

自适应元器件在激光加工中的应用

汤漾平 段正澄 李小平 龚时华

(华中理工大学机械学院制造自动化研究所,武汉,430074)

摘要: 在激光加工技术中,自适应光学元器件的应用越来越广。介绍了自适应反射镜和透镜的原理及其在一般激光切割、厚钢板的激光锯切和三维激光焊接中的应用。

关键词: 激光切割 激光焊接 自适应光学

Usages of adaptive optics in laser materials processing

Tang Yangping, Duan Zhengcheng, Li Xiaoping, Gong Shihua

(Assoc. Prof., College of Mech. Sci. and Eng., HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: Adaptive optics are being used widely in laser material processing technology. The theory and a new application of adaptive optics are described in conventional laser cutting, thick sheet metal laser sawing and three-dimension laser welding.

Key words: laser cutting laser welding adaptive optics

引 言

与其它切割方法相比,激光切割有速度快、效率高和质量好的优点。激光切割时,激光束通过聚焦光学元件聚焦到工件上,这样,被加工材料被熔化,并有一部分蒸发,通过一束气流将切缝材料吹掉。激光束如同一个柔性化的刀具,对于中小批量的汽车零件的切割,或对于试制中的零件和样板的制造,有着特别的意义。而自适应光学元器件的应用使激光加工变得更加灵活。我们将介绍自适应反射镜和透镜的原理及其在激光切割和焊接中的应用。

1 激光切割和焊接的两种聚焦方式

激光切割和焊接有透镜聚焦和反射聚焦两种方式。常用的透镜聚焦如图 1b 所示,透镜的材料要求比较严格,一般选用碲化镓材料,因其对 $10.6\mu\text{m}$ 波长的 CO_2 激光的吸收系数很小,具有较高的热传导率、较小的热膨胀系数和较好的机械性能,光学均匀性好。透镜焦距长度的选择,决定于激光加工工艺对激光焦点尺寸、焦深和功率密度要求。在图 1a 中,设激光器以 TEM_{00} 基模输出,则聚焦光斑半径 r_{20} 、聚焦深度 z 和聚焦光斑上的功率密度 P_0 可表示为^[1]

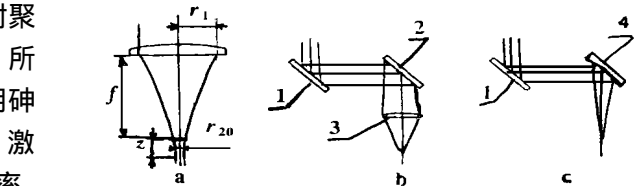


Fig. 1 Two kind of laser beam focusing for laser cutting and welding 1, 2—plane reflector 3—focusing lens 4—curved mirror

在图 1a 中,设激光器以 TEM_{00} 基模输出,则聚焦光斑半径 r_{20} 、聚焦深度 z 和聚焦光斑上的功率密度 P_0 可表示为^[1]

$$r_{20} = L / r_1 \quad (1)$$

$$z = L^2 / r_1^2 \quad (2)$$

$$P_0 = P_1 / r_{20}^2 \quad (3)$$

式中, λ 为激光波长, L 为透镜焦距, r_1 为照射在透镜表面上的激光束光斑半径, P_1 为激光输出功率。

可见, 聚焦透镜 3 上的光束直径愈大、焦距愈短, 则聚焦光斑愈小, 焦区功率密度愈高, 但聚焦深度愈小。在激光切割和连续激光深透焊接工艺中, 聚焦深度要与被加工材料的厚度相当。当被加工材料较薄时, 为了提高功率密度, 一般利用短焦距透镜, 因而, 透镜到被加工材料表面的距离很短, 加工过程中的金属飞溅物容易污染透镜表面。另外, 砷化镓材料的价格比较昂贵, 加工困难, 且需要冷却。当激光器的输出功率大(数千瓦、近万瓦)时, 砷化镓材料容易损坏, 或者由于受热变形影响聚焦光斑质量。所以, 在大功率激光切割和焊接加工中, 大都采用图 1c 所示的曲面(抛物面)反射镜聚焦方式。曲面聚焦反射镜装配和维护较方便, 采用金属材料制作, 材料较便宜。

2 导光聚焦系统中的自适应元器件的应用

2.1 自适应反射镜的基本原理和结构

自适应反射镜的基本原理在于其反射镜面的曲率可调。其镜面由一种特殊的铜合金制作, 在其背面施加压力可以使之弹性变形。若在图 1b 的透镜聚焦系统中, 用自适应反射镜取代平面反射镜 1 或 2, 可通过其反射镜面的曲率变化, 改变照射在透镜表面上的激光束光斑半径, 从而控制聚焦光斑大小和聚焦深度。在图 1c 中的反射镜聚焦系统中, 用自适应反射镜代替平面反射镜 1, 则能改变自适应反射镜的曲率, 使得系统的聚焦长度变化, 导致焦点位置上下漂移。

常用的自适应反射镜由压电驱动器使之弹性变形, 压电驱动器固定在镜片后面的中心对称轴上。在外加电场的作用下, 压电驱动器中的压电陶瓷元件改变其长度并使之成为镜片的力变形。这样, 其表面从平面变形为凸面。

另外, 自适应反射镜还可以制成图 2 所示的结构。1 为反射镜镜面, 2 为冷却水座, P_1 为入水口, P_2 为出水口, 若通过一个电液比例减压阀调节冷却水的压力, 可以使反射镜面获得不同的曲率。

2.2 聚焦透镜的自适应控制

聚焦透镜的自适应控制如图 3 所示, 一般是将聚焦镜头设计成透镜 1 的位置相对于喷嘴 2 可调的结构, 通过驱动装置直接调节透镜使得焦点位置上下漂移。

2.3 自适应元器件在一般激光切割加工中的应用

激光加工头移动的飞行光路结构系统在加工时, 光程较长, 由于发散角的影响, 加工过程中照射到聚焦透镜上的光束直径会因激光加工头的移动而改变。在图 4 所示的系统中, 激光加工头从位置 1 移动到位置 2 时, $r_{12} > r_{11}$ 。由(1)、(2)式可知, 聚焦光斑半径变小, $r_{202} < r_{201}$, 聚焦深度变短, $z_2 < z_1$, 且焦点位置向上漂移。这样使得激光切割加工的质量降低。

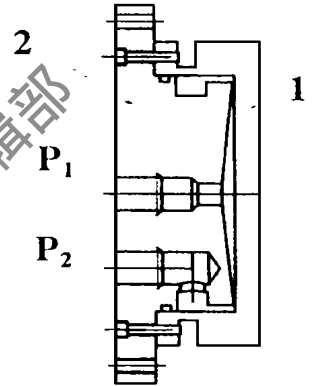


Fig. 2 The adaptive mirror by water press control

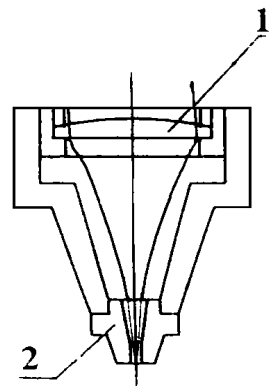


Fig. 3 The processing head with the adaptive focusing lens
1—lens 2—nozzle

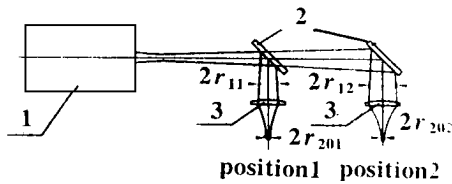


Fig. 4 Parameter variety of the processing head of the fly laser cutting machine

1—laser 2—plane reflector 3—focusing lens

上,我们采用的聚焦透镜的自适应控制^[2],通过驱动装置直接调节透镜的焦点位置。当图 4 中激光加工头移动到位置 2,焦斑变小,焦深变短时,驱动透镜移动,使照射工件上的焦斑直径不变,以保证切割质量。

2.4 自适应反射镜在厚板激光锯切加工中的应用^[3]

对厚度达 16mm 的钢板来说,一般激光切割难度较大。而采用激光锯切的新工艺,则不会因钢板厚度的增加而降低切割表面的质量。激光锯切的加工头如图 5 所示,1、3 为反射平面,2 为自适应反射镜,4 为曲面聚焦镜,工作时,随着自适应反射镜镜面的周期变化,聚焦长度跟随变化,使得焦点位置在板厚方向几个毫米内振动,这种振动切割导致了较高的切割质量。

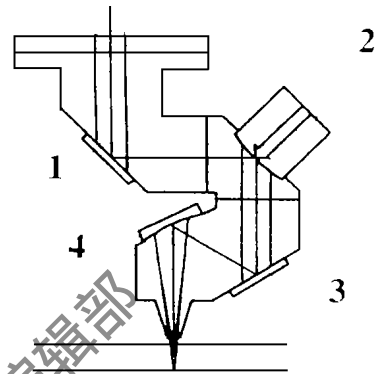


Fig. 5 Laser beam sawing processing head

在激光锯切中,随着自适应反射镜控制频率 f 的增加,切割表面的粗糙度随之减小。当频率 $f > 50\text{Hz}$ 时,激光锯切的表面粗糙度就已低于一般激光切割。

2.5 自适应反射镜在三维激光焊接中的应用

在三维激光焊接中,常需焊接形状复杂的凹凸表面,单凭激光加工头运动,容易引起碰撞。如图 6 中,当加工头从位置 1 移到位置 2 焊接凹陷表面时,则调节自适应反射镜 1 的曲率,使焦距加长,焦点下移,正好满足焊接的需要。

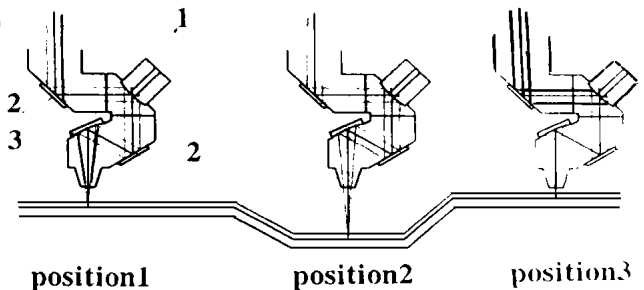


Fig. 6 Three dimension laser welding with adaptive optics
1—adaptive mirror 2—plane reflector 3—curved mirror

参 考 文 献

- 1 曹明翠,郑启光,陈祖涛 *et al.* 激光热加工. 武汉:华中理工大学出版社,1995
- 2 汤漾平,段正澄,李鹤九. 制造技术和机床,1997;(11):12~13
- 3 Geiger M, Schubert S, Hutless J. Welding in the World, 1996;34(1):5~11

作者简介: 汤漾平,男,1954年7月出生。副教授。从事机电一体化专业,主要是激光加工工艺及设备方面的研究。