

文章编号: 0258-7025(2004)02-0245-04

CO₂ 激光三维方位切割的人工神经网络分析

陈继民, 左铁钊

(北京工业大学激光工程研究院, 北京 100022)

摘要 三维激光切割在汽车、航空航天工业等领域得到越来越广泛的应用。在三维激光切割过程中,由于三维工件的复杂性,切割头与工件表面保持垂直的同时,不可避免地要进行一些方位切割。为了定量地描述激光头的方位对切割质量的影响,采用 10 分制对切割质量进行量化,然后用人工神经网络的方法对结果进行分析。结果表明,用人工神经网络可以通过网络的训练和自学习,获得很多新的知识,用于指导实际切割。

关键词 激光技术;三维方位切割;CO₂ 激光;人工神经网络

中图分类号 TG 485 文献标识码 A

Analysis of Artificial Neural Network on 3D Orientation CO₂ Laser Cutting

CHEN Ji-min, ZUO Tie-chuan

(National Center of Laser Technology, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

Abstract 3D laser cutting has been widely used in automobile and aerospace industry. In 3D laser cutting it is inevitable for laser head to move up and down, keeping the laser head vertical to the surface of workpiece. The orientation of laser head influences cutting result. In order to quantitatively analyse the relationship between cutting result and cutting parameters, the 10 marks quality-evaluation system of cutting result and ANN (artificial neural network) have been setup. The new knowledge can be introduced by ANN. These new knowledges have been used to guide actual cutting to realize intelligent laser processing.

Key words laser technique; 3D orientation cutting; CO₂ laser; artificial neural network

1 引 言

在进行三维激光切割时,不但要求光束相对于工件按一定的空间轨迹运动,而且在整个切割过程中,激光光轴必须始终垂直于被切割工件表面,以提高切割质量和最大限度地利用激光束能量^[1]。由于实际三维工件的复杂性,切割过程中,不但激光束可能不垂直于工件表面,而且还经常进行立向上和立向下等方位的切割,前者已有文献进行研究^[2,3],而激光三维的方位切割的研究还很少。这种方位切割在真正的激光三维切割中是不可避免的,为此有必要弄清楚方位切割下的激光切割工艺规律,以便在实际加工中能根据三维切割规律,采取相应的工艺措施保证切割质量,提高切割效率。

2 试验研究

激光三维切割试验在配有 RofinSinar Slab DC30 CO₂ 激光器的龙门式 5 轴联动激光加工系统上(配高度调节系统)进行,采用 5 bar N₂ 气为工作气体,离焦量为 -0.5 mm。一般激光三维切割工件大都是薄壁覆盖件,因此采用板厚为 1 mm 的薄钢板做试验。选取不同方位进行切割试验,即:0—正常方位,1—立向上,2—立向下,3—立水平下(如图 1),考虑到速度和功率在加工过程中可以根据需要比较容易控制,便于实现工艺参数的自适应改变,这里主要研究不同切割速度和功率对切割质量的影响规律。

一般激光切割的切口质量要素有:切口宽度、切

收稿日期:2002-09-02;收到修改稿日期:2002-10-29

基金项目:中国博士后科学基金资助项目(No. 15214)。

作者简介:陈继民(1965—),男,湖南人,北京工业大学激光工程研究院副教授,博士,主要从事激光三维加工与快速成形研究。E-mail: jmu@jpu.edu.cn

割面粗糙度、切割面的倾斜角、热影响区和粘渣等几方面。目前我国尚无有关激光切割质量的标准,德国在 1990 年已制定出了激光切割的国家标准,对切割面质量和尺寸容差作了分级规定。而通常在实际进行薄板的激光三维切割时,切口宽度、切割面粗糙度等较容易满足要求,用户最关心的是切口上的粘渣,主要通过肉眼观察粘渣的多少来判断切割质量的好坏。但粘渣是一个难以量化的指标,一般现场操作人员不可能每加工一次,都去进行定量的测量。激光切割质量的评价人们习惯采用语言词汇来表示,而这种描述的语意是模糊的。如文献[4,5]采用定性质量评估,根据工件切缝宽度和粘渣情况,把切

割质量划分为很好、好、挂渣和极坏。为了较贴切但又较为便捷地描述切割质量,我们进一步根据激光切割结果,将它分为 0~10 分制。分值越大,说明切割质量越好;分值越小,质量越差,超过 6 分则表示切割质量可以接受。每做完一批试验,对切割结果进行评判。把切割质量最好的切缝定为最高分,最差的切缝定位为最低分,其他的切缝根据好坏依次给出相应分值。做完 3 批试验,进行评定后,取其平均值为最终结果,列在表 1 中。

由表 1 可见,用正常方位切割(10# 切缝质量 9.5)的参数在位置切割时,切割质量明显下降,切割结果的正、反面照片如图 2(a),(b)所示。

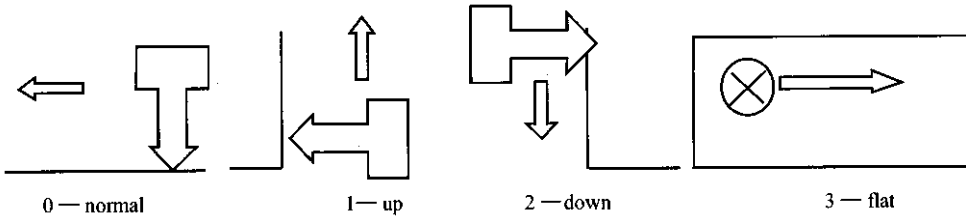


图 1 激光方位切割

Fig. 1 Orientation laser cutting

表 1 激光方位切割试验结果

Table 1 Test result of orientation laser cutting

Test No.	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#
Speed /m/min	1	1	1	3	3	5	5	5	3
Laser power /W	800	800	1000	1000	1000	1200	1000	1000	1000
Orientation	2	1	2	1	2	3	3	2	0
Quality value	4	3.5	3	5	7	8	0.2	0	9.5
Calculated value	3.973	3.288	3.213	5.036	6.969	8.000	0.197	0.004	

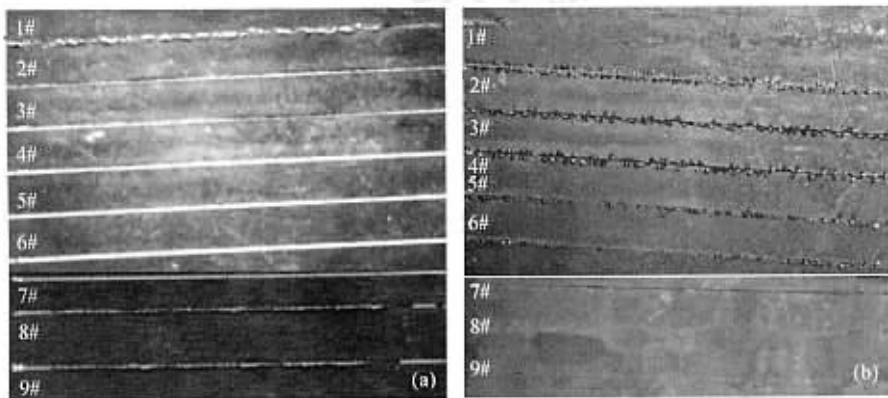


图 2 1#~9# 切割结果的正反面照片

(a) 切缝正面;(b) 切缝反面

Fig. 2 Front and back view of kerf 1#~9#

(a) the front view; (b) the back view

3 人工神经网络模型分析

为弄清激光方位切割的定量规律,引入了人工神经网络模型,对试验结果进行分析。图 3 为一个基本的 BP 神经元,它具有 R 个输入 $p(i)(i = 1, 2, \dots, R)$,输入节点的阈值为 b ,每个输入都通过一个适当的权值 w 与下一层相联,神经元的输出 a 可表示成

$$a = f(w \times p, b)$$

BP 神经网络是由若干个这样的基本神经元构成的,通常有一个或多个隐层,隐层神经元的变化函数通常是 log-sigmoid 型函数 logsig ,也可采用 tan-sigmoid 型函数 tansig ,或纯线性函数 purelin 。为了使整个网络的输出可以为任意值,BP 网络的最后一层往往取 purelin 型线性神经元。因此,建立了一个有两个隐层的 BP 神经网络,如图 4 所示。第一隐层单元数为 10,传递函数为 purelin ,第二隐层单元数为 20,传递函数为 tansig ,输出层有一个神经元,传递函数为 purelin 。在确定了 BP 网络的结构后,利用输入输出样本集对其进行训练,即对网络的权值和阈值进行学习和调整,直到满足设定的误差要求为止。将表 1 中的数据输入 BP 网络中,经过 5 万次学习训练,均方误差小于 0.1(0.0932) 满足要求,得到各层的权值 w 和阈值 b 。再利用 BP 网络的泛化(generalization)功能,对不是样本集中的输入也能给出合适的输出。

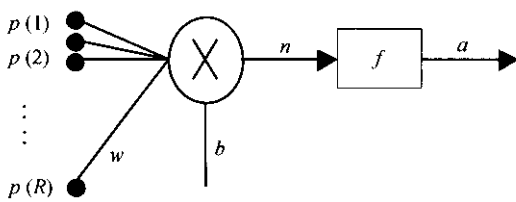


图 3 BP 神经元
Fig. 3 BP neuro-unit

经过训练后,网络模型帮我们得到下列知识:

1) 水平位置(方位 3)切割时,功率在一定范围内,可以得到较好的切割效果,太小、太大都切不好。如输入:功率、速率、水平位置参数 p ,系统可给出质量计算值 a ,见表 2。

在切割速度为 3 m/min 下进行水平切割,功率范围应大于 800 W,小于 1500 W。1000 W 时切割质量优于 1200 W 时的切割质量,因为 1000 W 的功率是正常切割时较好的参数,切割质量等级为 9.5。功率太小(800 W)时和功率太大(1500 W)时,切割

质量都达不到要求。

2) 水平位置切割时,速度在一定范围内,可以得到较好的切割效果,太快、太慢都切不好。如输入下列参数 p ,可知速度对切割质量的影响(见表 3)。

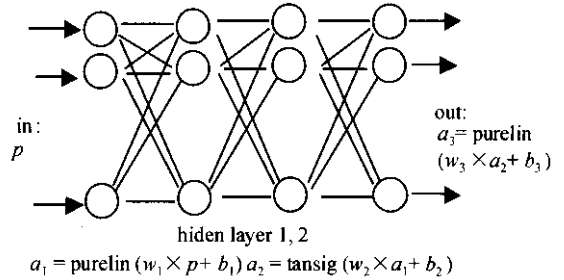


图 4 多层 BP 神经网络结构示意图
Fig. 4 Multi-layer BP neural network

表 2 功率变化对切割质量的影响
Table 2 Influence of power on cutting quality

Power / W	800	1000	1200	1500
Calculated data of mass a	5.0872	8.4558	7.1453	4.2513

表 3 速度变化对切割质量的影响

Table 3 Influence of speed on cutting quality

Speed / m/min	1	3	5	7
Calculated data of mass a	3.8956	8.4558	0.1977	0.0351

功率为 1000 W,水平位置(方位 3)下切割,切割速度为 3 m/min 时,切割质量为 8.4558。太高、太低切割质量均不理想。图 2(a),(b)中 1# 切缝就是切割速度为 5 m/min,功率为 1000 W 立向下的切割结果。也就是水平位置切割比正常位置切割时对切割速度的要求更严格。

3) 在一定切割速度和功率下,切割质量由差到好的顺序为:立向上→立向下→水平位置。在高速、高功率切割时,方位的影响不十分显著。如:输入表 4 中参数 p ,系统可计算出质量值 a ,便可以清楚地知道方位对切割质量的影响。

在速度为 5 m/min,功率 1200 W 下,3 种切割方位对切割质量的影响中,方位 3 最好,其次为方位 2,最后是方位 1。 a 值均大于 6,说明切割质量都可以接受。

在低速、低功率切割时(小工艺规范),方位的影响比上述大规范明显,表 5 是速度为 3 m/min,功率为 1000 W 时,方位对切割质量的影响。可见在进

行方位切割时应尽可能采用大工艺规范进行,切割质量容易得到保证。

表 4 切割方位对切割质量的影响

Table 4 Influence of orientation on cutting quality

Cutting orientation	1	2	3
Calculated data of mass a	6.9180	7.6787	8.0008

表 5 小规范下切割方位对切割质量的影响

Table 5 Influence of orientation on cutting quality under small energy

Cutting orientation	1	2	3
Calculated data of mass a	5.0368	6.9694	8.4558

以上是由神经网络得到的结果,有的和一般的切割规律是一致的,有的则是新的知识。有了以上知识,在设计激光三维加工计算机辅助制造(CAM)系统时,就可以将它通过激光加工工艺子程序的方式,集成在实际加工控制指令中,实现智能加工。

4 结 论

用人工神经网络建立的模型可以很好地反应切割参数和切割结果之间的关系,既可以进行定性分析,也可以进行定量分析,不但对于样本集中的输入能给出准确的输出,满足误差要求,而且对于不是样

本集中的输入也能给出合适的输出结果。利用神经网络的这种泛化功能,完全可以用来预测切割结果,或根据所需的切割结果(切割等级),进行切割参数的优化和选择。通过上述实际应用,证明这种方法是有效可行的。

参 考 文 献

- Huang Kaijin, Xie Changsheng. Development of three-dimensional (3D) laser cutting [J]. *Laser Technology*, 1998, **22**(6):352~356
黄开金,谢长生. 三维激光切割的发展现状[J]. *激光技术*, 1998, **22**(6):352~356
- P. Erasenthiran, W. O'Neill, W. M. Steen. An investigation of normal and slant laser cutting using CW and pulsed CO₂ laser for laminated object manufacturing techniques [C]. *SPIE*, 1997, **3097**:48~57
- Chen Jimin, Zuo Tiechuan. Effect of laser beam incident angle on laser cutting quality [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(11):1037~1040
陈继民,左铁钊. 激光切割中入射角对切割质量的影响[J]. *中国激光*, 2001, **A28**(11):1037~1040
- Wang Zhongshan. Research on some theories and essential techniques of intelligent CNC system for laser process [D]. Doctor Dissertation of Huazhong University of Science and Technology, 1995
王忠山. 激光加工智能 CNC 系统的研究[D]. 华中科技大学博士学位论文, 1995
- Dang Yangping, Yang Fengyu, Zhu Guoli *et al.*. The neuro-network method to select technological parameter of laser cutting process [J]. *Forging Machine*, 1998, (5):40~41
荡洋平,杨峰宇,朱国力等. 激光切割参数的神经网络分析方法[J]. *锻压机械*, 1998, (5):40~41