

# 焊条电弧焊仿真操作中运条轨迹的检测与评价

李 喆, 詹恒顺, 张建勋

(西安交通大学 金属材料强度国家重点实验室, 西安 710049)

**摘 要:** 针对可视化焊接模拟仿真系统中如何评定焊接操作水平问题, 设计了焊条电弧焊操作模拟训练平台, 包括模拟焊枪、模拟试板、图像检测模块、倾角传感器、主控计算机与评价系统, 实现了对焊工操作模拟中焊条轨迹实时位置的高精度检测; 从保证焊缝平直及控制焊接速度的原则出发提出了从直线度、均一度、均匀度、焊缝边缘停留时间和相似度等5个方面对焊接操作的运条轨迹进行分析与评价的方法, 并通过计算机编程已嵌入到可视化焊接模拟仿真系统中, 系统运行平稳。结果表明, 能够客观评价焊接操作者的技术水平。

**关键词:** 焊接培训; 模拟训练; 操作运条; 轨迹评价

**中图分类号:** C 434.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2014)09-0097-04

## 0 序 言

随着科学技术的不断发展, 虽然发展了各种自动焊技术, 但焊条电弧焊以其使用方便灵活, 在工业生产中的许多场合仍起着不可替代的作用。因此严格训练焊接操作者对于提高焊接产品质量具有重要的意义。

对于初学者而言, 焊接过程的弧光等问题对于其心理有一定的负面影响。此外焊接过程产生的紫外光、烟尘、废气、废渣都会对环境造成不同程度的污染。随着计算机技术的发展, 将仿真技术引入焊接培训已成为可能。虚拟焊接技术以其安全、环保、节能而倍受关注和期待, 逐渐成为焊接领域的研究热点之一<sup>[1]</sup>。德国、美国从70年代初期开始这方面的研究工作, 法国、希腊、澳大利亚、日本等国也在近几年开始这方面的研究, 并相继获得一定成果<sup>[2,3]</sup>。哈尔滨工业大学研制了一种单片微机控制的初级手弧焊工训练模拟器<sup>[4]</sup>, 是机电一体化的焊工训练仿真装置。吉林工业大学在1998年提出了焊接操作光学模拟训练系统<sup>[5]</sup>。西安交通大学从2005年起开发焊接操作模拟培训系统(han jie training system, HTS), 并已获得多项相关专利。HTS能够实现焊条电弧焊的操作培训, 可以在虚拟的场景中感受到包括烟尘、强光在内的非常逼真的焊接过程<sup>[6]</sup>。

文中设计了基于CCD(charge coupled device)双目成像检测的焊接操作中运条轨迹的检测系统, 提

出了焊接运条轨迹的评价技术。从运条轨迹的直线度、均一度、均匀度、焊缝边缘停留时间以及不同运条轨迹相似度对焊接操作技能进行分析评价。为以后研究焊接质量因素提供一个良好的参考依据。

## 1 焊接运条轨迹检测

图1为模拟焊接操作运条轨迹检测装置示意图。该装置的硬件包括主控计算机、模拟焊条、模拟试板、CCD摄像机、数据采集卡和显示器等。

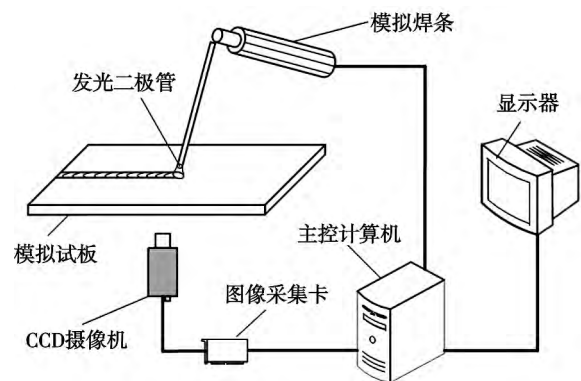


图1 模拟焊接操作运条轨迹检测装置示意图

Fig. 1 Schematic of a virtual welding device for tracking and analyzing welding activity

模拟焊接试板是由一块支撑玻璃, 一块透明导电玻璃以及遮光夹层构成。支撑玻璃作为模拟试板的主体, 不仅可以保证焊条下端部的信号光透过, 又可以通过漫反射削弱环境中方向性较强的干扰光。

遮光夹层覆盖在支撑玻璃上。有标记的遮光夹层可以使得 CCD 摄像机的安装、调试和标定更加方便,同时进一步削弱干扰光。透明导电玻璃覆盖夹层之上,一方面实现模拟引弧功能,同时也能起到保护夹层的作用。

模拟焊条的端部安置发光体,CCD 摄像机拍摄模拟焊条的运动光点。焊接操作中焊条轨迹检测主要由 CCD 摄像机完成。摄像机安装在模拟试板下方,并且通过图像采集卡连接至主控计算机。

### 1.1 模拟焊条位置的检测

首先将一帧图像中各个像素点的灰度值从内存中取出并存入数组。在数组中寻找灰度值最大的像素,并与相关阈值进行比较。在最大像素值大于阈值的情况下,系统开始分析所采集的数据。通过 CCD 芯片规格以及最大灰度值像素在数组中的编号就可以计算得出最大灰度值像素所对应的像素坐标。然后以最亮点为中心,定义一个 31 像素  $\times$  31 像素的跟踪区域。如图 2 所示,外围方框代表跟踪区域,小方格代表像素,圆圈代表亮点。图 2 中深色方块代为亮度最大的像素。一般情况下图像上的光斑一定包含在这个区域之内。通过对这个区域内的像素点进行分析处理,确定光斑所在位置,并根据亮点最上端和最下端以及最左端和最右端的像素坐标计算出亮点中心的像素坐标。最后将亮点的像素坐标进行存储,同时转化为实际坐标就能得到焊条的实时位置。

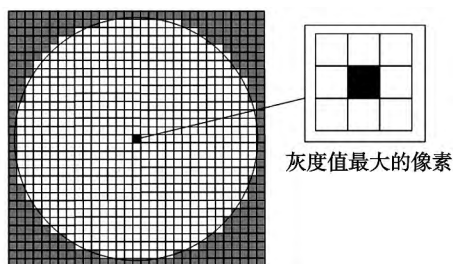


图 2 最亮点像素跟踪示意图

Fig. 2 Schematic of the most bright tracking pixel spot

### 1.2 运条轨迹图像处理

运条轨迹图像处理包括 2 个部分,噪音误差消除和运条轨迹编码。(1) 噪音误差的消除。由于环境中存在自然光等为背景光,在定位焊条端部的位置时采用光学检测会带来误差。譬如在实际检测过程中,当模拟焊条静止不动时,检测出的位置坐标还是存在微小的波动。通过观测和记录找出波动的范围  $M$ ,每次取当前的检测坐标  $P(x, y)$  与上一个循环检测坐标  $F(x, y)$  进行对比,若二者差的绝对值在  $M$

范围之内则认为该次检测结果的变动是由噪声干扰造成的,则取  $P(x, y) = F(x, y)$ 。(2) 运条轨迹编码。HTS 的运条轨迹是由摄像机拍摄光斑后由后台计算机进行处理而得到。由此可知 HTS 的轨迹具有时间性,由摄像机的前一帧坐标指向后一帧坐标。运条轨迹可以用一系列的矢量组成见图 3。其中各个矢量的方向反应运条轨迹的形状,矢量的大小则反应轨迹的大小。如图 3 中  $a$  为轨迹中的一个矢量。

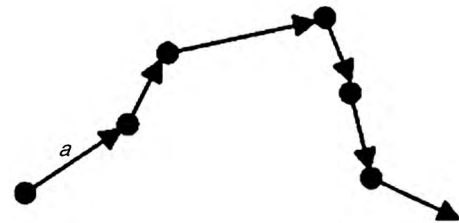


图 3 运条矢量分解示意图

Fig. 3 Schematic of a vector decomposition

在  $[-\pi, \pi]$  范围内涵盖平面内所有的矢量方向,因此可以将  $[-\pi, \pi]$  分为 12 等分,分别编号为  $\{1, 2, 3, \dots, 12\}$ 。将轨迹矢量的方向根据图 4 进行对应,从而使得每个轨迹矢量都能对应一个编号。通过此方法可以将一条运条轨迹的方向变化以编码的方式表示出来,即通过编码的方式将轨迹的形状信息提取出来<sup>[7-9]</sup>。另外运条轨迹是周期图形,每条轨迹都可以看作是某一周期图形的重复如图 5 所示,因此转化出的编码也将呈现出一定的周期性。

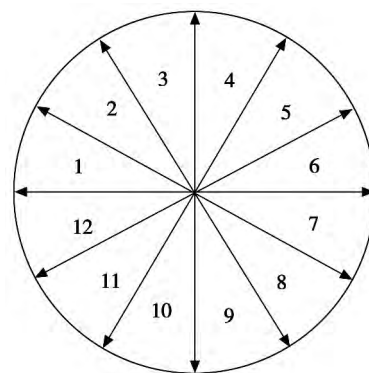


图 4 矢量编码原理示意图

Fig. 4 Schematic of vector encoding principle



图 5 标准月牙形运条轨迹

Fig. 5 Transport track of standard crescent-shaped

将运条轨迹分割为周期后再进行分析,这是运条轨迹分析评价的基本思路。通过轨迹编码可以方便的以数字的方式完成运条轨迹周期划分。

## 2 运条轨迹评价

焊接运条过程一般分3个基本运动,沿焊条中心线向熔池送进、沿焊接方向移动和横向摆动。焊条向熔池方向送进的目的是在焊条不断熔化的过程中优质弧长不变。焊条回抽速度应与焊条的熔化速度相同,否则会发生断弧或焊条与焊件粘结现象。焊条沿焊接方向移动,是为了控制焊道成形。焊条移动速度(焊接速度)过快或过慢会出现焊道较窄、未焊透或焊道过高、过宽甚至出现烧穿等缺陷。

针对焊接运条的水平,HTS运条评价系统从以下几个方面进行评价,直线度、均匀度、均一度、焊缝边缘停留时间以及相似度。对于单条轨迹评价主要考虑前4个方面的评价,而对于不同运条轨迹则更关注相似度的评价。

### 2.1 轨迹的直线度

轨迹的直线度主要考察焊工在操作过程中保持焊缝平直的能力。也即各个周期中心在 $y$ 方向的大小。如图6所示,其中 $\alpha$ 为焊工操作的一条锯齿形运条轨迹,整条轨迹由几个如图6中 $\gamma$ 的山峰形周期图形组成。由运算可以得到每个山峰的中心如图6中 $\beta$ 点。可以得出各个周期中心在 $y$ 方向的大小不同,而各个中心点在 $y$ 方向的方差反映了中心点连线的直线度。直线度的评价即为中心点 $y$ 坐标的方差,进一步将方差大小对应到5个数段中,从而将运条操作划分为1~5级,反映焊工控制焊缝平直的水平。



图6 直线度相关轨迹

Fig. 6 Related track of Straightness

### 2.2 轨迹的均一度

轨迹的均一度主要考察焊工操作时对于焊接速度的控制技能。即轨迹 $x$ 方向上单位距离内周期的个数。图7为不均匀焊接速度产生的运条轨迹,可以观察到,在焊接速度过慢区域图7中 $\delta$ 区,周期图形较多,周期中心连线较短;而在焊接速度过快区域如图7中 $\varepsilon$ 区,周期图形较少,周期中心连线较长。因此可以用周期中心连接图7中 $\eta$ 的长度来反映整

条轨迹的均一度。均一度的评价即为各个周期中点之间的距离的方差,进一步将方差大小对应到5个数段中,从而将运条轨迹划分为1~5级,反映焊工控制焊接速度的水平。

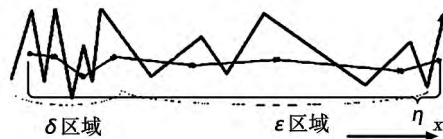


图7 不均匀焊接速度产生的运条轨迹

Fig. 7 Track of non-uniform welding speed

### 2.3 轨迹的均匀度

轨迹的均匀度主要考察焊工控制焊缝宽度的水平。即周期图形面积的大小。图8为面积计算方法,其中图8a为锯齿形轨迹周期,图8b为月牙形轨迹周期,无论轨迹周期外形如何,通过连线法可以将周期图形分为若干三角形,然后利用三边法求出每个三角形面积,再求和。均匀度的评价即为对周期图形的面积求方差,进一步将方差大小对应到5个数段中,从而将运条操作划分为1~5级,反映焊工控制焊缝宽度的水平。

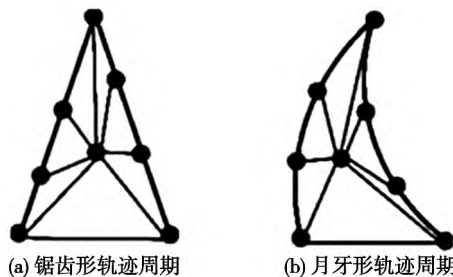


图8 面积计算方法

Fig. 8 Method of area calculation

### 2.4 焊缝边缘停留时间

焊缝边缘停留时间考察的是焊工在运条操作中是否在焊缝的边缘保持了合理的停留时间,否则时间不够容易导致未熔合,而时间过长又容易导致咬边。HTS在检测位置坐标时是按一定周期 $T$ 执行的,从而任意两个相邻数据坐标点的采样时间都是 $T$ ,并且停留点一定在焊缝边缘之上。因此只要统计焊缝边缘上最值点周围一定范围内数据点的个数 $k$ 就可以统计出焊缝边缘停留时间 $t(n) = Tk$ 。图9为焊缝边缘停留时间,其中 $\lambda$ 为实际的停留时间点, $\mu$ 为标准停留时间线。

焊缝边缘停留时间的评价即为对比焊工在焊缝

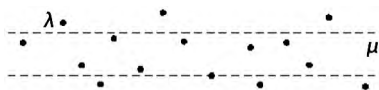


图 9 焊缝边缘停留时间

Fig. 9 Retention time of weld edge

边缘实际停留时间与标准时间,计算出标准停留时间内的最值点占有最值点的百分比,进一步将百分比对应到 5 个数段中,从而将运条操作划分为 1 ~ 5 级,反映焊工控制焊缝成形的水平。

## 2.5 轨迹的相似度

轨迹的相似度主要反映不同焊接轨迹在外形上的相似程度。由前面介绍的运条轨迹编码可知,每条轨迹可以转换为 1 ~ 12 的轨迹数字编码,形成轨迹链码。不同运条轨迹的各链码值个数占全体链码值个数的百分比不同。如图 10 为不同链码值所占百分比示意图,而且不同运条轨迹的饼图不同。对比不同轨迹各链码值所占百分数  $\{P(n) | n = 1, 2, 3, \dots, 12\}$  和  $\{Q(n) | n = 1, 2, 3, \dots, 12\}$ , 取  $S = \sum \min \{P(n), Q(n) | n = 1, 2, 3, \dots, 12\}$  为最终对比结果且一定  $0 \leq S \leq 1$ 。S 反映了两条运条轨迹在外形上相似的程度。

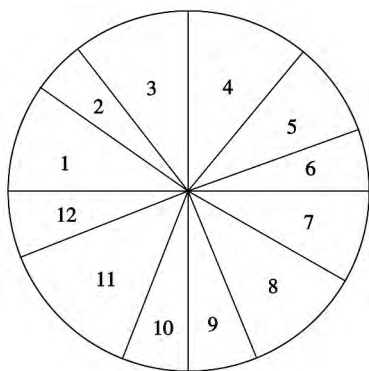


图 10 链码值百分比示意图

Fig. 10 Schematic of Chain code percentage

S 反映了两条运条轨迹在外形上相似的程度,两个形状完全相同,大小不同的轨迹对比得到的 S 值为 1,而完全不同的轨迹得到的 S 为 0,剩下绝大部分轨迹都具有不同程度的相似度。

## 3 运条轨迹评价系统实现

运条轨迹的检测与评价程序基于 VB. Net 平台开发,采用 VB2005 作为编程语言,容易实现简洁的软件界面。系统开发了专门的运条训练界面。在观

摩正确运条手法的同时,临摹系统给出的理想的运条轨迹,就像练习书法一样,通过不断的重复练习,最终练成合格的运条手法。

在对焊工运条操作做出具体直观的反映之后,系统会对这些操作进行评价。一方面,系统会基于检测的数据进行评价,比如根据检测到焊工焊接操作熄弧次数可以判定操作是否得当。另一方面,在对不同运条方式分类的基础上,向系统中植入熟练焊工焊接操作的运条轨迹作为标准轨迹,通过对比焊工运条操作轨迹于标准轨迹来判定焊工的运条操作的熟练程度。

## 4 结 论

(1) 引入仿真技术,实现了可视化焊接模拟仿真,并对焊工操作模拟焊条轨迹的高精度检测,提高了焊工的技术水平,缩短培训时间,节约能源。

(2) 在可视化焊接模拟仿真系统中提出的一系列运条轨迹的评定标准,可以实时并且科学的对焊工的操作技能进行分析与评价。

### 参考文献:

- [1] 张建勋,夏庆. 现代焊接技术教育与培训新模式探索与研究[J]. 焊接, 2011(6): 4-8.  
Zhang Jianxun, Xia Qing. The exploration and research on new modes of education and training of modern welding technology [J]. Welding & Joining, 2011(6): 4-8.
- [2] Dalto D L, Benus F, Balet O. The use and benefits of virtual reality tools for the welding training [C] // 63rd Annual Assembly & International Conference of the International Institute of Welding, Istanbul, Turkey, 2010: 8-13.
- [3] 姚玉辉,张建勋,薛金保,等. HTS 焊接模拟培训系统的现状与发展[J]. 电焊机, 2011, 41(10): 52-55.  
Yao Yuhui, Zhang Jianxun, Xue Jinbao, et al. Introduction of the virtual welding training system (HTS) [J]. Electric Welding Machine, 2011, 41(10): 52-55.
- [4] 武传松,王晓明,文春明. DMX-I 型电子模拟式手弧焊工训练器[J]. 焊接学报, 1992, 13(2): 67-72.  
Wu Chuansong, Wang Xiaoming, Wen Chunming. Model DMX-I electronic-simulated SMAW welder trainer [J]. Transactions of the China Welding Institution, 1992, 13(2): 67-72.
- [5] 张铁强,郑咏梅,郭山河. 焊接操作光学模拟训练系统研究[J]. 光学技术, 1998(2): 64-66.  
Zhang Tieqiang, Zheng Yongmei, Guo Shanhe. Study of optic simulation training system on the welding operation [J]. Optical Technology, 1998(2): 64-66.
- [6] 高向东,罗锡柱. 一种基于图像质心的焊缝跟踪新方法[J]. 焊接学报, 2003, 24(6): 15-18.

### 3 结 论

(1) 在室温下浓度为 5% NaCl 溶液中,通过静态失重法得到 AZ31 母材和焊缝的平均腐蚀速率分别为 0.154 和 0.135 g/(m<sup>2</sup>·h)。

(2) 在相同条件的腐蚀介质中,通过动电位极化曲线及交流阻抗谱测得 AZ31 镁合金母材和焊缝的腐蚀电流分别为 0.001 63 和 0.000 45 A/cm<sup>2</sup>,极化电阻分别为 9.553 和 12.61 Ω/cm<sup>2</sup>。进一步证明了与 AZ31 母材相比,焊缝的耐蚀性更强。

#### 参考文献:

- [1] 冯吉才,王亚荣,张忠典. 镁合金焊接技术的研究现状及应用[J]. 中国有色金属学报,2005,15(2): 165-178.  
Feng Jicai, Wang Yarong, Zhang Zhongdian. Status and expectation of research on welding of magnesium alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2005, 15(2): 165-178.
- [2] Thomas W M, Nicholas E D, Needham J C. Friction stir butt welding: GB, 9125978. 8[P]. 1991-12-01.

- [3] 陈 影,付宁宁,沈长斌,等. 镁铝异种金属搅拌摩擦焊接接头组织与性能分析[J]. 焊接学报,2012,33(7): 93-96.  
Chen Ying, Fu Ningning, Shen Changbin, et al. Microstructure and properties of dissimilar materials Mg/Al lap joint by friction stir welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2012, 33(7): 93-96.
- [4] 黄永宪,韩冰,吕世雄,等. 基于固态连接原理的填充式搅拌摩擦焊匙孔修复技术[J]. 焊接学报,2012,33(3): 5-8.  
Huang Yongxian, Han Bing, Lü Shixiong, et al. Filling friction stir welding for repairing keyhole based on principle of solid state joining[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2012, 33(3): 5-8.
- [5] 沈长斌,陈 影,葛继平. 钼酸钠对 2024 铝合金及搅拌摩擦焊焊缝缓蚀效率的影响[J]. 焊接学报,2012,33(3): 93-96.  
Shen Changbin, Chen Ying, Ge Jiping. Effect of sodium molybdate on corrosion behavior of 2024 and its weld joint by FSW[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2012, 33(3): 93-96.
- [6] 魏宝明. 金属腐蚀理论及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.

**作者简介:** 沈长斌,男,1972 年出生,博士,副教授. 主要从事金属腐蚀与防护研究. 发表论文 50 余篇. Email: shenchb@jtu.edu.cn

#### [上接第 100 页]

- Gao Xiangdong, Luo Xizhu. An image centroid method for seamtracking in gas tungsten arc welding[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2003, 24(6): 15-18.
- [7] 张 兵,卢焕章. 序列图像中运动点目标轨迹检测算法研究[J]. 电子学报,2004,32(9): 1524-1526.  
Zhang Bing, Lu Huanzhang. The detection algorithm for moving point target trajectory in image sequences[J]. Acta Electronica Sinica. 2004, 32(9): 1524-1526.
- [8] 梁志敏,高洪明,王志江,等. 摄像机标定中亚像素级角点检测算法[J]. 焊接学报,2006,27(2): 102-104.  
Liang Zhimin, Gao Hongming, Wang Zhijiang, et al. Algorithm of sub-pixel corner detection in videocamera[J]. Transactions of the

China Welding Institution, 2006, 27(2): 102-104.

- [9] 潘奇明,程咏梅,杨 涛,等. 真实场景运动目标轨迹有效性判断与自动聚类算法研究[J]. 计算机应用研究,2007,24(4): 158-169.  
Pan Qiming, Cheng Yongmei, Yang Tao, et al. Automatic validating and clustering method for trajectories of moving objects in real scene[J]. Application Research of Computers, 2007, 24(4): 158-169.

**作者简介:** 李 喆,女,1986 年出生,博士研究生. 主要从事焊接模拟仿真系统的开发工作. Email: lizhe\_1986@163.com

**通讯作者:** 张建勋,男,教授,博士研究生导师. Email: jxzhang@mail.xjtu.edu.cn

China) . pp 92 – 96

**Abstract:** The initiation and formation mechanism of cracking was analyzed during single-impulse resistance spot welding of 5052-O aluminum alloy ( Al-Mg alloys ) . SORPAS software was used to simulate and compare cracking risk factor with multi impulses to that with single impulse. The effect of cracking initiation in HAZ of welded joint with multi impulses process was also discussed. According to the simulation results , analysis and verification were performed regarding the mechanism of suppressing cracking in specific area of HAZ with optimized electrodes and multiple impulses. The results show that cracking risk factor with multi impulses seemed lower than that with single impulse , and the influence of multiple-pulse technology on cracking was small. However , the annular grooves generated by the optimized electrode and combined with multiple-pulse process can completely inhibit the generation of cracking , and enhance the mechanical properties of the spot welded joint.

**Key words:** 5052-O aluminum alloy; spot welding; cracking; electrode

**The track and evaluation of dynamic welding activity in virtual manual welding process** LI Zhe , ZHAN Hengshun , ZHANG Jianxun ( State Key Laboratory for Mechanical Behavior of Materials , Xi'an Jiaotong University , Xi'an 710049 , China) . pp 97 – 100 , 104

**Abstract:** In this paper , a training platform of manual welding process was designed to solve the problem of how to evaluate welding operation level in visual welding simulation system , including simulating welding torch , simulating test plate , image detection module , angle sensor , the master computer and evaluation system. Therefore , the dynamic track location could be captured during manual welding process. Five aspects were considered for path analysis and evaluation methods in the welding operation: straightness , homogeneity , uniformity , weld edge retention time and similarity , in order to ensure the weld straightness and control principle of welding speed. The computer programming had been embedded into the visual welding simulation system which could run smoothly. The results can objectively evaluate the technical level of welding operators.

**Key words:** welding training; simulation training; operating stretch; track evaluation

**Analysis of electrochemical property of AZ31 magnesium alloy friction stir weld** SHEN Changbin , YANG Ye , CHEN Ying ( School of Materials Science & Engineering , Dalian Jiaotong University , Dalian 116028 , China) . pp 101 – 104

**Abstract:** Friction stir butt welding of 3 mm thick AZ31 extruded magnesium alloy sheet was conducted. The electrochemical behaviors of AZ31 magnesium alloy friction stir weld and the parent metal were studied with static weight loss method , potentiodynamic polarization curve and electrochemical impedance spectroscopy ( EIS ) test in 5% NaCl aqueous solution at room temperature. The results indicate the average corrosion rates of AZ31 parent metal and weld after 168 hours' immersion were 0.154 and 0.135 g/( m<sup>2</sup> · h ) , respectively; the corrosion current densities of AZ31 parent metal and weld were 0.001 63 and 0.000 45 A/cm<sup>2</sup> , respectively; the polarization resistance

were 9.553 and 12.61 Ω/cm<sup>2</sup> , respectively. The results show that the anti-corrosion property of AZ31 friction stir weld was better than that of the parent metal.

**Key words:** magnesium alloy; friction stir welding; static weight loss; potentiodynamic polarization curve; electrochemical impedance spectroscopy

**Effect of hot-cutting defect on reliability of brazing process in ceramic package manufacturing ( I )** ZENG Chao , WANG Chunqing , TIAN Yanhong , ZHANG Wei ( State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining , Harbin Institute of Technology , Harbin 150001 , China) . pp 105 – 108

**Abstract:** Reliability of the brazing process in ceramic package manufacturing is affected by the hot-cutting defect on ceramic surface. This paper characterizes and estimates the rarely mentioned defects formed during hot-cutting process of alumina green tape. Surface and edge morphology of hot-cutting surface is examined by 3-D optical microscope and scanning electron microscope ( SEM ) before and after sintering. Based on Griffith fracture criteria , three-point flexural test is utilized to estimate the fracture dominated by defects on different surfaces. Multiple comparison is conducted to test the difference between fracture statistics governed by defects on different surfaces. Observation shows the hot-cutting defect is new defect existing on the cutting surface with completely different morphology , and results of multiple comparison indicate the edge hot-cutting defect is more dangerous than the intrinsic defect in ceramic and is prone to degrade the reliability a lot in the assembling process.

**Key words:** hot-cutting defect; multiple comparison; strength statistics; processing reliability

**Microstructure and properties of friction hydro pillar processed DH36 high strength steel** YIN Yayun<sup>1</sup> , YANG Xinqi<sup>1</sup> , CUI Lei<sup>1</sup> , CAO Jun<sup>2</sup> , XU Wei<sup>2</sup> ( 1. Tianjin Key Laboratory of Advanced Joining Technology , Tianjin University , Tianjin 300072 , China; 2. Offshore Oil Engineering Co. , Ltd. , Tianjin 300451 , China) . pp 109 – 112

**Abstract:** Friction hydro pillar processing ( FHPP ) of DH36 high strength steel for ship structures was performed. The microstructure , hardness profile , tensile strength and Charpy impact value of FHPP welded joints were observed and tested. The tensile fracture surface along the FHPP bonding interface was examined by scanning electron microscope. It was verified that the metallurgical bonding between the pillar and DH36 base material can be successfully obtained under optimum welding parameters. The hardening tendency of FHPP weld was obvious and the highest hardness value reached 3.33 GPa. The tensile strength of FHPP welded joints was higher than that of DH36 base material , and the tensile fracture morphology in the interface between pillar and base material presented specific features blending small equiaxed dimples and cleavage fracture. But Charpy impact toughness around the bonding interface was only 37 J ± 5 J which was obviously lower than 205 J of the base metal. The large amounts of upper bainite produced around the bonding interface during FHPP reduced the impact toughness.

**Key words:** friction hydro pillar processing; microstructure; mechanical property; charpy impact toughness