

电阻点焊质量在线无损估测

余海燕,张惠斌

(吉林大学,吉林 长春 130022)

摘要:采用动态电阻法建立了低碳钢电阻点焊熔核直径的人工神经网络模型,该模型为3层BP向前网络结构,通过大量正交试验训练获得其模型数据。将模型数据移植到C语言中,建立了熔核直径在线估测系统。该系统有望应用于实际生产的质量监控。

关键词:人工神经网络;点焊;焊点直径;在线估测

中图分类号:TG453⁺.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2303(2006)09-0019-03

Study on online and non-destructive quality estimation of resistance spot welding

YU Hai-yan, ZHANG Hui-bin

(Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: This paper proposes a three-layer BP neural network to estimate the quality of mild steel resistance spot welding (RSW) using dynamic resistance signatures first. We obtained a lot of input datas for the network based on a great deal of cross tests. After trained the neural network. We transplant the weight datas and region datas of the network to C language. Accordingly we propose a nugget diameter estimation system for resistance spot welding. We believe that this system will be applied to quality inspection and controlling of welding in the manufacture in the near future.

Key words: artificial neural network; resistance spot welding; nugget of RSW; estimation online

0 引言

电阻点焊熔核尺寸在很大程度上反映了焊件的使用寿命,因此,生产中常把焊件焊点熔核尺寸作为评定点焊质量的主要指标。在大批量生产中,通常采用抽样破坏检验的方法,但该方法存在一定的几率,不能保证同一批全部产品的质量,并且浪费了财力和人力。因此,焊接过程中对焊点熔核尺寸进行在线无损监测,从而及时调整焊接参数,以达到所要求的焊接质量,完善对接头质量的控制是很必要的。

采用人工神经网络估测点焊熔核直径和力学性能的研究已经取得了很多的成果^[1-4],但是,实现点焊质量的在线评估与数据库自动链接,以及反馈修正控制过程,仍然需要做大量的研究工作。

1 动态电阻与熔核形成过程的关系

1 mm+1 mm 低碳钢在相同材料和设备条件

收稿日期:2006-03-20

作者简介:余海燕(1980—),女,河南南阳人,硕士,主要从事焊接智能控制方面的研究。

下,采用不同焊接电流点焊时的动态电阻曲线如图1所示。在没有形成熔核时,电阻曲线呈单调增加变化;随着电流加大,熔核形成,电阻曲线出现最大值,并且熔核越大,电阻曲线的最大值也越大,随后电阻曲线的下降率越大。进一步研究表明,电阻达到最大值以前,熔核尚未形成,焊接区的平均温度随着焊接过程的进行而大幅度提高,当电阻达到最大值时,熔核开始形成,直到熔核完全形成,电阻开始大幅下降。可见,动态电阻曲线较真实地反映了熔核的形成。

2 多层前向人工神经网络

多层前向神经网络是最常用、最流行的神经网络模型,误差反传算法(BP)是它的首选算法。过程处理单元的数学模型可表示为

$$y_i = f(\sum W_{ij}x_j + d_i),$$

式中 x_j 为第 j 个处理单元的输出或该单元的第 j 个输入; W_{ij} 为处理单元 i 到 j 之间的连接强度,即权重; d_i 为偏差量,或称域值; y_i 为处理单元的输出; f 为网络的传递函数。

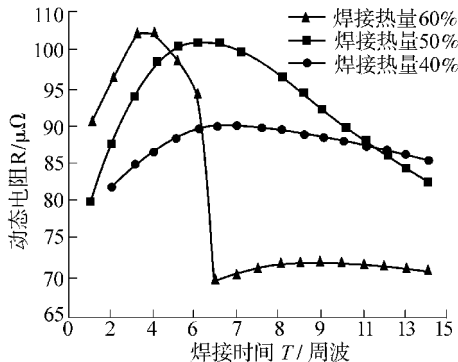


图 1 动态电阻与焊点熔核形成的关系

Fig.1 Relationship between dynamic resistance and formation of weld nugget

本研究基于误差反传算法网络建立了点焊加热过程的动态电阻的一些特征值与熔核直径之间关系的 3 层网络模型,为点焊接头质量无损在线监测提供了必要的前提。因本研究重于方法的研究,具体对象以常用的低碳钢为例,在接头性能指标上重点考察焊点的熔核直径 d_n 。

3 实验条件和方案

实验材料:1 mm+1 mm 低碳钢, DN-200KVA 电阻点焊机, KDT2051 阻焊控制器, 自行研制的电流电压测量系统, 486 微机, PC-7483 多功能综合板, 游标卡尺。

该研究以中等规范为基础。实验前先用 $L_{18}(3^7 \times 2)$ 正交表对规范变化范围进行设计, 以确保试验数据的可靠性和足够的覆盖性。正交实验的因子和水平如表 1 所示。

表 1 正交实验因子和水平(焊接时间 14 周波)

Tab.1 Factor and level of cross test(welding time is 14 cycle)

实验因子	水平 1	水平 2	水平 3
焊接热量/%	60	50	40
电极端面直径 d /mm	7	6	5
电极压力 P /MPa	0.60	0.50	0.45
表面处理	处理	未处理	—

在正交实验中采用重复试验方式, 重复系数为 6, 即在同一规范下采集 6 个试片, 随机抽取一个作为检验样本, 其余则作为训练样本。熔核尺寸的测量采用多次测量求均值的方法, 以降低测量误差。

为了避免在训练网络时一些不合理的数据造成网络误差波动太大, 必须对所得的实验数据进行分析筛选, 剔除严重畸变的数据, 确定出用于训练

网络的数据 85 个, 检验样本 18 个。

4 质量监测网络模型的建立

4.1 模型的确定

用点焊过程中的动态电阻曲线来表征低碳钢点焊的加热过程, 虽然具有表征信息全、建立模型精度较高等优点, 但需要的表征参量个数较多, 并且表征参量的个数将随焊接加热时间的增加而增加。当焊接加热时间越长时, 建立模型的困难程度和所建模型结构的复杂程度也较大。因此, 可根据低碳钢点焊过程中动态电阻的变化规律, 提取若干个主要表征参量——特征量来表征低碳钢点焊的加热过程。选用动态电阻的 6 个特征量作为网络的输入, 熔核直径作为网络输出, 网络层次结构如图 2 所示。

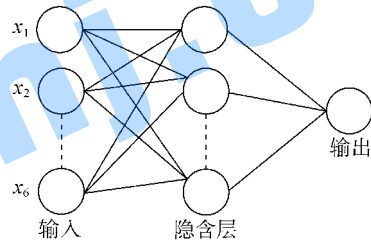


图 2 BP 网络结构

Fig.2 BP network model

所选的 6 个特征量分别为到达最小电阻时的加热时间 t_{\min} , 到达最小电阻时电阻的下降量 ΔR_1 , 到达最大电阻时的加热时间 t_{\max} , 从电阻最大值到焊接结束所需时间 Δt 、电阻的下降量 ΔR 、电阻的下降率 $\Delta R/R$ 。

已有实践证明, 3 层前向神经网络可以满足任意映射的逼近问题。为此, 构造了一个输入层单元数为 6, 一个隐含层, 输出层单元数为 1 的 3 层 BP 网络, 如图 3 所示。由图可知隐含层单元数选 16 时合适。图 4 表明所建立的网络可以达到要求。

4.2 网络的验证和分析

验证结果如表 2 所示。从表中可以看出样本并不因为个别样本的畸变而影响整个网络, 体现了网络预测的可靠性和容错性。最大验证误差 $E_t=18\%$, 平均验证误差为 5.7%, 可以满足应用要求。带有符号 * 的验证样本的误差大于 10%, 原因在于该样本输入数据存在较大的噪声干扰, 其他样本的误差基本上都在 5% 左右。总的来看, 网络的输出体现了很强的容错性和聚类性。

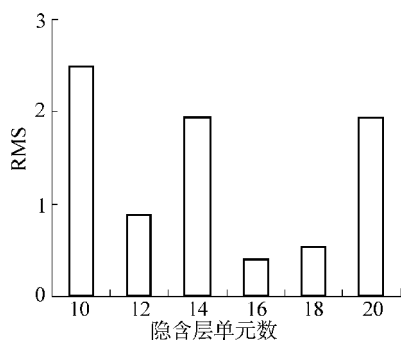


图3 隐含层单元数与 RMS 间的关系

Fig.3 Relation between RMS error of network and number of hidden layer

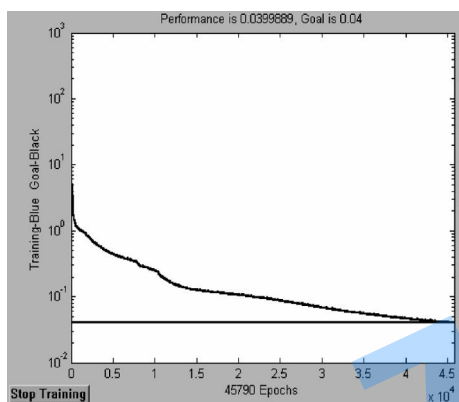


图4 训练期间的 RMS 误差

Fig.4 RMS error curve during training

5 实时检测焊接质量模型的建立

以上利用神经网络对点焊质量的估测都是在离线情况下进行的,这样不能及时发现问题并调整焊接参数加以修正。为了对焊接质量进行无损在线估测,把上面训练好的网络权值和域值提取,然后将网络仿真的计算过程用 C 语言编写出来,从而将上述用神经网络对焊接接头质量的非在线估测改为在线估测。网络仿真的具体计算程如下

$$I_i = \sum W_{ij} x_j + d1_i,$$

$$O_i = f(I_i),$$

$$Y_i = \sum V_{ij} O_j + d2_i,$$

式中 W_{ij} 、 V_{ij} 分别为网络的隐层神经元与输入层神经元的连接权值和输出层神经元与隐层神经元的连接权值; $d1_i$ 和 $d2_i$ 分别为隐层神经元的域值和输出层神经元的域值; O_i 和 Y_i 分别为隐层神经元的输出和输出层神经元的输出(即网络的输出); x_i 和 I_i 分别为输入层的输入值和隐层神经元的输入值。

表2 焊接熔核直径网络模型估测结果

Tab.2 Estimating results of neural network modeling of welding nugget diameter

试验编号	实测值 d_n /mm	预测值 d_n /mm	相对误差/%
1	5.06	4.89	3.4
2	5.70	5.59	1.9
3	5.95	5.83	2.0
4	5.32	5.13	3.6
5	5.35	5.52	3.2
6	4.60	4.97	8.0
7	5.22	5.09	2.5
8	6.19	5.87	5.2
9	5.25	5.04	4.0
10	6.33	6.10	3.6
11	4.60	4.84	5.2
12	5.60	5.53	1.3
13	5.67	5.45	3.9
14*	4.16	4.91	18.0
15	5.84	5.75	1.5
16*	4.20	4.87	16.0
17*	4.34	5.00	15.2
18	5.56	5.32	4.3

6 结论

(1)对于低碳钢而言,采用动态电阻的特征值作为网络的输入,可以有效地估测电焊的熔核直径,即熔核直径与动态电阻的特征值有一定的对应关系。

(2)所建网络具有很强的容错性和聚类性,所估测的熔核直径的平均误差接近 5%,完全满足工程需要。建模方法和处理手段具有通用性,对于不同材料、不同焊接方法仍可采用类似的方法处理。

(3)成功实现了点焊接头质量的在线无损估测,极有生产实用价值。

参考文献:

- [1] 吴林,陈善本.智能化焊接技术[M].北京:国防工业出版社出版,2000:149-170.
- [2] 中国机械工程学会焊接学会,电阻焊(III)专业委员会.电阻焊理论与实践[M].北京:机械工业出版社,1994:50-120.
- [3] 张忠典,李严.人工神经网络法估测点焊接头力学性能[J].焊接学报,1997,18(1):1-5.
- [4] 方平,张勇.人工神经网络电阻点焊质量检测模型的研究[J].机械科学与技术,2000,19(1):130-132.