

文章编号: 0258-7025(2004)06-0757-04

激光切割工艺参数的智能选择系统

陈继民¹, 肖荣诗¹, 左铁钊¹, 王跃文²

(¹ 北京工业大学激光工程研究院, 北京 100022; ² 河南凯达国贸公司, 河南 郑州 450008)

摘要 提出用试验设计与人工神经网络相结合的方法, 建立了一个激光切割工艺参数的选择优化的智能系统。通过试验设计的方法, 只需做少数几次切割试验, 将试验结果输入人工神经网络中进行训练和学习, 系统便可经过自学得到切割结果与切割参数之间的隐含的定量关系, 获得切割知识。在实际切割时, 系统根据学到的切割知识, 可以对任何给定的切割条件进行推理, 对切割参数进行结果预测和优化。这种方法既不需要做大量的工艺试验, 也不是单纯的专家经验, 而是结合了两者的优点, 使结果预测建立在既有试验数据又有专家知识的基础上, 因而更加可靠、准确。该系统在激光方位切割的具体应用表明, 系统能够准确给出定量的加工参数。

关键词 激光技术; 激光切割参数; 智能; 神经网络

中图分类号 TG 485 **文献标识码** A

Intelligent System for Selecting Laser Cutting Parameters

CHEN Ji-min¹, XIAO Rong-shi¹, ZUO Tie-chuan¹, WANG Yue-wen²

(¹ National Center of Laser Technology, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)
(² Henan Kaida International Trade Co., Zhengzhou, Henan 450008, China)

Abstract In laser cutting, many factors influence cutting quality. In this paper an intelligent system has been developed in order that the cutting parameters can be created quantitatively. This system is different from database and normal expert system. It combines factor experiment method and artificial neural network (ANN). Only a few tests are required to obtain basic data and then the test results are input into the ANN system. After the ANN is trained and learns from the test results, the system can produce laser cutting knowledge and optimized parameters. Based on test data and knowledge the cutting parameters given by the system will be more accuracy and reliable. Finally the intelligent system is applied to select 3D position laser cutting parameters. It shows the system being very effective and useful.

Key words laser technique; laser cutting parameters; intelligent; artificial neural network (ANN)

1 引 言

影响激光切割质量的因素有很多, J. Fieret 等对影响激光切割质量的因素进行了研究, 总结出近 50 个参数^[1]。但在实际进行激光切割时, 需要用户选择和决定的参数只有几个关键因素。用户用激光切割机床进行切割时, 许多因素是确定的, 如激光光束特性, 切割喷嘴的形状、尺寸以及聚焦透镜焦距等。用户只能根据所切割的材料种类、材料厚度, 决

定以多少离焦量、多大的功率和速度以及何种辅助气体和多大气压等进行切割。而这些参数的选定, 往往是凭用户的经验或通过实验的方式获得, 这种被称为“炒菜”式的方法^[2], 不仅费时费工, 而且通用性差, 得到的资源无法共享。通过建立数学模型、专家系统, 或激光切割参数数据库的方法, 可以给出切割质量与切割参数之间的对应关系, 用于进行激光切割时的选择^[3~5]。然而, 建立数学模型的假设条件与实际情况相差较大, 实用性不强; 一般的激光切

收稿日期: 2003-02-10; 收到修改稿日期: 2003-05-26

基金项目: 中国博士后科学基金(No. 15214)和北京市科技新星计划(953810700)资助项目。

作者简介: 陈继民(1965—), 男, 广东普宁人, 博士, 北京工业大学激光工程研究院副教授, 研究方向为激光三维加工。E-mail: jimin@bjpu.edu.cn

割专家系统在确定加工参数时,大多只能给出定性的结果,不能给出定量、准确的切割参数值;激光切割参数数据库不可能适用于所有各种不同类型的激光器,应用受到限制。建立一个既实用、又通用的激光切割工艺参数的智能系统能给用户进行激光加工带来很大方便。

2 智能系统的建立

2.1 切割参数的确定

由于激光切割参数很多,通过对用户的需求分析,一般以下述参数作为系统分析的目标:

- 1) 材料参数,如切割材料(碳钢、不锈钢和铝合金)和材料厚度(0.1~10 mm)。
- 2) 激光参数,如 YAG, CO₂ 激光功率(100~3000 W),焦距(130 mm 或 180 mm),离焦量(正、负离焦)。
- 3) 气体参数,如切割气体种类(氧气、氮气),气压(低压 1 bar~高压 20 bar)。
- 4) 喷嘴参数,如喷嘴直径(1~3 mm),喷嘴离工件的高度(1~5 mm)。
- 5) 工艺参数,如切割速度(0.1~10 m/min)。

除上述参数外,还可根据实际情况进行选定。这些参数中有些是独立的,如材料的种类和厚度;有些是要由其他参数决定的,如当材料和材料厚度确定,选用的激光参数和气体参数就应该是确定的。所有这些参数都包含在一个工艺子程序中。作为普通用户所关心的是拿到一块材料,应该用什么参数进行切割,即只要切割材料和厚度确定,智能系统就能自动生成加工工艺子程序(如图 1)。用户只需调用一个工艺子程序就可以进行切割了。

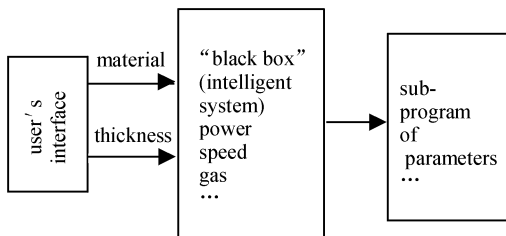


图 1 智能工艺子程序生成示意图

Fig. 1 Schematic diagram of parameters sub-program given by the intelligent system

要获得切割参数先要进行一组样本实验,将实验结果送入智能系统进行训练和学习后,系统通过推理、优化最终确定。在进行样本实验时,切割参数

的取值范围应该尽可能宽,以体现出参数变化对切割结果的影响,有利于加快系统训练和学习速度。

2.2 系统组成

系统由三部分组成:数据采集、数据处理和推理机(如图 2 所示)。为了使系统有较强的通用性,数据采集部分设计为开放式,即用户可以按本系统给出的试验方案做一组试验得到有关数据,试验的数量根据用户所需确定的参数的多少及其水平数决定。做完试验后,对各次试验的结果进行评定。一般激光切割质量(用 a 表示)的评判可以根据切口宽度、表面粗糙度与切口背面熔渣量等综合指标将切割结果进行分级量化,例如,在已切割的样品中,切割最好(即切缝窄,表面光滑且无熔渣)的样品定为 10,切割质量合格的定为 6,最差的为 1,未切透的为 0。

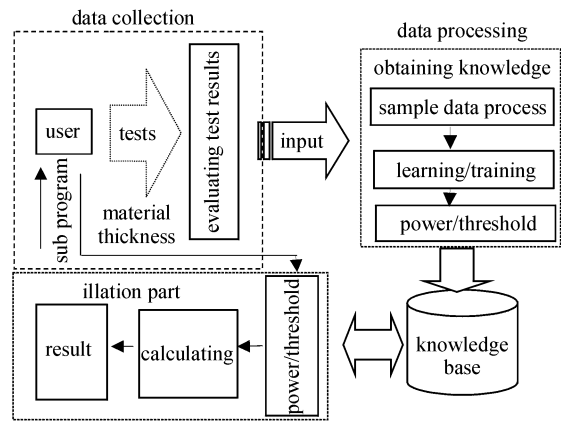


图 2 智能系统的组成

Fig. 2 Composition of intelligent system

试验的目的是进行数据采集,以便将这些切割的数据转化为知识。在进行数据准备时,要将所有的数据用数值表示,如材料参数中低碳钢用“1”,不锈钢用“2”,铝合金用“3”表示;切割气体中氧气用“1”,氮气用“2”表示等。切割质量的评定应尽可能准确,这样获得的知识就会更符合切割的实际情况。试验采集到的数据通过特定的数据格式输入系统。输入系统数据的准确性直接影响到今后系统选择参数的准确性。完成了数据采集过程,就可以进行数据处理。

数据处理部分采用 BP(Back Propagation)神经网络的方法对输入的数据进行处理。在 BP 网络中,利用输入输出样本集对其进行训练,也即对网络的权值和阈值进行学习和调整,以使网络实现给定的输入输出映射关系,根据经验,对于人工神经

BP 网络最好选 3 层,中间层用一个对数 S 型函数 sigmoid(或双曲正切 S 函数 tansig),起始层和输出层用纯线性函数 purline。线性传递函数只是简单地将神经元输入经阈值调整后传递输出,S 形函数用于将神经元的输入范围 $(-\infty, +\infty)$ 映射到 $(0, +1)$,sigmoid 函数是可微函数,非常适合于利用 BP 训练的神经元。因此,系统采用了三层 BP 网络,其中,两个隐层,第一个隐层单元数为 10 个,隐层中的神经元采用纯线性变换函数,第二个隐层单元数为 30 个,隐层中的神经单元采用 sigmoid 型变换函数,输出层的神经元采用纯线性变换函数,整个网络的输出可以取任意值。将前面数据采集部分的样本输入到系统中进行网络学习和训练,网络训练学习流程图如图 3 所示,训练学习的过程是根据初始的权值和阈值,求得输出结果,将这个结果与输入样本的预期值比较,误差达不到要求,则将误差反向传播,根据误差修正各层的权值和阈值求输出结果,再将这个结果与预期值比较,反复进行以上过程,一直到误差满足要求为止,网络停止学习。将得到激光切割的定性知识和定量的结果,存储在知识库中。当用户需要时,系统根据这些知识可以用于实际切割参数的选择和优化。

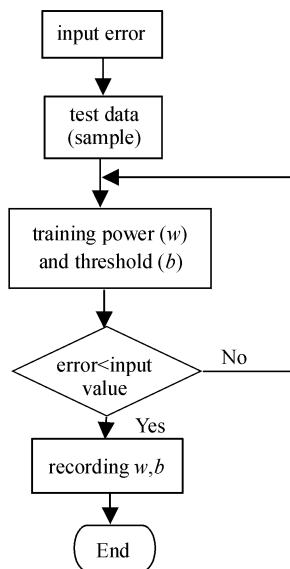


图 3 神经网络学习训练流程

Fig. 3 Flow chart of ANN learning and training

第三部分为推理机,这部分的任务是系统根据用户的实际需要,结合网络学习得到的知识,给出经过优化的切割参数。由于经过学习和训练,这时网络各层的权值和阈值已经确定,就可以用 BP 网络

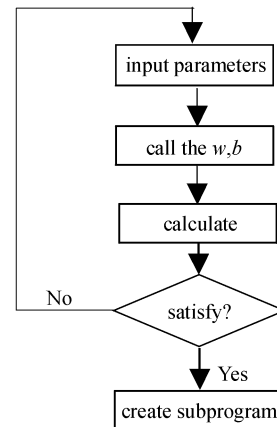


图 4 切割参数的选择

Fig. 4 Selection of cutting parameters

帮助用户选择切割工艺参数了^[6],对不满意的切割参数用户可以任意更改,直到得到满意的结果为止(也就是得到切割质量 a 大于 6 以上的结果),给用户一个最优的切割参数,根据这些切割参数系统可以自动生成切割工艺子程序,流程如图 4 所示。

3 智能系统在研究激光方位切割中的应用实例

在进行激光三维方位切割时,由于无法套用二维切割的参数,加之这方面资料很少,只能通过试验的方式获得切割参数,采用一般试验方法,不仅试验量大,而且很难摸清其定量规律。利用本系统,只做很少试验就可以了解三维激光切割规律。下面以激光三维切割方位角对切割质量的影响为例,说明本系统的实际应用。

激光三维切割实验用德国 Arnold 激光设备公司生产的配有 RofinSinar Slab DC30 CO₂ 激光器的龙门式五轴联动激光加工系统进行,切割气体采用压力为 5 bar 的 N₂,离焦量为 -0.5 mm,切割板厚为 1 mm 的碳钢板。需要确定不同方位下如何选取切割速度和激光功率。这里有三个因素,不同方位(即 0—正常方位,1—立向上,2—立向下,3—立水平),不同切割速度(1 m/min, 3 m/min, 5 m/min)和功率(800 W, 1000 W, 1200 W),试验结果见表 1。

由表 1 可见,用正常方位下的切割参数(10[#] 质量等级 9.5)即功率 1000 W,速度 3 m/min 进行方位切割时,切割质量明显下降(5[#], 6[#] 的质量等级均低于 9.5)。

将上述试验数据输入到智能系统中,系统经过

学习训练后,可以获得如下定量切割知识:即一定速度,水平方位切割时,激光功率太大或太小,切割质量都不理想。例如可以将速度=3 m/min,水平切

割3和不同的功率800 W,1000 W,1200 W,1500 W输入智能系统,对上述知识进行检验,系统计算出质量等级 a ,结果见表2。

表1 激光切割试验结果
Table 1 Laser cutting test

Test No.	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]	8 [#]	9 [#]	10 [#]
Speed/(m/min)	1	1	1	3	3	5	5	5	3
Power/W	800	800	1000	1000	1000	1200	1000	1000	1000
Orientation	2	1	2	1	2	2	3	2	0
Quality grade	4	3.5	3	5	7	8	0.2	0	9.5
Calculated quality (a)	3.973	3.288	3.213	5.036	6.969	8.000	0.197	0.004	

表2 激光功率对切割质量的影响

Table 2 Influence of laser power on cutting results

Speed/(m/min)	3	3	3	3
Laser power/W	800	1000	1200	1500
Horizontal	3	3	3	3
Calculated quality (a)	5.0872	8.4558	7.1453	4.2513

从计算出的质量等级可以看到,水平位置切割时,功率在一定范围内(1000~1200 W),可以得到较好的切割结果(a 在8.4558~7.1453),功率太小(800 W)或太大(1500 W)都切不好,即质量等级 a 均小于6。

其他条件不变,在切割速度为3 m/min下进行水平切割,功率范围应在800~1500 W之间。功率为1000 W时切割质量(8.4558)优于1200 W时(7.1453),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, $a=5.0872$)和功率太大(1500 W, $a=4.2513$),切割质量都达不到要求。这个结果和专家的经验是一致的,值得注意的是,该系统不仅有定性的知识,而且有定量知识,这在实际切割中,有很大的实用价值。

此外,还可以输入其他参数,如相同功率,不同速度或相同角度、不同功率等以了解激光三维切割的规律。由于人工神经网络的泛化功能,对不是样

本集中的输入也能给出合适的输出,这样得到的结果很适合于这台设备的三维激光切割,给用户带来极大方便,避免了用户进行激光切割时的盲目性。

参 考 文 献

- 1 J. Fieret, M. J. Terry, B. A. Ward. Aerodynamic interactions during laser cutting[C]. *SPIE*, 1986, **668**:53~62
- 2 Li Yanmin, Pan Qingyue, Huang Weidong *et al.*. The application of ANN on optimized parameters in laser processing [C]. *The Proceeding of 4th National Laser Processing Conference*, Metallurgy Industry Press, 1997. 139~143
李延民,潘清月,黄卫东等. 神经网络在激光加工工艺优化方面的应用[C]. 第四届全国激光加工学术会议论文集,冶金工业出版社,1997. 139~143
- 3 Ebrahim Abdulhadi, Jean-Marc. Pelletier, Michel Lambertin. Development in laser cutting of steel; analytical modelling and experimental validation of the metallurgical effects [C]. *SPIE*, 1997, **3097**:17~28
- 4 S.-L. Chen. Analysis and modelling of reactive three-dimensional high power CO₂ laser cutting [C]. *Proc. Instn. Mech. Eng.*, 1998, **212**(Part B):113~128
- 5 Wang Kunlin. The math model of laser material processing [J]. *Laser Technology*, 1996, (3):105~109
王昆林. 激光材料加工的数学模型[J]. 激光技术, 1996, (3): 105~109
- 6 Zhu Guoli, Duan Zhengcheng, Long Yihong *et al.*. The research on optimized laser cutting processing based on ANN and parameters automatic selection [J]. *Manufacturing Automation*, 1995, **17**(4):21~24
朱国力,段正澄,龙毅宏等. 基于神经网络的激光切割加工工艺优化建模及工艺参数自动选取系统的研究[J]. 机械工业自动化, 1995, **17**(4):21~24