

文章编号: 1001-3806(2009)01-0012-03

宽幅高速激光打孔光学系统研究

陈培锋, 周乐, 朱明珠, 王英

(华中科技大学 光电子科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 为了实现对膏药等薄型材料的宽幅高速打孔以增加其透气性, 提出了一种采用高功率连续 CO₂ 激光器在线打孔的实现方案, 并从方案原理和光路设计上对其进行研究和实验分析。在采用连续激光输入的情况下, 通过半透半反镜分光和棱镜分光相结合的密集分光的方法将一束连续光转变为多束脉冲光从而扩展加工头数, 实现高速打孔。采用 2000W 激光器, 当膏药运行速度不大于 8m/min 时, 膏药幅宽为 800mm~960mm, 孔距为 5mm~6mm, 孔径为 0.2mm~0.8mm。结果表明, 该系统能应用于各种宽幅面打孔的实际生产。

关键词: 激光技术; 高速激光打孔; 透气; 膏药

中图分类号: TG665 **文献标识码:** A

Study on optical system for high speed laser drilling

CHEN Pei-feng, ZHOU Le, ZHU Ming-zhu, WANG Ying

(College of Optoelectronic Science and Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to increase the permeability of the sticking plaster, high speed, high power laser drilling was applied on the product line. Its principle and optical design was studied. With the combination of beam splitters and a polygon scanner, a continuous beam was split into many pulsed beams and the drilling speed was increased. Based on a 2000W CO₂ laser, when the speed of sticking plaster was 8m/min, the drilling width ranged 800mm~960mm, the space between neighbor holes was 5mm~6mm with hole diameters of 0.2mm~0.8mm. The results meet the need of production efficiency and permeability.

Key words: laser technique; high speed laser drilling; permeability; sticking plaster

引言

许多薄型材料需要制备密集的透气微孔。例如在香烟过滤嘴外包装的水松纸上, 打出数排微孔以降焦已经是一种通行的技术^[1-4]。再例如在人们日常生活中的皮革产品上制备微细的透气孔改善皮革透气性能可以大大提高皮革的应用范围。橡胶膏剂作为中药的主导剂型产品, 其传统橡胶膏剂由于透气性差, 会给患者带来皮肤红肿、瘙痒、溃烂等副作用。采用打孔方法增加产品透气性^[5], 为橡胶膏剂产品的发展起到了较好的促进作用。

作者所在单位根据大规模生产的实际需要, 成功研究出采用高功率激光器的“高功率高速膏药激光打孔设备”^[6]。该设备采用了一种独创的多路密集打孔光路设计, 具有打孔裕度大、速度快的特点, 成功地应用于各种需要宽幅面打孔的生产实际。

1 “高功率高速膏药激光打孔设备”系统方案原理

根据直接在膏药涂覆分切机上进行宽幅膏药激光打孔加工的要求, 结合现有技术, 拟定了高速高功率激光膏药打孔设备研制方案。

1.1 采用轴快流 CO₂ 激光器

激光器提供打孔的能力, 激光功率越高, 打孔的能力越强。在目前适于工业应用的激光器中, 波长 10.6 μ m 的 CO₂ 激光器最适于加工非金属材料^[7], 其中的高功率轴快流 CO₂ 激光器是最成熟、性价比最高的激光器, 采用轴快流 CO₂ 激光器可以保证足够的生产效率。根据打孔的初步实验^[8], 确定采用 2000W 的轴快流 CO₂ 激光器可以基本满足生产线打孔要求, 当然还可以根据实际的要求进一步提高功率水平。

1.2 采用多棱镜分光实现多排同时高速打孔

外光路系统保证光束能够被传输到要打孔的位置, 激光器的能力是否能够发挥出来, 外光路的设计非常重要。膏药在线打孔要求在很宽的区域内同时打孔, 不论采用怎样的激光器都必须解决宽幅面内同时打孔这个问题。为了能够满足高速打孔的要求, 外光

作者简介: 陈培锋 (1963-), 男, 教授, 主要从事激光加工和光电检测方面的研究。

E-mail: pfcchen@mail.hust.edu.cn

收稿日期: 2007-11-02; 收到修改稿日期: 2008-01-18

路的形式采用纵向多排同时打孔方案。

纵向多排打孔要求将激光束分割成所要求的多束激光脉冲,多棱镜分光技术特别适合。多棱镜分光纵向多排打孔是目前最高速的打孔技术,已经广泛应用于水松纸激光打孔,技术成熟。

1.3 整体方案

整体方案为:连续 CO₂ 激光器 + 光学分光 + 旋转棱镜扫描分光。根据目前项目的在线打宽幅的要求,将光学分光和旋转棱镜扫描分光相结合。首先利用光学分光将高功率激光束分成 8 束可满足单幅打孔要求的 250W 低功率激光束,然后利用旋转棱镜扫描分光方法对每一个单幅进行打孔。每一幅可以打孔宽度为 100mm ~ 120mm。总的幅宽可以是 800mm ~ 960mm。

宽幅膏药激光打孔加工设备包括以下部分:高功率轴快流 CO₂ 激光器、外光路光学分光系统、8 路高速棱镜激光脉冲变换分光系统、8 组 20 路导光和光聚焦系统、控制系统、激光功率计和光闸、保护气体系统、烟气抽气系统等。

2 分光系统设备组成

首先,2kW 轴快流 CO₂ 激光器通过一组 50% 透过 50% 反射的半透半反镜的组合,将高功率激光精确地等分为 8 束功率相等的低功率连续激光束,如图 1 所示。

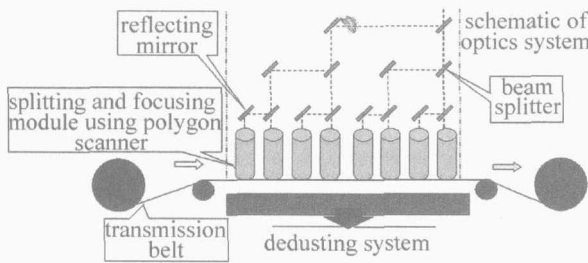


Fig. 1 The sketch of the drilling system

然后,每一束低功率激光束通过一个激光脉冲变换系统变化成多路脉冲激光束,如图 2 所示。激光脉

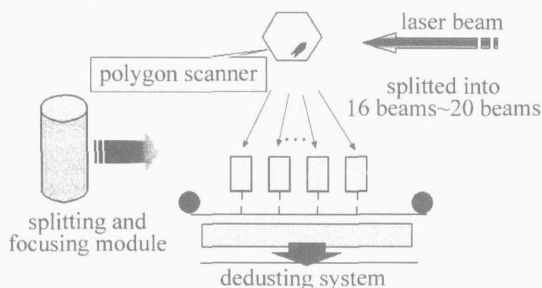


Fig. 2 The buildup of the splitting and focusing module

冲变换系统的核心是一个高速旋转的多棱镜。多棱镜分光的原理是:激光照射在多棱镜的某个表面,多棱镜的这个面在旋转过程中将激光束依次扫过 20 个聚焦镜,每一个聚焦镜在激光扫过时接收到一部分激光。这样当激光依次扫过 20 个聚焦镜时,相当于给每个聚

聚焦镜分配一个激光脉冲。当多棱镜旋转时,每一个多棱镜面都给所有的聚焦镜分配一个脉冲,这样实际上旋转多棱镜相当于将一个连续激光分割成为 20 路脉冲激光,每一路激光完全相同。

20 路脉冲激光通过 20 个聚焦镜聚焦在匀速运动的膏药上,分别打出 20 排小孔。聚焦镜一般间距为 5mm ~ 6mm,从而在 100mm ~ 120mm 宽度内同时打出 5mm ~ 6mm 间距的 20 排透气小孔。

通过直接装在膏药传送轴上的编码器检测膏药的传动速度,反馈给控制系统实时调整多棱镜的速度,保证棱镜转速跟随膏药行走速度,即保证脉冲激光的脉冲频率与膏药运动速度同步,从而保证打孔的均匀性^[9]。

3 密集光路设计

图 3 为一路连续激光如何通过分光扫描系统变换为多路密集脉冲激光。激光器发射的激光束通过分光

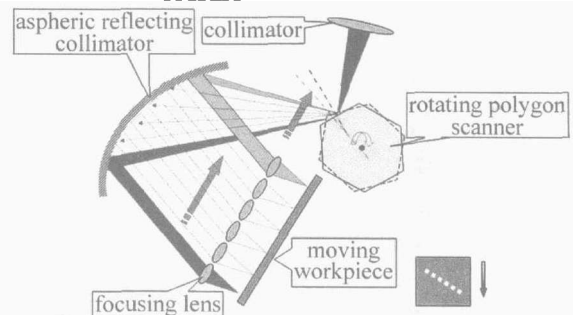


Fig. 3 The working principle of the splitting and focusing module

系统后再通过焦距为 f 的聚焦镜聚焦在多棱镜上,多棱镜旋转时将入射的激光束反射形成发散扫描,照射在一个距离为 l 的焦距为 f 的抛物面反射准直镜上,且 $l=f$; 因为 $l=f$,所以从抛物面反射准直镜上反射的激光变成一个在一定距离范围内平行扫描,然后入射到紧密排列的一系列聚焦镜,通过聚焦镜聚焦在加工工件上;由于激光束不断地在这一列聚焦镜上来回扫描,因此每一个聚焦镜上的输出聚焦光束实际上是脉冲调制形式,同时每一个聚焦头的能量是完全均匀的。由于多棱镜的转速可以很高因此脉冲光束重复频率非常高,同时聚焦头可以很密,因此特别适合密集高速微点加工。

图 3 中的准直反射镜采用抛物面镜设计^[10],具体的设计参量见图 4。

多棱镜面数 $n=18$,每面长度 $L=20\text{mm}$,其直径 $D=115.2\text{mm}$,则旋转时反射光束扫描角度为 40° ,取有效扫描角度 34° 。

根据此扫描光路原理,多棱镜表面到抛物面镜的距离 MO' 为 Kf , K 为修正偏转点系数。取 $K=2/3$,即 $MO'/OO'=2/3$,多棱镜旋转时 K 值有微小变化,不过对计算结果基本没有影响。

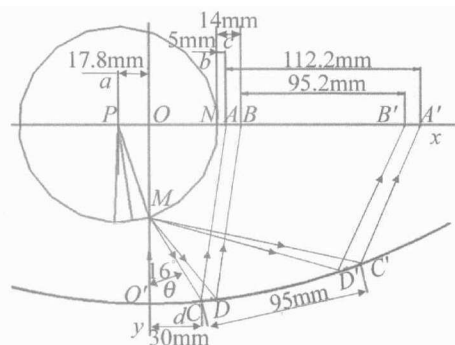


Fig. 4 The parameters of the scanning optics design

抛物面反射镜焦距 $f = 160\text{mm} = OO'$, 入射激光与抛物面镜抛物线方程 y 轴重合, 为使反射光线不照射到多棱镜表面, 初始反射光线与 y 轴夹角取 $\theta = 16^\circ$ 。

OP 为多棱镜中心位置 P 点与 y 轴距离: $a = 17.8\text{mm}$; AA' 扫描角度为 40° ($16^\circ \sim 56^\circ$) 时光束扫描范围: $44.7\text{mm} \sim 156.9\text{mm} = 112.2\text{mm}$; BB' 扫描角度为 34° ($19^\circ \sim 53^\circ$) 时光束扫描范围: $53.1\text{mm} \sim 148.3\text{mm} = 95.2\text{mm}$; NA 初始扫描光束与多棱镜距离: $b = 5\text{mm}$; NB 扫描光束落在第 1 面聚焦镜时与多棱镜距离: $c = 14\text{mm}$; $O'C$ 入射光束与抛物面聚焦镜上初始反射光束距离: $d = 30\text{mm}$; CC' 整个扫描角内 ($16^\circ \sim 56^\circ$) 反射光束在抛物面镜上的扫描范围: 95mm 。

以上所有光线为光束中心线, 实际中应考虑光束直径。

4 实验结果及分析

将上述激光打孔系统直接加装在膏药涂覆生产线上, 在不改变生产线正常运转的情况下不实现在线直接打孔, 具体效果如图 5 所示。当膏药运行速度不大于 $8\text{m}/\text{min}$ 时, 膏药幅宽为 $800\text{mm} \sim 960\text{mm}$, 孔距为 $5\text{mm} \sim 6\text{mm}$, 孔径为 $0.2\text{mm} \sim 0.8\text{mm}$ 。

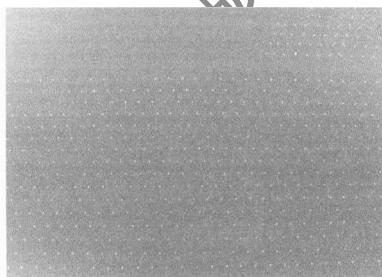


Fig. 5 The drilled sticking plaster product

采用激光制备微透气孔, 具有以下特点: (1) 微孔密集。孔径在 $0.2\text{mm} \sim 0.8\text{mm}$ 内可以调整; 孔间距离为 5mm 。这种密集小孔与机械打孔比较, 透气点增加了 4 倍, 但药膏损耗却减少到十几分之一; (2) 速度快。以幅宽 800mm 的药膏生产线而言, 可使生产线保持 $6\text{m}/\text{min} \sim 8\text{m}/\text{min}$ 的速度, 涂膏一切孔一分切同时完成, 使整体生产效率提高 20% 左右; (3) 透气效果好。激光打孔的孔缝使药膏层与织物层同时形成凝聚层, 使透气孔不易堵塞, 透气效果持续保持时间长。

5 结 论

膏药激光打孔技术是一种先进、可靠的技术, 是生产优质稳定橡胶膏剂的有力保证, 激光打孔橡胶膏剂的优点决定了其有良好的发展前景, 势必要代替其它打孔方法, “高功率高速膏药激光打孔设备”的开发为橡胶膏剂生产提供了可靠保障。

参 考 文 献

- [1] HAN Y X, CHEN P F, ZHOU Zh Y, *et al.* Laser perforating technology of tipping paper [J]. *Laser Technology*, 2002, 26 (5): 330-333 (in Chinese).
- [2] GUO L, LIU G Q, DAI S Y, *et al.* Perforating and measuring technique for tipping paper [J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology*, 2002, 27 (3): 87-89 (in Chinese).
- [3] MO Y L, DAI J W. Parameters selection of on-line laser perforator LASER 300S [J]. *Tobacco Science & Technology*, 2006 (10): 10-15 (in Chinese).
- [4] SUN Y D, XU W Q. Dual roll laser perforator for tipping paper [J]. *Mechanical Engineer*, 2004 (6): 59-59 (in Chinese).
- [5] ZHAO X M, WANG Sh L, YANG H, *et al.* Study on dynamic laser drilling for sticking plaster [J]. *Laser Technology*, 2006, 30 (3): 308-310 (in Chinese).
- [6] CHEN P F. A method and device for online laser drilling on thin medical plaster: China, 200610018636. 4 [P]. 2006-08-23 (in Chinese).
- [7] ZHENG Q G, GU J H. Interaction between laser and material [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1996: 32-33 (in Chinese).
- [8] SHUI J Ch, CHENG W J. Study on laser drilling the microhole of the order of μm [J]. *Applied Laser*, 1994, 14 (3): 124-126 (in Chinese).
- [9] WANG X D, ZHAO X M, WANG Sh L, *et al.* The study on dynamic and high speed laser drilling system [J]. *Laser Technology*, 2003, 27 (6): 563-566 (in Chinese).
- [10] CHEN H Q. Modern applied optical system [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2003: 75-80 (in Chinese).