

大角度斜面激光切割加工的工艺研究

黄文荣* 徐 宾

汤光平 杨家林

(四川大学制造学院,成都,610064)

(中国工程物理研究院机制所,绵阳,621900)

摘要: 分析了大角度斜面激光切割的可行性和激光切割加工工艺。结果表明:当激光功率为 1260W、光斑直径为 0.18mm、以 0.08MPa 的氧气作为辅助气体、切割速度为 1.4m/min、使喷嘴离工件的距离保持在 0.5mm~0.8mm 之间并选取适当的 CNC 程序直线插补步长,可以实现 6mm 厚的 15Cr₂Mo₁ 钢大角度斜面的激光切割,切口质量良好。

关键词: 大角度斜面 激光切割 激光参数 切口质量

Laser cutting on a large angle oblique plane

Huang Wenrong, Xu Bin, Tang Guangping^a, Yang Jialin^a

(Manufacturing College, Sichuan University, Chengdu, 610064)

(^aInstitute of Mechanical Manufacturing and Technology, CAEP, Mianyang, 621900)

Abstract: The feasibility and the state-of-the-art for laser cutting on a large angle plane are analyzed in the paper. The results show that a 6mm-thick 15Cr₂Mo₁ steel with a large angle oblique plane can be cut by laser when the laser power is set up to 1260W, the spot size at 0.18mm, the oxygen pressure at 0.08MPa, the cutting speed at 1.4m/min, the distance between nozzle and the workpiece at 0.5~0.8mm and appropriate linear interpolation steps in CNC programs are taken. A good laser cutting kerf can be obtained.

Key words: the oblique plane with large-angle laser cutting laser parameter kerf quality

引 言

激光切割通常是在水平面上或略带小角度倾角的板材上进行的,其激光切割的优点已有大量报道^[1~3],但

在大角度斜面板材上进行切割的研究报道尚少。我们探讨了一种特殊的工件——汽轮机斜围带的激光加工,工件示意图如图 1 所示。其材料厚度 6mm,整个圆周上约有 60 个型孔,要求加工后各孔之间的间距误差不超过 $\pm 0.05\text{mm}$,节距累积总误差不超过 0.50mm;倾角 $\alpha = 31^\circ$, $\beta = 0.5^\circ$, $\gamma = 41.37^\circ$,且这 3 个角度的误差都小于 $\pm 0.005^\circ$,要求型腔表面光滑、无锯齿现象,几何角度和表面质量满足设计要求。由于加工难度较大,技术要求较高,为此,我们进行了专门的分析研究和试验。

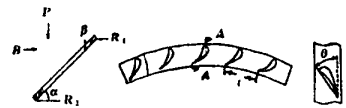


Fig. 1 Schematic of workpiece

1 试验材料及设备

试验材料为 15Cr₂Mo₁。试验设备为 ROFIN SINAR 公司生产的 RS2000 型 x, y, z 三轴联动的激光加工机,用样板检测型孔曲面。

* 工作单位是中物院机制所,现为四川大学在读工程硕士。

2 工件难点分析及工装设计

该工件的切割加工是在圆台外表面上带有较大角度的型腔加工,加工后型面大致垂直于圆台回转轴线,其加工轨迹是闭合的三维空间曲线,型腔最宽处约 40mm,而顶端最窄处只有 3mm 左右,尖角过渡最小圆弧半径 R 为 0.19mm;圆台顶面和底面直径均在 3000mm 以上。型孔加工原采用线切割完成,但线切割速度慢,加工效率低,远远满足不了批生产的需求,因此,改为激光切割加工,但激光切割也有其局限性。激光切割通常是在水平面或略带小角度的斜面上进行的,而对于这么大的斜面上进行切割存在许多困难。首先,在大角度斜面上能否实现激光切割;其次,由于辅助气体在斜面上流向发生变化,型腔切口质量能否保证;第三,型腔宽度最小处仅为 3mm,又有 $R = 0.19\text{mm}$ 的小圆角,可能出现热效应而影响切口质量;第四,辅助气体喷嘴与工件的间距以及激光参数选择合适与否都将影响型孔的加工质量。

此外,对如此大的直径尺寸,已远远超出了激光加工机的导程,也无法实现节距 t 尺寸自动旋转联动。故根据激光加工机的实际情况,因地制宜,采用分段加工后焊接组合的办法。旋转功能采用专用的精密工装,保证节距 t 的尺寸,专用工装节距定位孔距的尺寸公差控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内,如图 2 所示。

3 结果与分析

3.1 大角度斜面切割的可行性

从最简单的理论模型考虑,对于材料和厚度都已确定时,激光功率 P 与切割速度 v 的比值 P/v 是常数^[4],即切割速度与激光功率成正比,除此之外,还与光束模式、光斑大小有关^[5]。激光切割对气流的基本要求是

进入切口的气流量要大,速度要高,以便有充足的氧气使切口材料充分进行放热反应,并且应具有足够的动量将熔融材料喷射带出^[6]。由此可见,各种参数必须相互配合才能获得高质量的切割效果。经过多次反复试验研究,结果表明:在激光功率为 1260W,光斑直径为 0.18mm,以普通氧气(纯度 99.8%)作为辅助气体,气体压力 0.08MPa,切割速度 1.4m/min 的工艺参数下,各参数相互匹配较好,可实现空间大角度斜面型腔加工。切缝宽度约为 0.18mm,与聚焦的光斑直径一致,但加工质量影响因素较多。由于图纸设计要求型腔面大致垂直于圆台回转轴线(夹角为 89.5°),与圆台母线夹角为 31.5° ,因此,辅助气体流向始终都在变化。气体压力过大,切缝宽度明显加大,当气压为 0.23MPa 时切缝宽度增加到 0.5mm 左右;气压过小,切口底部容易粘渣,甚至切割不透。这些都将影响切割质量,经常出现型腔内一段曲面质量好而另一段表面质量差,即在同一型腔内存在表面加工质量不一的现象。此外,辅助气体喷嘴离工件的距离的大小也是影响型腔孔加工质量的一个重要因素,这主要是由于距离发生变化后,气体压力随着发生很大的改变造成的。但是只要各种参数配合得当,完全可以实现大角度斜面的激光切割加工。

3.2 喷嘴离工件的距离及入焦量

喷嘴离工件的距离变化对切口质量有重要影响。喷嘴离工件距离越大,到达切口的氧气就越少。要保证同样的切口质量,就必须加大辅助气体的气压,这样不仅提高加工成本,而且

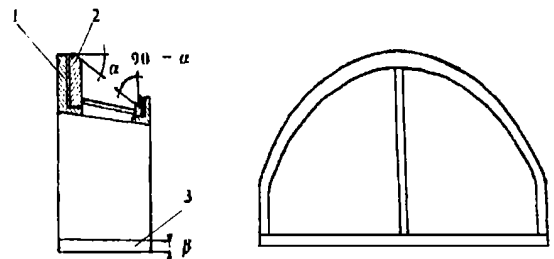


Fig. 2 Schematic of fixture

1 - abutment 2 - slippery stand 3 - manufactured work-piece 4 - bottom plate

还将导致切缝加宽。本试验的结果表明,喷嘴离工件的距离越小,切口质量越好,但由于是在大斜面上进行加工,切割喷嘴自身的管径较大,而且工件自身圆度也不理想,因此,如果距离太近,喷嘴与工件很容易发生碰撞。经反复试验认为,喷嘴与工件距离控制在 $0.5\text{mm} \sim 0.8\text{mm}$ 之间,使工件表面处于第一高压区,型孔切割的表面质量比较理想。

入焦量对切口质量影响也很大。如果焦点位置在被加工工件的表面上,由于辅助气体喷射方向在表面上发生改变,极易产生切缝入口处的倒角。若采用入焦可减轻或避免这种现象的发生。试验发现采用 1mm 的入焦量,可保证切口平整,获得良好的表面加工质量。

3.3 加工程序设计

由于型孔加工轨迹是三维空间闭合曲线,故要求所包围的曲面完全与型孔轨迹吻合,否则在加工过程中,激光焦点将可能出现变化而影响质量。因此,我们在 EUCLID 工作站上进行三维空间曲面的图形绘制、处理和程序设计,直线插补步长为 0.02mm ,经切割试验,效果较好。若步长较大则切口极易产生锯齿形,步长过小,则程序量迅速增大,程序运行时间长,从而降低了生产效率。

3.4 型腔切口质量

采用上述最佳的多种参数组合,经试生产实践检验,产品质量完全满足设计要求,激光切割后的型腔与检测用样板贴合良好,型腔孔整个曲面与预制样板之间的最大间隙小于 0.10mm ,所切型孔曲面光滑流畅,粗糙度 R_a 达到 $3.2\mu\text{m}$,满足设计要求。经实际检测,型孔间的节距 t 尺寸误差约为 $\pm 0.04\text{mm}$,整条围带节距累计误差约为 0.20mm ,效果非常理想。

经过万余个型孔的大批量生产实验表明,采用激光切割方法加工,生产效率提高百余倍,单个型孔加工从原来常规线切割加工的 90min 减少到激光加工的 34s ,收到了良好的经济效益和社会效益,大大减轻了因生产效率低下而影响进度的压力,也为今后类似产品的生产提供了借鉴的经验,具有广泛推广应用价值。

4 结 论

(1) 经过生产试验表明,采用激光在大角度斜面上进行切割加工是可行的。(2) 当采用合理的参数偶合时,即采用激光功率为 1260W 、光斑直径为 0.18mm 、以 0.08MPa 的氧气作为辅助气体、切割速度为 $1.4\text{m}/\text{min}$ 、使喷嘴离工件的距离保持在 $0.5\text{mm} \sim 0.8\text{mm}$ 之间并选取适当的 CNC 程序直线插补步长,可保证切口光滑平整,表面粗糙度低。(3) 工件加工轨迹 CNC 程序直线插补步长为 0.02mm ,可保证 31.5° 斜面,板厚 6mm 工件的加工切口无倒角或产生锯齿。(4) 与线切割加工相比,该工件采用激光切割加工效率可提高百余倍。

参 考 文 献

- 1 滨崎正信. 实用激光加工. 北京:机械工业出版社,1992:105~127
- 2 Migliore L. Laser Material Processing. New York:Marcel Dekker, Inc,1996:139~164
- 3 陈可心. 应用激光,1998;(1):33~34
- 4 王家金. 激光加工技术. 北京:中国计量出版社,1992:435
- 5 关振中. 激光加工工艺手册. 北京:中国计量出版社,1998:98
- 6 李力均. 现代激光加工及其设备. 北京:北京理工大学出版社,1993:172~176

作者简介:黄文荣,男,1962年8月出生。高级工程师。现从事激光加工的管理和研究工作。

收稿日期:2000-05-06 收到修改稿日期:2000-08-04