

此外,通过对加工光源光斑形状和尺寸的改变,能够降低对零件装配间隙和错边量的要求。所研制的系统还可以增大焊接过程的灵活性,改善焊接质量,提高焊接过程的稳定性。

## 参考文献

- [1] Sabourdy D, Kermene V, Berthelemot A D. Power scaling of fibre lasers with all-fibre interferometric cavity. Electronics Letters, 2002,38(14):692-693.
- [2] Ishaaya A A, Davidson N, Shimshi L. Intracavity coherent addition of gaussian beam distributions using a planar in-terferometric coupler. Applied Physics Letters, 2004,85 (12) : 2187-2189.
- [3] 孙玲,赵鸿,杨文是,等.多光束激光相干合成技术研究.激光与红外,2007(2): 111-113.
- [4] 黄榜才,段云峰,张鹏,等.光纤激光器光束合成技术.光通信技术,2006(8):53-54.

(责编 深蓝)