

Cold Metal Transfer (CMT)与CMT Advanced的 异同研究

郭斌, 张李超

(华中科技大学, 武汉 430074)

摘要: **目的** CMT及CMT Advanced是奥地利Fronius公司开发的2种新型焊接方法。通过实验结合理论分析,研究这两种焊接方法的区别。**方法** 在相同的热输入量情况下,分别采用CMT及CMT Advanced方法进行铝合金薄板对接实验,通过使用热电偶采集焊接过程的冷却曲线,游标卡尺测量焊后的变形量及X射线法检测沿焊缝方向的残余应力来对两者进行比较。**结果** CMT焊后平均变形量为9.25 mm,残余应力为 (287.2 ± 49) MPa,CMT Advanced焊后平均变形量为8.56 mm,残余应力为 (248.7 ± 45) MPa。**结论** 与CMT相比,CMT Advanced具有更低的热输入量,更高的熔敷效率、间隙搭桥能力及焊接稳定性。

关键词: CMT; CMT Advanced; 薄板焊接; 区别

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.02.011

中图分类号: TG441.7

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2016)02-0050-05

The Difference of CMT and CMT Advanced

GUO Bin, ZHANG Li-chao

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

ABSTRACT: CMT and CMT Advanced are two new welding methods which developed by an Austrian company Fronius. This article describes the difference of these two welding methods through experimental and theoretical analysis. In order to compare these two welding methods, CMT and CMT Advanced are used for the experiments of aluminum alloy sheet docking in the context of same heat input, and using thermocouples to gather the cooling curve of welding process, using vernier caliper to measure the deformation after welding and using X-ray to detect the residual stress along weld. The results showed that average deformation of CMT is 9.25 mm, residual stress of CMT is (287.2 ± 49) MPa, while average deformation of CMT Advanced is 8.56 mm, residual stress of CMT Advanced is (248.7 ± 45) MPa. Compared with CMT, CMT Advanced has a lower heat input, higher deposition efficiency, gap bridging ability and welding stability.

KEY WORDS: CMT; CMT Advanced; sheet welding; difference

CMT及CMT Advanced是奥地利Fronius公司开发的2种新型焊接方法。CMT冷金属过渡技术是在短路过渡基础上开发的,但与一般的短路过渡不同的是,它将传统的过渡方式与焊丝的运动相结合。当控制系统检测到短路信号时,迅速将焊接电流降低至很

小值,电弧几乎熄灭,同时控制送丝系统使焊丝回抽,利用惯性使熔滴脱离焊丝端头,完成熔滴过渡过程。CMT Advanced方法是将交流MIG/MAG技术应用到CMT技术上,实现交流的冷金属过渡技术,与传统的MIG/MAG焊相比能实现更低的热输入量、更快的焊

收稿日期: 2015-12-23

作者简介: 郭斌(1980—),男,江西人,硕士生主要研究方向为3D打印控制与软件。

通讯作者: 张李超(1975—),男,湖北人,博士后,副教授,主要研究方向为3D打印软件架构和算法。

接速度和更好的焊接稳定性。可用于实现0.3 mm的超薄铝板的焊接及钢与铝等异种材料的连接。由于两者优异的焊接性能,吸引了越来越多的学者对其进行研究。早在2006年日本学者K Furukawa^[1]就对CMT焊接过程、特点、装备及其应用领域进行了详细的介绍,此后越来越多的学者对CMT焊接过程进行研究^[2-8],总的来说,国外的研究重心在于CMT在异种金属材料焊接中的应用。国内对CMT的介绍最早可追溯到2005年,珠海市科盈焊接器材有限公司(Fronius的中国代理商)的杨秀荣^[9]介绍了CMT的工作原理、优势及其应用前景,此后,在很长一段时间内只有哈尔滨工业大学对其进行过相关研究^[10]。随着CMT技术在汽车行业的广泛使用,2011年以后,越来越多高校对CMT产生了兴趣^[11-16]。国外最早对CMT Advanced研究开始于2009年,是Fronius^[17]官方对其优势进行简单介绍,国外学者对其研究较少。与之相反,近几年国内学者对CMT Advanced的研究文献很多^[18-21],但大多都集中在对CMT Advanced的焊接过程及其焊接工艺性分析,对CMT及CMT Advanced 2种焊接方法对比的文章几乎没有。再加上具有CMT Advanced焊接技术的焊接电源较普通CMT电源成本高10%左右,故将重点对比CMT与CMT Advanced 2种焊接方法,为设备选型提供一定的指导。

1 实验验证

实验使用德国 KUKA 机器人,型号为 KR5 R1400,奥地利 Fronius 焊机系统,焊接电源型号为 TPS 4000 CMT,采用5系铝合金板薄板对接的形式,薄板长、宽、高方向尺寸为350 mm×60 mm×2 mm,实验使用的焊丝牌号为 AlSi5,直径为1.2 mm,保护气为纯氩,气体流量为20 L/min,机器人焊接速度为0.01 m/min。焊接参数设置如表1所示,焊接实验平台如图1所示。



图1 焊接实验平台
Fig.1 Welding test platform

表1 焊接参数
Table 1 The parameters of welding

焊接方法	理论值		实际值	
	电压/V	电流/A	电压/V	电流/A
CMT	12.7	96	13.1	90
CMT Advanced	10.7	90	11.9	91

对于CMT焊接,送丝速度为5.3 m/min,由表1可知,实际热功率=13.1×90=1179 W。对于CMT Advanced焊接,送丝速度为5.5 m/min,EP (electrode positive)焊丝正极性:EN (electrode negative)焊丝负极性=1:1且EP+EN=14。由表1可知,实际热功率=11.9×91=1082.9 W。比较送丝速度可知,在热输入量相差不大的情况下,CMT Advanced焊接效率比CMT高。

1.1 焊接冷却曲线

使用实验室自制的测温系统对焊缝冷却曲线进行测定,整个测温系统硬件由热电偶、数据采集和处理系统即测温仪、PC及电源四部分组成,其中测温仪是测温系统的核心硬件,它由2片K-803B 8路热电偶调理板、一块数据采集板 USB2010 芯片组成。USB2010芯片板主要由模/数转换(A/D)电路、USB总线接口电路等组成。测温系统采用14个K型镍硅-镍铝热电偶作为温度传感器,可同时测量14个不同位置的温度值,本次测试只使用了其中的5个通道。测温系统通过热电偶采集模拟量电压信号,在测温仪中将信号进行放大、转换,再通过RS-232串行通信传输给上层PC机,PC机通过上位机软件,将热电偶工作端热电势值转换为对应的被测点温度值,同时按照用户需要,在PC的显示屏上实时显示被测点的温度时间曲线图。测量点布局如图2所示,其中近端离焊缝根部1 mm,远端离焊缝根部5 mm。

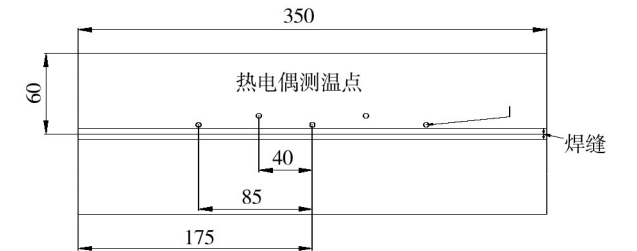


图2 温度测量点布局
Fig.2 Layout of the temperature measurement points

由于焊接过程中使用示教方式对机器人进行编程,故不同铝合金板材焊接位置有差别,再加上焊缝宽度的波,故采用距离焊趾部位5 mm处的焊接冷却曲线,如图3所示可知,CMT焊后在200 ℃以上停留

时间约为6 s, CMT Advanced焊后在200 ℃以上停留时间约为2 s, 因此, CMT Advanced冷却速度较快, 焊后工件的组织较小, 力学性能较高。

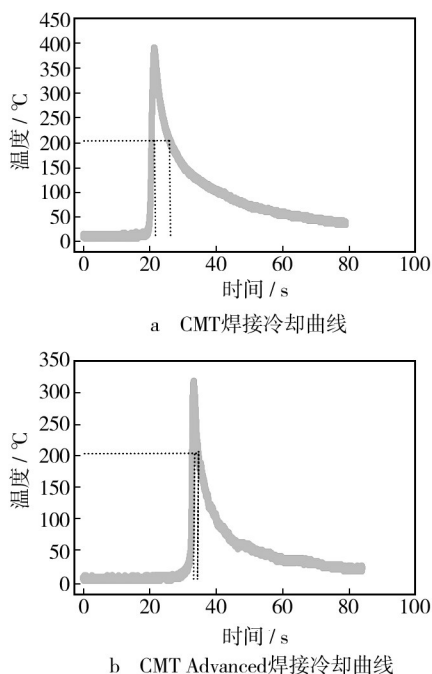


图3 焊接冷却曲线

Fig.3 Cooling curve of welding

1.2 焊接角变形

由于铝板较薄, 为了防止焊接变形导致前后装配间隙不一致, 在焊接时使用夹具对铝板进行固定, 同时为了防止焊接夹具对焊后残余应力的影响, 焊后立即将板材取出。图4为焊接后的焊缝实物图, 对比图4b与4d可知, 热输入量相同的情况下, CMT Advanced没能将铝合金薄板焊透, 故其对母材的热输入量比CMT少。

由于焊后板材为翘曲变形(中间低两边高), 为了测量其角变形, 将焊后的铝合金板中间与地接触, 使用游标卡尺测量其4个角点离地面的高度。

1.3 焊后残余应力

为了进一步定性比较CMT及CMT Advanced的区别, 采用X射线衍射测量焊后的残余应力。实验所用的测试仪器来自爱斯特应力技术有限公司, 测量点距焊缝根部1 mm, 沿着焊缝方向测量。测量方法为侧倾固定 Ψ 法, X射线管高压为27 kV, 管流为7 mA, 选用4个衍射晶面方位角, 分别为 0° , 24° , 35° , 45° 。选取的 2θ 扫描范围为 $162^\circ \sim 151^\circ$, 扫描步距为 0.1° 。计数时间为0.5 s, 计数量程为2000。实验得到的交相关函数分布如图5所示。

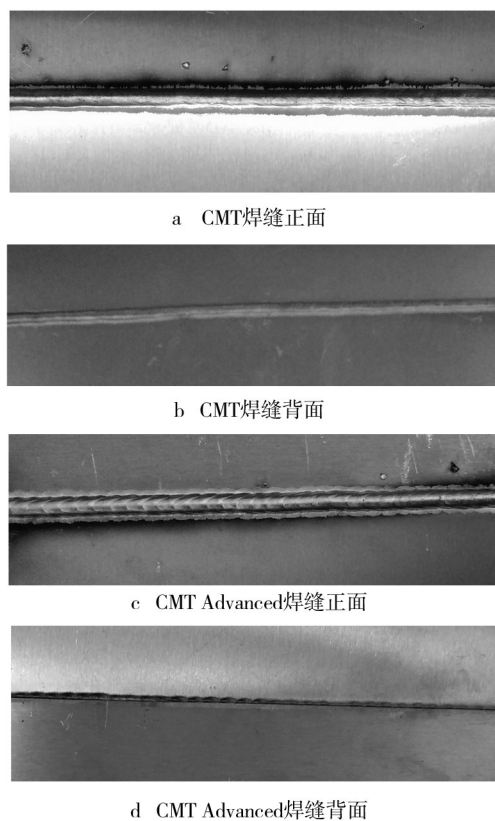
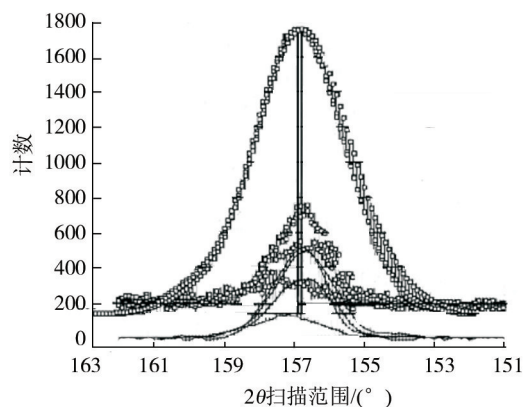
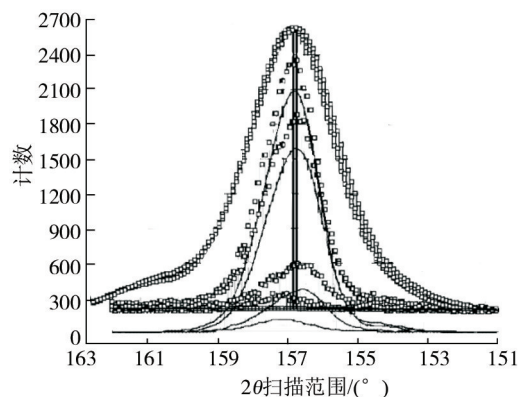


图4 焊缝实物图

Fig.4 The physical map of welding



a CMT交相关函数分布曲线



b CMT Advanced交相关函数分布曲线

图5 交相关函数分布曲线

Fig.5 Cross-correlation function profile

2 实验结果与分析

焊接角变形测量结果如表2所示,可知对CMT而言,2次焊后角变形绝对偏差 $\Delta h_1 = |h_1 - h_2| = 1.5$ mm,相对偏差 $\delta_1 = |h_2 - h_1|/h_1 = 0.176$,2次焊接的平均角变形量为9.25 mm;对CMT Advanced而言,2次焊后角变形绝对偏差 $\Delta h_2 = |h_1 - h_2| = 0.125$ mm,相对偏差 $\delta_2 = |h_2 - h_1|/h_1 = 0.0147$,2次焊接的平均角变形量为8.56 mm。由偏差值可知CMT Advanced比CMT焊接稳定性更高,由平均变形量可知CMT Advanced对母材的热输入量更小。

测量焊接残余应力的结果:CMT的残余应力为 (287.2 ± 49) MPa;CMT Advanced的残余应力为 (248.7 ± 45) MPa。由此可得,CMT Advanced焊后残余应力比CMT低,因而CMT Advanced对母材的热输入量更小。

对比CMT与CMT Advanced可知,CMT Advanced在保持CMT技术原有的焊丝双向运动特性的基础上,复加了极性变换控制技术:普通CMT为EP,而CMT Advanced增加了EN部分。为了说明上述结果的原因,重点需要分析EN与EP之间的差异。

在EP阶段,工件作为阴极发射电子,阴极斑点在工件表面形成。从电弧中心开始,由于金属氧化物的逸出功低,故带有金属氧化物的地方容易发射电子,阴极斑点不停寻找新的氧化膜,直到气体保护区域的边缘,因此电弧在工件表面比较发散。焊丝作为阳极接收电子并释放阳离子,焊丝只是被动地接收电子,电弧主要集中在焊丝和熔滴的端头。

在EN阶段,焊丝作为阴极发射电子,阴极斑点在焊丝上形成。燃弧开始时,电弧首先在焊丝端头引燃,由于焊丝表面存在氧化膜,阴极斑点自动寻找焊丝表面的氧化膜,从而使电弧沿着焊丝向上移动,直到熔滴完全包裹在电弧中。工件作为阳极接收电子。

焊接过程中阴极区产热功率 $P_K^{[22]}$ 可表示为:

$$P_K = I(U_K - U_w - U_T) \quad (1)$$

阳极区产热功率 $P_A^{[22]}$ 可表示为:

$$P_A = I(U_A + U_w + U_T) \quad (2)$$

其中: U_K 为阴极区压降; U_A 为阳极区压降; U_w 为电子逸出电压; U_T 为弧柱温度等效电压; I 为焊接电流。

因熔化极气体保护焊阴极区压降 U_K 很高,且远远大于阳极区压降 U_A ,由式(1)与(2)可以看出, $P_K \gg P_A$ 。在EN阶段,焊丝作为阴极的产热量远远大于在

EP阶段作为阳极时的产热量,使焊丝的熔化速度加快,熔敷效率提高;同时由于电弧“上爬”,电弧将焊丝端头完全包裹,对熔滴进行集中加热,进一步加快了焊丝的熔化和熔滴的形成。因此EN阶段的熔滴过渡周期小于EP阶段。在相同热输入量下,当EN:EP=1:1时,增加EN的个数,增加焊丝的热输入量,会使得熔敷效率提高,焊缝余高增加。另一方面,减少母材的热输入量会导致焊缝熔深减小。为了获得最佳的焊缝成形外观,推荐EN+EP=14且EN=7。

由于极性变换发生在短路瞬间,无需大电压强制转换,整个过程快速准确,从而保证CMT焊接过程的稳定可靠,原有的低热输入量、无飞溅焊接等特点得到了进一步的提升。因此,CMT二代变极性焊接技术可以进一步控制热输入量,同样能量输入条件可获得更高的熔敷效率,焊接变形更轻微即残余应力更小。

综上所述,与CMT相比,CMT Advanced具有如下优势:更低的热输入量;更高的间隙搭桥能力,可确保在多种材料上实现大间隙搭桥连接;更高的熔敷效率,通过调整EN和EP比例与数目,熔敷效率可以调整;更高的焊接稳定性。

3 结论

通过使用热电偶采集焊接过程的冷却曲线、游标卡尺测量焊后的变形量及X射线法检测沿焊缝方向的残余应力来对CMT及CMT Advanced进行比较。主要研究结果如下。

1) 由焊后冷却曲线可知,距焊缝根部5 mm处,CMT焊后在200℃以上停留时间约为6 s,CMT Advanced焊后在200℃以上停留时间约为2 s。

2) 通过测量焊后角变形可知,CMT前后2次焊后角变形绝对偏差为1.5 mm,相对偏差为0.176,2次焊接的平均角变形量为9.25 mm;CMT Advanced前后2次焊后角变形绝对偏差为0.125 mm,相对偏差为0.0147,2次焊接的平均角变形量为8.56 mm。

3) 通过测量焊后残余应力可知,CMT的焊后残余应力为 (287.2 ± 49) MPa,CMT Advanced的焊后残余应力为 (248.7 ± 45) MPa。

与CMT相比,CMT Advanced具有更低的热输入量,更高的熔敷效率、间隙搭桥能力及焊接稳定性。CMT Advanced的热输入量、熔敷效率等参数可以通过控制EN和EP比例及数目进行调整。

参考文献:

[1] FURUKAWA K. New CMT Arc Welding Process—welding of

- Steel to Aluminium Dissimilar Metals and Welding of Superthin Aluminium Sheets[J]. Welding International, 2006, 20(6):440—445.
- [2] PICKIN C G, YOUNG K. Evaluation of Cold Metal Transfer (CMT) Process for Welding Aluminium Alloy[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2006, 11(5):583—585.
- [3] WANG J, FENG J C, WANG Y X. Microstructure of Al-Mg Dissimilar Weld Made by Cold Metal Transfer MIG Welding [J]. Materials Science and Technology, 2008, 24(7):827—831.
- [4] ZHANG H T, FENG J C, HE P. Interfacial Phenomena of Cold Metal Transfer (CMT) Welding of Zinc Coated Steel and Wrought Aluminium[J]. Materials Science and Technology, 2008, 24(11):1146—1149.
- [5] FENG Ji-cai, ZHANG Hong-tao, HE Peng. The CMT Short-Circuiting Metal Transfer Process and Its Use in Thin Aluminium sheets Welding[J]. Materials and Design, 2009 (30):1850—1852.
- [6] ZHANG H T, FENG J C, HE P, et al. The Arc Characteristics and Metal Transfer Behaviour of Cold Metal Transfer and Its Use in Joining Aluminium to Zinc-Coated Steel[J]. Materials Science and Engineering A, 2009(499):111—113.
- [7] PICKIN C G, WILLIAMS S W, LUNT M. Characterisation of the Cold Metal Transfer (CMT) Process and Its Application For low Dilution Cladding[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2011(211):496—502.
- [8] Shang J, Wang K, Zhou Q, et al. Microstructure Characteristics and Mechanical Properties of Cold Metal Transfer Welding Mg/Al Dissimilar Metals[J]. Materials and Design, 2012 (34):559—565.
- [9] 杨修荣. 超薄板的 MIG/MAG 焊—CMT 冷金属过渡技术[J]. 焊接, 2005(12):52—54.
YANG Xiu-rong. CMT Technic of the Ultrathin Sheets[J]. Welding, 2005(12):52—54.
- [10] 石常亮. 铝和镀锌钢 CMT 法 MIG 钎焊工艺研究[D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2006.
SHI Chang-liang. The Procedure for CMT Method MIG Brazing of Aluminium and Galvanized Steel[D]. Heilongjiang: Harbin Institute of Technology, 2006.
- [11] 李广乐. 镁铝异种金属 CMT 焊接试验研究[D]. 江苏: 南京理工大学, 2010.
LI Guang-le. Study on CMT Technique to Dissimilar Metal between Magnesium Alloy and Aluminum Alloy[D]. Jiangsu: Nanjing University of Science and Technology, 2010.
- [12] 朱宇虹, 耿志卿. 薄板焊接的极限—CMT 冷金属过渡焊接技术[J]. 电焊机, 2011, 41(4):69—71.
ZHU Yu-hong, GENG Zhi-qing. Limitation of sheet metal welding—CMT cool metal transition technique[J]. Electric Welding Machine, 2011, 41(4):69—71.
- [13] 崔晴晴. 铝合金和镀锌钢的 CMT 焊接技术研究[D]. 江苏: 江苏科技大学, 2012.
CUI Qing-qing. Study on CMT Welding Technology between Aluminum Alloy and Galvanized Steel[D]. Jiangsu: Jiangsu University of Science and Technology, 2012.
- [14] 张洪涛, 冯吉才, 胡乐亮. CMT 能量输入特点与熔滴过渡行为[J]. 材料科学与工艺, 2012, 20(2):128—132.
ZHANG Hong-tao, FENG Ji-cai, HU Le-liang. Energy Input and Metal Transfer Behavior of CMT Welding Process[J]. Materials Science and Technology, 2012, 20(2):128—132.
- [15] 高如超. 脉冲 GTAW 和 CMT 焊接过程传热、传质现象的数值模拟[D]. 湖南: 中南大学, 2013.
GAO Ru-chao. Numerical Simulation of Heat and Mass Transfer during Pulsed GTAW and CMT Welding Processes [D]. Hunan: Central South University, 2013.
- [16] 景敏. 镁/铜异种金属冷金属过渡技术(CMT)焊接性研究[D]. 甘肃: 兰州理工大学, 2014.
JING Min. The Analysis of CMT Weld Ability for Dissimilar Metals between Magnesium Alloys and Pure Copper[D]. Gansu: Lanzhou University of Technology, 2014.
- [17] Fronius international. Even More Possibilities, with CMT Advanced[J]. Welding Technology Magazine, 2009(23):1.
- [18] 张瑞英, 穆森, 王军. 铝合金薄板交流 CMT 焊接过程能量分配研究[J]. 电焊机, 2013, 43(6):22—26.
ZHANG Rui-ying, MU Sen, WANG Jun. Research on Energy Distribution of AD CMT Advanced Welding with Aluminum Alloy Sheet[J]. Electric Welding Machine, 2013, 43(6):22—26.
- [19] 张瑞英. 镁合金交流 CMT 焊接工艺研究[D]. 河北: 河北科技大学, 2014.
ZHANG Rui-ying. The Study on AC CMT Welding Process of AZ31B Magnesium Alloys[D]. Hebei: Hebei University of Science and Technology, 2014.
- [20] 汪殿龙, 张志洋, 王波, 等. 铝锂合金交流 CMT 焊接高频脉冲复合电弧焊接技术研究进展[J]. 河北科技大学学报, 2013, 34(2):91—96.
WANG Dian-long, ZHANG Zhi-yang, WANG Bo, et al. Alternating Current CMT and High Frequency Pulse Composite Arc on Al-Li Alloys Welding Technique[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2013, 34(2):91—96.
- [21] 汪殿龙, 张志洋, 梁志敏. 铝锂合金 1420 交流 CMT 焊接工艺及接头性能研究[J]. 热加工工艺, 2014, 43(9):162—164.
WANG Dian-long, ZHANG Zhi-yang, LIANG Zhi-min. Research on AC CMT Welding Process of 1420 Al-Li Alloy and Properties of Welded Joints[J]. Hot Working Technology, 2014, 43(9):162—164.
- [22] 汪殿龙, 张志洋, 梁志敏, 等. 交流 CMT 动态电弧特征及熔滴过渡行为分析[J]. 焊接学报, 2014, 35(3):6—10.
WANG Dian-long, ZHANG Zhi-yang, LIANG Zhi-min, et al. Analysis of AC CMT Dynamic Arc Characteristics and Drop-let Transfer Behavior[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2014, 35(3):6—10.