

激光束—电阻缝焊(LB-RSW) 复合焊接研究

赵熹华¹,李永强¹,赵贺²,曹海鹏³,张伟华¹

(1.吉林大学材料科学与工程学院,吉林 长春 130022;2.哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150001;3.一汽解放青岛汽车厂,山东 青岛 266043)

摘要:基于提出的LB-RSW复合焊接方法的基本概念,研究了“激光束—电阻缝焊(LB-RSW)”复合焊接系统的结构形式和基本组成,自主研发了专用的多功能电阻缝焊机,并与Nd:YAG激光器和焊接机器人组成了LB-RSW焊接试验系统;工艺试验表明,LB-RSW比单独激光焊有更大的深/宽比和拉剪力,显著提高了激光对高反射率材料的加工能力和工程应用范围;进行了LB-RSW中RSW温度场和电流场的数值模拟和热成像测量。结果表明,数值模拟技术和红外热成像技术是研究复合焊接过程的有效手段。

关键词:复合焊接;激光焊;电阻缝焊;焊接设备;数值模拟

中图分类号:TG456.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2303(2009)01-0033-06

Fundamental study on hybrid laser beam and resistance seam welding (LB-RSW)

ZHAO Xi-hua¹,LI Yong-qiang¹,ZHAO He²,CAO Hai-peng³,ZHANG Wei-hua¹

(1.School of materials Science and Engineering,Jilin University,Changchun 130022,China;2.State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology,Harbin Institute of Technology,Harbin 150001,China;3.FAW JIEFANG qingdao auto factory,Qingdao 266043,China)

Abstract: Based on the fundamental concept of hybrid laser beam and resistance seam welding(LB-RSW),propounded by the authors,structure form and basic component of hybrid LB-RSW system was studied,and special multifunctional resistance seam welding machine was designed and manufactured independently,which constitutes the hybrid welding experimental system with Nd:YAG laser and welding robot.The experimental results indicate that,LB-RSW,which can achieve larger weld penetration depth/width ratio than that obtained by single laser beam welding,enhances the processing capacity on high reflectivity materials dramatically,thus it widens the application field of LB in engineering.Besides,numerical simulation of temperature field and electrical current field gained from RSW during LB-RSW was carried out,meanwhile,the temperature field was also measured using infrared thermography system.The results show that numerical simulation technology and infrared thermography technology are effective method to study hybrid welding process.

Key words: hybrid welding;laser welding;resistance seam welding;welding equipment;numerical simulation

0 前言

具备高速、低变形、柔性化特征的激光焊接(LBW)技术被认为是21世纪最具有发展潜力的焊接方法^[1]。但是激光器功率等级、装配条件(装配间隙、错边、

不等厚度等)、过程控制(焦点波动、光束对中等)、材料的高反射率(铝、镁及其合金)等诸多因素限制了激光焊接的工程实用范围。因此,可以利用其他焊接方法的特点来弥补激光焊接不足的复合焊接技术就成为研究重点。目前与激光焊相关的复合焊接方法已有LB-TIG、LB-MIG、LB-PAW和LB-FSW等,并在工程实际中初步获得推广应用^[2-5]。2003年吉林大学赵熹华教授首先提出了“激光束—电阻缝焊(LB-RSW)”复合焊接方法并实现了原理性试验,在

收稿日期:2008-11-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50575091)

作者简介:赵熹华(1941—),男,哈尔滨人,教授,博士生导师,主要研究方向为现代焊接方法与机电一体化,获省部级科技进步奖9项,国外发明专利2项,教材与专著5部,论文百余篇。

美国 GM 基金和国家自然科学基金资助下进行了全面系统的研究,主要成果申报了国际发明专利(专利号:PCT/WO2007008363A2)^[6-9]。

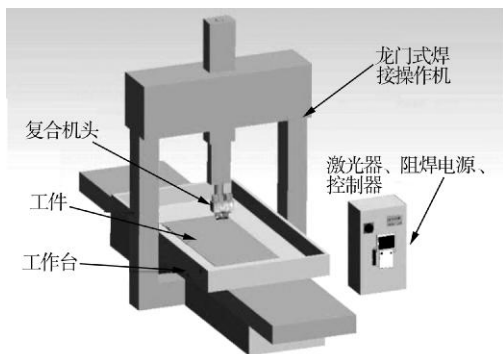
众所周知,电阻缝焊(RSW)技术的显著特点是:焊缝是在热-机械(力)作用下形成的。加热(含预热和缓冷)可以提高金属材料对激光的吸收率^[10],降低所需激光功率;同时,加热、缓冷和加压可以调节焊接温度场和应力场,改善焊缝结晶条件,调节晶粒大小及分布,减少气孔、热裂纹和接头残余应力等^[11-13];特别是加压可以消除装配不良导致的错边和板间间隙,避免了成形不良和产生板间流淌形成的焊瘤。在充分考虑激光束和电阻缝焊各自特点的基础上,研制了相关设备,进行了系统工艺试验和机理分析,获得显著成果,为这一新方法的推广应用奠定了基础。

1 LB-RSW 复合焊接系统

LB-RSW 复合焊接系统主要由复合机头、焊接操作机、工作台、激光器、阻焊电源和控制器等部分组成,如图 1 所示。



a 关节型



b 龙门型

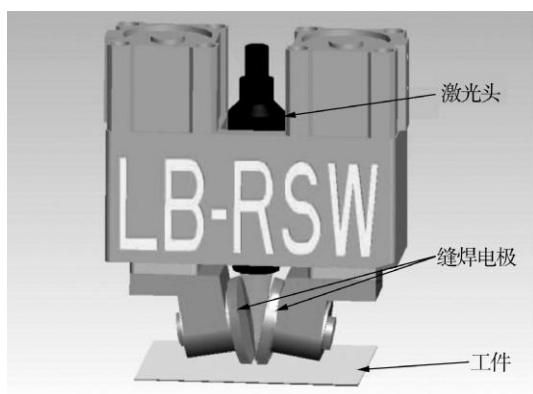
图 1 LB-RSW 复合焊接系统

1.1 复合焊接系统结构形式

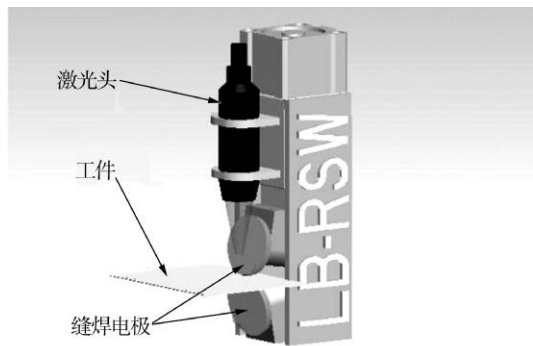
复合焊接系统结构形式可以有两种:其一为以

关节型激光机器人为核心的 LB-RSW 机器人工作站(见图 1a);其二为以直角坐标型(龙门式)激光机器人为核心的 LB-RSW 机器人工作站(见图 1b)。

复合机头由激光头和缝焊机头(含缝焊电极和加压机构等)集成在一起,成为机器人末端执行器(见图 2),通过机械接口与操作机相连。复合机头按缝焊电极与工件相对位置可实现单面缝焊(见图 2a)和双面缝焊(见图 2b)。根据焊件和接头结构特征及 LB-RSW 机器人工作站和所在生产线配置要求等可选用以上多种结构形式。



a 单面缝焊机头(两滚盘电极在工件同一侧)



b 双面缝焊机头(两滚盘电极在工件两侧)

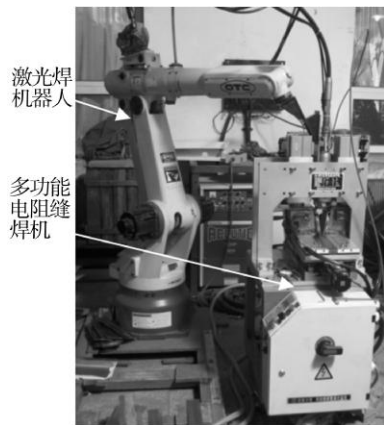
图 2 LB-RSW 复合焊机头

1.2 复合焊接试验系统

综合考虑各方面因素后,确定使用多功能电阻缝焊机和激光焊接机器人相结合的方式组成复合焊接试验系统,其中复合机头的缝焊部分集成在缝焊机的工作台上,复合机头的激光焊部分集成在焊接机器人上,如图 3 所示。激光焊接机器人由德国通快 (Trumpf) 公司的 HL2006D 型 Nd:YAG 激光器和日本 OTC 机器人共同组成。多功能电阻缝焊机为吉林大学自行研制。在实际焊接时,由激光焊接机器人控制激光功率、离焦量等参数,由多功能

专题讨论——名家新作 爱心奉献

电阻缝焊机控制焊接速度、缝焊电流、电极压力等参数;保护气体流量、各个焊接参数的输入以及焊接开始和结束控制等由自制的集成中央控制器负责。



a 复合焊接试验系统照片



b 工作台照片

图 3 LB-RSW 试验现场

2 LB-RSW 复合焊接工艺分析

2.1 试验条件

试件为 5052-O 铝合金,板材规格为 250 mm×65 mm×1.5 mm,搭接接头形式,单面缝焊,焊缝及两侧部位焊前应仔细清理(除油、除氧化膜);LBW、RSW 及 LB-RSW 焊接参数均为通过回归优化确定的最佳参数。

2.2 焊缝成形及力学性能

在焊接参数优化工艺试验中,当激光功率 $P=2$ kW、离焦量 $\Delta z=-0.5$ mm、焦距 $f=150$ mm、氩气流量 $Q=15$ L/min、焊速 $v=0.8$ m/min,RSW 的焊接电流对 LB-RSW 焊的焊缝成形和力学性能(拉剪力)影响如图 4、图 5 所示。结果表明:(1)在激光焊参数相同的条件下,LB-RSW 的焊接熔深大于单独 LBW 的

焊接熔深,且随着 RSW 焊接电流的增加而增大;(2)在激光焊接参数相同的条件下,LB-RSW 的焊接接头拉剪力大于单独 LBW 焊接接头的拉剪力,且随着 RSW 焊接电流的增加而增大。因此 LB-RSW 复合焊新方法可比传统的激光焊(LBW)更具有节能高效的特征。

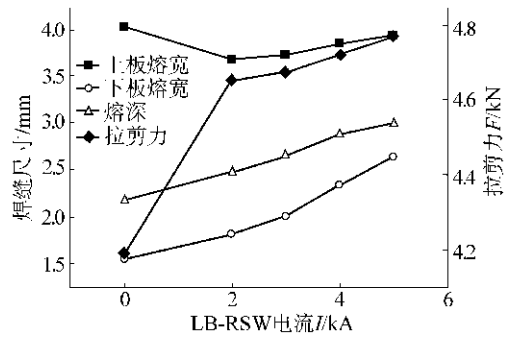
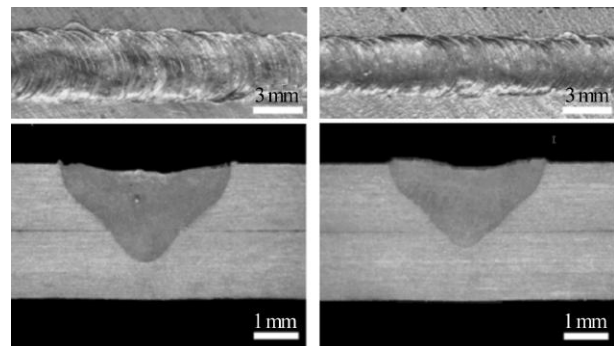
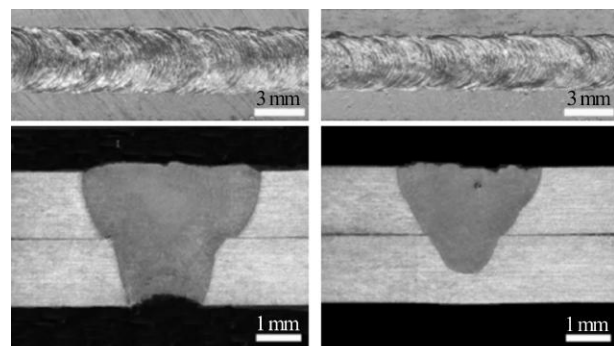


图 4 焊接电流对 LB-RSW 焊缝成形尺寸和拉剪力的影响(焊接电流为 0 时即为单独的 LBW)



a 0 A, 0.8 m/min

b 0 A, 1.2 m/min



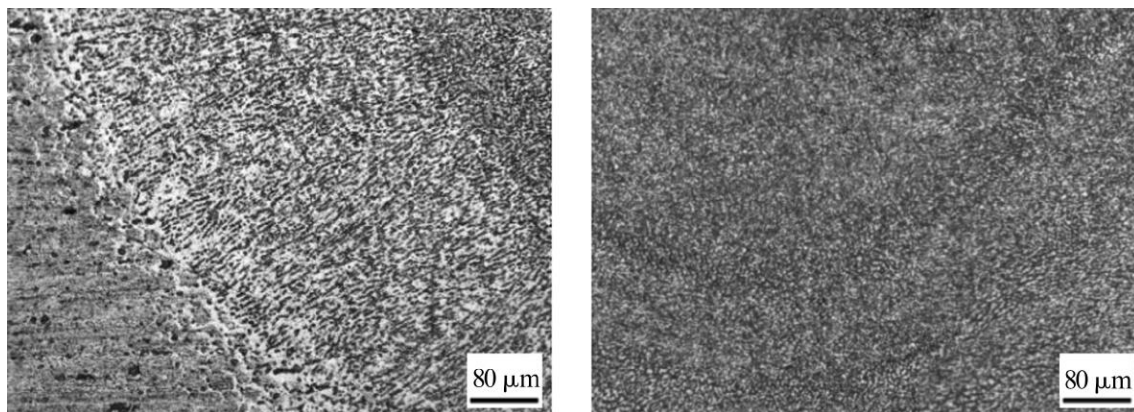
c 5 kA, 0.8 m/min

d 5 kA, 1.2 m/min

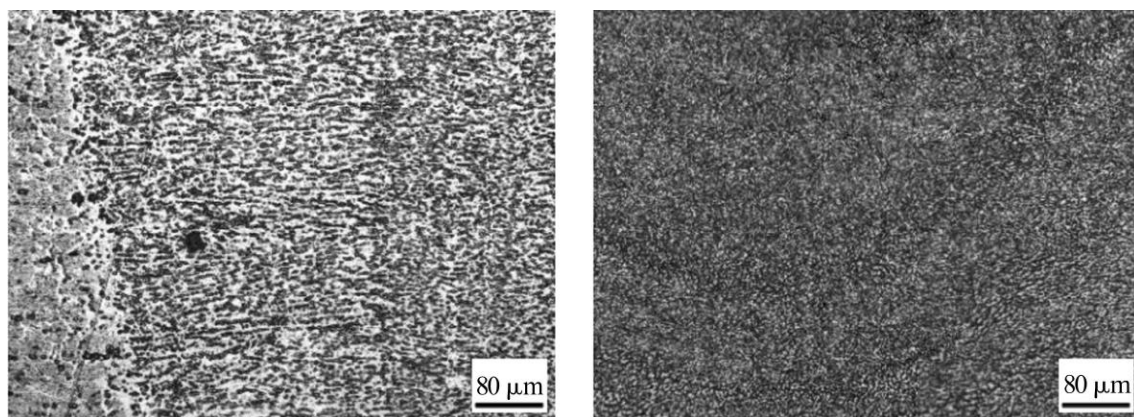
图 5 LB-RSW 与 LBW 加工能力对比

2.3 微观分析

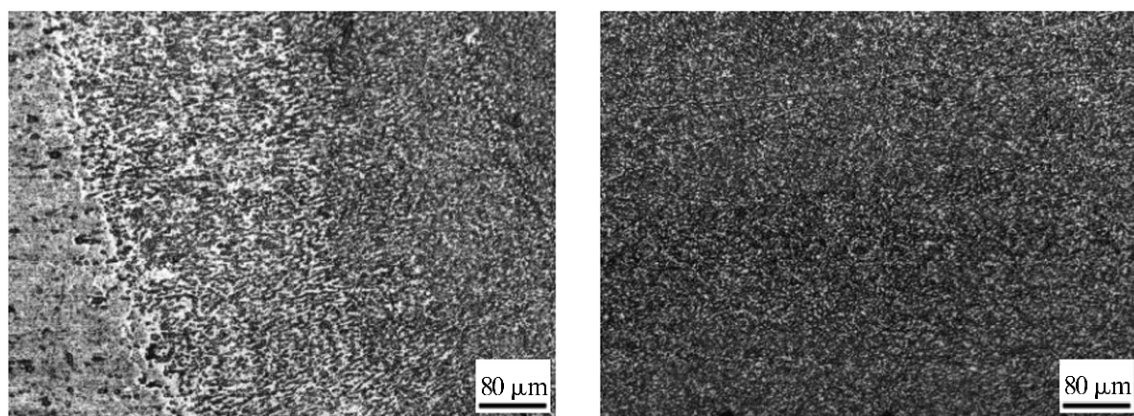
LB-RSW 与 LBW 焊缝熔合线附近和焊缝中心组织对比如图 6 所示。从图中可以看出,有、无电流的焊缝组织都是由熔合线附近的柱状树枝晶和焊缝中心的等轴树枝晶组成;在相同焊接速度下,增加 RSW 电流的焊缝组织比无电流(LBW)时粗大一些;



a 0 A, 0.8 m/min



b 5 kA, 0.8 m/min



c 5 kA, 1.2 m/min

图 6 LB-RSW 与 LBW 熔合线附近和焊缝中心组织对比

高速 LB-RSW 与单独 LBW 的组织并无明显区别。

对比 LB-RSW 与单独 LBW 焊缝横截面发现：两种方法得到的焊缝中除有少量气孔外没有其他缺陷，其中 LB-RSW 焊缝中的气孔略少于 LBW 焊缝中的气孔。

3 LB-RSW 复合焊接数值分析

数值模拟技术可灵活地对焊接过程中的各种影响因素进行研究，帮助人们进行一些不可能通过试验而完成的研究和分析，从而为焊接研究提供理论上的指导。LB-RSW 复合焊接过程是热—电—

专题讨论——名家新作 爱心奉献

磁—力等多物理场耦合的极复杂过程。其研究可分为三部分:(1)LBW 过程的数值模拟。目前已有许多文献给予报导,文献[14]就是其中一篇;(2)RSW 过程的数值模拟。目前鲜有相关的文献报导。但是与其类似(过程略为简单)的电阻点焊过程的数值模拟文献很多,文献[15]也是其中的一例;(3)LB-RSW 复合焊接过程的数值模拟,目前尚无报导。

3.1 RSW 数值分析

使用 Pro/E 和 Ansys 软件建立 3D 有限元模型,并用 Ansys 的二次开发实现了 RSW 过程的热、电、力耦合分析,探讨了 LB-RSW 复合焊接中 RSW 温度、电流的分布规律,为 LB-RSW 的机理研究奠定基础。铝合金板的温度场和电流场的模拟结果如图 7 所示。

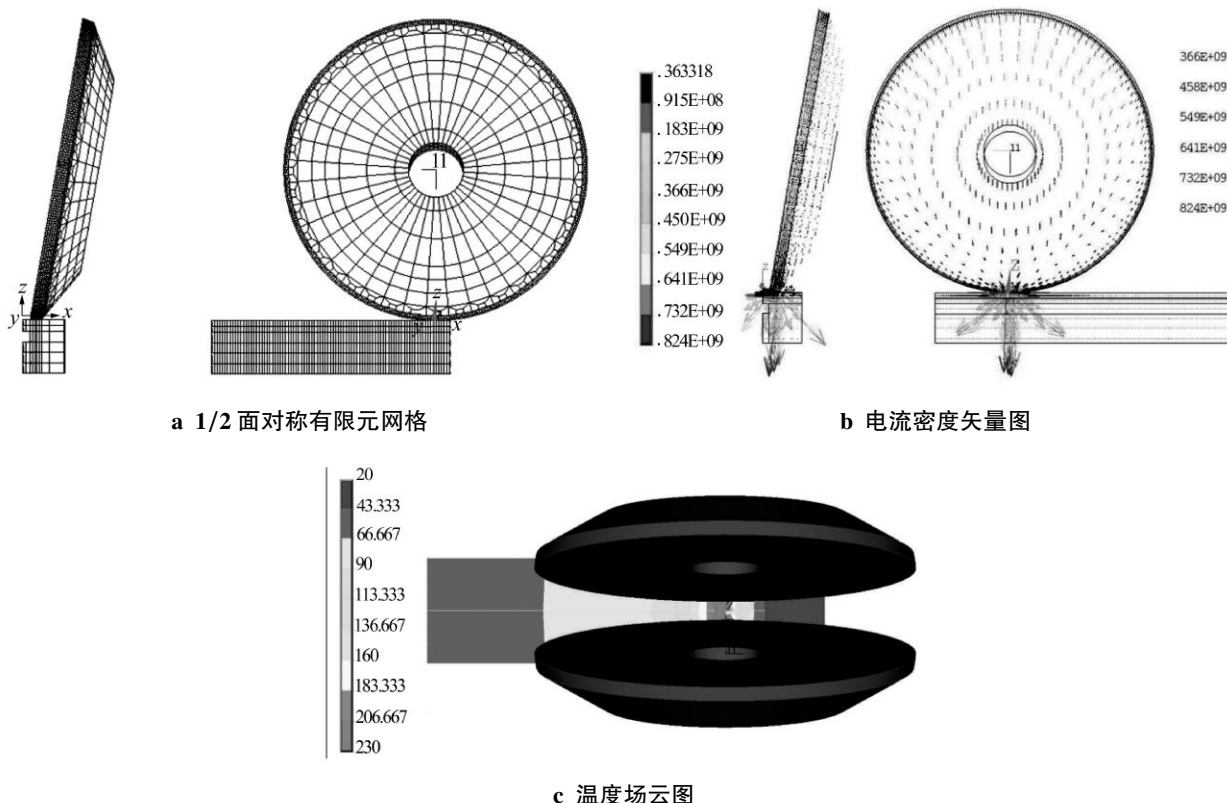


图 7 数值模拟的 RSW 温度场和电流场

3.2 温度场的热成像测量

使用红外热成像技术可以测量 LB-RSW 中 RSW 的温度场,进而为 RSW 过程的温度场和电流场数值模拟结果提供验证和评价。铝合金板和碳钢板的温度场热成像照片如图 8 所示。

4 结论

(1)研制了 LB-RSW 复合焊接试验系统,通过该系统成功实现了 LB-RSW 焊接。

(2)LB-RSW 比单独激光焊有更大的深/宽比和拉剪力,显著提高了激光对高反射率材料的加工能力和工程应用范围。

(3)进行了 LB-RSW 中 RSW 温度场和电流场的数值模拟和热成像测量,结果表明,数值模拟技

术和红外热成像技术是研究复合焊接过程的有效手段。

参考文献:

- [1] Larsson J K, Laser Welding Application within the European Automotive Industry[J].Welding Research Abroad, 2003, 49 (11): 20-27.
- [2] 刘继常,李力钧,朱小东,等.试析几种激光复合焊接技术[J].激光技术, 2003, 27(5): 487.
- [3] Kohn G, Greenberg Y, Makover I, et al. Laser-assisted Friction Stir Welding[J].Welding Journal, 2002, 81(2): 46-48.
- [4] Yonetani, Hiroshi. Laser-MIG hybrid welding to aluminum alloy carbody shell for railway vehicles[J].Keikinzoiku Yosetsu/Journal of Light Metal Welding and Construction, 2008, 46(5): 1-5.
- [5] Labudovic M, Kvacevic R. Use of a laser/TIG combination for surface modification of Ti-6Al-4V alloy[J].Journal of Materials

专题讨论——名家新作 爱心奉献

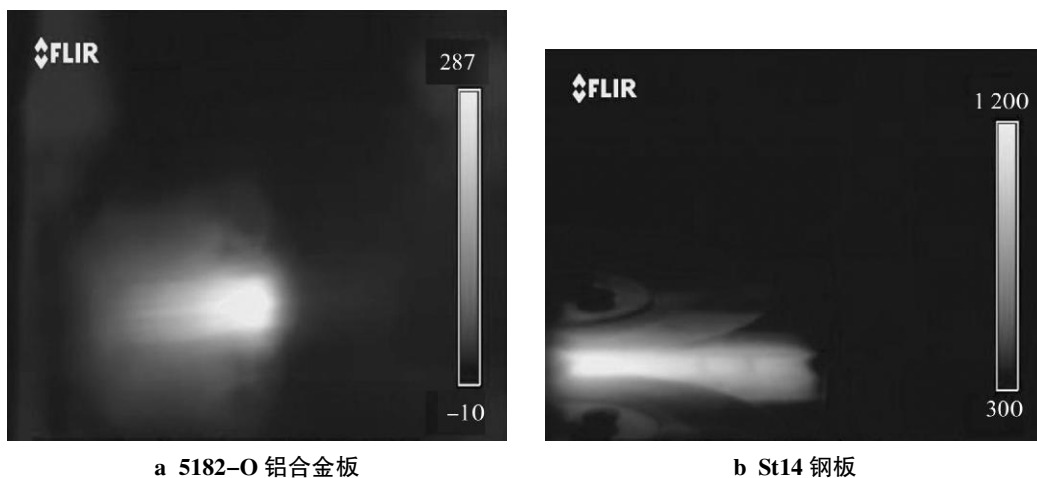


图 8 RSW 热成像照片

Science and Technology, 2001, 17(2):237-239.

- [6] 赵熹华, 曹海鹏, 赵贺, 等. 激光束-电阻缝焊(LB-RSW)复合焊接初步研究[A]. 第 11 届全国焊接学术会议论文集[C]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 2005: 388-390.
- [7] 张伟华, 李永强, 赵熹华, 等. 激光与其它热源复合焊接技术的研究进展[J]. 焊接, 2007(11): 15-20.
- [8] Li Y Q, Zhao X H, Zhao H, *et al.* Study on the effect of welding current during laser beam-resistance seam welding of aluminum alloy 5052[J]. China Welding, 2008, 17(2): 42-46.
- [9] 李永强, 赵熹华, 赵贺, 等. 预热温度对铝合金搭接激光焊焊缝成形及组织的影响[J]. 吉林大学学报(工学版), 2008, 38(5): 1065-1068.
- [10] 陈彦宾. 现代激光焊接技术[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [11] Dilthey U, Brandenburg A, Piontek D. Laser beam welded cooling structure components made of martensitic high-temperature steels[J]. Research Abroad, 2004, 50(12): 7-11.
- [12] Biela M M, Kerr H W, Weckman D C. Effects of Process Variables on Cracking of Pulsed Laser Welds in Inconel 600[C]. ASM Proceedings of the International Conference: Trends in Welding Research. American: ASM International, 1998: 769-774.
- [13] Tsay L W, Chung C S, Chen C. Fatigue crack propagation of D6AC laser welds[J]. International Journal of Fatigue, 1997, 19(1): 25-31.
- [14] 熊智军, 李永强, 赵熹华, 等. 热压条件下激光深熔焊接温度场的数值模拟[J]. 焊接学报, 2007, 28(8): 41-44.
- [15] 杨黎峰, 赵熹华, 曹海鹏. 铝合金点焊熔核形成流场及热场的有限元分析[J]. 焊接学报, 2004, 25(6): 4-6, 14.

赵熹华, 教授, 博士生导师。1964年毕业于哈尔滨工业大学焊接专业, 长期从事教学及科研工作。主编教材《压力焊》《焊接检验》《焊接方法与机电一体化》《压焊方法及设备》和参编《中国材料工程大典》等; 负责并完成国家自然科学基金 6 项、美国 GM 基金 2 项等, 发表论文百余篇, 获部省级科技进步 1~3 等奖 9 项, 国外发明专利 2 项; 获政府特殊津贴、吉林英才奖章、中国机械工业科技专家荣誉。现任中国焊接学会常务理事, 压力焊专业委员会主任, 吉林省焊接学会理事长。



赵熹华 教授

专题讨论——名家新作 爱心奉献