

钛合金胶接点焊接头的性能检测

张 龙 曾 凯 何晓聪 孙鑫宇 邢保英

(昆明理工大学机电工程学院,昆明 650500)

文 摘 研究了不同焊接电流下钛合金板胶接点焊接头的 A 扫描信号和 C 扫描图像特征,并进行了拉伸-剪切试验。结果表明:通过观察 C 扫描图像的特征与 A 扫描信号的变化,能够划分胶接点焊接头的胶层区、热影响区、熔合区、熔核区以及焊接缺陷;随着电流(7~10 kA)的逐渐增大,接头熔核直径呈递增趋势,相应的失效载荷从 7 231.5 增加到 10 939.0 N;当电流为 7 kA 时,在 C 扫描图像上反映出飞溅缺陷,此时接头失效载荷远小于没有出现飞溅的接头,可见飞溅降低了胶接点焊接头的拉剪载荷。

关键词 胶接点焊,焊接电流,A 扫描信号,C 扫描图像

中图分类号:TG115.28

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2016.06.013

Performance Detection of Spot Weld Bonding Joints for Titanium Alloy

ZHANG Long ZENG Kai HE Xiacong SUN Xinyu XING Baoying

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

Abstract The quality of spot weld bonding in titanium alloy sheet metal was tested by using ultrasonic C-scan method. The specifics of the A-scan signals and the C-scan images were researched under different welding current. The tensile-shear tests were carried out to test the mechanical behavior of spot weld bonding. Results show that the characteristics of C-scan image and the change A-scan signal can divide adhesive, heat effected zone, melting area, nugget zone and weld defects. The nugget diameters of sport weld bonding increase with the increase of welding current, and the failure load average increase from 7 231.5 N to 10 939.0 N. When the current is 7 kA, it can get the information which includes splash and other weld defects from the ultrasonic C-scan image. The failure strength is less than the normal joints. The splash reduces the tensile shear load of the spot weld bonding joints.

Key words Spot weld bonding, Welding current, A-scan signals, C-scan images

0 引言

随着车用新型结构胶的开发及胶接性能的提升,胶接工艺已经受到众多汽车厂家的重视^[1],但是剥离强度差,并且老化寿命低又是胶接工艺的薄弱点^[2]。电阻点焊焊接速度快、易于实现自动化,而被用于航空航天、汽车制造业等行业^[3-4],但应力分布集中、疲劳性能差又是点焊的致命弱点。胶接点焊技术能够改善接头应力分布,提高单独的点焊接头的疲劳强度和扭转强度^[5],同时提高了接头剥离强度,克服了胶接接头由于冲击发生脆性断裂所带来的危险性。目前,针对胶接点焊接头,国内外学者已经进行

了一些研究。DARWISH 等^[6]分析了透胶胶焊和毛细作用胶焊两种工艺条件下试件的焊接质量及微观结构,DARWISH^[8]利用有限元数值模拟建立了胶接点焊接头的二维有限元模型,常保华^[7]在此基础上建立了胶接点焊接头的三维有限元模型,并且考察了板厚、板宽、搭接长度、弹性模量、焊点间距等对胶接点焊接头的影响,赵波等^[9]将接头的焊点视作大剪切弹性模量黏接剂,将其视为胶接接头,建立并分析了多焊点情况下接头的应力解析模型,分析了多焊点情况下该接头的参数及应力分布。胡文全等^[10]针对当前胶焊的不足,通过加入相应的铝粉来解决黏接剂

收稿日期:2016-01-06;修回日期:2016-07-12

基金项目:国家自然科学基金资助(51565022,51565023)

作者简介:张龙,1990 年出生,硕士,主要从事材料的成型连接及可靠性设计的研究。E-mail:1028699470@qq.com

通讯作者:曾凯,博士,硕士研究生导师。E-mail:kmzk201109@163.com

导电的问题,建立正交试验,对 Q235 薄钢板胶接点焊接头工艺性能进行了研究。

本文借助于超声波扫描显微镜,分析了不同焊接电流下获得的钛合金胶接点焊接头的超声波 C 扫描图像特征,从接头的区域划分、直径测量、缺陷检测等方面分析接头的质量,并对试件进行了拉伸-剪切试验。

1 实验

1.1 材料及设备

TA1 钛合金板材。根据 GB/T 228—2002,使用美国 MTS 公司的 Landmark-100 电液伺服材料试验机板进行力学性能测试,拉伸速率为 2 mm/min。

1.2 试件制备

采用单搭透胶胶接点焊试样,连接尺寸为 110 mm×20 mm×1.5 mm;黏接剂为环氧树脂(Cu-211 铜粉导电胶,二者按 1:1 混合)。用无水酒精对板材进行脱脂处理,待干燥后涂抹黏接剂,其粘接面积为 20 mm×20 mm。在粘接层中加入两段细铜丝,厚度控制在 0.20 mm。粘接完成后,采用 MD-60 双缸中频逆变式点焊机对 TA1 板粘接中心处进行连接,之后将试件放在恒温箱中常温固化 24 h。粘接厚度及搭接长度不变,采用不同的焊接电流,将被连接材料分为 3 组,每组电流下选取 4 个试件,相关参数见表 1。

表 1 试件工艺参数

Tab.1 Specimens processing parameters

试件	电流/kA	电极压力/ 10^5 Pa	时间/ms
1 [#]	7.0	4	60
2 [#]	8.5	4	60
3 [#]	10.0	4	60

1.3 超声检测

采用超声波水浸聚焦入射法对固化好的试件接头进行超声成像检测,检测参数为:探头的分辨率为 0.95 μ m,采样频率为 30 MHz,工作频率为 15 MHz,焦距为 19.05 mm,增益为 5。

1.4 拉伸-剪切试验

参照 GB/T 2651—2008,对扫描好的 3 组试件进行拉伸-剪切试验。为了减小试验过程中试件产生的附加弯矩,在试件两端加持 30 mm×20 mm×1.5 mm 垫片,拉伸速率为 5 mm/min。

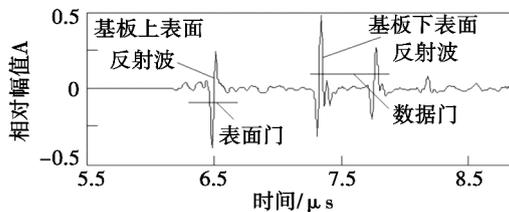
2 结果及分析

2.1 A 扫描信号的分析

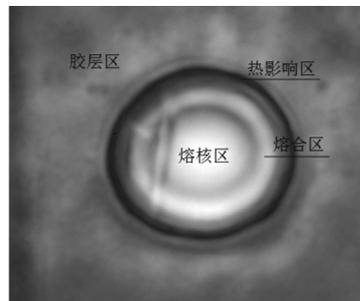
调节探头使其位于接头正上方,将探头焦点聚于

基板下表面来获得 A 扫描信号,调节信号增益,使被测试件待测界面的峰值为 A 扫描信号测量范围为 60%~80% [图 1(a)]。第一组回波为待处理波形,为基板上表面反射波,在此处添加前表面门,而 C 扫描的门槛位于下表面反射峰值附近,宽度约 0.4 μ s,在此处添加数据门。

通过以上获得的 A 扫描信号对接头进行超声 C 扫描成像检测,得 TA1 板接头的超声 C 扫描图像 [图 1(b)]。观察 C 扫描图像,按照 C 扫描图像中各特征部分的 A 扫描信号的波形变化特征,可将 C 扫描图像划分为 4 个区域:熔核中心的圆形白色区域为熔核区;熔核区外部介于两黑色区域之间的白色区域为熔合区;熔核最外层的黑色区域为热影响区;最外侧灰色的部分为胶层区。



(a) A 扫描信号

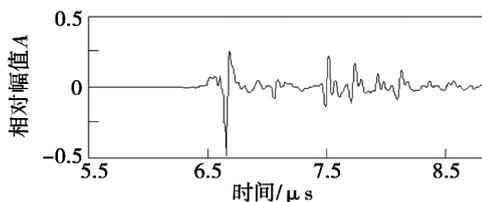


(b) C 扫描图像

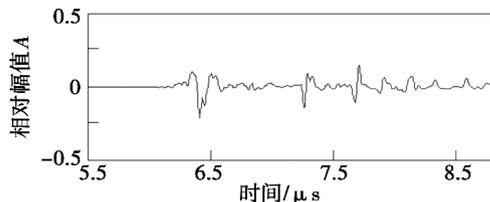
图 1 接头超声扫描信号

Fig.1 Ultrasonic scanning signals of spot welding

分别提取图 1(b)中各部分的 A 扫描图谱(图 2)。图 2(a)为粘接区域的胶层区的 A 扫描信号,该区域没有经过点焊,探头在平面内移动,保持着原始的胶层的信号。热影响区与熔合区信号 [图 2(b)~(c)]的变化对应了探头从胶层区到凹坑的移动过程:探头向凹坑移动时,声束进入凹坑的斜坡部分,声束在凹坑表面发生曲面反射,而使上表面接收的反射波降低。并且凹痕的深度使反射声束往返的时间增大,而使得热影响区与熔合区的声波幅值降低了。



(a) 胶层区



(b) 热影响区

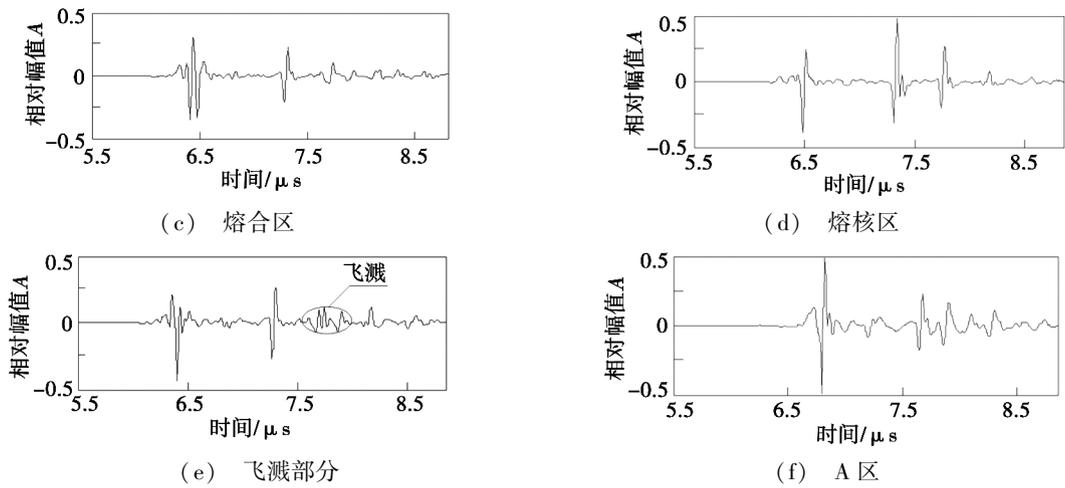


图2 特征区域的A扫描信号

Fig.2 A-scan signals of feature regions

进入熔核区的声束为熔核凹痕的平坦部分;边缘部分是由于小部分声束位于熔核斜坡发生散射所形成的,中心部分表示焦点截面完全位于熔核的平坦部分,此时反射波的降低是由于透射引起的,而斜坡的散射影响却很小[图2(d)],因此该区域扫描信号比较清晰,反射声波幅值也较大。

2.2 C扫描图像分析

图3为不同焊接电流下通过超声C扫描获得的接头内部图样。观察熔核的起始位置(凹坑的斜坡部位)分析斜坡部分来确定熔核直径的大小。在每组的4个试样中,选取C扫描图像熔核的内边缘边界作为各区域的起始点,测得熔核直径^[11][图3(b)],3

组试样测量均值分别为3.78、4.39、5.31 mm。由于点焊接头金相试样制作时,熔核区的形貌特征会很明显的显现出来,而熔合区及热影响区的形貌显现的并不明显,通过金相显微镜观察的金相截面并测量出的熔核直径应为熔核区的直径,而在C扫描图像中熔核区与熔合区的分界线并不明显,C扫描图像熔核直径的测量是以熔核区中内缘作为起始点,测量出的熔核直径将略大于金相实验中熔核区的直径。考虑探头的分辨率为95 μm,以及金相实验本身所带来的误差,能够确定熔核直径通过C扫描方法测量的可行性及准确性。

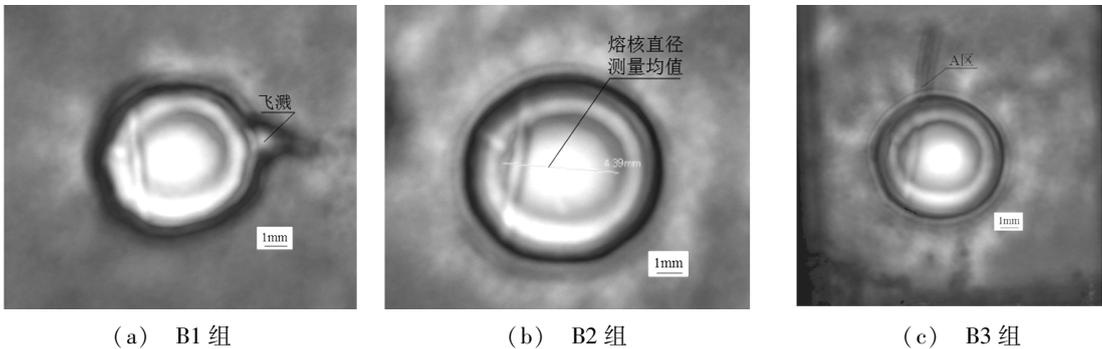


图3 熔核的C扫描测量图像

Fig.3 Spot welding nugget diameters in C-scan image

通过对胶接点焊熔核直径的测量及观察C扫描图像中有效的特征区域,可以看出随着焊接电流的逐渐增大,熔核直径呈递增趋势;并且在C扫描图像上,B1组能够清楚地反映出飞溅的焊接缺陷[图3(a)],A扫描信号图谱如图2(e)所示;图3(c)中A区部分看似飞溅,但与典型飞溅[图2(a)]有所差异,但是通过对比观察A区的A扫描信号图谱[图2(f)]与胶层区信号类似,因此可推断此处为胶层。

2.3 失效载荷分析

对每组胶接点焊接头进行重复性拉伸-剪切试验的载荷-位移曲线如图4所示,B1~B3组的失效载荷分别为7 231.5、9 862.3、10 939.0 N,标准差分别为322.2、589.0、250.7 N。为了验证试验结果的有效性,用格拉布斯(Grubbs)检验法(置信水平为95%)对试验结果进行验证。验证结果表明,各组接头静失效载荷数据有效,无异常值。

通过分析各组接头载荷-位移曲线,可以看出对于TA1板的胶接点焊接头来说,当电极压力及焊接宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2016年 第6期

时间不变时,随着焊接电流(7~10 kA)的增大,熔核直径呈递增趋势,而相应的失效载荷均值随着熔核直径的增加从7 231.5增加到10 939.0 N;当电流为7 kA时,接头出现飞溅[图3(a)],接头失效载荷均值

为7 231.5 N,远小于没有出现飞溅的B2组与B3组接头的9 862.3与10 939.0 N(图4),可见飞溅降低了胶接点焊接头的拉剪载荷。

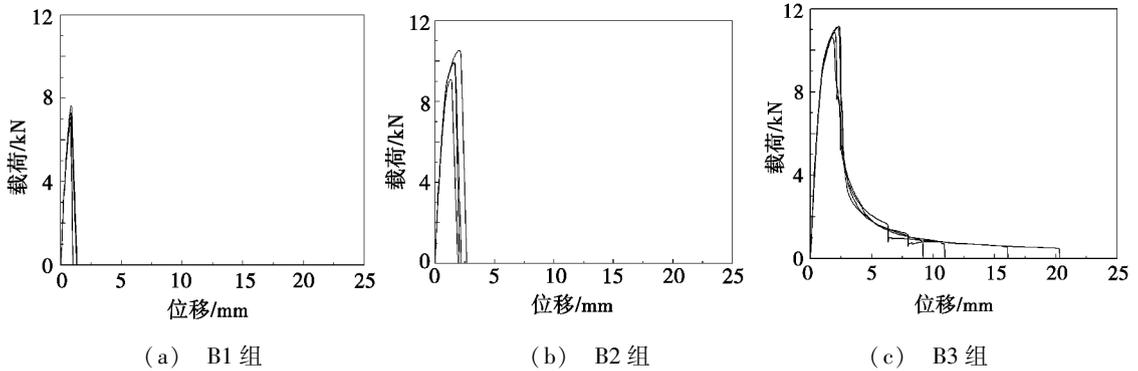


图4 接头载荷—位移曲线

Fig.4 Load-displacement curves of different joints

3 结论

(1)超声波水浸聚焦入射法能够较好地实现对胶接点焊接头的超声波A扫描与C扫描,通过观察C扫描图像的特征与A扫描信号的变化,能够很好的划分胶接点焊接头的胶层区、热影响区、熔合区、熔核区以及焊接缺陷。

(2)对于TA1板的胶接点焊接头来说,当电极压力及焊接时间不变时,随着焊接电流(7~10 kA)的逐渐增大,接头熔核直径呈递增趋势,相应的失效载荷从7 231.5增加到10 939.0 N。

(3)当电流为7 kA时,在C扫描图像上反映出飞溅缺陷,接头失效载荷均值为7 231.5 N,远小于没有出现飞溅的B2组与B3组接头的9 862.3与10 939.0 N,可见飞溅降低了胶接点焊接头的拉剪载荷。

参考文献

[1] 王华锋,王宏雁,陈君毅.胶接、胶焊与点焊接头剪切拉伸疲劳行为[J].同济大学学报,2011,39(3):421-426.
 [2] 殷勇,涂善东,朱进.胶焊单搭接接头长时力学性能分析[J].航空材料学报,2001,21(3):57-62.
 [3] WEI P S, WU T H. Electrical contact resistance effect on resistance spot welding[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2012, 55(11/12): 3316-3324.

[4] 胡德安,李晶晶,陈益平,等.热补偿法对不等厚铝合金点焊力学性能的影响[J].热加工工艺,2014,43(3):174-176.

[5] 方平,胡冬青,王杰,等.镀锌板胶接点焊工艺参数优化研究[J].热加工工艺,2011,40(11):112-114.

[6] DARWISH S, GHANYA A. Critical assessment of weld-bonded technologies[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 105(3): 221-229.

[7] AL-SAMHAN A, DARWISH S. Strength prediction of weld-bonded joints[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2003, 23(1): 23-28.

[8] CHANG B, SHI Y, DONG S. Studies on a computational model and the stress field characteristics of weld-bonded joints for a car body steel sheet[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 100(1): 171-178.

[9] 赵波,吕振华.多焊点情况下胶焊单搭接接头的静力分析[J].应用力学学报,2009,26(2):239-242.

[10] 胡文全,刘亚良,唐明忠.Q235薄钢板胶接点焊工艺及性能研究.热加工工艺,2011,40(23):161-163.

[11] 张龙,曾凯,何晓聪,等.基于超声波C扫描的SUS304不锈钢板点焊接头质量分析[J].宇航材料工艺,2016,46(2):71-75.