

深径比 65:1 的激光钻孔

兰伟天 田剑铃 方莉兰 陈予嘉 王新德

(湖北省机械研究所)

摘要: 本文对激光深微孔加工工艺作了一定的阐述。介绍了深径比为 65:1 的加工方法。足够的功率密度、用适当的焦距并确定最好象面、再聚焦方法等是激光深微孔加工的重要因素。

Laser drilling with a depth to diameter ratio of 65:1

Lan Weitian, Tian Jianling, Fan Lilan, Chen Yujia, Wang Xinde

(Institute of Mechanics, Hubei Province)

Abstract: This paper describes the technology of laser depth-microdrilling and the processing methods with a depth to diameter ratio of 65:1. The important factors for laser depth-microdrilling are the sufficient power density, suitable focal length, determination of the best image plane and refocusing etc.

加工孔径小于 0.5 毫米、深径比大于 20:1 的微孔,靠机械钻孔难度较大。利用激光则可以进行深微孔的加工。主要有两种工艺方法:(1)再聚焦法;(2)焦点固定法。激光钻孔的光学系统如图 1 所示。通常可按光学计算表算出激光通过光学系统后的象点,根据轴向球差的大小,可以决定出最好象面的位置,它与高斯象面的距离约为最大轴向球差的 0.7~0.8 倍^[1],此位置上的照度分布近似于高斯分布。加工表面置于最好象面处,加工孔径最小,孔深最大。选择不同的光学系统,对加工孔深和直径有密切关系。如图 2 所示,相同的激光能量和脉冲数目时,选择一定范围内的透镜焦距,焦距长些,加工孔深较大。同时可知,焦点固定法加工的深度,要趋近于饱和的。如果采用再聚焦法加工,达到的深度比焦点固定法要深一些。但如果选择

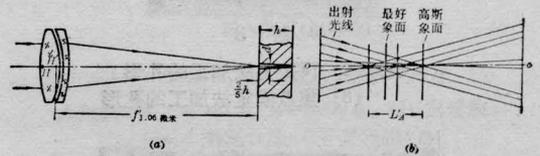


图 1 激光钻孔的光学示意图

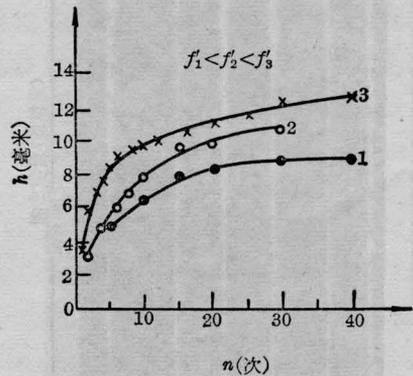


图 2 透镜焦距不同对加工孔深的影响

收稿日期: 1981年12月29日。

的透镜焦距不恰当,也难以达到预期效果,如图3(1)、(2)所示。当透镜焦距合适,轴向球差较小,并用再聚焦法进行深微孔加工,可以打穿厚度为16.2毫米的钢板,孔的截形照片如图4所示。典型的工艺参数列于表1中。把表1的数据画在直角坐标图图5上,可以知道数据点可用对数函数 $h = a + b \lg n$ 来表示。用一元回归分析得到它们的关系为:

$$h = 0.985 + 10.441 \lg n$$

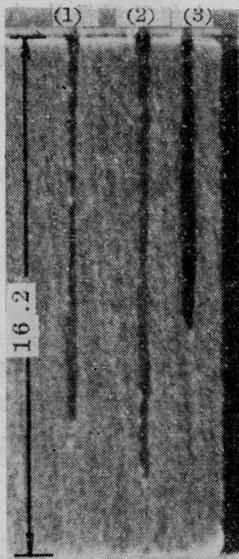


图 3

- (1)、(2) 再聚焦法加工的孔形
(3) 焦点固定法加工的孔形

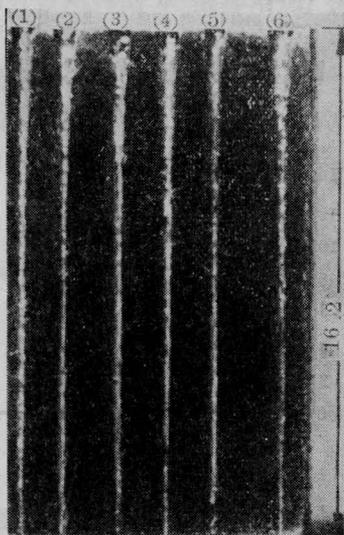


图 4 不同的再聚焦方式加工孔的截形

表 1 再聚焦法打孔的试验记录

焦 偏 量(毫米)	○				
脉冲次数 n (次)	2	4	6	8	10
加工孔深 h (毫米)	3	7.2	10.0	11.5	12.0
焦 偏 量(毫米)	-1	-2	-3	-4	
脉冲次数 n (次)	15	20	25	30	
加工孔深 h (毫米)	13.0	14.0	15.0	16.2 (穿)	

注: (1) 激光能量约 15 焦耳,加工孔深用 $\phi 0.16$ 铜丝测量;

(2) 负值焦偏量指加工表面于最好象面之前。

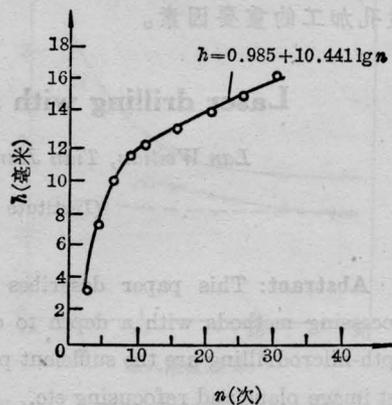


图 5 触发次数与加工孔深的关系

图 4 中六个通孔,按文献[2]对深孔加工的深径比例图,孔径是以距上表面 $\frac{2}{5}h$ 处的直径为准时, $d = 0.25$ 毫米,深径比 $16.2/0.25 = 65:1$ 。

对于孔径更小,深径比又大的微孔,除了要求激光光束质量较高(激光光斑圆整度好,中心亮度比边缘亮度高)以外,激光脉宽长短,激光能量大小,脉冲数目多少,聚焦系统轴向球差大小,以及工件的位置,对孔的椭圆度、孔口及孔壁光洁度、加工孔深都有很大的关系。注意到了这些因素后,我们加工工件材料 $00Cr_{17}Ni_{14}Mo_2$ 时,要求厚度 6 毫米/孔径 0.13 毫米、4 毫米/孔径 0.08 毫米的深微孔,都能得到比较满意的效果。

目前,国内的激光深微孔加工的深度约为 12 毫米;国外 1980 年 10 月报导^[3],喷气

发动机叶片的加工孔径 0.508 毫米, 深度为 17.78 毫米, 其深径比为 35:1。

当激光聚焦到工件表面上时, 聚焦点的功率密度高达 10^7 瓦/厘米² 以上。这样高的功率密度使加工材料达到 10^5 K 以上的温度。同时, 孔内将有几百大气压甚至更高气压的光压, 由此产生一个高温高压的冲击波, 使汽化物冲出微加工区。激光在孔内传输, 还将遵循 Lambert 法则 $I(x) = I_0 e^{-ax}$ 成指数形式衰减。因此, 薄板加工时, 工件表面置于最好象面处, 能形成倒锥孔; 深孔加工时, 只能形成进口大、出口小的正锥孔。考虑到输出激

光的不稳定因素, 会使激光钻孔的效果不完全一样, 重复性精度不理想, 甚至在孔的底部及中部会出现熔渣堵塞现象。如果能够准确地控制激光的发射特性的话, 即可克服上述弊病, 从而打出精度较高、重复性较好的孔。

参 考 文 献

- [1] A. И. 杜德罗夫斯基著, 王之江、王乃弘译:《光学仪器理论》, 第一卷, 1958 年, p335~336.
- [2] M. J. 比斯利著, 曹秋生译, 刘学恣校:《激光及其应用》, 国防工业出版社出版, 1976 年版, p. 179.
- [3] Dana Elza; "Laser Drilling", The Cabide and Tool Journal, 1980, Sep-Oct, p. 34.

(上接第 735 页)

这是两块为检测曾被称为“盲区”而安置的反光镜。从光束进程⑤和⑥可看到抵达记录介质 H 的光需经它们两次反射; 同时它们又处在 L_1 扩束光斑的边缘, 光强较弱, 因此 M_4 和 M_5 应具有高的反射率。我们目前用的是真空镀铝反光镜。为了真实地反映 A_1 和 A_2 表面的波前, 以便准确地探知其内部结构, 反射镜的应变要小而且变形均匀, 这就要求采用应力小, 均匀性较好的材料制造, 并应具有好的平面度和光洁度。由于镜子较大, 故支架要设计得牢固可靠, 调整时机械稳定性好。为了装卸轮胎的方便, M_4 反光镜应能自由地回转, 并具有可靠的复位性。反射镜的大小决定了拍照面积的大小, 对 910×250 规格轮胎, 在分五次拍照的情况下, 镜面尺寸要求为 300×150 平方毫米。

2. 参考光方向的选择

为了同时拍摄各部位的表面像, 并且能在再现时保持原样。参考光光程和参考光方向应选择得: ①使参考光与各部位来的物光的夹角满足下列关系^[3]:

$$\sin \theta_{\max} = \lambda \rho$$

其中 θ_{\max} 是最大的物光和参考光之间的夹角; λ 为激光波长; ρ 为全息底片的分辨本领。②参考光光程应选择在最短物光光程(即 B_1 和 B_2 面反射光光程)和最长物光(即胎冠内表面反射光)光程之间。实验证明把反射镜 M_3 安放在与 B_1 和 B_2 对称的位置上可满足上述要求。

3. 加载压力的考虑

实验中发现轮胎各部位所要求的加载压力不完全相同, 在同一加载压力下, 各部位的条纹疏密不同。通常是 A_1 面的条纹较密, A_2 面的较疏。在检测中, 加载压差应选择得兼顾到各部位。

作者对参加本系统实验工作的葛方兴、李进业同志表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1] Robert K. E.; Holographic Nondestructive Testing, p. 355~362, Academic Press, Now York and London, 1974.
- [2] 谢相森:《激光》, 1981, 8, No. 10, 30.
- [3] T. 卡拉德:《激光演示实验》, 中译本, 人民教育出版社, 1980, p177.