

几种典型大功率激光的功率密度分布及其应用*

李 强 雷 旬 左铁钊

(北京工业大学激光工程, 国家产学研激光技术中心, 北京 100022)

摘要 本文采用大功率激光光束光斑质量诊断仪(LQD-1), 对几种用于工业加工的典型大功率激光束的功率密度分布进行测量, 根据测量结果给出了其应用范围。

关键词 激光加工, 大功率激光, 光束质量, 功率密度

Transverse Intensity Distribution for Several Kinds of Typical High Power Laser Beams and Its Application

Li Qiang Lei Hong Zuo Tiechan

(Laser Engineering Institute, Beijing Polytechnic University, NCLT, Beijing 100022)

Abstract Transverse intensity distribution for several kinds of typical high power laser beams used for industry processing are measured with high power laser beam focus quality diagnostic instrument. The measurement results are discussed, and the fields of application are given.

Key words Laser processing, high power laser, beam quality, transverse intensity

1 引言

激光束的功率密度分布是评价激光器质量的一个重要指标, 在激光加工中它还严重影响到激光加工的质量^[1]。因此了解激光束的功率密度分布是很重要的。对激光束的光束质量, 目前普遍采用光束质量因子 M^2 值(K 、 K_f 等)来评定, 对基模高斯光束进行聚焦时, 焦点附近光束横截面能量分布都是相同的, 呈高斯分布。对于多模激光束, 可以采用光束传输因子 M^2 来将其等效为基模高斯光束^[2]。且在不同的离焦点, 光束横截面能量分布是相同的。

然而, 就目前工业用大功率激光器而言, 由于受目前制造技术的限制, 激光束的模式不再是基模, 而是多种低阶模式混合而形成的混合模激光束, 如在其传输与聚焦的过程中, 受光束附加相移的影响, 光束横截面能量分布将发生变化^[3]。但是光束质量的定义^[4], 没有考虑到混合模激光束光束横截面能量分布状况的影响, 对于混合模激光束, 在不同的加工位置其聚焦焦点的光束横截面能量分布不相同, 这必然影响激光加工质量。

本文采用我们研制的大功率激光光束光斑质量诊断仪(LQD-1), 对几种用于工业加工的典型大功率激光束的功率密度分布进行测量, 根据测量结果给出了其应用范围。

2 测量系统

对大功率激光光束、聚焦光斑直接测量的有效手段是采用空心探针的方法^[5]。LQD-1 大功率激光光束光斑质量诊断仪采用空心探针的原理, 以固定在平动台上的高速旋转空心探针扫描激光光束, 同时平动台作线性步进平动, 这样可扫描光束的整个横截面。探针的内部是可传输光的空腔, 其两端是可传输光的反射镜, 探针表面能承受高功率密度的激光, 探针前端表

面有一微孔, 穿过探针前端微孔的激光, 经探针内部的端反镜及探针内腔, 反射到固定在旋转轴线上的光电传感器, 进行直接检测分析。PC 机控制测量过程并输出测量结果, 测量结果有数据和图形, 如图 1。通过改变探针的旋转速度和平动台的进给步长, 可在相当大的范围内调整检测窗口的大小($0.52 \sim 60^2 \text{mm}^2$)。配合选用带不同直径微孔的空心探针, 既能检测光束又可测量聚焦光斑, 并保证对不同直径的光束或聚焦光斑都有一个恒定的高分辨率。选用不同的光电探测模块, 既能测量 CO_2 激光又可测量 YAG 激光。由于空心探针较细(一般直径小于 3mm), 在扫过光束时, 只挡住极小部分光, 且测量时间短, 可以在激光加工过程中对光束实时在线测量。

3 几种典型大功率激光的功率密度分布

采用我们研制的大功率激光光束光斑质量诊断仪(LQD-1), 对几种用于工业加工的典型大功率激光束的功率密度分布进行测量。

(1) 6000W 快速轴流 CO_2 激光

测量是在德国 Trumpf 公司生产的 TLF6000t 五轴联动激光加工系统上进行。激光器为射频激励的快速轴流大功率 CO_2 激光器, 激光输出的最大功率为 6000W。激光光束和聚焦光斑的功率密度分布如图 2。激光束的模式主要为两种低阶模式混合组成的混合模, 称为 TEM01 模。

(2) 5000W 横流 CO_2 激光

测量是在国产的 HJ-4 三轴激光加工系统上进行。激光器为直流激励的横流大功率 CO_2 激光器, 激光输出的最大功率为 5000W。激光光束和聚焦光斑的功率密度分布如图 3。激光束的模式为多模。

* 国防科工委重点预研资助项目
2001 年 3 月 20 日收稿
2001 年 5 月 25 日收到修改稿

(3) 3000W Slab CO₂ 激光

测量是在德国 Arnold 公司生产的 DC030 五轴联动激光加工系统上进行。激光器为射频激励的 Slab 大功率 CO₂ 激光器, 激光输出的最大功率为 3000W。激光光束和聚焦光斑的功率密度分布如图 4。激光器输出的光束为准基模。

(4) 2000W 横流 CO₂ 激光

测量是在德国 Rofin Sinar 公司生产的 820 三轴激光加工系统上进行。激光器为直流激励的横流大功率 CO₂ 激光器, 激光输出的最大功率为 2000W。激光光束和聚焦光斑的功率密度分布如图 5。激光器输出的光束为准基模。

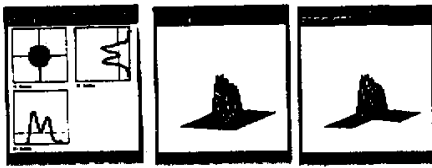


图 1 测量仪的数值和图形输出。(a) X-Y 截面的分布 (b) 三维空间曲面分布 (c) 空间曲面剖面分布 (d) 九截面分布 (e) 功率密度彩色分布

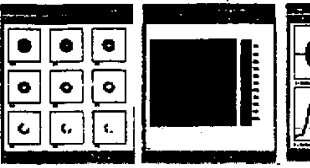


图 2 TRUMPF 6000W 轴流 CO₂ 激光器输出激光功率密度分布测量结果, 图 (a) 为光束功率密度分布, 图 (b) 为聚焦光斑功率密度分布

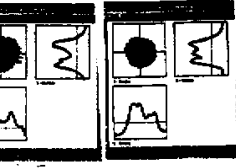


图 3 国产的 HJ-4 5000W 横流 CO₂ 激光器输出激光功率密度分布测量结果, 图 (a) 为光束功率密度分布, 图 (b) 为聚焦光斑功率密度分布

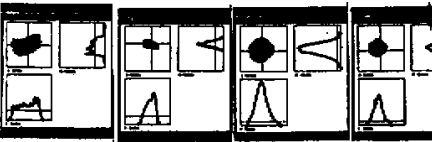


图 4 Rofin DC030 3000W slab CO₂ 激光器输出激光功率密度分布测量结果, 图 (a) 为光束功率密度分布, 图 (b) 为聚焦光斑功率密度分布

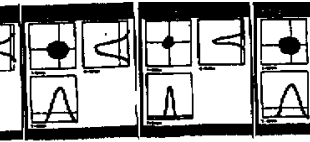


图 5 Rofin 820 2000W 横流 CO₂ 激光器输出激光功率密度分布测量结果, 图 (a) 为光束功率密度分布, 图 (b) 为聚焦光斑功率密度分布

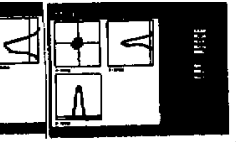


图 6 Rofin DY033 3300W 半导体泵浦 YAG 激光器光纤输出聚焦光斑功率密度分布



图 7 HASS RS1000 1000W 灯泵浦 YAG 激光器光纤输出聚焦光斑功率密度分布

4 几种典型大功率激光的应用

根据上述测量结果, 工业加工用典型大功率 CO₂ 和 YAG 激光器, 由于其输出功率和光束质量的差异, 有明显不同的加工能力, 其应用也不同。

对 3000W Slab CO₂ 激光加工系统, 测量结果看出激光器输出的光束为准基模, 光束质量高 ($K=0.8$), 可采用大尺度的飞行光学加工系统, 焦点漂移量很小, 配以五轴联动的数控系统可进行大范围的三维激光切割和焊接, 如对轿车整车及覆盖件的三维激光切割和焊接。对 6000W 快速轴流 CO₂ 激光加工系统, 由测量结果可知, 激光器输出光束的模式主要为两种低阶模式混合组成的混合模, 激光束在焦点附近功率密度的分布基本均匀, 可进行较大厚度的金属的激光切割和深熔焊接, 可采用较大尺度的飞行光学加工系统, 配以五轴联动的数控系统可进行较大范围的三维激光切割和焊接。由于功率较大, 还可用于激光涂覆、金属部件直接激光快速成型等应用。对国产 5000W 横流 CO₂ 激光加工系统, 从测量结果, 可看出激光器输出的光束模式为多模, 聚焦功率密度小于 10^6 W/cm^2 , 可用于薄板的焊接。由于功率较大, 还可用于激光涂覆、金属部件直接激光快速成型及金属表面改性等应用。而对 2000W

(5) 3300W 半导体泵浦 YAG 激光

测量是在德国 Rofin Sinar 公司生产的 DY033 光纤输出激光加工系统上进行。激光器为半导体泵浦 YAG 激光器, 激光输出的最大功率为 3300W。激光光束和聚焦光斑的功率密度分布如图 6。激光束的模式主要为准基模。

(6) 1000W 灯泵浦 YAG 激光

测量是在德国 HASS 公司生产的 RS1000 光纤输出激光加工系统上进行。激光器为灯泵浦 YAG 激光器, 激光输出的最大功率为 1000W。激光光束和聚焦光斑的功率密度分布如图 7。激光束的模式主要为几种低阶模式混合组成的混合模。

横流 CO₂ 激光加工系统, 由测量结果, 激光器输出的光束为准基模, 可进行金属薄板的激光切割和焊接。

对于 3300W 半导体泵浦 YAG 激光加工系统, 从测量结果可看出, 激光器输出的光束模式为准基模, 光束质量高, 可采用较长焦距的聚焦镜, 可进行较大厚度的金属的激光切割和深熔焊接。由于可采用光纤传输, 不存在焦点漂移, 配以机械手可进行较大范围的三维激光切割和深熔焊接及特殊要求的激光加工。而对于 1000W 灯泵浦 YAG 激光加工系统, 由于可采用光纤传输, 不存在焦点漂移, 配以机械手可进行较大范围的三维激光切割和焊接及特殊要求的激光加工。

参考文献

- [1] H. Huegel. Strahluerkzeug Laser. Teubner Studienbuecher Maschinenbau. B. G. Teubner Stuttgart, 1992
- [2] D. Wright, P. Greve, J. Fleischer, L. Austin. Laser beam width, divergence and beam propagation factor an international standardization approach. Optical and Quantum Electronics. 1992, 24 S993~S1000
- [3] 王智勇, 陈涛, 左铁钊. 延迟位相在大功率 CO₂ 多模激光束传输与聚焦中的重要性. 中国激光. 1998, A25 (5) 391~396
- [4] H. Weber. Some historical and technical aspects of beam quality. Optical and Quantum Electronics. 1992, 24 S861~S864
- [5] J. V. Gilse, S. Koczera and D. Greby. Direct laser beam diagnostics. SPIE Vol. 1414 Laser Beam Diagnostics 1991, 45~54