

高能喷丸对汽车车身铝/钢 TIG 焊接头组织与力学性能的影响

张晓旭¹, 杜子学²

(1. 重庆电子工程职业学院 汽车工程学院, 重庆 401331; 重庆交通大学 机电与汽车工程学院, 重庆 400074)

摘要:采用 TIG 电弧为热源, 铝-硅焊丝为填充材料, 对 5052 铝合金与镀锌钢进行熔钎焊连接。焊后采用高能喷丸工艺对铝/镀锌钢焊接接头进行喷丸强化处理, 并结合 SEM、XRD、光学显微镜以及万能拉伸试验机等检测方法对铝/钢 TIG 熔钎焊接头微观组织和力学性能进行研究。试验结果表明:当喷丸强度为 0.08 MPa 时, 铝/钢熔钎焊接头抗拉强度最大, 为 135 MPa。此时接头熔焊区的平均晶粒尺寸减小至 51 μm , 且接头表面残余压应力达到 52 MPa。在拉伸试验中断裂发生在接头熔焊区, 断口表现为良好的韧性断裂特征。

关键词:铝合金; 镀锌钢; TIG 熔钎焊; 喷丸

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2016.23.052

中图分类号: TG407; TG668

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2016)23-0182-03

Effects of Shot Peening on Microstructure and Mechanical Properties of Automobile Body Al/Steel TIG Welded Joints

ZHANG Xiaoxu¹, DU Zixue²

(1. College of Automotive Engineering, Chongqing College of Electronic Engineering, Chongqing, 401331, China; 2. College of Electromechanical and Automobile Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China)

Abstract: With TIG arc as heat source and Al-Si wire as filler metal, the welding-brazing of 5052 alloy and galvanized steel was carried out. The high energy shot peening was applied to the Al/steel welded joints after the welding-brazing process. The microstructure and mechanical properties of Al/steel joints were studied by SEM, XRD, optical microscope and electronic tensile testing machine. The results show that when the shot peening pressure is 0.08 MPa, the Al/steel joint with the maximum tensile strength of 135 MPa is obtained. Besides, the average grain size of Al/steel joint decreases to 51 μm and the surface residual compressive stress increases to 52 MPa. The fracture of Al/steel joint is in fusion zone during tensile testing and the fracture shows characteristics of plastic fracture.

Key words: aluminum alloy; galvanized steel; TIG welding-brazing; shot peening

目前,汽车工业正朝着节能、环保和安全的方向发展,而节能和环保又是其中的核心问题,有效措施就是降低汽车自重,即汽车轻量化。铝及其合金具有密度小、比强度高、易于加工成形、导热导电性好等优点,被广泛应用于汽车制造、航空航天等领域^[1]。由于汽车制造大量采用铝合金,使汽车总质量减轻,从而降低了燃油的消耗,并减小了汽车尾气排放。同时废旧汽车的回收率高,铝质汽车零件基本上都可回收,有利于提高铝合金的循环使用价值。

此外,双相镀锌钢具有强度高、切削加工性能良好、耐腐蚀性好等特点,在汽车中的应用日益广泛。铝合金和钢的独特优势可互相弥补其性能的不足,所以近年来在汽车工业生产中,采用“钢+铝”双金属焊接结构的产品越来越多。开展铝/钢高强度焊接研究,无论是从经济角度,还是从使用性能角度出发都是非常必要的,其具有广阔的应用前景和深远意义。然而铝和钢在物理性能方面具有很大的差异,两者之间的固溶度很低,在焊接接头中容易形成较大的残余应力分布,并且有多种硬而脆的金属间化合物生成,这给接头的塑性和韧性带来不利,从而降低了接头力学性能。近年来,搅拌摩擦焊^[2]、电阻点焊^[3]、钎焊^[4]、熔钎焊^[5-6]等焊接方法被用来实现铝/镀锌钢之间的可靠连接。其中,TIG 熔钎焊技术是近年来出现的一种适用于焊接镁/钢、铝/钛等熔点差异大

收稿日期:2016-08-14

基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAG06B01)

作者简介:张晓旭(1982-),女,黑龙江人,讲师,主要从事汽车工程、材料加工等研究;电话:15696212212;

E-mail:zxx15696212212@163.com

的异种金属材料的工艺,它充分利用异种金属的熔点差异,焊接过程中熔化的低熔点材料和固相的高熔点材料通过反应而结合在一起。这种焊接过程同时兼具熔焊和钎焊两种焊接方式的特点,焊接成本低,焊接时电弧和熔池可见性好,操作方便,焊件变形小,焊接过程易于实现机械化和自动化等优点。

铝/钢焊接当中还有一个重要的问题是铝表面难熔氧化膜的存在会覆盖在熔池表面,抑制液态金属的良好结合,并且熔焊区易产生晶粒粗大、夹渣等缺陷,影响焊接效果。高能喷丸工艺是一种表面强化技术,该技术是在完全控制的状态下,将大量高速运动的弹丸喷射到材料表面,使材料表层和次表层产生晶粒细化和塑性变形,从而减少焊接过程中产生的气孔缺陷,并控制残余应力的分布等,同时达到细化晶粒的效果。近年来,陆续有将喷丸处理用于提升焊接接头质量的研究被报道。逯瑶等^[7]采用高能喷丸技术对7A52铝合金双丝焊焊接接头表面进行处理,并对材料表面纳米化处理后的样品进行分析。结果表明,经过20 min高能喷丸处理,焊接接头表层的晶粒细化至纳米级,晶粒尺寸细小均匀且母材有 η 相析出。本文采用TIG熔钎焊工艺对铝/镀锌钢异种金属进行连接,并研究了焊后喷丸处理对接头微观组织和力学性能的影响。

1 试验材料及方法

试验母材为5052铝合金板和镀锌钢板,板厚均为1.0 mm,填充钎料选用直径为1.2 mm的ER4043Al-Si共晶焊丝,试验材料的主要化学成分如表1所示。焊接前,用线切割机将1 mm厚的5052铝合金板和镀锌钢板加工成尺寸均为100 mm×60 mm×1 mm的焊接试件。用400#砂纸初步打磨铝合金板正面以及侧边杂质,再用丙酮试剂擦拭铝合金和镀锌钢板表面,随后用酒精清洗,最后用电风吹干,以去除表面油污、灰尘等。焊接试验在YC-500W系TIG焊机上进行。焊接示意图如图1所示。表2给出了本试验的焊接参数。

焊接试验完成后,采用6050B型号喷丸机对铝

表1 试验材料的化学成分(质量分数,%)

Tab.1 Chemical composition of test materials(wt%)

	Mg	Zn	Cu	Mn	P	Si	Cr	Fe	Al
5052	2.5	0.07	0.03	0.06	-	0.2	0.22	0.03	余量
镀锌钢	-	-	-	1.51	0.015	1.1	0.08	余量	0.02
4043焊丝	0.2	0.1	0.3	0.15	-	5.1	-	0.60	余量

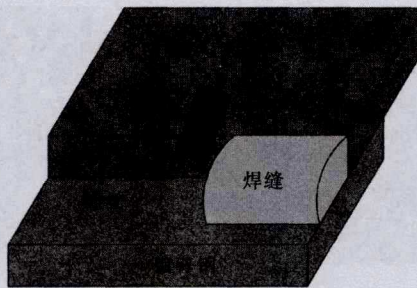


图1 TIG熔-钎焊过程示意图

Fig.1 Schematic diagram of TIG welding-brazing process

表2 焊接参数

Tab.2 Welding parameters

焊接电流 I /A	焊接速度 v /(m·min ⁻¹)	填丝速度 v_w /(m·min ⁻¹)	氩气流量 /(L·min ⁻¹)	弧长/mm
80	0.3	0.5	8	2

/钢焊接接头上表面进行喷丸强化处理。本试验选择的喷丸强度为0.04、0.08和0.12 MPa,喷丸时间为1 min,选用直径为1 mm的不锈钢弹丸,喷射角为90°。喷丸强化试验完成后,将一部分焊件切成拉伸试样,进行力学性能测试,拉伸速度为0.5 mm/min,每组焊接参数测试3次求平均值,以减小误差。对断后试样使用扫描电镜进行断口观察,分析接头断裂模式。采用XRD衍射系统分析接头截面的残余应力。此外,将部分铝/钢焊件沿横截面切开,经清洗抛光后用光学显微镜观察接头的微观组织特征。

2 试验结果和讨论

2.1 铝/钢焊接接头微观组织

图2为铝-钢接头经过不同强度喷丸处理后的接头熔焊区微观组织图。由图2(a)可以发现,接头未经过喷丸处理时,熔焊区的晶粒尺寸粗大,晶粒平均尺寸为87 μm ,形状不规则。铝-钢焊接接头经焊后喷丸处理后,接头内部熔焊区晶粒出现明显细化。当喷丸强度为0.04、0.08和0.12 MPa时,接头熔焊区的晶粒平均尺寸分别为65、51和44 μm 。总的来说,喷丸强度越大,处理后的接头晶粒平均尺寸越小。喷丸强度为0.08 MPa时熔焊区的晶粒尺寸明显小于喷丸强度为0.04 MPa时的接头,随着喷丸强度继续增加,接头熔焊区晶粒尺寸减小的趋势降低,此时喷丸处理的晶粒细化作用减弱。

2.2 铝/钢焊接接头残余应力

图3为铝/钢接头经不同强度的喷丸处理后接头内部残余应力的分布情况。从图可以发现,未经喷丸处理时,接头内部的残余应力为拉应力,其值为

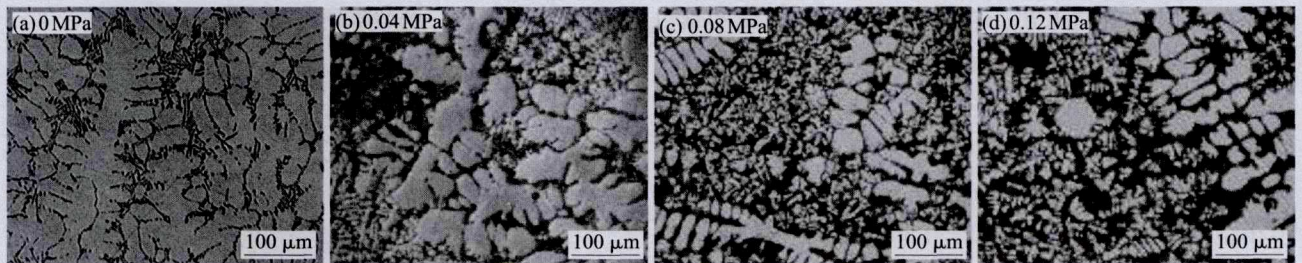
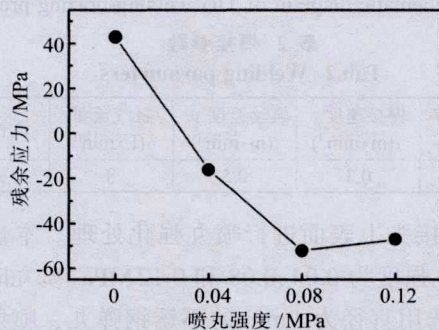
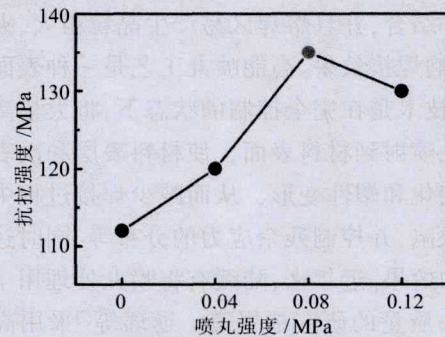


图2 不同喷丸强度处理后铝/钢焊接接头微观组织图

Fig.2 Microstructure of Al/steel joints with different shot peening pressures

图3 不同喷丸强度处理后接头焊缝残余应力
Fig.3 Residual stress of welded joints with different shot peening pressures图4 不同喷丸强度处理后接头抗拉强度
Fig.4 Tensile stress of welded joints with different shot peening pressures

43 MPa。喷丸强化处理后, 接头残余应力变为压应力, 应力值随着喷丸强度的增大先增大后减小。当喷丸强度为 0.04、0.08 和 0.12 MPa 时, 接头残余压应力值分别为 16、52 和 47 MPa。分析认为, 在喷丸处理过程中, 弹丸喷射到焊缝表面后会使焊缝中产生残余压应力, 这种残余压应力一部分用来抵消掉焊接过程中产生的残余拉应力, 剩下一部分作为残余应力遗留在接头内部, 提高了接头的力学强度。喷丸强度越大, 接头的残余压应力越大。但是当喷丸强度过高时, 过大的残余应力会使接头出现微裂纹等缺陷, 从而引起残余应力的部分释放。

2.3 铝/钢接头力学性能测试

图 4 为铝 / 钢焊接接头力学性能测试结果。由图可以发现, 铝 / 钢接头未经喷丸处理时, 其接头抗拉强度仅为 112 MPa。随着喷丸强度的提高, 接头的

抗拉强度呈现出先增大后减小的趋势。当喷丸强度为 0.08 MPa 时, 接头强度达到最大值 135 MPa; 当喷丸强度达到 0.12 MPa 时, 由于接头内部出现微裂纹, 整个接头的强度随之降低, 这与残余应力测试结果相符。

2.4 铝/钢接头断裂特征

图 5 是不同喷丸强度时铝 / 钢接头的断口形貌图。在拉伸试验中, 所有接头的断裂位置都位于熔焊区。由图可以看到, 四种断口均以韧窝形貌为主, 属于韧性断裂。在断口局部位置会有少量脆性断裂的痕迹以及由于气体未能及时逸出而形成的焊接气孔缺陷。气孔缺陷在焊接过程中不可避免, 表面喷丸处理并不能完全消除气孔缺陷。但与未经喷丸处理的接头断口形貌相比, 气孔数量有所减少。

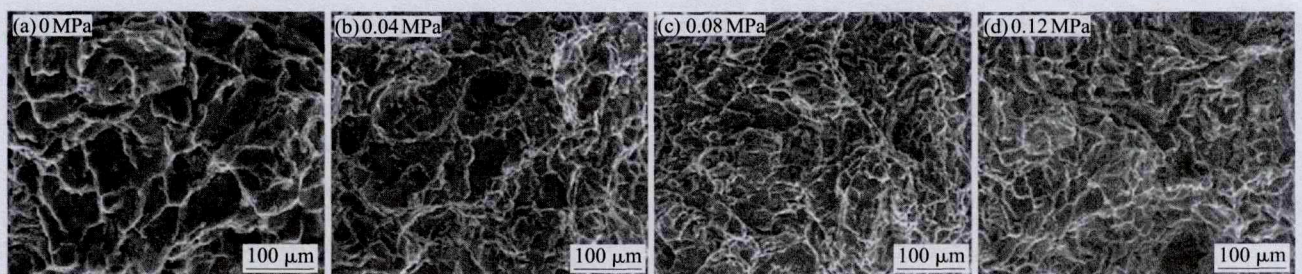


图5 不同喷丸强度时铝/钢接头断口形貌

Fig.5 Fracture morphologies of welded joints with different shot peening pressures (下转第 189 页)

另外,对于低合金钢管嘴与奥氏体不锈钢安全端异种钢焊接,由于两种材料的线膨胀系数、导热系数等差异性较大,极易导致焊缝或热影响区产生裂纹。异种材料焊接的熔合区成分复杂、组织很不均匀,因此在扫描电镜和透射电镜分析中,可以看到存在成分过渡区、未熔合区及裂纹等现象。另外,前文分析中提及对接焊缝/SA-182 F316LN 熔合线界面存在未熔合区,该未熔合区的成分与 SA-182 F316LN 母材基本相同。出现该现象与焊接过程中熔池的边缘母材金属较多且未被搅拌均匀有关,其原因是熔池边缘的温度较其平均温度低,距电弧电流中心较远,电磁搅拌力较弱,金属的流动性较差,被熔化的母材金属处于液态的时间较短,极易造成成块的母材金属以岛屿或半岛状贴近于焊缝边缘。这种成分不均匀性的程度与焊接工艺参数大小有关,特别是与施焊过程中均匀性和稳定性的关系更大,也与填充材料的化学成分、焊接道层次、焊后热处理等有关。

为了减少缺陷产生的几率,在焊接中应该严格控制热输入,尽量采用小的电流和快速焊接。对于对接焊缝应采用多层多道焊接,减小热源在焊缝边缘的停留时间,以减少碳的迁移和母材金属在焊缝中的熔合比,提高焊接接头的性能。

3 结论

(1) SA-508 Gr.3 Cl.2 与预堆边熔合线界面附

(上接第 184 页)

3 结论

(1) 铝-钢焊接接头经焊后喷丸处理后,接头内部熔焊区晶粒出现明显细化,接头残余应力由未喷丸处理的拉应力变为压应力,且随着喷丸强度的增大先增大后减小。接头的抗拉强度也随着喷丸强度的提高呈现出先增大后减小的趋势。

(2) 当喷丸强度为 0.08 MPa 时,接头熔焊区的平均晶粒尺寸减小到 51 μm ,且接头残余压应力最大,为 52 MPa,接头抗拉强度最大,为 135 MPa,断口形貌以韧窝形貌为主,属于韧性断裂。

参考文献:

[1] 贾海峰,王少刚,章国涛,等. 铝锂合金及其焊接技术研究进

近存在不连续分布的马氏体组织,主要合金元素在 SA-508Gr.3Cl.2 与预堆边熔合线界面处存在明显的成分过渡,SA-508Gr.3Cl.2 侧 Fe 含量高于预堆边, Ni、Cr 含量低于预堆边。成分过渡区宽度约 40 μm ,含有马氏体的区域过渡区的宽度明显小于没有马氏体区域的过渡区宽度。

(2) 在 SA-182 F316LN 与焊缝熔合线界面附近存在较大的成分梯度,成分过渡区宽度在 100 μm 左右。在界面附近存在未熔合区,未熔合区的成分与母材 SA-182 F316LN 的成分几乎一致,说明该区域属于母材的一部分。在靠近熔合线的镍基对接焊缝内,发现有沿晶开裂的焊接缺陷,裂纹长度约有 400 μm 。

(3) 安全端焊接接头组织及相分析表明,为了减少缺陷产生的几率,在焊接中应该严格控制热输入,尽量采用小的电流和快速焊接。对于对接焊缝应采用多层多道焊接,减小热源在焊缝边缘的停留时间,以减少碳的迁移和母材金属在焊缝中的熔合比。

参考文献:

- [1] 杨敏,李长春,罗英,等. 核岛主设备接管与安全端对接焊缝焊接材料选择对焊缝质量的影响[C]//第十五次全国焊接学术会议论文集. 西宁,2010.
- [2] 王海涛. 核电安全端异种金属焊接接头的局部力学性能及断裂行为[D]. 上海:华东理工大学,2013:1-4. 
- 展[J]. 电焊机,2015,45(1):75-80.
- [2] 郭伟强. 铝/钢搅拌摩擦搭接接头力学性能及组织特征研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2014.
- [3] 张伟华. 铝合金/高强度异种金属电阻点焊研究[D]. 吉林:吉林大学,2011.
- [4] 李望南. 铝/钢高频感应钎焊工艺研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2009.
- [5] 赵旭东. 铝/钢异种金属激光填充粉末熔钎焊接技术研究[D]. 北京:北京工业大学,2012.
- [6] 石珂,李杰,黄健康,等. Si 和 Zn 对铝/钢异种金属熔钎焊接头界面组织的影响[J]. 中国有色金属学报,2015(1):30-35.
- [7] 逯瑶,陈芙蓉,解瑞军,等. 7A52 铝合金焊接接头高能喷丸前后的性能分析[J]. 兵器材料科学与工程,2010,32(2):8-11. 