

基于 SAM 的不锈钢点焊接头无损检测

孙鑫宇 曾凯 何晓聪 张龙 胡伟

(昆明理工大学机电工程学院, 昆明 650500)

文 摘 运用超声波扫描显微镜(SAM)对 1 mm 厚 SUS304 不锈钢薄板点焊接头进行无损检测,分析不同焊接工艺条件下的 C 扫描图像,并对 C 扫描图像各特征区域的 A 扫描信号进行采集、分析,研究两者间的对应关系,通过超声波 C 扫描成像法对焊核直径进行测量。结果表明:超声波扫描显微镜可以检测不锈钢点焊接头缺陷,并通过 C 扫描图像区分缺陷类型;在电极压力为 0.15 MPa、焊接电流大于 8 kA 时,C 扫描图像可以清楚的反映飞溅、过烧等缺陷;C 扫描图像各特征区域表现出不同的 A 扫描信号特征;基于超声波 C 扫描测量的焊核直径为 4.39 ~ 5.25 mm。

关键词 SUS304 不锈钢,点焊接头,超声波 C 扫描,A 扫描

中图分类号:TG115.28

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.06.017

Nondestructive Testing of Spot Welded Joints of Stainless Steel Based on Scanning Acoustic Microscope

SUN Xinyu ZENG Kai HE Xiacong ZHANG Long HU Wei

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500)

Abstract Non-destructive testing of spot weld joints on 1 mm thick SUS304 stainless steel sheet is carried out by the scanning acoustic microscope(SAM). The C-scan images under different welding process are analyzed, and A-scan signals in the specific parts of the C-scan images are collected and processed. Then the relationship between them is analyzed. The diameter of the spot weld is measured through ultrasonic C-scan imagery method. The result show that SAM can be used to inspect the flaws of spot welded joints. The C-scan images can be used to distinguish the type of inner defects. When the electrode force is 0.15 MPa and the welding current is 8 kA or above C-scan images can clearly reflect the splash and burnt and so on. The A-scan signals of the specific parts of the ultrasonic C-scan images are different. The diameter of the spot weld are in the range of 4.39 to 5.25 mm based on ultrasonic C-scan imagery method.

Key words Stainless steel, Spot welded joints, Ultrasonic C-scan, Ultrasonic A-scan

0 引言

电阻点焊在车辆和航空等工业领域得到广泛应用^[1-2]。电焊接头质量的检测方法多以破坏性试验为主,其检测效率低、准确性差、成本高^[3]。随着检测技术的不断提高,对点焊接头进行无损检测日益受到重视。近年来,国内外已有学者针对点焊接头的无损检测开展了探索性研究。刘凯等^[4]通过分析不同区域超声波 A 回波信号特征检测 LF6 铝合金点焊熔

核质量。钱昌明^[5]采用图像模式识别法研究了镀锌双相钢 DP780 点焊接头,结合接头缺陷对应的回波特征值范围建立了双相钢点焊熔内部缺陷智能识别方法。M. Thornton 和 L. Han 等^[6]对 AA5754 铝合金点焊接头进行超声 C 扫描检测,认为 C 扫描技术可以提供点焊熔核尺寸及形状的信息。陈振华等^[7]对镀锌薄板点焊接头进行超声波 C 扫描检测,认为通过图像特征能够判断点焊接头焊接质量。已往的研

收稿日期:2015-07-07

基金项目:国家自然科学基金项目(51565022);昆明理工大学分析测试基金(20150575)

作者简介:孙鑫宇,1989 年出生,硕士,主要从事材料连接及质量检测分析、结构可靠性设计。E-mail:xinyusun789@163.com

通讯作者:曾凯,硕士生导师,主要从事材料连接及质量检测分析、结构可靠性设计。E-mail:kmzk20110239@163.com

究显示:通过超声波 A 扫描回波信号和 C 扫描图像均可以检测点焊接头质量,却鲜有报道不同焊接工艺条件下点焊接头的超声扫描图像特征。

本文借助超声波扫描显微镜对 SUS304 不锈钢点焊接头开展无损检测分析,研究不同焊接工艺参数下,焊核内部典型焊接缺陷的 C 扫描图像演变特征及其对应的 A 扫描信号变化特征。

1 实验原理及方法

1.1 超声波检测系统

实验采用的是水浸超声聚焦直入射法,其原理是聚焦探头发射出的超声波垂直工件表面入射,在水与工件界面发生折射,使得超声波在工件内二次聚焦,然后利用此聚焦点对工件内部检查^[8],检测系统如图 1 所示。

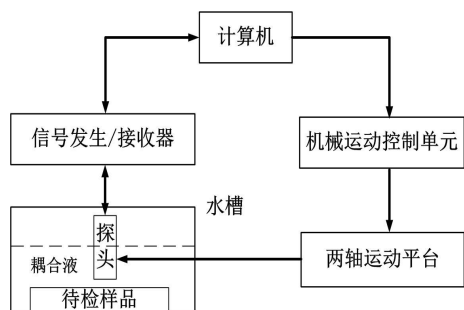


图 1 超声波检测系统框架图

Fig. 1 Framework diagram of ultrasonic inspection system

实验采用的超声波检测系统的探头频率为 15 MHz,分辨率为 95 μm ,扫描轴重复精度为 $\pm 0.5 \mu\text{m}$,步进轴和聚焦轴的分辨率为 $\pm 0.2 \mu\text{m}$,脉冲收发器带宽 5 ~ 500 MHz,数据采集卡频率 1 G sample/s。检测时,通过调节运动控制单元使探头其位于点焊接头正上方,通过上下移动探头聚焦获得 A 扫描波形,在理想波形上添加表面门和数据门后进行检测,直至获得清晰的 C 扫描图像。

1.2 试件制备及超声成像

试验材料为 1 mm 厚的 SUS304 不锈钢薄板,连接试样尺寸 110 mm \times 20 mm。实验中,选取对焊接质量影响较大的焊接电流和电极压力作为变化参数进行焊接。具体的焊接工艺如表 1 所示,在不同工艺参数下共做了 12 组实验,每个工艺参数 8 个试件。

表 1 焊接条件

Tab. 1 Welding conditions

系列	焊接电流 /kA	焊接时间 /周	电极压力 /MPa
1	4	4	0.15 ~ 0.45
2	4 ~ 9	4	0.4

焊后,通过超声波扫描显微镜对点焊接头进行检测,分别提取扫描所得的 C 扫描图像和 A 扫描波形,宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015 年 第 6 期

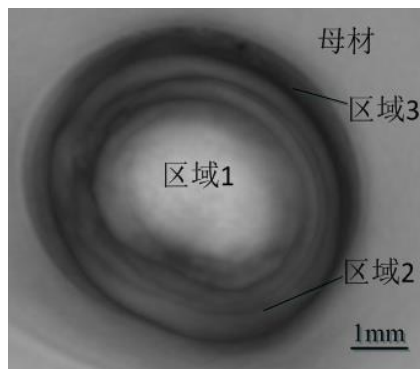
分析 C 扫描图像在不同焊接工艺条件下的变化特征,研究 C 扫描图像各特征区域以及飞溅、过烧缺陷与其 A 扫描信号波形的对应关系。

2 结果及分析

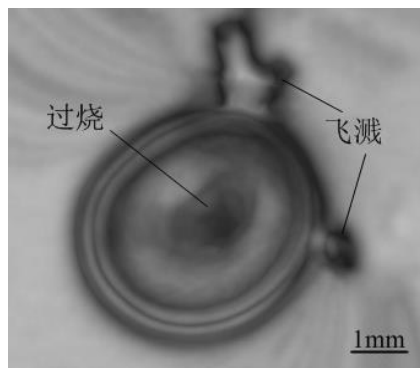
外观上,当焊接电流达到 8 kA 时,焊核表面中心部位开始变黑,当焊接电流为 9 kA 时焊核中部出现严重的过烧现象。随着焊接电流增大,产生的热量增多,形成的液态金属增多,使得母材间搭接缝隙呈增大的趋势,且随着电流的改变其变化较大;而当电极压力较小时,焊核表面边缘有明显黑圈,母材间几乎无搭接缝隙,当电极压力达 0.3 MPa 时,母材间逐渐出现缝隙,与焊接电流变化引起的搭接缝隙相比,由电极压力引起的缝隙变化较小。

2.1 超声波 C 扫描图像分析

典型的 C 扫描图像如图 2 所示,结合 C 扫描图像和 A 扫描回波信号特征可将焊核区分为如图 2(a) 所示 4 个区域。通过 C 扫描图像不仅可以观察到点焊接头的内部各成形区的部位和形状,而且能够观察到焊接过程中产生的过烧和飞溅的部位和形状。图 2(b) 为焊接过程中产生的飞溅和过烧现象的 C 扫描图像。



(a) 典型图



(b) 缺陷图

图 2 点焊超声 C 扫描图像

Fig. 2 Ultrasonic C-scan image of spot welding

不同焊接工艺参数下的 C 扫描图像如图 3 所示,点焊接头内部的熔合状态通过 C 扫描图像可以清楚的表现出来。随着电极压力的增大,区域 1 的界

线越来越明显,区域3逐渐变窄,区域2和区域3的界线逐渐变得清晰;随着焊接电流的增大,伴随着产

生大量的热量,使得区域1的界线逐渐明显,区域2和区域3的界线逐渐模糊。

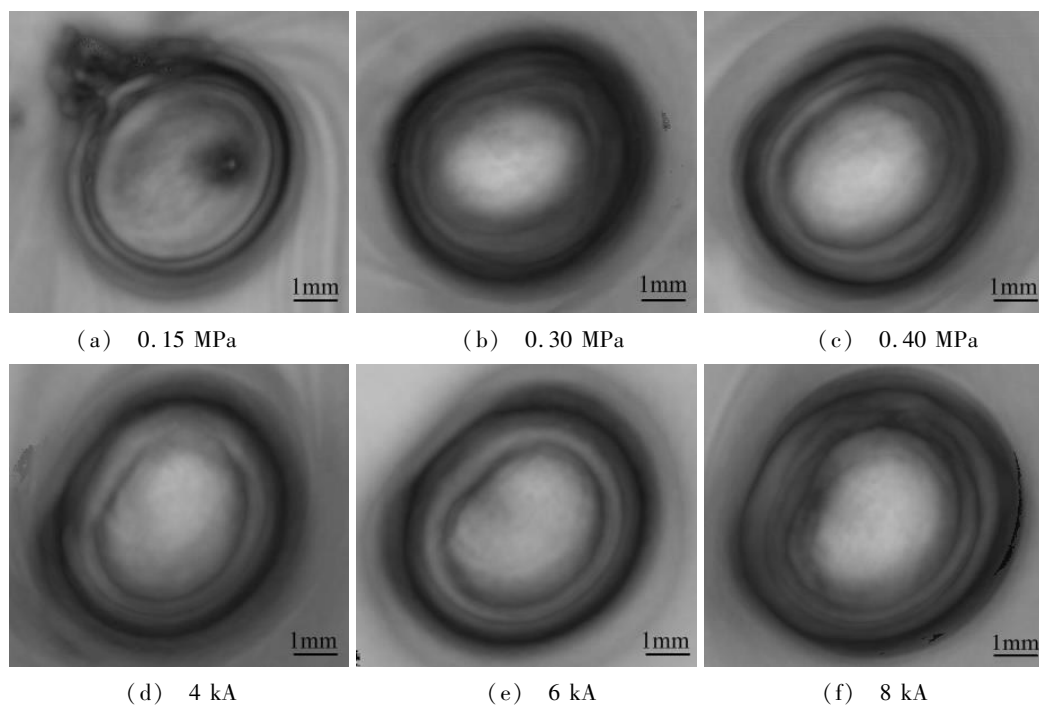


图3 不同焊接参数下C扫描图

Fig. 3 C-scan images in different welding conditions

分别通过C扫描图像测量法和破坏性试验法对焊核直径进行测量,结果如图4和图5所示。由测量结果可知,C扫描图像法的测量值偏大,其测量误差为2.6% ~ 5.3%,由于探头的分辨率为95 μm,故测量误差在可接受的范围内。

重。这是由于电极压力较小时,电极与试件的接触面积较小,单位面积产生的电阻热大于焊核形成时所需,使得产生的液态金属扩张力大于塑性环的承受能力而产生飞溅现象。

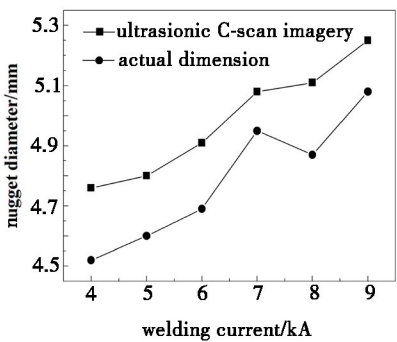


图4 不同焊接电流下的焊核直径

Fig. 4 Diameter of spot weld in different welding current

观察扫描图像及直径测量结果可知,随着焊接电流的增大,焊核直径逐渐增大,当电流达到8 kA时25%的试件产生飞溅现象;当电流达9 kA时,试件全部出现飞溅。由焦耳定律可知,电阻热与焊接电流的平方成正比,随着电流的增大,焊接过程中产生的电阻热使金属熔化,由于金属熔化的速度大于液态金属塑性环所能容纳的能力,使得液态金属突破塑性环而产生飞溅现象。随着电极压力变化,焊核直径的变化较小,当电极压力较小时试件产生飞溅现象较为严

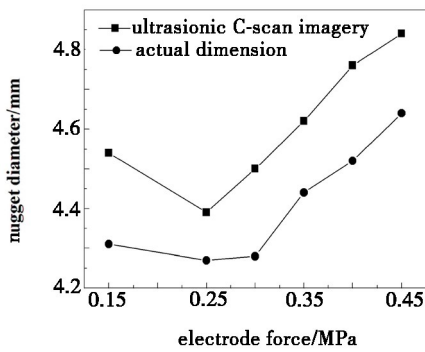


图5 不同电极压力下的焊核直径

Fig. 5 Diameter of spot weld in different electrode force

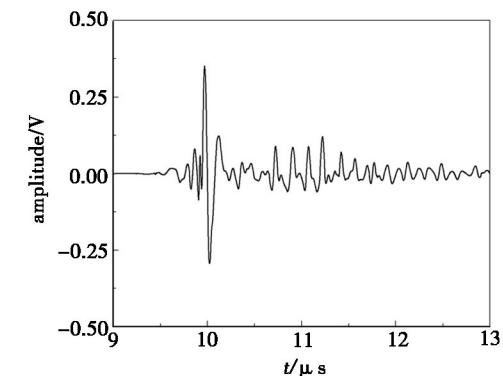
2.2 A扫描波形分析

通过实验可得,不同点焊区域以及点焊缺陷对应不同的A扫描波形曲线,具体反映在波峰间隔、波形幅值、波形衰减等特征参数。通过分析各特征参数,研究点焊接头各特征区域的内部特征。

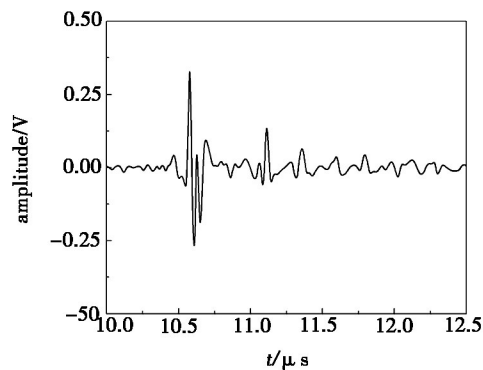
分别提取图2所示其他各特征区域的A扫描波形如图6所示。图6(a)是SUS304不锈钢母材的A扫描波形,其表面门波形幅值较大,为完全透射,数据门回波波峰间隔较为均匀,且回波的正负幅值大致相同,说明回波通过区域为同一厚度的相同材料。随着

超声波在工件中传播,一部分声波经底面反射回探头,另外一部分则折回底部后再被探头吸收,如此往

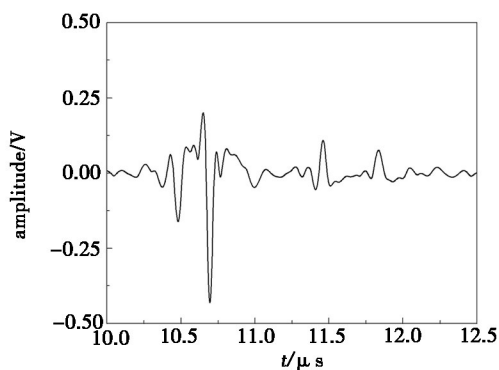
复进行,直至声波能量耗尽为止。



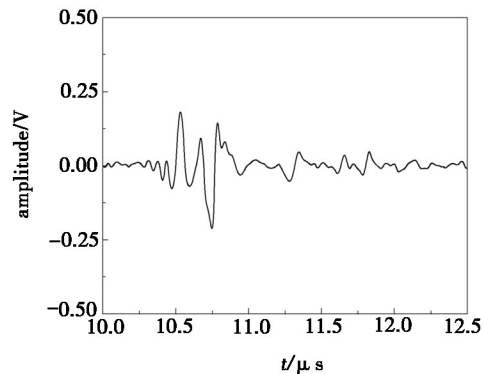
(a) 母材区域



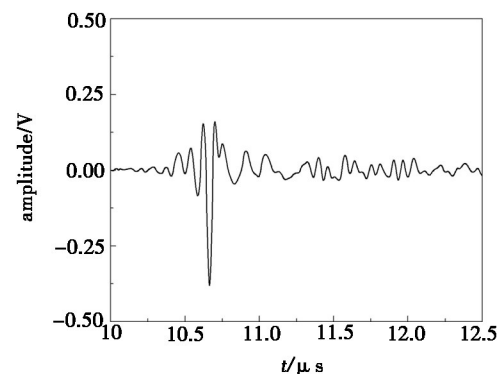
(b) 区域 1



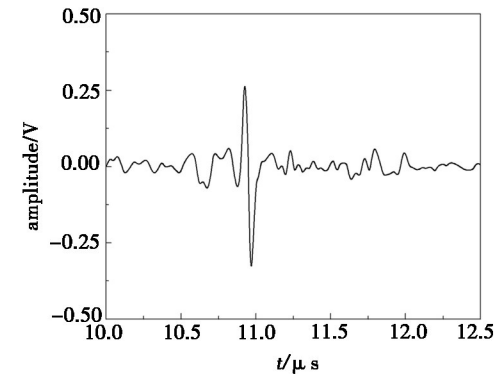
(c) 区域 2



(d) 区域 3



(e) 飞溅区



(f) 过烧区

图 6 特征区域的 A 扫描信号

Fig. 6 A-scan signals of characteristic region

图 6(b)可知,A 扫描表面回波幅值较大,声波为完全透射,数据门回波波峰间隔大致相同且均匀,但是,数据门波形幅值衰减较快,这是由于在焊核处的物质相同,但是晶粒相对较大而造成的。

图 6(c)(d)可知,A 扫描表面回波幅值较小,波形未完全透射,数据门回波波峰间隔相差较大,反射波形幅值较小。区域 2、区域 3 的 A 扫描信号反映的是探头从点焊凹坑向外移动的过程,当声波移动到斜坡的时候,声波在斜坡上发生曲面反射现象而不能再次被探头接受,如此往复进行,使得反射波的损失越来越大,导致反射波幅值较小。同时,由于凹坑斜坡的

影响,使得反射声波通过的距离也不同,导致该区域的 A 扫描回波波峰间隔相差较大。

图 6(e)(f)可知,当声波扫描飞溅区时,声波通过飞溅射入基板,由于受到基板间的飞溅物影响,使得 A 扫描幅值降低,同时,反射波是经过复杂叠加后形成的,回波信号较为复杂。过烧区波形衰减较大,幅值较小,波形极为不规则,这是由于焊接过程中产生过量的热量,使得在区域 1 中该区域的晶粒组织发生变化而产生的。

(下转第 90 页)