

基于信号特征提取的电阻点焊质量在线评判

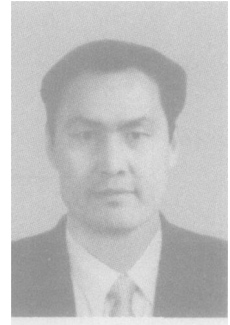
张鹏贤, 张宏杰, 马跃洲, 陈剑虹

(兰州理工大学 材料科学与工程学院, 兰州 730050)

摘 要: 以焊点接头强度作为焊点质量评判的指标, 通过对点焊过程焊接电流、动态电阻、电极位移信号的同步采集和特征分析, 提取若干特征参量监测点焊过程, 依据特征参量与焊点接头抗剪强度间的相关分析结果, 选取来自不同监测信号的 7 个特征参量建立了表征点焊过程的特征模式, 并将此转化为计算机可以识别的模式矩阵, 同时以焊接电流参数为模式分类的依据, 建立不同模式矩阵类别和焊点接头抗剪强度之间的映射, 将模式矩阵作为 Hopfield 神经网络的记忆样本存储于网络, 利用网络联想记忆的功能实现对未知样本点焊过程的模式识别, 进而实现点焊质量的评判。网络测试结果表明, 利用 Hopfield 网络进行焊点质量在线评判可以得到满意的效果。

关键词: 电阻点焊; 特征提取; 数据泛化; Hopfield 神经网络; 模式识别

中图分类号: TB52.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2005)09-52-06



张鹏贤

0 序 言

电阻点焊广泛应用于航空航天、汽车制造等行业的生产中, 但点焊过程是一个高度非线性、多变量耦合作用并伴随着大量随机不确定因素的过程, 造成点焊质量的不稳定和难以控制。焊接过程焊接电流、动态电阻、电极位移等信号蕴含大量直接或间接反映焊点质量的动态信息^[1~4], 其特征分析和并行处理为实现焊点质量在线评估提供了可能。众所周知, 多信号、多参量监测点焊过程能够在较宽的范围内提供准确可靠的焊点信息, 人工智能技术以其较强的容错性、聚类性及并行处理信息的能力为实现多信号、多参量监测点焊过程提供了一种有效的方法。Javed^[5]以焊接压力、焊接电流、焊接时间为输入矢量空间利用多层自组织特征映射网络完成到熔核尺寸的映射; 文献[6]利用人工神经网络的记忆和聚类处理的优点设计了基于人工神经网络的点焊抗拉强度无损检测系统; Brown^[7]等利用归一化的动态电阻、焊接电流值及电极头直径作为输入向量预测熔核直径反映焊接质量; Dilthey^[8]利用同样的方法将焊接电流、焊接电压输入神经网络估计焊点的抗剪强度; Messler^[9]等结合神经网络建模与模糊控制实时调节焊接电流的大小, 使得采集到的电极位移的信号曲线沿着合格焊点的位移曲线的趋势发展, 以保证焊点的质量。

作者提出一种利用焊接电流、动态电阻、电极位

移等信号的动态特征参量构筑特征模式向量表征点焊焊接过程, 将不同焊点样本的模式向量作为 Hopfield 网络的稳定状态并视为一个记忆模式存入网络。通过网络联想记忆功能实现对未知点焊过程的模式识别, 进而实现焊点质量在线评判的新方法。

1 Hopfield 网络

Hopfield 是一个单层反馈网络, 主要用于联想记忆和优化计算, 图 1 所示为包含 n 个神经元的 Hopfield 网络结构, 网络的每个神经元的输出都与其它神经元的输入相连, 对于每个神经元其输入输出的关系为

$$\begin{cases} S_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \theta_i, & i, j = 1, 2, \dots, n; \\ x_i = f(S_i), \end{cases} \quad (1)$$

式中: w_{ij} 为权值; θ_i 为阈值; $f(\cdot)$ 为激活函数, 通常为二值函数, 定义为式 (2), 即

$$f(s) = \begin{cases} 1, & s \geq 0; \\ -1, & s < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Hopfield 神经网络的稳定性可用 Lyapunov 能量函数 (式 (3)) 分析。若从某一初始状态开始, 每次迭代都能使得 $\Delta E = E(t+1) - E(t) \leq 0$, 即网络的电极位移进行同步采集。电压传感器选用霍尔电压能量函数单调下降, 则网络的状态最后将趋于一个稳定点。实际应用中, 通过合理选择权值矩阵使得待存向量成为 Hopfield 网络的一个吸引子 (稳定

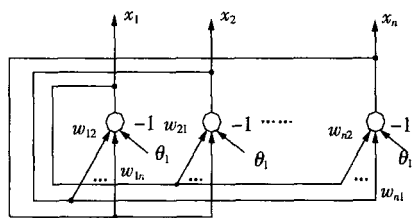


图 1 Hopfield 网络结构

Fig 1 Structure of Hopfield network

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \theta_i x_i \quad (3)$$

点),并将吸引子视为一个记忆样本。当外加一个测试向量时,网络运行稳定后就被吸引到相近的已存向量上,从而实现联想记忆的过程。

2 监测信号特征参量的提取

2.1 同步监测信号的获取

试验系统由恒流控制方式的交流电阻点焊机唐

山松下 YF-0201Z2、传感器、信号调理电路、A/D 转换卡和计算机构成,对焊接电压、焊接电流、电极位移进行同步采集。电压传感器选用霍尔电压传感器,电流传感器选用 Rogowski 电流传感器,位移传感器选用 DA-5 型直流差动变压器位移传感器,AD 卡选用 12 位 A/D 转换器 AC-6115,同步采样率为 40 kHz。信号采集及预处理软件由 VB 编制,信号特征分析及网络识别使用 Matlab 操作平台。试验对 0.7 mm 板厚的低碳钢板进行搭接点焊,电极压力 2.01 kN,电极头工作面直径 6 mm,焊接电流从 3.2~4.4 A 每次递增 0.3 A 变化。每种焊接工艺参数下焊接 10 个样本,焊点接头质量利用接头抗剪强度评价,单位为 kPa。图 2a、b、c、d 分别是焊接电流 4.1 kA,焊接时间 20 周波采集到的一组焊接电流、焊接电压、动态电阻、电极位移同步信号波形,其中动态电阻值通过焊接过程每半周波电流峰值时刻的电压值除以电流值获得。这样可以消除交流回路互感现象的影响,得到纯净的动态电阻值。

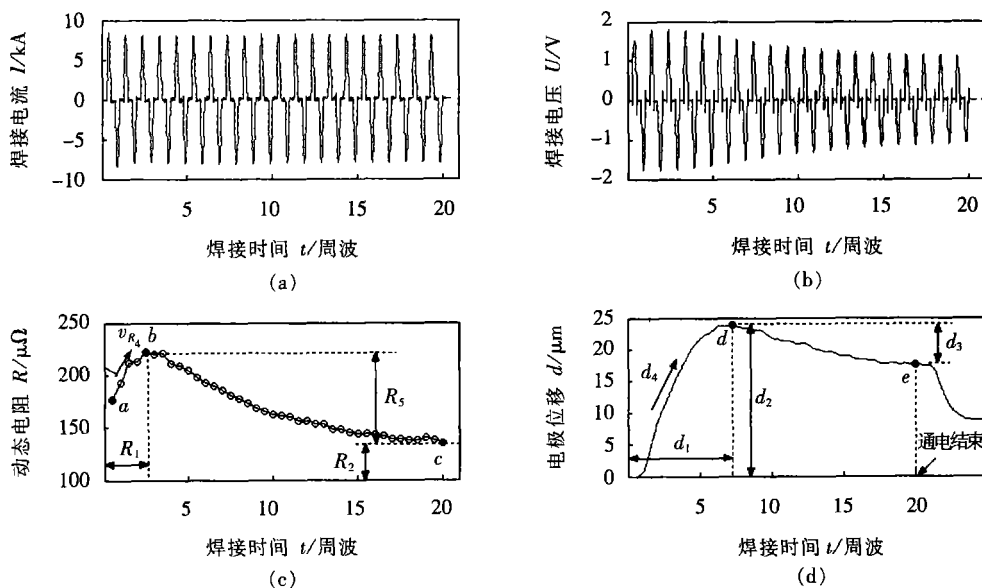


图 2 焊接电流、焊接电压、动态电阻、电极位移信号波形

Fig 2 Original signal of welding current, voltage, dynamic resistance and electrode displacement

2.2 特征参量的提取

特征提取是模式识别的重要环节,提取稳定且有效的特征是识别系统成功的关键。焊接电流是十分重要的焊接工艺参数,直接影响焊点接头质量,研究表明当焊接时间、电极压力不变的情况下,焊点熔核的大小与焊接电流有效值密切相关,因此选择焊接过程平均焊接电流有效值作为监测参量之一,用 I_1 表示。

焊接过程动态电阻可以较好地反映焊点熔核的

形成过程,对焊件表面状态、材料厚度的变化、电流分流及电源电压的变化有较灵敏的反映。根据低碳钢点焊过程动态电阻的变化规律,提取 6 个特征参量来表征焊接过程,图 2c 所示 R_1 为电阻峰值时间率(峰值时间/焊接时间); R_2 为焊接通电结束时刻的动态电阻值; R_3 为焊接过程平均动态电阻值; R_4 为点焊过程电阻初始值(a点)与电阻峰值(b点)间的电阻平均上升速度; R_5 为电阻峰值(b点)与点焊过程电阻终值(c点)间电阻下降量; R_6 为半周波

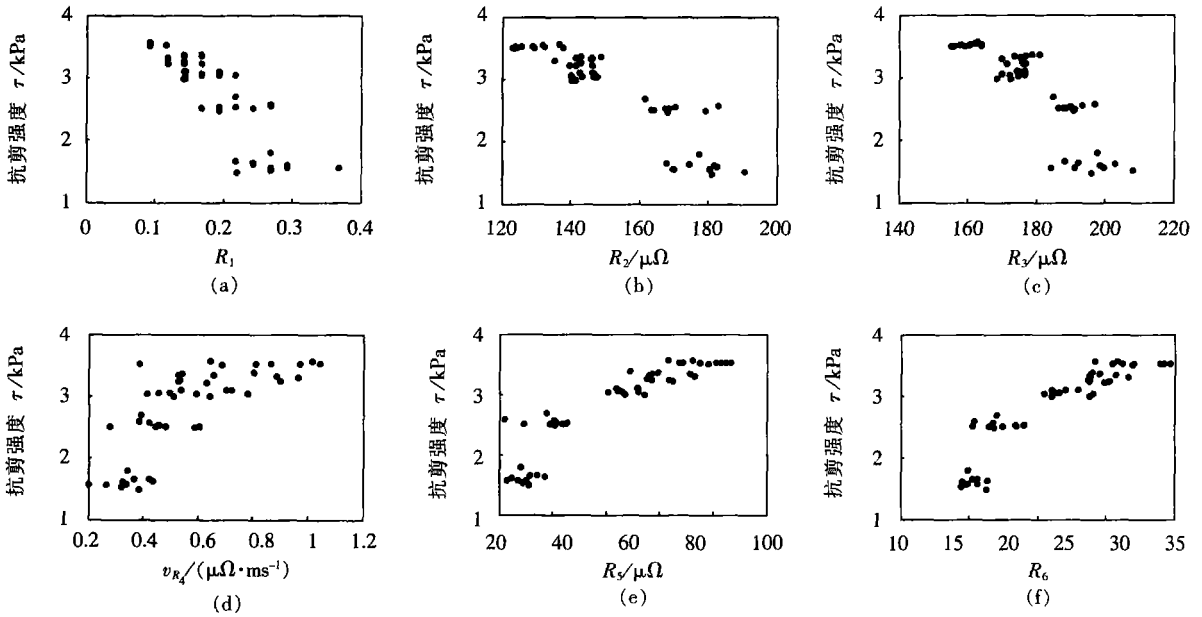


图 3 动态电阻信号特征参量散点图

Fig. 3 Scatter diagrams for characteristic values of dynamic resistance

电阻标准差,反映电阻曲线变化趋势。图 3 为上述特征参量与焊点抗剪强度的散点图。

电极位移曲线能反映焊接工艺参数和焊接条件变化对焊点熔核形成的影响,是点焊金属熔化量的度量。通过分析低碳钢焊接过程电极位移变化规律,提取 6 个特征参量表征熔核形成过程,如图 2d 所示, d1 表示位移峰值时间率(峰值时间/焊接时

间); d2 表示位移峰值时刻的电极位移量; d3 表示位移峰值时刻 d 点与焊接通电结束时刻 e 点之间的电极位移下降量; d4 表示焊接过程平均电极位移; v d5 表示点焊过程通电开始到峰值时刻(d 点)的位移平均上升速度; d6 表示半周波位移标准差。图 4 是位移特征参量与接头抗剪强度的散点图。

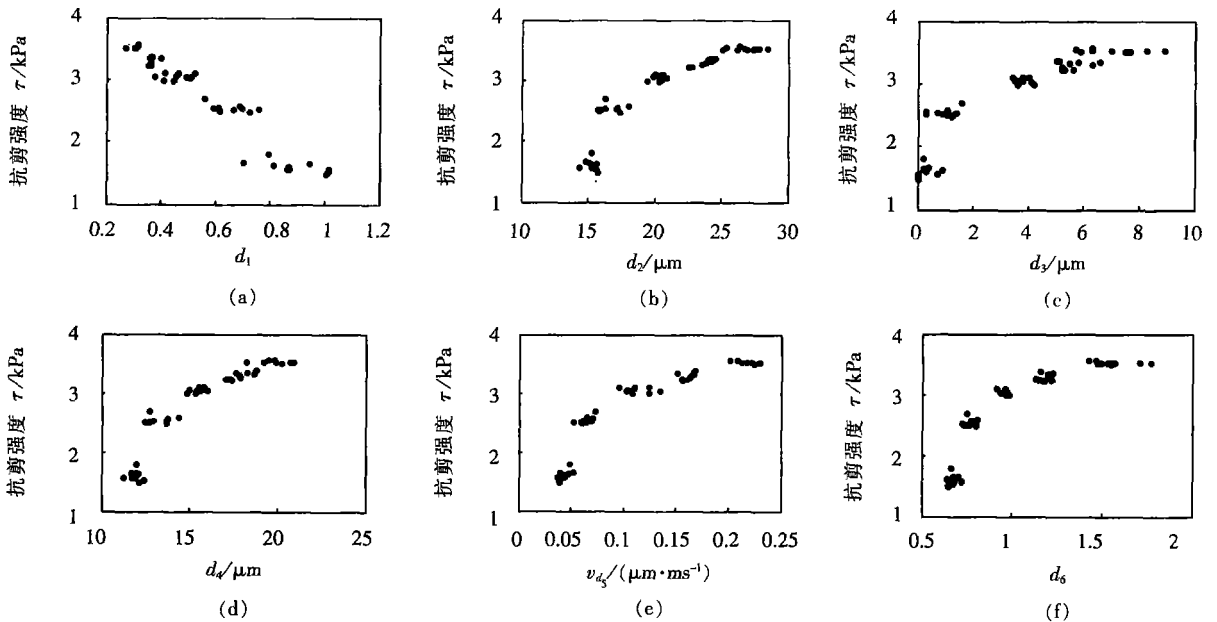


图 4 电极位移信号特征参量散点图

Fig. 4 Scatter diagrams for characteristic values of electrode displacement

模式向量的建立首先要找出用于表示输入模式的合适特征,以便在特征空间中增加不同模式之间

的差别,实现将模式向量(取自测试数据)映射到分类误差最小的类别中。相关分析可以帮助滤除统计

无关或弱相关的特征参量并保留最相关的特征参量。利用相关分析检验电阻、电极位移动态特征参量与接头强度 (TS) 之间的相关关系,特征参量与接头强度之间的相关系数越大表示该特征参量对接头

强度的影响越大,即不同焊点质量对应的该特征参量差别显著。依据表 1 的分析结果,从动态电阻信号中选取特征参量 R_2 、 R_5 、 R_6 ,从电极位移信号中提取 d_1 、 d_2 、 d_4 与接头抗剪强度相关系数较大的动态

表 1 特征参量与焊点强度间的相关系数

Table 1 Correlation coefficient between factors and strength of welding spot

特征参量	R_1	R_2	R_3	V_{R_4}	R_5	R_6
抗剪强度 τ /kPa	-0.874 9	-0.907 8	-0.870 3	0.743 5	0.902 3	0.904 5
特征参量	d_1	d_2	d_3	d_4	V_{d_5}	d_6
抗剪强度 τ /kPa	-0.967 7	0.898 0	0.895 2	0.906 2	0.889 4	0.850 3

特征参量构建模式向量。

3 点焊过程模式向量的建立及分类

焊接过程是电、热、力等综合作用的结果,不同焊接电流参数下,各监测信号动态特征参量值有很大变化。表 2 所示为前述试验焊接电流从 3.2 kA 变化到 4.4 kA 时样本各监测参量的变化范围。采用离散化技术(结合分箱和直方图方法),通过将特征参量域值范围划分为若干不相交的子集。一个子集代表某特征参量的一段连续值,实现利用较高

层次概念替换低层次概念(如提取特征的具体数值)的数据泛化,达到数据削减的目的。图 5a 是焊接电流为 4.1 kA 时经数据泛化处理后的特征参量模式图,其中每行的黑色方块表示该行所对应特征参量所在的区域。模式的描述应考虑到是否是机器可以接受的形式。Hopfield 网络模型中,每个神经元节点的输出有两种状态, -1 或 1, 所以将模式图转化为只有 -1 或 1 两个元素的模式向量表示。图 5b 对应的模式向量为 7×10 的数据矩阵,其中 1 对应模式图中的黑色方块, -1 对应白色方块。

在正常的焊接条件下,焊接电流是决定焊接质

表 2 试验样本监测参量值的变化范围

Table 2 Range of factors monitored from different experimental samples

监测特征参量	I_1 /kA	R_2 / $\mu\Omega$	R_5 / $\mu\Omega$	R_6	d_1	d_2 / μ m	d_4 / μ m
最大值	4.45	190.72	98.86	31.64	1.02	27.80	20.92
最小值	3.20	123.26	37.77	10.47	0.27	14.40	11.24
变化量	1.25	67.46	65.09	21.17	0.75	13.4	9.68

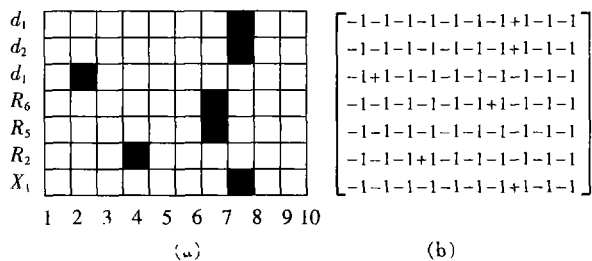


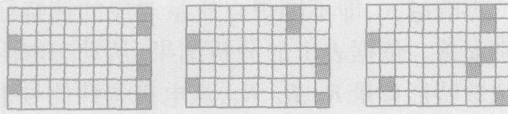
图 5 点焊过程信号特征模式图及模式向量

Fig. 5 Pattern graph and pattern vector of signal feature in RSW process

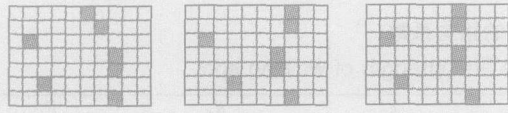
量的重要因素之一,以不同焊接电流参数作为样本分类的依据,分别从前述试验每种焊接电流参数下的 10 组样本中选出三个能够描述相应点焊过程的典型特征模式,以便能够分类识别未知数据的归类或类别,并按照焊接电流由大到小,依次定义为模式 1~模式 5,如图 6 所示。

4 点焊接头质量的在线评判

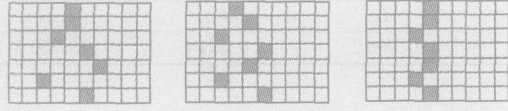
将图 6 中的 15 个模式图转化为模式向量,作为 Hopfield 网络的稳定状态存储于网络。利用该网络联想记忆的功能实现将未知样本识别到网络存储的点焊质量模式类别中。图 7 为前述试验不同焊接电流点焊样本接头抗剪强度的分布情况,表 3 为模式 1~模式 5 抗剪强度的域值范围,当焊点接头抗剪强度大于 2.89 kPa 时,焊点质量合格,小于 2.89 kPa 时焊点质量不合格,如焊接电流为 3.8 kPa 时,焊点抗剪强度最大为 3.102 0 kPa,最小为 2.981 2 kPa,平均强度为 3.044 8 kPa,各样本焊点质量合格。所以如果未知测试样本被网络识别为模式 1~模式 3,认为焊点质量是合格的,被识别为模式 4~模式 5,认为焊点质量不合格。用相同试验系统所获得的 15 个测试样本检验 Hopfield 网络的分类效果,表 4 为测试结果。分析表明网络可以有效地将测试样本



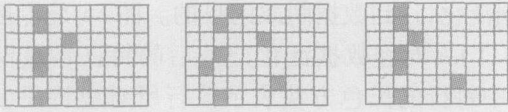
(a) 模式 1 焊接电流 4.4 kA



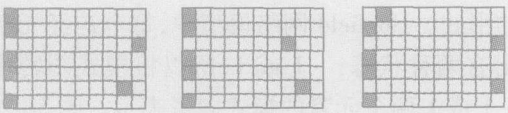
(b) 模式 2 焊接电流 4.1 kA



(c) 模式 3 焊接电流 3.8 kA



(d) 模式 4 焊接电流 3.5 kA



(e) 模式 5 焊接电流 3.2 kA

图 6 点焊过程信号特征模式分类

Fig. 6 Pattern class of signal feature in RSW process

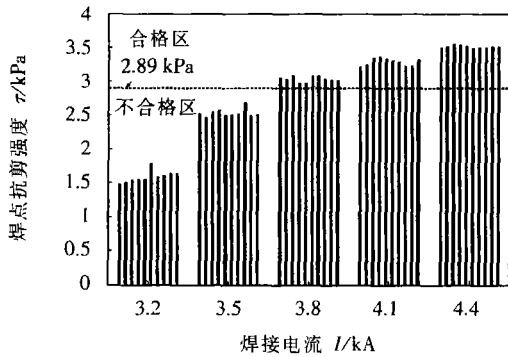


图 7 样本焊点接头强度分布图

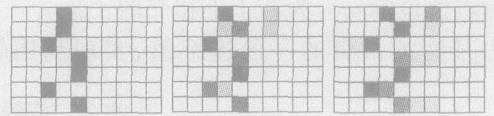
Fig. 7 Tensile-shear strength of joint for samples collected in pattern class

表 3 不同焊接电流样本的焊点抗剪强度

Table 3 Joint tensile-shear strength of samples in different welding current

焊接电流 I/kA	3.2	3.5	3.8	4.1	4.4
抗剪强度最小值 τ_{min}/kPa	1.4798	2.4705	2.9812	3.2242	3.5084
抗剪强度最大值 τ_{max}/kPa	1.7930	2.6910	3.1020	3.3712	3.5623
抗剪强度平均值 τ/kPa	1.5978	2.5376	3.0448	3.2965	3.5256

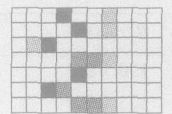
归类到已存储的焊点模式中,实现焊点接头质量评判,特别对于网络存储模式中不存在的焊接电流下得到的测试样本,如焊接电流在 3.4 kA、3.6 kA、3.7 kA、4.0 kA 时的测试样本也可以有较理想的归类,只有第四个测试样本,其接头抗剪强度为 2.8669 kPa,略小于 2.89 kPa,网络也将其归类为合格焊点。图 8 显示了第六个测试样本(焊接电流 3.7 kA)经 14 次迭代被网络归类到模式 3 的识别过程。



(a) 试验测试模式

(b) 迭代 1 次

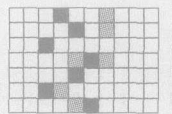
(c) 迭代 3 次



(d) 迭代 5 次

(e) 迭代 7 次

(f) 迭代 9 次



(g) 迭代 11 次

(h) 迭代 13 次

(i) 迭代 14 次

图 8 测试样本归类到模式 3 的模式识别过程

Fig. 8 Recognition process of classifying testing samples into pattern 3

表 4 Hopfield 网络测试结果

Table 4 Testing results of Hopfield network

测试样本	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
焊接电流 I/kA	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	4.0	4.0	4.4	3.2	3.4	3.5	4.1	
实测焊点 抗剪强度 τ/kPa	2.5549	2.5725	2.6362	2.8669	2.9488	2.8291	3.1035	2.9449	3.2418	3.2611	4.3562	3.1617	2.0482	2.5097	3.2974	
网络识别 模式类别	模式 4 (2)	模式 4 (3)	模式 4 (3)	模式 3 (3)	模式 3 (3)	模式 3 (2)	模式 3 (1)	模式 3 (3)	模式 2 (3)	模式 2 (2)	模式 1 (3)	模式 5 (2)	模式 5 (2)	模式 4 (1)	模式 2 (1)	
迭代次数	8	13	209	4	11	14	213	11	214	7	8	3	242	6	16	
焊点质量 评判结果	不合格	不合格	不合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	不合格	不合格	不合格	合格

5 结 论

(1) 提出了采用离散化技术实现各监测信号焊点质量信息的数据削减与泛化,建立不同焊接电流参数下由各监测动态特征参量组成的特征模式向量表征不同类别焊接过程的方法,验证表明该方法能快速获得焊点质量评判的特征模式向量。

(2) Hopfield网络测试结果表明,以接头抗剪强度作为焊点质量评判标准,建立的基于信号特征提取的点焊质量 Hopfield网络在线评判模型,可以实现对电阻点焊过程焊点质量的在线评判和分类。

参考文献:

- [1] Johnson K I, Needham J C. New design of resistance spot welding machine for quality control[J]. *Welding Journal* 1972, 51(3): 1-8.
- [2] Wu K C. Resistance spot welding of high contact-resistance surface for weld bonding[J]. *Welding Journal* 1975, 54(12): 436s-443s.
- [3] Dickinson D W, Franklin J E. Characterization of spot welding behavior by dynamic electrical parameter monitoring[J]. *Welding Journal* 1980, 59(6): 170-176.

- [4] Cho H S, Chun D W. A microprocessor-based electrode movement controller for spot weld quality assurance[J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 1985, 32(3): 234-238.
- [5] Javed M A, Sanders S A C. Neural networks based learning and adaptive control for manufacturing systems[J]. *IEEE Intelligence for Mechanical Systems Proceeding IROS'91*, 1991, 11(3): 242-246.
- [6] Tsukums Masnori, Shinke Noboru. Evaluation of function of spot-welded joint using ultrasonic inspection (nondestructive evaluation on tension shearing strength with neural network)[J]. *Mechanics and Material Engineer* 1996, 39(10): 626-632.
- [7] Brown J D, Rodd M G, Willams N T. Application of artificial intelligence techniques to resistance spot welds[J]. *Ironmaking and Steelmaking* 1998, 25(3): 199-204.
- [8] Dillthey U, Dickersbach J. Application of neural networks for quality evaluation for resistance spot welds[J]. *ISIJ International* 1999, 39(10): 1061-1066.
- [9] Messler R W, Jou M. An intelligent control system for resistance spot welding using a neural network and fuzzy logic[J]. *Conference Record IAS Annual Meeting* 1995, 10(2): 1757-1763.

[上接第 51 页]

1.97倍,说明等离子喷涂试件的改善效果明显高于火焰喷涂试件。

4 结 论

(1) 等离子喷涂是改善 1Cr18Ni9Ti 不锈钢十字接头疲劳性能的有效方法。等离子喷涂对接头疲劳性能的改善效果优于火焰喷涂。

(2) 焊态试件的疲劳强度为 169.8 MPa, 火焰喷涂试件为 186.2 MPa, 等离子喷涂试件为 213.8 MPa, 与焊态试件相比, 等离子喷涂试件的疲劳强度提高 25.9%, 火焰喷涂试件仅提高 9.7%。

(3) 等离子喷涂试件的疲劳寿命是焊态试件的 1.58~9.62 倍, 火焰喷涂试件的疲劳寿命是焊态的 1.55~1.97 倍。

作者简介: 张鹏贤,男,1970年7月出生,副教授,博士研究生。主要从事焊接过程及其自动化、焊接质量控制等方面的研究,发表论文 10 余篇。

Email: zp_xian@eyou.com

参考文献:

- [1] 张其枢. 不锈钢焊接[M]. 北京:机械工业出版社,2000. 235-352.
- [2] 格尔内 T R. 焊接结构的疲劳[M]. 北京:机械工业出版社,1988. 338-343.
- [3] Gurney T R. Influence of overlays on stresses in fillet welded joints[J]. *Journal of Strain Analysis* 1977, 12(1): 16-22.
- [4] Gurney T R. Exploratory fatigue tests on plastic coated specimens [J]. *British Welding Journal* 1963, (10): 530-533.
- [5] Chadwick M D. Influence of low modulus weld toe overlay on fatigue life [J]. *Metal Construction and British Welding Journal* 1973, (9): 330-335.
- [6] 霍立兴. 焊接结构的断裂行为与评定[M]. 北京:机械工业出版社,2000. 328-367.

作者简介: 张中平,男,1972年2月出生,博士研究生。主要从事焊接结构疲劳及断裂方面的研究,发表论文 3 篇

Email: zhangzhp211@126.com

Tianjin 300452, China). p39-43

Abstract According to the results of the CTOD (crack tip opening displacement) test and the SINTAP (structural integrity assessment procedure) suggested by Europe Community, the assessment of the surface flaw at the toe of a weld in pipeline was carried out with the given crack size and load. Based on the tensile test results of the base metal and weld metal, the assessment diagram of Level 2 was constructed. The assessment results indicate that the assessment points are within the region defined on the failure assessment diagrams using Level 2. Therefore, the structure containing definite crack can be accepted. The influence of the changes in the depth on the assessed results are greater than that in the length.

Key words weld metal; mismatched strength factor; failure assessment diagram; safe assessment

The anti-interference technology of the signal transmission of force telepresence remote welding LIU Li-jun, WU Lin (State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p44-48

Abstract The high-frequency produced by welding arc and welding power exists in remote welding. It strongly interferes with the transmitted signal of force telepresence remote welding. In this paper, aiming at the high-frequency interference source and its spreading ways in remote welding, the signal transmission network of remote welding with anti-interference capability was designed, the wiring principle of the long signal wire in remote welding was brought forward, and neural network was adopted to filter the interferences in the force signals gathered from the slavery robot. By adopting the anti-interference measures, the control signal transmission became reliable in remote welding, the force telepresence became real, the welding operator could correctly teleoperate the remote welding process by force telepresence.

Key words remote welding; signal transmission; anti-interference; force telepresence; neural network filter

Fatigue properties in improvement of stainless steel 1Cr18Ni9Ti welded joints by plasma spray process ZHANG Zhong-ping, HUO Li-xing, WANG Dong-po, ZHANG Yu-feng (School of Materials Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China). p49-51, 57

Abstract Plasma sprayed coatings on the weld toe can modify the sectional dimensions of welded joints. It can also reduce the stress concentration of the toe. So the fatigue properties of the joints can be improved. The plasma spray process was used to improve fatigue properties of welded joints. The fatigue tests of the cruciform joints welded by TIG

welding of stainless steel 1Cr18Ni9Ti under tensile load ($R=0$) were carried out on the as welded, flame sprayed and plasma sprayed specimens. Fatigue tests results showed that plasma spray process was effective to improve fatigue life of cruciform joints. The fatigue strength of the as welded specimens was 169.8 MPa, and that of the flame sprayed and plasma sprayed specimens were 186.2 MPa and 213.8 MPa respectively. The fatigue strength of the plasma sprayed specimens had been increased by 25.9%, and that of the flame sprayed had been increased by 9.7%. The fatigue life of the plasma sprayed specimens was 1.58~9.62 times longer than that of the as welded ones, and that of the flame sprayed specimens was 1.55~1.97 times longer.

Key words plasma-spray process; fatigue strength; 1Cr18Ni9Ti welded joint

On-line quality estimation of resistance spot welding based on extraction of signals feature ZHANG Peng-xian, ZHANG Hong-jie, MA Yue-zhou, CHEN Jian-hong (College of Materials Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China). p52-57

Abstract For estimating joint quality of resistance spot welding, joint tensile-shear strength was taken as a kind of evaluation criterion. Welding current, dynamic resistance and electrode displacement signals were simultaneously monitored and collected in welding process. Through character analysis, several characteristic parameters relating to the weld quality were extracted from the three signals. At the same time, based on the correlation analysis results between the parameters and weld strength, 7 characteristic parameters were selected to taking as the characteristic pattern of welding process. All characteristic patterns were converted into two-dimension pattern vectors, which were accessed by the computers. Then those patterns were classified according to different welding current. At last, a kind of estimating model of Hopfield neural network was established on the mapping of different pattern vectors and joint strength. Network test results indicated that Hopfield neural network model could get satisfactory effect in resistance spot welding (RSW) quality on-line evaluation.

Key words resistance spot welding; feature extraction; data generalization; Hopfield neural network; pattern recognition

The mechanism for vibratory stress relief of stainless steel RAO De-lin, CHEN Li-gong, NI Chun-zhen, ZHU Zheng-qiang (School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China). p58-60, 64

Abstract The cyclic strain and stress of 304L stainless steel welded specimens were investigated on material testing system. To simulate