

文章编号: 1001-3806(2003)02-0143-02

粉末激光烧结中的扫描激光能量大小和分布模型^{*}

李湘生 史玉升 黄树槐

(福建浔兴集团公司, 晋江, 362200)

摘要: 在快速成形技术中, 扫描激光与物质的物理化学作用决定了加工零件的质量和加工效率; SLS(激光选区烧结)成形技术中的扫描激光能量大小和分布对加工件的质量有决定作用。分析了激光扫描的能量大小和分布, 讨论了扫描激光的有关参数对扫描能量大小和分布的影响规律; 指出一定间隔叠加扫描的激光能量大小与扫描间隔是一个非线性关系, 其分布也与扫描间隔有密切的关系; 激光束直径、扫描速度等参数对扫描能量的大小与分布也有一定影响; 扫描线的数量与扫描能量的大小与分布几乎无关。

关键词: 激光选区烧结; 激光扫描; 扫描参数; 扫描能量

中图分类号: TG430 **文献标识码:** A

Model of scanning laser energy and its distribution in selective laser sintering

Li Xiangsheng, Shi Yusheng, Huang Shuhuai

(Fujian Xunxing Group Co., Jinjiang, 362200)

Abstract: The coaction of scanning laser with material processed impacts the quality of parts and processing efficiency. The scanning laser energy and its distribution determine the accuracy and performance of SLS parts. The scanning laser energy and its distribution are analyzed, and influence of the relational parameter on scanning laser energy and its distribution is discussed in this paper. Then it is concluded that the relation of scanning laser energy with scanning space is nonlinear, and its distribution is associated with scanning space, and the energy and its distribution are associated with beam diameter and scanning speed, but is irrespective with number of scanning laser lines.

Key words: selective laser sintering(SLS); scanning laser; scanning parameter; scanning energy

引 言

在快速成型技术中, 激光成型技术是最重要的一种成型类型。在依靠激光的成型技术中, 扫描激光与物质的相互作用是影响所加工零件的质量和尺寸精度的关键因素。Jacobs 对 SLA(立体光固化成型)技术中的激光与光敏树脂的相互作用进行了分析^[1], 给出了单个扫描线的能量分布模型, 那就是抛物柱面模型, 该模型对确定扫描激光的参数有重要的作用。然而该模型却不能适用于 SLS 加工技术中的扫描激光与物体的相互作用, 这因为在 SLS 技术中, 激光与粉末物质的相互作用主要是产生热量而引起粉末的温度升高。这种热作用不像 SLA 技术中的激光是激发固化剂, 从而引起化学反

应, 它需要更长的时间。故在快速扫描过程中, 多个扫描线几乎同时引起热量的传递。因此, 有必要研究在 SLS 技术中激光快速扫描过程中的能量大小和分布。下面将给出光栅式激光扫描中多个叠加扫描线所引起的能量。

1 激光扫描的能量分布模型

激光光束的光强度分布不是柱形, 而是服从 Lambert 分布规律, 即指数分布律, 故在扫描线中心下面的粉末所接受的能量总是最大, 而在边缘的能量就较低。但当扫描线存在一定的重叠, 则能量的叠加就可使得整个扫描区域上的激光能量达到一个较均匀的程度(见图 1)。激光光束的光强度分布:

$$I(r) = I_0 \exp(-2r^2/\sigma_0^2) \quad (1)$$

式中, I_0 是激光束中心的光强度, σ_0 是当 $I(r) = I_0 e^{-2}$ 时的半径。(1)式所表达的分布是光束的截面强度分布, 对于连续激光扫描线的截面能量强度分布为:

^{*} 高等学校博士学科点专项研究基金资助项目。

作者简介: 李湘生, 男, 1962 年 6 月出生。副教授。现主要从事材料加工专业方面的研究工作。

收稿日期: 2001-12-03; 收到修改稿日期: 2002-06-24

$$E(y) = \sqrt{2I} (P_1 / v) \exp(-2y^2 / r_0^2) \quad (2)$$

式中, P_1 是激光器的输出功率, v 是扫描激光束的移动速率。

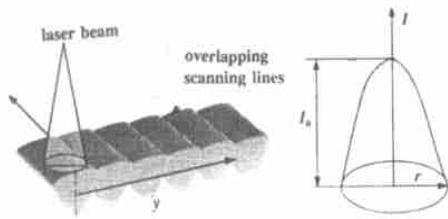


Fig. 1 Scanning laser beams and their overlapping

SLS 烧结用的激光器多采用 CO_2 激光器, CO_2 激光器可以连续和脉冲两种方式运行, 当重复率很高时, 输出为准连续激光^[2]。一般的激光器按连续激光处理对加热问题的讨论不会引起太大影响。故(2)式也适用于脉冲激光表层粉末的能量计算。

(2) 式所表示的是单个扫描线的截面能量分布, 对于多个重叠的扫描线, 截面能量密度分布就与扫描间隔等参数有关^[2]。

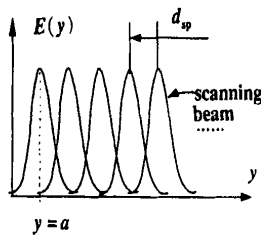


Fig. 2 Overlapping of scanning beams energy

假设扫描速度很快, 在连续的几个扫描线过程中, 激光能量是能够线性叠加的(见图 2), 设扫描间隔为 d_{sp} , 假设某一起始扫描线的中心方程为 $y = a$, 那么这之后的第 l 个扫描线中心为 $y = a + l d_{sp}$ 。则某一点 $P(x, y)$ 离第 l 个扫描线中心线的距离为 $y - a - l d_{sp}$, 故第 l 个扫描线对点 P 的影响为:

$$E(y) = \sqrt{2} \frac{P_1}{v} \exp\left[-\frac{2(y - a - l d_{sp})^2}{r_0^2}\right] \quad (3)$$

则多条扫描线的叠加能量为:

$$E_s(y) = \sum_{l=0}^n \left\{ \sqrt{2} \frac{P_1}{v} \exp\left[-\frac{2(y - a - l d_{sp})^2}{r_0^2}\right] \right\} \quad (4)$$

随着扫描间隔的增加, 能量分布的均匀性和最大值都会发生变化(见图 3、图 4)。

从图 3~图 5 中可以看出, 对于直径为 0.4mm 的激光束, 当扫描间隔超过 0.2mm 以后, 扫描能量分布是极其不均匀的。

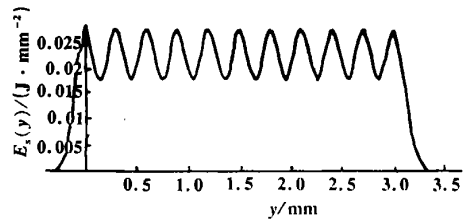


Fig. 3 Distribution of the energy of overlapping beams $d_{sp} = 0.3 \text{ mm}, v = 1500 \text{ mm/s}, P = 10 \text{ W}, r_0 = 0.2 \text{ mm}$

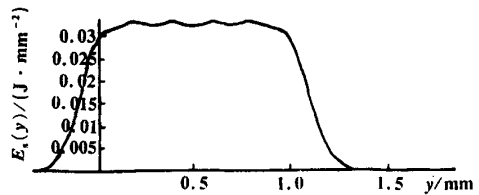


Fig. 4 Distribution of the energy of overlapping beams $d_{sp} = 0.2 \text{ mm}, v = 1500 \text{ mm/s}, P = 10 \text{ W}, r_0 = 0.2 \text{ mm}$

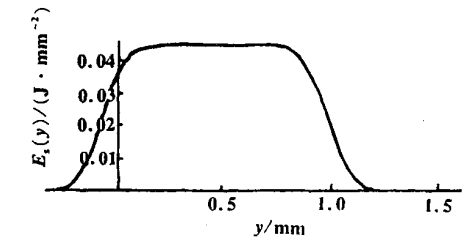


Fig. 5 Distribution of the energy of overlapping beams $d_{sp} = 0.15 \text{ mm}, v = 1500 \text{ mm/s}, P = 10 \text{ W}, r_0 = 0.2 \text{ mm}$

实际上, 离计算点较远处的激光扫描线对计算点的能量大小和分布的影响也是关心的一个问题, 图 6 说明了计算时分别取 6 个和 50 个扫描线数量, 而其它扫描参数相同时, 扫描能量最大值和分布情况基本相同。这说明(4)式的求和项只需要取所计算点周围的几条扫描线计算就能达到相当高的计算精度, 这也说明了加工的宽度对扫描能量没有影响。

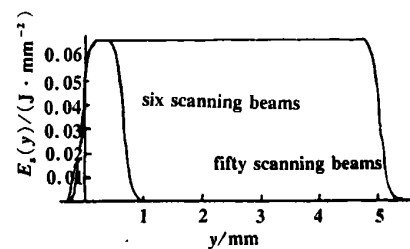


Fig. 6 Distribution of the energy of overlapping beams for six scanning beams and fifty scanning beams $d_{sp} = 0.1 \text{ mm}, v = 1500 \text{ mm/s}, P = 10 \text{ W}, r_0 = 0.2 \text{ mm}$

2 结论

经过上面详细的研究, 可得到几方面的结论:
(1) 对于 SLS 成型技术, 扫描激光能量大小和分布与激光束的输出功率、激光束的特征直径、扫描速度
(下转第 149 页)

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & \frac{t}{n} & 0 \\ 0 & 1 + \frac{t(1-n)}{nr} & 0 & \frac{t}{n} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{1-n}{r} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & d & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

式中,第 1,5 两个矩阵代表长度为 d 的自由空间,第 3 个矩阵代表焦距为 f 的球面薄透镜,第 2、第 4 个矩阵分别代表平面朝向球面薄透镜的两个折射率为 n 、厚度为 t 、曲率半径为 r 的平凸柱面厚透镜。将 5 个矩阵相乘得知:参考面 RP_1 (输入光束腰所在平面)到第 1 个平凸柱面厚透镜之距与参考面 RP_2 (输出光束腰所在平面)到第 2 个平凸柱面厚透镜之距均为:

$$d = f / (2 + 1) \quad (8)$$

两柱透镜的厚度均为 $t = 2nf / (2 + 1)$ (9)

曲率半径为: $r = 2(n - 1)f / (2 + 1)$ (10)

由上述分解可知,若用柱面厚透镜替换柱面薄透镜,便得到一个新的对称化光学系统。该系统由两个平凸柱面厚透镜及一个球透镜构成,如图 3 所示,厚透镜的参数由(9)式,(10)两式确定,系统总的变换矩阵(从 RP_1 至 RP_2)仍为(1)式。

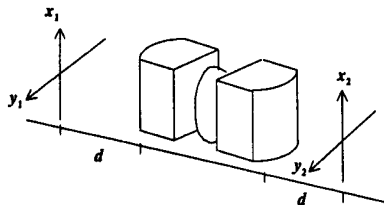


Fig. 3 The system of two thick cylindrical lenses and one spherical lens

3 设计例

设输入光束的瑞利长度 $z_{Rx} = z_{Ry} = 30\text{cm}$,由(3)式~(5)式,可以得到图 2 所示对称化光学系统的计算设计例为:参考面 RP_1 与第 1 个柱透镜、参考面 RP_2 与第 2 个柱透镜的距离相等且 $d_1 = d_4$

(上接第 144 页)

和扫描间隔有关;(2)扫描激光能量的分布主要与扫描间隔与光束直径的比值有关,当这个比值增大时,能量分布的不均匀性将增加,所以,在确定扫描参数时,必须按照光束直径的大小来确定;(3)当扫描线的数量超过一定数量以后,扫描激光能量的大小与

$= 12.426\text{cm}$,两柱透镜与球面透镜的距离相等 $d_2 = d_3 = 17.574\text{cm}$,两柱透镜焦距 $f_{y_1} = f_{y_2} = 17.574\text{cm}$ 。

由(8)式~(10)式,图 3 所示系统的有关计算设计参数为:参考面 RP_1 到第 1 个平凸柱面厚透镜之距与参考面 RP_2 到第 2 个平凸柱面厚透镜之距均为 $d = 12.426\text{cm}$,两柱透镜的厚度、曲率半径均分别为 $t = 26.36\text{cm}$, $r = 8.786\text{cm}$ 。

4 结论

在系统总的变换矩阵保持不变的条件下,使用矩阵光学方法,可设计出多种光学系统以实现像散厄米-高斯光束的对称化。系统既可使用柱透镜(非对称光学元件)和自由空间构成,也可以使用球透镜(对称光学元件)、柱透镜和自由空间构成。文中将变换矩阵按一定规律进行分解后,提出了两个与文献[3~5]中不同的新型对称化光学系统:(1)柱面薄透镜 1—球面薄透镜—柱面薄透镜 2(分离系统);(2)柱面厚透镜 1—球面薄透镜—柱面厚透镜 2(集成化系统)。文中有关结果不仅对非对称光学系统的 4×4 矩阵合成与分解有理论价值,而且对于对称化光学系统的设计有实际应用意义。

参考文献

- [1] Tamm C, Weiss C O. J O S A, 1990, B7:1034 ~ 1038.
- [2] Allen L, Beijersbergen M W, Spreeuw R J C et al. Phys Rev, 1992, A45:8185 ~ 8189.
- [3] Laabs H, Gao C, Weber H. J Mod Opt, 1999, 46:709 ~ 719.
- [4] Eppich B, Fliberg A T, Gao C et al. Proc SPIE, 1996, 2870:260 ~ 267.
- [5] Laabs H, Gao C, Weber H et al. Proc SPIE, 1999, 3611:258 ~ 268.
- [6] Beijersbergen M W, Allen L, Van der Veen H E L O et al. Opt Commun, 1993, 96:123 ~ 132.
- [7] 吕百达. 激光光学——激光束的传输变换和光束质量控制. 2 版, 成都:四川大学出版社, 1992.
- [8] Casperson L W. Appl Opt, 1983, 20:2243 ~ 2249.
- [9] Macukow B, Arsenaault H H. J Opt, 1984, 15:141 ~ 151.

扫描线的数量是几乎无关。

参考文献

- [1] Jacobs F P. Rapid prototyping & manufacturing: a fundamental of sterolithography. CAD/CAM Publishing Co. Dearborn MI (USA), 1992:12 ~ 25.
- [2] 王家金. 激光加工技术. 1 版, 北京:中国计量出版社, 1992.
- [3] 李湘生. 激光选区烧结的若干关键技术研究. 华中科技大学博士学位论文, 2001:90.