

SAPH440 酸洗板电阻点焊工艺研究

余腾义

(攀钢集团研究院有限公司, 钒钛资源综合利用国家重点实验室, 四川 攀枝花 617000)

摘 要: 以 2.0 mm 厚 SAPH440 酸洗板为研究对象, 通过检测点焊接头的抗剪性能及十字拉伸性能, 综合评价接头的力学性能, 并使用 Axio Obersver A1m 型光学显微镜观察点焊接头显微组织, 测量熔核直径, 分析焊接电流对熔核直径的影响, 创建点焊工艺窗口。结果表明: 酸洗板点焊工艺窗口为 8.5 kA 至 12 kA, 宽度 3.5 kA, 接头熔核直径及力学性能与焊接电流呈正相关, 当出现飞溅后, 熔核直径与力学性能略微下降, 熔核区与热影响区组织均为马氏体, 受焊接热循环的影响, 熔核区组织为粗大柱状, 热影响区组织为细小针状。

关键词: 酸洗板; 电阻点焊; 力学性能; 显微组织

中图分类号: TF76, TG44 文献标志码: A 文章编号: 1004-7638(2020)03-0161-05

DOI: 10.7531/j.issn.1004-7638.2020.03.028

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research on Resistance Spot Welding Process of SAPH440 Pickled Plate

Yu Tengyi

(Pangang Group Research Institute Co.Ltd, State Key Laboratory of Vanadium and Titanium Resources Comprehensive Utilization, Panzhihua 617000, Sichuan, China)

Abstract: The research object was SAPH440 pickling plate, the thickness was 2.0 mm. Comprehensively evaluated the mechanical properties of the joint by testing the shear and cross tensile properties, Axio Obersver A1m optical microscope was used for microstructure and nugget diameter examination, and create spot welding process window. The result showed that, the pickling plate spot welding process window was 8.5 kA to 12 kA with a width of 3.5 kA, the nugget diameter and mechanical properties were positively correlated with welding current, when expulsion appeared, the nugget diameter and mechanical properties of the joint decreased slightly. The microstructure of nugget zone and HAZ were both martensite. Due to the influence of welding heat cycle, the structure morphology of the nugget zone was coarse and columnar, and the structure of HAZ was fine and needle-like.

Key words: pickled plate, resistance spot welding, mechanical properties, microstructure

0 引言

酸洗板是介于热轧板及冷轧板之间的中间产品, 兼具两者部分优点, 在制造业获得成功应用, 属于“以热带冷”的理想产品^[1-3]。与热轧板相比, 酸洗工艺去除了氧化铁皮, 酸洗板表面光洁度较高, 有利于材料的涂装、冲压与焊接, 与冷轧板相比, 酸洗

板生产成本较低, 具有较高的性价比, 同时, 酸洗板具有优异的冷成型性能以及较高的强度^[4-6]。

随着汽车工业在安全、环保及轻量化方面要求的持续升高, 酸洗板得到了各大主机厂的青睐, 使用酸洗板代替热轧板制作汽车结构件, 不仅能够实现减重降本的效果, 还可以避免汽车企业“土酸洗”后废酸带来的环境污染问题^[7]。

目前,汽车行业中酸洗板主要用于汽车底盘结构件及其他汽车冲压结构件,并采用电阻点焊连接^[8]。电阻点焊是汽车制造中的主流焊接方法,具有环保、生产率高、低成本、加热时间短、变形小、易于实现机械化与自动化等优势^[9]。有研究表明,车身生产线上约90%以上的装配使用电阻点焊工艺^[10]。

金属材料点焊,需要根据材料的特点,制定工艺窗口,便于现场生产选择焊接规范。焊接工艺不当,可能会出现虚焊、合金化严重等缺陷。为此,笔者以SAPH440酸洗板为研究对象,通过分析点焊接头熔核尺寸、力学性能以及显微组织构成及其形态,综合评价材料的点焊性能,并给出试验条件下点焊工艺范围,为酸洗板在汽车制造中的进一步推广应用提供理论及技术支持。

1 试验

1.1 试验材料

试验材料为SAPH440酸洗板,厚度2.0 mm,根据GB2651—1989《焊接接头拉伸试验方法》标准要求,试样尺寸定为50 mm×150 mm,为了减小试样中间缝隙并增大焊接区域总电阻,焊接前使用砂纸除去氧化膜以及其他影响焊接质量的异物后,再用丙酮清洗试样。SAPH440酸洗板的主要化学成分及力学性能见表1、2,图1为母材显微组织构成,由铁素体及少量珠光体组成。

表1 SAPH440酸洗板主要化学成分
Table 1 Main chemical composition of SAPH440 pickled plate

	C	Si	Mn	P	S	Ti	Cr
%	0.08	0.02	1.36	0.013	0.004	0.009	0.29

表2 SAPH440酸洗板力学性能
Table 2 Mechanical properties of SAPH440 pickled plate

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%
341	492	36

1.2 试验方法

点焊试验设备为次级整流直流点焊机,电极材料为Cr-Zr-Cu。使用Axio Obersver A1m型光学显微镜观察点焊接头显微组织,并使用Micro-image Analysis & Process测量点焊接头的熔核直径,接头力学性能使用INSTRON5569型电子拉伸试验机进行检测。

电阻点焊工艺参数主要包含三项:焊接电流、焊

接时间以及电极压力。本试验保持电极压力5.5 kN,焊接时间0.36 s不变,焊接电流自7.0 kA开始逐渐升至13.0 kA,旨在分析焊接电流对接头性能的影响规律,研究点焊工艺窗口宽度。



图1 母材显微组织

Fig.1 Microstructure of base metal

2 试验结果及分析

2.1 熔核尺寸分析

点焊接头的熔核尺寸与接头质量有着密不可分的关系,熔核直径对焊点强度有着决定性的影响。目前,针对点焊接头尺寸的通用标准为日本JIS标准。JIS Z 3140—1989《点焊接头断面实验方法及判定标准》规定,2.0 mm厚酸洗板的最小熔核直径为6.12 mm。每组工艺参数下焊接3个接头,经研磨并使用苦味酸腐蚀后,在光学显微镜下测量接头熔核直径,取最小值作为该参数下的熔核直径,图2为点焊工艺窗口。

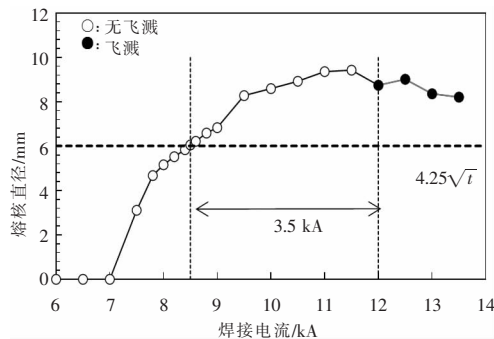


图2 点焊工艺窗口

Fig.2 Process window of spot welding

由图2可知,当焊接电流为8.5 kA时,熔核直径尺寸满足标准要求,高于12.0 kA时,点焊接头出现飞溅现象,点焊工艺窗口较宽,达到3.5 kA。

飞溅现象是由于熔融金属量的增加速度超过塑性环的扩大速度所导致的,轻微的飞溅对接头质量无明显影响,但严重的飞溅将导致熔合线向熔核中心移动,降低熔透率,引起接头强度下降,容易形成焊接缺陷,降低接头质量,因此应尽量避免点焊接头产生飞溅。

熔核直径随焊接电流上升呈现逐渐升高的趋势,当接头出现飞溅时,熔核直径略微下降,但下降幅度较小。提高焊接电流,接头热输入随之上升,焊

接区域面积增大,熔融金属量增加,因此熔核直径呈现上升趋势。接头出现飞溅后,部分熔融金属脱离焊接区域,因此熔核直径略微下降。

2.2 力学性能分析

检测接头的抗剪性能及十字拉伸性能,综合评价接头力学性能,其中十字拉伸使用自制夹具进行检测。每组工艺参数点焊3组试样,取其平均值作为此参数下接头的力学性能指标,点焊接头力学性能及失效模式见图3。

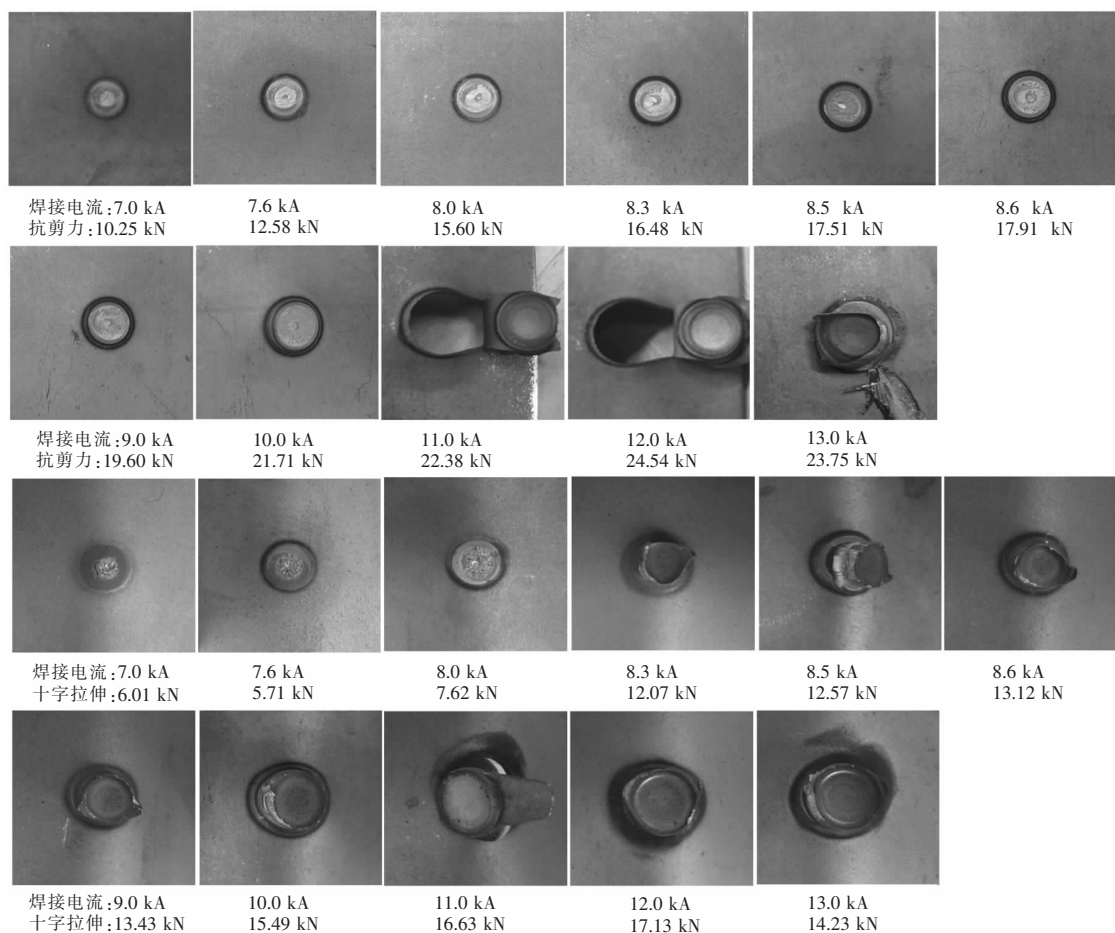


图3 点焊接头力学性能及失效模式

Fig.3 Mechanical properties and failure cause of weld joints

由图3可知,接头抗剪性能力及十字拉伸性能均随焊接电流上升呈现上升趋势,当焊接电流升至13.0 kA时,力学性能略有下降。接头力学性能与熔核直径有着密不可分的关系,熔核直径上升后,接头失效强度增大,因此力学性能上升,而当接头出现严重飞溅后,接头熔透率降低,焊接区域横截面积减小,容易引起应力集中,因此接头力学性能降低。

从失效模式来看,焊接电流低于11.0 kA时,抗剪试样均为熔核剥离失效模式,焊接电流高于11.0 kA时,均为“纽扣”断裂失效模式。对于汽车制造企业而言,接头抗剪性能并不是主要考察项,一般要求熔核直径达到标准要求后,十字拉伸试样均为“纽扣”断裂失效模式,图3中试样满足要求,说明接头力学性能较好。试验条件下,最优力学性能出现在焊接电流12.0 kA时。

2.3 显微组织分析

选取最优力学性能下接头,经研磨腐蚀后观察熔核区及热影响区显微组织构成及形态,结果见图4、5。



图4 熔核区显微组织

Fig.4 Microstructure of nugget zone

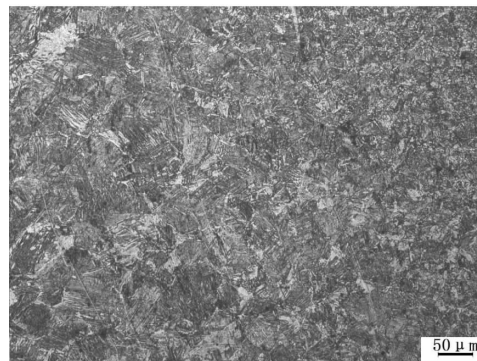


图5 热影响区显微组织

Fig.5 Microstructure of HAZ

由图4能够观察到明显的熔合线,熔合线两侧组织呈现明显的方向性生长。当焊接区域融化为液态金属时,液态金属与材料表面形成较大的过冷度,固相表面最先形成晶核,晶核沿散热方向的反方向长大,即由液态金属表面向内生长,最终在熔核中心相交形成熔合线,因此晶粒具有方向性,并呈现柱状形态。电阻电焊是一个快速加热快速冷却的过程,其冷却速率高于马氏体转变速率,因此熔核区显微组织主要由马氏体组织构成,而且快速加热导致熔核中心出现过热现象,晶核具有足够的能量及时间成长,因此马氏体组织较为粗大。

在焊接热循环的影响下,熔核区峰值温度最高,热影响区峰值温度远远低于熔核区,晶核获得的能

量小,因此热影响区晶粒尺寸较为细小并呈现细针状。热影响区冷却速率同样较大,显微组织构成主要为马氏体,铁素体含量较少。

3 结论

1) SAPH440 酸洗板点焊性能较好,焊接电流为 8.5 kA 时,熔核直径尺寸能够满足标准要求,点焊工艺窗口宽度达 3.5 kA。

2) 点焊接头熔核直径及力学性能均随焊接电流升高而升高,出现飞溅后略有下降,但下降幅度较小。点焊接头十字拉伸断裂模式满足汽车制造企业要求的“纽扣”断裂失效模式。

3) 熔核区及热影响区显微组织构成均为马氏体组织,受焊接热循环的影响,熔核区马氏体呈现粗大柱状形态,热影响区马氏体呈现细小针状形态。

参考文献

- [1] Guo Zifeng, Feng Jun, Bai Yongli *et al.* Development of hot-rolled and pickled strip steel SAPH440 for automobile structure of Beijing Shougang Co., Ltd [J]. Forging & Stamping Technology, 2015, 40(2): 60–64.
(郭子峰, 冯军, 白永立, 等. 首钢汽车结构用热轧酸洗带钢 SAPH440 的开发[J]. 锻压技术, 2015, 40(2): 60–64.)
- [2] Yu Liwei, Wang Xusheng, Kang Haijun *et al.* Process optimization of pickling hot-rolled steel SAPH440 [J]. Metal World, 2018, 197(3): 66–68, 77.
(于立伟, 王旭生, 康海军, 等. 热轧酸洗钢卷 SAPH440 的工艺优化[J]. 金属世界, 2018, 197(3): 66–68, 77.)
- [3] Sun Chengqian, Shi Xiaoguang, Xu Rongjie *et al.* Development and analysis of causes of crack formation of SAPH440 hot-rolled steel plate [J]. Hot Working Technology, 2018, 47(1): 172–174, 177.
(孙成钱, 时晓光, 徐荣杰, 等. SAPH440 热轧钢板的研制及裂纹形成原因分析[J]. 热加工工艺, 2018, 47(1): 172–174, 177.)
- [4] Sun Chengqian, Shi Xiaoguang, Dong Yi *et al.* Effect of Nb on the microstructure and mechanical properties of hot-rolled and pickled steel plate [J]. Shanghai Metals, 2018, 40(5): 93–95.
(孙成钱, 时晓光, 董毅, 等. 铌对热轧酸洗钢板组织和性能的影响[J]. 上海金属, 2018, 40(5): 93–95.)
- [5] Li Wenyan, Guo Zifeng, Hui Yajun *et al.* Effects of Mn and Nb content on microstructure and properties of hot-rolled pickling

- steel plate QStE500TM[J].Materials for Mechanical Engineering 2017 41(12) : 80-84.
- (李文远 郭子峰 惠亚军 ,等. 锰、铌含量对热轧酸洗 QStE500TM 钢板组织和性能的影响[J].机械工程材料 ,2017 41(12) : 80-84.)
- [6] Pei Xinhua ,Gong Zhihui.Rsearch on earing forming factor of hot rolled pickling plate in deep drawing [J].Hot Working Technology 2014 43(3) : 88-91.
- (裴新华 龚志辉.热轧酸洗板深拉深成形凸耳形成因素研究[J].热加工工艺 2014 43(3) : 88-91.)
- [7] Zhu Yanglin ,Yue Chongxiang ,Li Hui *et al.*Development of hot rolled and pickled automotive steel QStE420[J].Heat Treatment of Metals 2018 43(10) : 50-53.
- (朱阳林 岳重祥 李慧 ,等.汽车结构用热轧酸洗板 QStE420 的开发[J].金属热处理 2018 43(10) : 50-53.)
- [8] Wang Bin.Investigation on fatigue and fracture behaviors of spot welded automobile sheets[D].Shenyang: Northeastern University 2014.
- (王斌.汽车薄板焊点的疲劳断裂行为研究[D].沈阳: 东北大学 2014.)
- [9] Ceglarek D ,Shi J ,Wu S M.A Knowledge-based diagnostic approach for the launch of the auto-body assembly process[J].Journal of Manufacturing Science & Engineering ,1994 ,116(4) : 491-499.
- [10] Soulam A ,Choi K S ,Shen Y F *et al.*On deformation twinning in a 17.5% Mn-TWIP steel: A physically based phenomenological model[J].Materials Science & Engineering A 2011 528(3) : 1402-1408.

编辑 张继东

天津大学研发新型绿色水系电池进入国家电网光储能系统

(2020年6月9日消息) 天津大学材料与工程学院近期在绿色电池方面取得重大突破,开发出了具有高安全性、高能量密度、大功率、在生产和使用过程中不产生污染的水系锌基电池。相关成果发表在材料领域国际学术期刊《自然·能源》和《自然·通讯》等上。更让人欣喜的是,这项绿色电池成果并没有停留在论文上,而是在天津大学电化学储能团队的努力下进入了国家电网光储能系统。锂离子电池储能能力高,但在滥用情况下,存在燃烧、爆炸等安全隐患;铅酸电池安全性强,但存在能量密度低,潜在的铅污染等问题。研发兼具高安全性、高能量密度和成本低等优势为一身的电池,是科研人员攻关的重点方向。提高能量密度,解决锌枝晶生长,提升倍率性能,提高电池低温性能……天津大学电化学储能团队攻克了一个又一个限制电池性能的关键问题,终于研发出高安全、高性能、高环保的锌基水系绿色电池。

“该电池不存在燃烧和爆炸的风险,同时电池的能量密度是铅酸电池的2倍;功率密度高,循环性好,-40℃还能工作,有望在规模储能领域中得到应用。”团队相关负责人指着天大材料学院楼下那个晚上能照亮学院门前小广场的“GREEN”霓虹灯说,“这是我们做的一个可充放锌锰电池在风光互补发电系统中的应用演示,可以有效对太阳能、风能进行存储。这种锌基水系绿色电池已经进入国家电网光储能系统,目前有海内外企业和单位在洽谈购买事宜,如与阿联酋一家企业签订了电池采购协议,为石油管道项目营地一污水处理供电工程处进行供电。”

自研发成果在企业实现批量化生产以来,团队成员一直是“空中飞人”,在全国各地推进新型绿色水系电池的应用。今年,浙江、安徽、湖南……疫情“解锁”一个地方,团队就跟进一个地方,到国家电网等各个系统施工现场跟进绿色水系电池的部署。“高安全性、高能量密度、高循环性能的电池将是未来规模储能技术发展和应用的重点。未来,我们继续围绕大规模储能领域的关键性技术研发和材料应用进行更加深入的创新性研究,并推进应用,把论文写在祖国大地上。”团队负责人表示。

(摘自 http://www.jyb.cn/rmtzcg/xwy/wzxw/202006/t20200609_335089.html)