

材料加工用激光束质量初探

陈培锋 陈涛 丘军林

(华中理工大学激光研究所, 武汉, 430074)

摘要: 本文从激光材料加工的角度讨论了以 M^2 参数作为光束质量评价标准的可能性。指出对穿透式的加工方式, M^2 参数可以表示光束的实用价值, 但对表面加工方式, M^2 参数的大小并不能反映光束实际的实用价值。

关键词: M^2 参数 光束质量 材料加工

Preliminary study about the beam quality in laser material processing

Chen Peifeng, Chen Tao, Qiu Junlin

(Institute of Laser Technology & Engineering, HUST)

Abstract: In this paper, from the point of material processing, we have discussed the possibility of using M^2 factor to evaluate laser beam quality. It has been pointed out that M^2 factor is suitable for evaluation of beam quality in the so-called penetrating processing (i. e., welding, cutting, drilling, etc.), but it's not suitable in the so-called surface processing (i. e., surface heat treatment, marking, etc.)

Key words: M^2 factor beam quality material processing

Δt_Q 为 150ns; 用二次谐波法测得锁模脉宽 Δt_m 为 172ps; 得到单独锁模时峰值功率为 166W, 而锁模/调 Q 时峰值功率为 305.2kW, 比前者高 10^3 倍。图 8 是锁模脉冲序列和二次谐波法测得的相关曲线。

综上所述: Nd:YAG 主动锁模/调 Q 激光采用预激光技术, 可以获得无次结构的高峰值功率短脉冲。预激光时间选择在 1~1.5ms 之间, 相当于光子在腔内往返 $10^5 \sim 10^6$ 次。

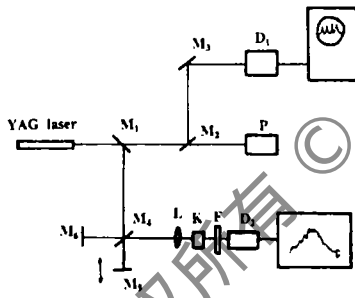


Fig. 7 Schematic of a measurement system for the actively mode-locked/Q-switch laser

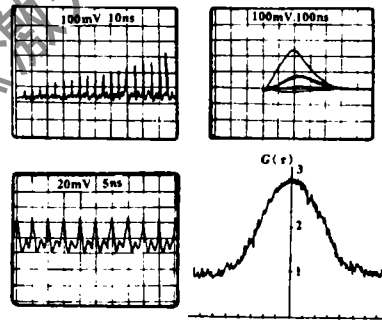


Fig. 8 Output pulse train and autocorrelation curve of SHG

参 考 文 献

- 1 Kuizenga D J. IEEE J Q E, 1981;QE-17:1694
- 2 Kuizenga D J, Phillion D W, Lund T et al. Opt Commun., 1973;9:221
- 3 于连生. 激光, 1979;(6):33
- 4 Silvesteri S De, Laporta P, Magni V. Opt Commun, 1986;57:339
- 5 李洪谱, 兰信钜, 刘耀兰. 激光技术, 1994;18(1):12

一、引言

由于实际激光器中采用的谐振腔形式多种多样,各种不同形式的谐振腔中又可以有许多不同的稳定振荡模式,因此,我们可以获得的激光器输出光束千差万别。在这许多不同的输出光束中,如何建立一种统一的评价标准的研究是一个非常有价值的课题。长期以来,人们曾使用模式、发散角等许多参数来作为评价光束的标准,但均未成为全面评价光束优劣的公认标准。

此外,人们还发现,即使对于同一个参数,由于定义方式的不同而出现矛盾。对于聚焦光斑的直径,高斯光束的直径可定义为功率下降到中心值的 $1/e^2$ 或 $1/e$ 的值,而对于任意光束则很难采用这一定义。如果光束具有几个环,当我们只考虑中心圆斑时,大部分的能量可能均处于光束直径之外。对于同一个参数,即使采用了同样的定义,当测量方法不同时也会出现差别。例如对于光束直径,采用刀口法、套孔法时,就可能出现差别。鉴于这种种的原因,长久以来关于光束质量的评价问题未能得到圆满的解决。

近年来成为讨论热点问题之一的光束传输因子 M^2 参数^[1]似乎为这一问题的解决带来了新的希望。由于 M^2 参数用二阶矩阵的方法给出了光束直径和发散角的统一的完整定义,从而将光束的衍射发散现象与量子力学的测不准关系对应起来。因此 M^2 参数就表征了任何实际光束偏离衍射极限的程度。从这一意义上说, M^2 参数的大小表征了一个光束偏离可达到的最佳光束的程度。因此在某种程度上表征了一个光束的优劣。正由于这一特点, M^2 参数的出现引起人们的广泛重视^[2]。

本文从激光的材料加工这一角度出发,论证在某些应用范围内 M^2 参数确实可以在一定程度上表征光束的优劣,但这一结论不能推广到所有领域。

二、材料激光加工的特点分析

1. 简介^[3]

激光热处理只是表面加热,激光功率密度要求较低 ($10^4 \sim 10^5 \text{ W/cm}^2$),光斑尺寸较大,但要求光强分布比较均匀。一般情况下,激光器可以在多模条件下运行。对于激光热核聚变和激光标记,虽然所要求的功率密度要高得多,但从所需光斑较大和光强分布比较均匀这两点看,又与激光热处理同出一辙。

激光焊接和激光切割则对光束质量提出了不同的要求。对于激光焊接,由于要达到材料熔化,要求有较高的功率密度 ($5 \times 10^5 \sim 10^6 \text{ W/cm}^2$)。此外,为满足对焊缝的宽度和深度以及焊缝质量要求,对激光束的聚焦半径和焦深都提出了一定的要求。对于激光切割,由于材料要达到汽化,就要求有更高的功率密度 ($10^6 \sim 10^7 \text{ W/cm}^2$),同时为满足切割的深度和光洁度较高的要求,一般要求采用基模或具有圆偏振的基模激光束。

2. 两类不同的激光加工方式

通过上面的介绍,可以看出不同的加工方式对激光束的要求是不相同的。要设计出一束对所有的加工方式都是理想激光束的愿望也是不可能实现的。因此我们认为有必要针对不同的加工方式对激光束的质量采取不同的质量标准。通过综合分析,我们认为将所有的加工方式分为表面加工方式和穿透加工方式两大类加以区别是合适的。

(1)表面加工方式 这类加工方式包括激光标记,激光热处理等。其共同的特点是激光束只与材料表面很浅的范围发生相互作用,要求的聚焦光斑较大,而同时又要求横截面上光强分

布均匀,为满足这一要求,激光束常常工作于多模工作状态,输出光斑较大。衡量此类加工方式的光束质量,应以其光束横截面内的光强分布是否均匀来表征。

(2)穿透加工方式 这类加工方式包括激光焊接,激光切割,激光打孔等。它们的共同特点是激光束与材料的相互作用不仅局限于表面,而是在一定的深度内进行。因此,它要求聚焦光斑小的同时还要求有一定的焦深,即在一定的焦深范围内光斑大小的变化足够小。为满足这一要求,激光束往往要工作于低阶模甚至于基模状态。对于这类加工方式,我们认为可以采用 M^2 参数表征其光束质量。

三、 M^2 参数应用于激光材料加工初步研究

1. M^2 参数基本特性

根据定义,经过简单的分析可发现下面的特性:

(1) $M^2 = (\text{光束的光腰半径} \times \text{远场发散角}) / (\text{基模高斯光束的光腰半径} \times \text{远场发散角})$

由此可见,采用 M^2 评价光束,实际上就是评价一个实际光束与基模高斯光束的偏差。而基模高斯光束对于穿透加工方式来说是最适宜的(即具有最大的可聚焦能力和最大的焦深)。因此, M^2 可以很好地评价一个实际光束是否适宜于穿透加工方式的应用。

(2) M^2 是一个不变量,不会因为经过一些光学变换后改变(当然这里是指无象差和限孔光学系统)。

(3) 发散角和光斑大小的定义比较完整,而且很容易制定测量标准。

由以上三点基本特性,我们认为采用 M^2 值评价穿透加工方式中的光束质量是适宜的, M^2 值一般大于1,等于1时为基模高斯光束。 M^2 值愈大则光束愈差。

2. M^2 参数值的大小基本上决定了一个光束是否适宜于穿透加工方式

(1) 光束质量对激光焊接的影响

Table 1 Effect of modes of laser beam on steel welding

modes	power density (W/cm ²)	M^2	depth of welding (mm)	speed of welding (m/min)
TEM ₀₀	2×10^6	1	3	2
TEM ₁₀ + TEM ₀₀	2×10^6	1.8	1.6	2
TEM ₂₀ + TEM ₁₀	2×10^6	2.8	1.0	2
unstable resonator	2×10^6	2.4	1.3	2

由上表可见,相同的激光功率密度和焊接速度, M^2 参数不同,焊接深度明显不同,焊缝质量也不同,TEM₀₀具有最佳深度比。

(2) 光束质量对激光切割的影响

下面给出两种不同的模式对同样厚度钢板进行激光切割的结果:

Table 2 Effect of modes of laser beam on steel cutting

modes	output power (W)	speed of cutting (m/min)	thickness (mm)	width of seam (mm)	M^2
multimodes	1800	2	2	0.9	≈30
TEM ₀₀	500	1.8	2	0.4	1
unstable resonator	900	1.6	2	0.5	2.4

激光扫描制备大尺寸超导薄膜的理论分析*

安承武 宋文栋 陆冬生 范永昌 李再光

(华中理工大学激光技术国家重点实验室, 武汉, 430074)

摘要: 提出了利用激光扫描剥离靶材, 沉积膜厚分布均匀的大尺寸高温超导薄膜分析模型。利用这模型取得的结果表明: 激光扫描方法沉积的薄膜厚度分布依赖于激光扫描半径、靶面与基片的间距。对于一定均匀性程度要求的薄膜, 存在一个能获得最大尺寸薄膜的最佳激光扫描半径。实验结果与理论分析基本一致。

关键词: 大尺寸超导薄膜 激光扫描沉积

Theoretical analysis for deposition of HTSC films over large area by laser scanning ablation

An Chengwu, Song Wendong, Lu Dongsheng, Fan Yongchang, Li Zaiguang

(National Laboratory of Laser Technology, HUST)

Abstract: A method, laser scanning ablation, for deposition of well-distributed high T_c superconductivity (HTSC) films over large area was presented, and a mathematical model for the method was established. By means of mathematics analysis, it was shown that the distribution of film thickness depended on the laser scanning radius and the distance between substrate and target. Also indicated by the analysis results, there was an optimum scanning radius for achieving a maximum film in the range of requisite uniformity. And the results were agreed with experiments.

Key words: large size superconducting films laser scanning ablation for deposition

* 国家自然科学基金资助。

由上表我们可以明显看出, 采用基模的 CO_2 激光器进行薄板切割要比采用多模 CO_2 激光器好的多, 切缝也要小得多。通过这两组实验, 我们认为可以采用光束传输因子 M^2 值衡量此类加工方式的光束质量。

四、结 论

通过上面的分析, M^2 参数可以很好地评价穿透加工方式的光束的优劣, 但对表面加工方式的质量评价不适用。由此可见, M^2 参数虽然具有深刻的物理意义, 并表征了光束偏离最佳衍射极限的程度, 但 M^2 参数的大小并不一定能够充分反映光束的实际应用优劣。而对于穿透加工方式的光束, 提高 M^2 参数的途径只可能提高谐振腔的性能或采用非成像光学系统, 如空间滤波器, 相位板等。

参 考 文 献

- 1 Siegman A E. New developments in laser resonators. in Laser Resonators, D. A. Holmes, Ed. Proc SPIE, 1990; 1224: 2~14
- 2 Inter Organization for Standardization. Terminology and test methods for lasers. ISO/TC 172/SC 9/WG 1
- 3 王家金主编. 激光加工技术. 北京: 中国计量出版社, 1992