

# 一种镀锌板电阻点焊质量的无损评判方法

魏 雷,张鹏贤,陈剑虹,柳勤兵

(兰州理工大学 有色金属合金省部共建教育部重点实验室,甘肃 兰州 730050)

**摘要:**探索了一种以点焊表面数字图像为信息源的质量评判方法。获取镀锌板点焊接头表面的图像,通过对不同焊接规范下焊点的表面图像分析,发现焊点表面图像可以被分为几个不同的特征环区;研究焊点表面图像特征环区与接头质量的相关性,根据特征区域面积与焊点抗剪强度的相关性分析结果,选择了相关性显著的特征参数作为输入向量,接头的抗剪强度作为输出参量,建立了一种以剪切强度为评判指标的BP神经网络模型。试验结果表明:基于图像信息处理实现镀锌板焊点质量无损监测的方法切实可行。

**关键词:**电阻点焊;图像处理;BP网络

**中图分类号:**TG453+.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2303(2009)07-0073-04

## One nondestructive evaluating method of galvanized sheet quality in resistance spot welding

WEI Lei,ZHANG Peng-xian,CHEN Jian-hong,LIU Qin-bing

(Key Laboratory of Non-ferrous Metal Alloys,The Ministry of Education,Lanzhou University of Technology,Lanzhou 730050,China)

**Abstract:** A new method was explored to monitoring joint quality based on information processing in digital image of welding spot surface in resistance spot welding. First of all, a few characteristic zones related to welding processing were mined from the image of welding spot surface through analyzing the image collected from the spot welding joint surface in different norms. Secondly though the correlation analysis between characteristic zones areas and tensile share strength of spot welded joint, a few characteristic parameters were selected as input vectors, the shear strength was selected as target vectors. A neural network model was set up to evaluate spot welded quality. The results showed that it is feasible that of galvanized sheet can be monitored based on image information of welding spot surface.

**Key words:** resistance spot welding; image processing; back-propagation network

## 0 前言

电阻点焊广泛应用于航空、航天、能源、电子车辆及轻工业等部门。近年来,随着电子电力、计算机通信技术的迅猛发展,使点焊机器人在焊接生产线上得到了大量的应用。随着焊接生产的自动化、集成化,对焊接质量检验提出了新的要求,以往采用的焊后检验方法已难以满足焊接高效生产的要求,为此发展一种无损的、在线的、实时的质量评判方法是目前焊接制造系统的迫切要求<sup>[1-4]</sup>。本研究探索了一种以焊点表面数字图像的特征区域面积作为质量表征参数,接头剪切强度作为质量评判指标的BP神经网络质量评判方法。

收稿日期:2008-09-28;修回日期:2009-06-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50275028)

作者简介:魏 雷(1980—),男,山西大同人,在读硕士,主要从事焊接过程及其自动化、焊接质量控制方面的研究。

## 1 镀锌板焊点表面图像的获取

采用唐山松下 YF-0201Z2 型交流电阻点焊机;厚 0.8 mm 镀锌板;平板搭接接头;试样尺寸 100 mm×30 mm;图像获取采用 Canon IXUS430 型数码相机。

为获得更为清晰、稳定的焊点表面图像,自行搭建了一个可保证相机镜头与被拍试件表面平行、同时两个平面间距可调的装置,如图 1 所示。在该装置的上平面放置数码相机,下平面放置被拍试件以及与之平行的游标卡尺。以游标卡尺刻度为参照,获得焊点图像的实际大小。

## 2 焊点表面图像的分析

选取焊接电流分别为 5 kA、5.5 kA、6 kA、6.5 kA、7 kA、7.5 kA、8 kA、8.5 kA、9 kA、10 kA;焊接压力分别是 0.3 MPa、0.4 MPa、0.5 MPa;焊接时间分别是 8 周波、10 周波、15 周波进行试验。为了减少误差,每

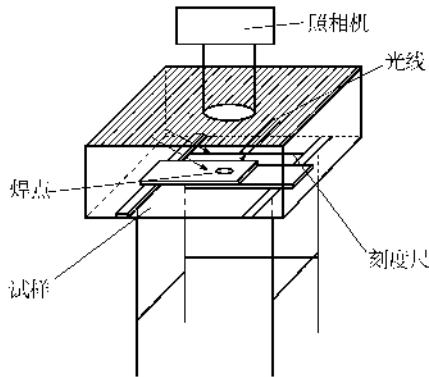


图 1 图像获取装置示意

Fig.1 Device of accessing image

个焊接规范参数下焊 3 个试样。通过观察不同焊接

规范下镀锌板焊点表面数字图像,发现焊点表面图像特征与焊接规范密切相关。焊接压力 0.4 MPa,焊接时间 10 个周波,不同的焊接电流下获得的焊点表面图像如图 2 所示。图 2a 为焊接电流 5 kA 时焊点表面图像,由于焊接电流小,输入能量不足,熔核形成过程不充分,致使焊点表面图像呈现特征不明显的压痕。而随着焊接电流的增大,输入热量的增加,焊点表面图像呈现出有明显不同的特征环区。焊接电流小于 8 kA 的焊点图像大致可以分为两个不同的特征环区,焊接电流大于 8 kA 的焊点图像大致可以分为三个不同的特征环区。这与文献[5]低碳钢的焊点表面特征区域完全不同。

焊接电流 8 kA 焊点特征环区示意图如图 3 所示。

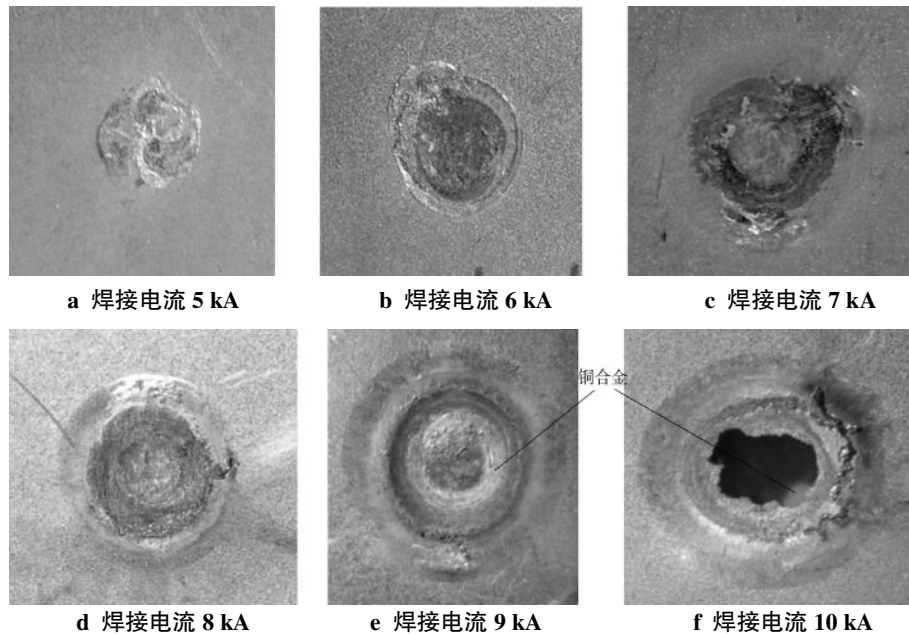


图 2 不同焊接电流下的焊点表面图像

Fig.2 Image of different Welding norms

一号环区主要为电极头直接与镀锌钢板表面相接触的部分,为焊点的中心区域,是在上下电极头、电、热、力多种作用和拘束状态下的熔核区表面图像。这一区域大部分是黑色。由于焊接过程中这一区域温度高,锌的熔点低,焊接能量使锌层熔化,低碳钢裸露在外,在焊接过程中发生氧化,如图 2d、图 2e 所示。图 2d、图 2e 中的铜合金是由于镀锌板焊接过程中,焊件对铜电极端部的粘附。有时这一区域还会出现锌岛,见图 2e 中白色部分。由于焊接过程中焊件没有持平或电极头的磨损造成焊接电流密度线分布不均匀,输入能量不均匀,致使焊件表面残留了未被熔化的镀锌层。二号环区其形态为一个略高于

试样未焊区平面的拱形环状凸起。这是由于在电阻点焊过程中被焊金属受热熔化,熔化金属在上下电极头的压力挤压下,液态金属向周围扩散,同时受到外层相邻固态金属的阻碍,液态金属沿着电极头边缘挤出从而形成拱形凸起。三号环区为焊点的热影响区。颜色呈现为比镀锌板表面更亮的白色。为了便于求特征区域的面积值,分别将一号、二号、三号区域面积值定义为  $S_1, S_2, S_3$ , 总面积为  $S$ 。

剪切强度试验统计表明:焊接电流在 8~9 kA 时,所有焊点的表面图像均呈现出三个不同的特征环区,其中 91.6%焊点的抗剪切强度均大于 3.4 MPa。在焊接电流小于 8 kA 时,所有焊点表面图像均表现为

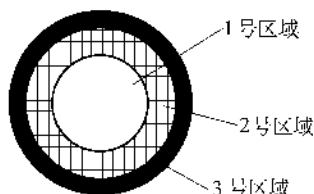


图 3 焊点表面图像特征区域示意

Fig.3 Image characteristic zone of welding spot surface

两个不同特征环区,焊点所能承受的最大抗剪切强度为 3.4 MPa,无法满足实际要求。当焊接电流为 10 kA 时,由于焊接参数不匹配,焊接过程中熔化的金属大量飞溅,出现焊件被烧穿的现象(见图 2f)。

### 3 特征区面积的提取与测定

焊点接头表面图像蕴含着丰富的焊接过程信息。为了迅速找出其有用的特征信息,计算出相对准确的特征区域面积,需要对原始焊点图像进行处理。本次实验是基于 Matlab6.5 软件图像处理工具箱,首先通过对焊点图像进行灰度处理,灰度均方化,增强图像的对比度,如图 4 所示。然后采用线性均值滤波模板对处理后的焊点图片线性滤波,得到清楚、平滑的特征区域边界轮廓线,如图 5 所示。采用 canny 算子对焊点图像进行边缘检测和图像分割,然后在 Photoshop 软件下用像素法计算出焊点特征区域面积  $S_1, S_2, S_3$  和总面积  $S$ 。



图 4 灰度平均化的图片

Fig.4 Image of gray average

### 4 特征区域面积与剪切强度相关性分析

由于焊点表面图像中的各个特征环区能够直接或间接地表征焊点形成过程,因此采用特征区域面积  $S_1, S_2, S_3, S$  来表征焊点表面图像在不同点焊过程和工艺条件变化下的差异,以这种差异反映影响点焊过程和决定焊接质量的因素,进而选取与焊

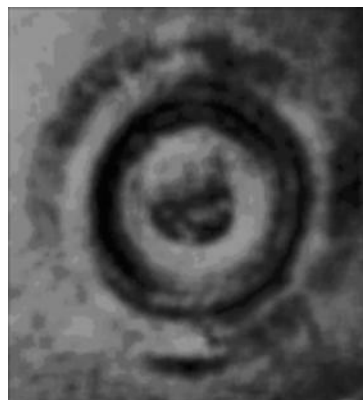


图 5 线性滤波后的图片

Fig.5 Image of linear filtering

点质量变化规律存在密切相关的特征区域面积,作为度量焊点质量优劣的特征参量。为此,随机选用 25 个焊接接头的抗剪切强度作为焊接质量评价指标,图 6 为 25 个焊点特征区域面积与焊点剪切强度之间的离散杆图。从图中可知随着剪切强度  $\tau$  增大,各个特征环区的面积也在增大。特征区域面积  $S_1, S_2, S_3, S$  与焊点剪切强度  $\tau$  的相关性如表 1 所示,可见各个特征区域面积与剪切强度  $\tau$  之间的相关性显著。

表 1 特征参量与焊点强度间的相关系数

Tab.1 Related coefficients about characteristic zones areas

特征参量	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S$
相关系数 $\rho$	0.95 000	0.861 10	0.940 74	0.964 10

### 5 建立 BP 神经网络预测模型

BP 网络是一种单向传播的多层前向网络,其结构简单、可塑性强,被广泛应用于实际中。由于传递函数处处可微,所以 BP 网络具有两方面的优点:一方面,所划分的区域是一个非线性超平面组成的区域,较线性划分区域容错性好而且更加准确;另一方面,网络可以严格采用梯度下降法进行学习,全值修正的解析式十分明确<sup>[6]</sup>。从相关性分析结果比较可知, $S_1, S_3, S$  与  $\tau$  相关性显著( $\rho \geq 0.94$ )。为此,选择  $S_1, S_3, S$  作为输入向量,焊点的抗剪强度  $\tau$  作为输出向量,建立了 BP 神经网络的焊点质量监测模型。

为了克服由于输入向量中各个特征参量数据具有不同的物理意义和不同的量纲,以及所造成的网络训练开始时各输入分量地位重要性不等同使得训练误差变大的问题,将样本集在  $[0, 1]$  区间进行归一化处理,使得所有分量仅表示相对大小。将 100 组数据样本采用均匀抽取法分为两类,50 组测试样本,50 组验证样本,训练和测试其网络性能。建立的 BP 神经网络模型的仿真输出的抗剪强度

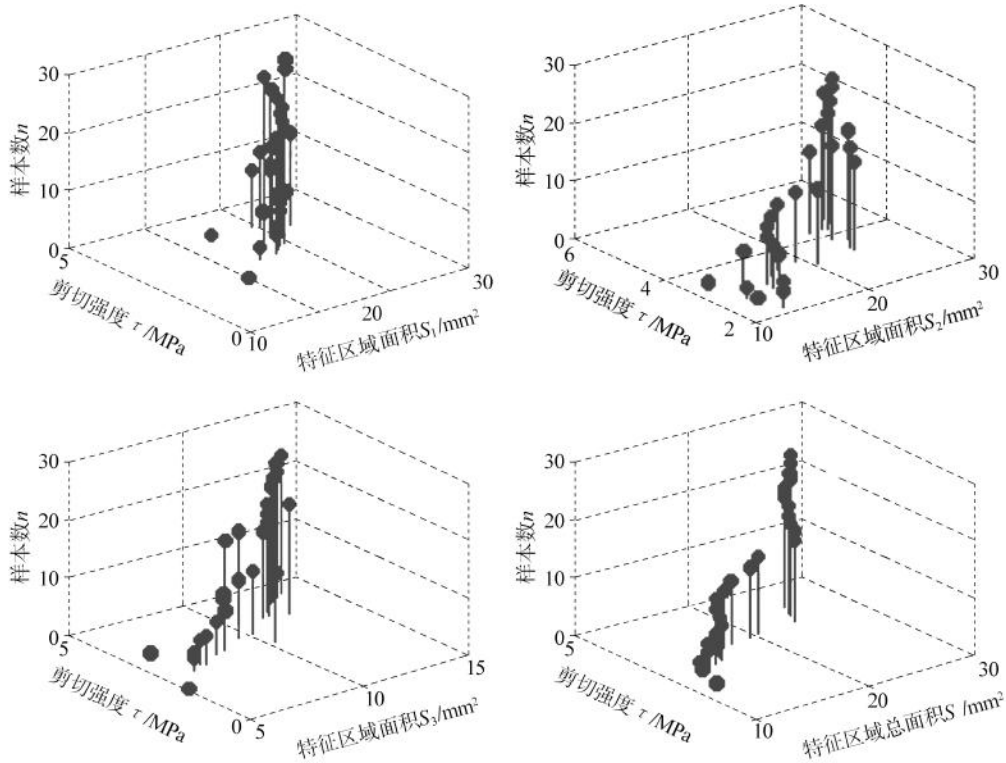


图 6 特征区域面积与抗剪切强度的离散杆图

Fig.6 Scatter stem between characteristic zone areas and shear strength

和实测抗剪强度对比如图 7 所示。统计试验表明,在误差 $\pm 0.3$  范围内,采用 BP 神经网络质量监测模型预测的抗剪强度值的准确率为 92%。采用镀锌板焊点表面数字图像提取的特征区域面积  $S_1, S_3, S$  作为监测参数,可以实现焊点质量的无损评判。

## 6 结论

(1)通过对镀锌板电阻点焊接头表面图像的研究表明,接头表面图像的不同特征区域可以作为焊接质量的信息源。

(2)采用不同特征区域面积作为特征参数,并以此作为 BP 神经网络模型的输入量,剪切强度作为神经网络的输出量,试验结果表明 BP 神经网络模型可以对镀锌板的焊接质量进行监测。

## 参考文献:

[1] Johnson K I,Needham J C.New design of resistance spot welding machine for quality control[J].Welding jour., 1972, 51(3): 1-8.  
 [2] Wu K C.resistance spot welding of high contace resistance surface for weld bonding[J].Welding jour., 1975, 54(12):436-443.  
 [3] Tskums Masnori,Shinke Noboru.Evaluation of function of spot welding joint using ultrasonic inspection, (nondestructive

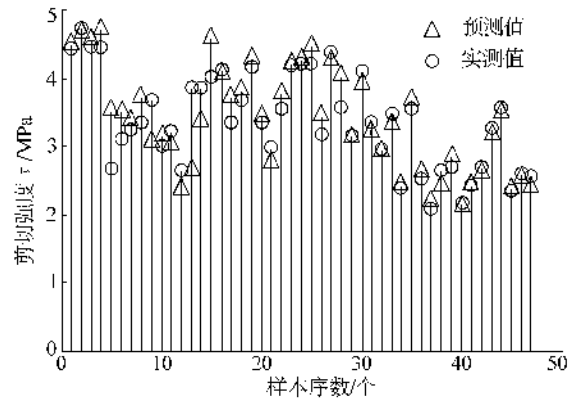


图 7 实际剪切强度和预测剪切强度的对比

Fig.7 Compare of actual shearing force and predict shearing force

evaluation on tens shearing strength with neural network[J]. Mechanics and Material Engineer, 1996, 39(10):626-632.

[4] Messler R W,Jou M,Li C J.An intelligent control system for resistance spot welding using a neural network and fuzzy logic[R].America:Conference Record of the 1995 IEEEEC, 1995.  
 [5] 张鹏贤,陈剑虹,杜文江.基于焊点表面图像处理的点焊质量监测[J].焊接学报, 2006(12): 57-60.  
 [6] 飞思科技产品研发中心.神经网络理论与 MATLAB 7 实现[M].北京:电子工业出版社,2002.