

一种大功率激光加工用带式积分镜的设计

王智勇, 陈虹, 左铁钊

(北京工业大学激光工程院, 国家产学研激光技术中心, 北京 100022)

摘要: 介绍了一种新型大功率激光加工用光束带式积分镜的设计原理和实验结果。根据几何光学原理, 采用多条带式曲面代替通常反射镜的回转曲面, 形成带式积分镜。试验结果表明: 激光光束经聚焦后, 获得光强均匀分布的矩形光带, 改善了激光热处理、淬火、熔敷和喷粉焊接等的激光加工质量。

关键词: 激光加工; 大功率激光束; 积分镜

中图分类号: TN 249

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2002)03-0334-03

在大功率激光热处理、淬火、熔敷和喷粉焊接中往往需要把激光束转换成一定功率密度均匀分布的矩形光斑, 以提高激光加工的质量。目前通常采取离焦光斑、振镜扫描、旋转多棱镜扫描、波导积分镜和方形积分镜变换等5种方法来获得^[1]。其中使用较为成功的是方形积分镜^[2], 它是在球面镜基体上采用环氧树脂粘上等尺寸的方形小镜片。但制造复杂, 粘结剂在高功率激光束的照射下易退化变质, 小镜片在高功率激光束的照射下将吸收激光的热量, 粘结剂不易散热, 将造成小镜片的变形而引起差的聚焦质量, 并且小镜片周边的方孔衍射和各镜片的反射光之间的干涉将造成光斑内存在光强弱相间的干涉带, 影响使用效果。本文介绍的带式积分镜克服了方形积分镜的缺点, 制作简单, 可采用高精度车在球面或非球面基体上一次加工成型, 避免了因大功率激光照射所引起的镜面变形。

1 设计原理

带式积分镜的设计原理是在与球面或非球面(如抛物面、椭圆面、双曲面等)反射聚焦镜的回转方向相垂直的方向上采用多带反射斜面代替曲面。这样, 经反射后, 矩形焦斑的一个边的长度由反射斜面的长度决定, 另一个边的长度由离焦得到。下面以抛物面反射镜为例来说明设计原理。

图1为抛物面形带式积分镜光路设计原理图。抛物面与人射激光束呈 45° 夹角, 在抛物面中心点 O' , 入射激光束与出射激光束的夹角为 90° , 而抛物面的焦点在 F 处, 焦距为 f , 则 F 点的坐标为 $F(f/2, 0)$ 。采用直线段替代抛物面弧线后, 各直线段分别将激光束反射到抛物面聚焦焦点处形成长度为 a 的线段 CD , 也就是所设计的矩形焦斑的长边。直线段 AB 与抛物线相外切; 由于切点 O' 在抛物线上, 经该点的光线将被反射到焦点上, 而焦点在线段 CD 的中心, 根据反射原理, 切点 O' 又是直线段 AB 的中心。

所需要解决的问题是如何确定多条反射斜线两个端点的坐标, 或者各条斜线的斜率及其截距, 从而能够准确

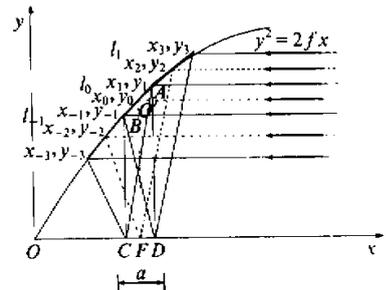


图1 带式成型聚焦反射镜设计原理图

收稿日期: 2002-01-07.

基金项目: 北京市科技新星计划基金资助项目(954810900).

作者简介: 王智勇(1970-), 男, 副研究员, 博士.

地将原始激光束会聚在加工所要求的聚焦范围内。

图1中,抛物线方程为 $y^2 = 2fx$,其中 f 为抛物线的焦距, x 轴就是激光反射回转轴。根据抛物线的定义,首先确定特殊点 (x_0, y_0) ,到达这一点的平行光将被垂直反射到 x 轴上,并且与 x 轴的交点坐标为 $(f/2, 0)$;然后以这一点为中点,作一条斜率为 45° 的直线,这样就可以保证到达该直线的激光束均垂直反射到 x 轴,即加工面上。然后再为这条直线选择合适的长度,使得到达该直线的两个端点的激光束恰好反射到所要求的加工范围的边缘。满足以上条件的直线即为图中的直线 l_0 ,后面的计算都要以它为基准。由于抛物线有一系列的外切线段,首尾相连,实际上就是经过反射面回转轴的平面与多带反射斜面相交而得到的多条斜线。它们将入射的激光束均恰好反射到所要求的加工范围内,如图1所示。

下面将作出一些基本的假设,使计算相对方便。设直线 l_0 两端点以及中点的坐标分别为 $(x_{-1}, y_{-1}), (x_0, y_0), (x_1, y_1)$,激光束经它反射与 x 轴相交,相应的交点坐标分别为 $(f/2 - a/2, 0), (f/2, 0), (f/2 + a/2, 0)$ 。这里, a 表示所要求的加工范围的长度,即聚焦后矩形光斑的长边。以直线为中心,对称的将其他直线分别设为 $l_1, l_2, l_3, \dots, l_{-1}, l_{-2}, l_{-3}, \dots$,相应的端点坐标分别为 $(x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_{-2}, y_{-2}), (x_{-3}, y_{-3}), \dots$ 。为了便于表示直线,将各条直线的斜率和其在 y 轴上的截距分别设为 $k_0, k_1, k_2, \dots, b_0, b_1, b_2, \dots$,这样,直线可以方便地表示为 $y_n = k_n x_n + b_n$ 。

根据以上假设,结合图1,很容易发现两点:一是每条线段都是抛物线的切线;二是每条线段的中点都在抛物线上。于是得

$$k = dy/dx = f/y \tag{1}$$

$$k_n = f/y_{0n} \tag{2}$$

这里 y_{0n} 是直线 l_n 的中点的纵坐标,完整的中点表示为 (x_{0n}, y_{0n}) ,有

$$x_{0n} = (x_n + x_{n+1})/2 \tag{3}$$

$$y_{0n} = (y_n + y_{n+1})/2 \tag{4}$$

将方程(3)、(4)代入抛物线方程 $y^2 = 2fx$,得到

$$y_n = y_{n+1} = 2\sqrt{f(x_n + x_{n+1})} \tag{5}$$

又由方程组

$$\begin{aligned} y_n &= k_n x_n + b_n \\ y_{n+1} &= k_{n+1} x_{n+1} + b_{n+1} \end{aligned} \tag{6}$$

得到

$$(y_{n+1} - y_n)/(x_{n+1} - x_n) = k_n \tag{7}$$

联立方程(2)、(4)、(7),得到

$$(y_{n+1} - y_n)/(x_{n+1} - x_n) = 2f/(y_{n+1} + y_n) \tag{8}$$

显然,根据直线 l_0 有 $k_0 = 1, x_{-1} = (f - a)/2, x_1 = (f + a)/2$ 。由于 $k_0 = 1$,所以

$$y_1 - y_{-1} = x_1 - x_{-1} = a \tag{9}$$

又由于点 $(f/2, 0)$ 是 (x_{-1}, y_{-1}) 和 (x_1, y_1) 的中点,而且它也在抛物线上,所以

$$[(y_{-1} + y_1)/2]^2 = 2f(f/2) = f^2 \tag{10}$$

联立方程(9)、(10),可以得到 $y_{-1} = (2f - a)/2, y_1 = (2f + a)/2$ 。

根据方程(5)、(8)以及方程组(6)和上述初始值,可以得出各个点的坐标以及各条直线的斜率和截距。

2 试验结果

根据以上原理所设计的带式积分镜及其变换效果如图2所示。图2(a)为采用回转型高 precision 机床加工出来的实物照片;图2(b)为TLF6000t激光器在激光输出为6000W时的圆形光束分布图;经带式积分镜变换后所测量的光束强度分布如图2(c)所示。这些激光光束的测量所采用的仪器为北京工业大学激光工程研究所研制的大功率激光光束光斑质量诊断仪LQD-I。从图2可以看出,在焦点附近,经带式积分镜变换后,可以将圆形光束变换为矩形分布;矩形内光束强度分布较均匀。

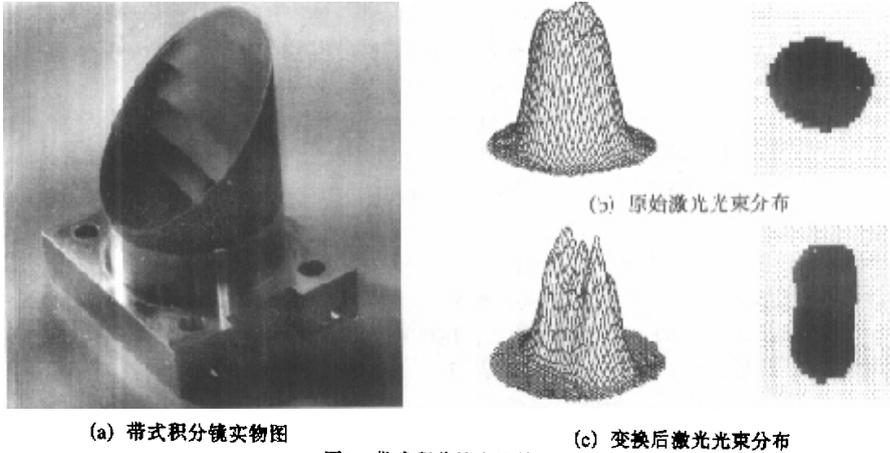


图2 带式积分镜变换结果

3 结束语

作者所设计的带式成型聚焦反射镜可将原始激光束聚焦成一定大小的带形分布光斑,光斑内激光光强均匀分布,这将促进激光热处理、淬火处理时厚度的均匀性,处理后的边界清晰,可以避免被处理表面存在显著的过渡区,减小重叠部分的回火区;对激光熔敷可提高熔敷层的均匀性,提高粉末的利用率;对激光喷涂和喷粉焊接,也可提高粉末的利用率,提高喷涂和焊接的质量。另外带式成型聚焦反射镜可利用回转型高精车机床一次成型加工,不需要粘接,这样制造工艺简单,并可提高反射镜耐高功率激光束和散热的能力以及聚焦质量。

参考文献:

- [1] 李力钧. 现代激光加工及其装备[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1989.
- [2] PIERCE R L. Segmented aperture integrator in materials processing[A]. Proc ICALEO'88[C]. UK: Springer-Verlag, 1989.

Design of Strip Integral Mirror for High Power Laser Processing

WANG Zhi-yong, CHEN Hong, ZUO Tie-chuan

(College of Laser Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

Abstract: The design principle and experiment result of novel a kind of strip integral mirror for high power laser processing are introduced. According to the geometrical optics, traditional surface of revolution of focal mirror is replaced by multistrip curved surface to form strip integral mirror. The experiment results show that after focusing, the laser beam present the rectangular slit of light with uniform distribution of light intensity, which can improve the processing quality for laser heat treatment, laser hardening, laser cladding and laser welding with powder.

Key words: laser processing; high-power laser beam; integral mirror