

喷管 P-TIG 焊熔深研究

王 勇¹, 李晓娜²

(1. 中铁八局集团 二公司, 四川 成都 614000; 2. 成都纺织高等专科学校 机械工程与自动化系, 四川 成都 611371)

摘要: 喷管为发动机的重要零部件, 其材质为 1Cr18NiTi 奥氏体不锈钢, 产品设计对喷管焊缝熔深的要求十分严格。在研制的专用脉冲钨极氩弧焊设备及其外围系统的基础上, 通过多组工艺参数下的脉冲钨极氩弧焊的正交试验, 寻求满足熔深要求时的最佳工艺参数。结果发现, 当峰值电流 $I_p=60$ A、基值电流 $I_b=20$ A、脉冲频率 $f=3$ Hz、电弧弧长 $L=0.7$ mm、占空比 $R_w=33\%$ 时, 喷管接头熔深能够达到设计要求, 同时也具有良好的力学性能。经用于产品现场生产, 获得了良好的效果和经济效益。

关键词: 喷管; 正交试验; 工艺参数; 熔深; 脉冲钨极氩弧焊

中图分类号: TG443 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2303(2011)04-0086-04

Study on the penetration depth of the engine nozzle with P-TIG welding

WANG Yong¹, LI Xiao-na²

(1. No.2 Engineering Company of China Railway No.8 Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 614000, China; 2. Mechanical Engineering & Automation Department, Chengdu Textile College, Chengdu 611731, China)

Abstract: The engine nozzle is an important part that made of 1Cr18NiTi austenitic stainless steel. The product design requires very strict penetration depth control of the nozzle. The paper is seeking the optimal welding processing parameter of proper penetration by P-TIG welding experiments with multi-group welding processing parameter, based on the exclusive and development P-TIG machine and its peripheral device. Through orthogonal experiments, when peak current $I_p=60$ A, background current $I_b=20$ A, pulse frequency $f=3$ Hz, arc length $L=0.7$ mm, and duty cycle $R_w=33\%$, the penetration depth of nozzle meets the design standards and mechanical property is satisfied. Through the product used in practice and good benefit is obtained.

Key words: engine nozzle; orthogonal experiments; welding processing parameter; penetration depth; P-TIG

0 前言

奥氏体不锈钢因其优良的抗腐蚀、耐高温和综合力学性能广泛应用于机械、化工、航空等行业。图1所示的喷管为发动机产品部件, 其材质为 1Cr18NiTi 奥氏体不锈钢, 对焊接质量要求严格。要求焊接时无裂纹, 同一焊缝中熔深的波动值不得大于设计熔深控制范围(0.7~1.1 mm)的 25%, 同时要求焊缝可靠性高, 一次焊接熔深合格率达到 90%以上。

脉冲钨极氩弧焊利用焊接电源向电弧提供按一定规律变化的脉冲电流来进行焊接。其过程是: 由基本电流维持电弧稳定燃烧, 用可控的脉冲电流加热熔化工件。该方法可控性强, 通过调节焊接工



图1 喷管试件

艺参数, 有效控制焊接热输入量, 从而控制焊缝熔深, 确保焊缝成形。在研制的专用焊接设备的基础上, 通过正交试验, 设计了 16 组工艺参数下的脉冲钨极氩弧焊试验, 寻求满足熔深和接头性能要求的最佳工艺参数。

收稿日期: 2011-03-16

作者简介: 王 勇(1974—), 男, 四川剑阁人, 工程师, 主要从事工程机械的研究工作。

1 试验方法

喷管管壁厚度 3.5 mm,焊缝熔深在 0.7~1.1 mm 波动,且同一焊缝中熔深波动值小于等于 0.1 mm。

喷管材料为 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢,其化学成分和力学性能如表 1、表 2 所示。

表 1 1Cr18Ni9Ti 钢的化学成分								%
w(C)	w(Si)	w(Mn)	w(P)	w(S)	w(Ni)	w(Cr)	w(Ti)	
					8.00	17.00		
≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	~	~	~0.80	
					11.00	19.00		

表 2 1Cr18Ni9Ti 钢的力学性能					
屈服强度	抗拉强度	延伸率	硬度		
$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	σ_b/MPa	$\delta_s/\%$	HBS	HRB	HV
≥205	≥520	≥40	≤187	≤90	≤200

由表 1、表 2 可知,1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢碳当量不大,可选焊接方法较多。但是由于 1Cr18Ni9Ti 热膨胀率、导电率与碳钢相差较大,其熔池流动性较差,成形也较差,因而不锈钢焊接时母材熔化速度要比碳钢快得多,加之对喷管熔深和力学性能的严格要求,这就对喷管的焊接方法提出了新要求。喷管在制造时主要有以下几个难点:

- (1)喷管对于装配时的同心度要求严格,同心度偏差过大,会使喷管焊缝熔深产生波动,增加工艺参数的调整难度。
- (2)喷管熔深受到多个因素影响,如何确定最佳工艺参数以确保熔深及其波动率在规定范围是一个重要的难题。
- (3)在焊接过程中,传统设备容易受到外界的影响,工艺参数保持稳定较为困难,确保工艺参数稳定可靠是保证熔深及其波动率的重要工艺措施。

综合比较各种焊接方法后,选择了脉冲钨极氩弧焊,并在传统设备的基础上增加参数的闭环控制系统,有效解决了喷管装配困难和工艺参数控制精度高的难题。该设备在普通钨极氩弧焊设备上增加了参数监控、专家系统和工件对中等功能;在焊接过程的各阶段,能根据专家系统提供的焊机参数进行焊接过程中工艺参数全自动化控制,解决了参数控制精度的难题;该系统还增设了焊接钨极与被焊工作之间的距离调整功能,从而保证了电弧长度调整的功能要求。焊接设备及外围系统如图 2 所示,设备参数控制精度见表 3。

2 熔深控制试验

试验所用脉冲钨极氩弧焊以峰值电流 I_p 、基值

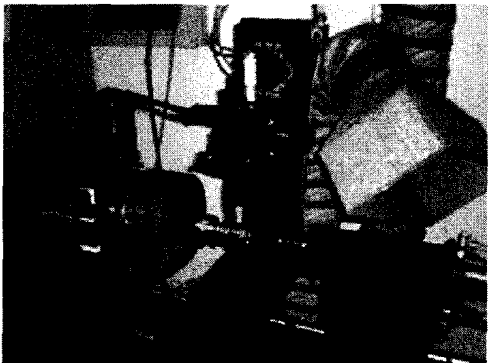


图 2 脉冲钨极氩弧焊机及其外围系统

表 3 设备参数控制精度要求		
焊接控制量	控制范围	控制精度要求
电压	0~60 V	±0.01 V
电流	0~120 A	±0.01 A
频率	0~100 Hz	±0.10 Hz
焊枪与工件距离	0~2 mm	±0.05 mm

电流 I_b 、脉冲频率 f 、电弧弧长 L 、占空比 R_w 为可变参数,设计的正交试验因素及水平见表 4,正交试验方案与实验结果见表 5,试验结果分析见表 6。

表 4 试验因素及水平					
试验因素	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D	因素 E
水平	峰值电流 I_p/A	基值电流 I_b/A	脉冲频率 f/Hz	电弧长度 L/mm	占空比 $D_w/\%$
1	50	10	1	0.3	15
2	60	20	3	0.5	25
3	70	30	5	0.7	33
4	80	40	7	0.9	50

将试件按表 4 给定的工艺参数进行焊接。采用线切割机切割加工试样(每个试件加工成八个试样),将切割好的试样分别按顺序使用 80#、160#、280#、400#、600# 水性砂纸打磨,至看不见宏观划痕的情况下,按照一定的配比使用硝酸、酒精、苦味酸混合溶液的腐蚀剂进行腐蚀,腐蚀时间 30 s,然后用水冲洗干净后马上擦干,使用测量显微镜观察试件的宏观金相。在观察到清晰的焊缝形貌后,测量整个焊接区域并算出焊缝熔深。这里有两种情况:当凸台未熔透时,焊缝宏观形貌见图 3a,熔深即为整个焊接区域高度;当凸台已经熔透,焊缝形貌见图 3b,则需要先计算焊缝的余高后才能计算得到熔深。

从表 5 可以看出,当峰值电流处于 50 A 或 80 A 时,焊缝熔深难以满足在 0.7~1.1 mm 范围内。

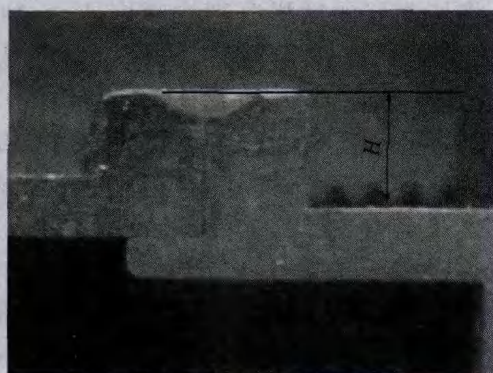
要满足熔深要求,根据上述试验结果,最佳试验方案应为 $A_2B_2C_2D_3E_3$ 。由于所设计试验没有 $A_2B_2C_2D_3E_3$,

表 5 正交试验方案与试验结果

试验号	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D	因素 E	熔深试验结果	
	峰值电流 I_p/A	基值电流 I_b/A	脉冲频率 f/Hz	电弧长度 L/mm	占空比 $D_w/\%$	熔深 h/mm	波动率 $\lambda/\%$
1	1(50)	1(10)	1(1)	1(0.3)	1(15)	0.546	6.283
2	1(50)	2(20)	2(3)	2(0.5)	2(25)	0.673	6.746
3	1(50)	3(30)	3(5)	3(0.7)	3(33)	0.738	7.084
4	1(50)	4(40)	4(7)	4(0.9)	4(50)	0.859	7.625
5	2(60)	1(10)	2(3)	3(0.7)	4(50)	0.787	7.183
6	2(60)	2(20)	1(1)	4(0.9)	3(33)	0.846	12.958
7	2(60)	3(30)	4(7)	1(0.3)	2(25)	0.869	10.749
8	2(60)	4(40)	3(5)	2(0.5)	1(15)	0.928	8.512
9	3(70)	1(10)	3(5)	4(0.9)	2(25)	0.941	12.744
10	3(70)	2(20)	4(7)	3(0.7)	1(15)	0.948	10.213
11	3(70)	3(30)	1(1)	2(0.5)	4(50)	0.933	14.624
12	3(70)	4(40)	2(3)	1(0.3)	3(33)	0.958	14.178
13	4(80)	1(10)	4(7)	2(0.5)	3(33)	1.055	12.856
14	4(80)	2(20)	3(5)	1(0.3)	4(50)	1.057	13.104
15	4(80)	3(30)	2(3)	4(0.9)	1(15)	1.153	19.067
16	4(80)	4(40)	1(1)	3(0.7)	2(25)	1.125	20.245

表 6 正交试验结果分析

分析项目	熔深 h/mm					波动率 $\lambda/\%$				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Y_1	2.816	3.329	3.450	3.430	3.575	27.738	39.066	54.110	44.314	44.075
Y_2	3.430	3.524	3.571	3.589	3.608	39.402	43.021	47.174	42.738	50.484
Y_3	3.780	3.693	3.664	3.598	3.597	51.759	51.524	41.444	44.725	47.076
Y_4	4.390	3.870	3.731	3.799	3.636	65.272	50.560	41.443	52.394	42.536
y_1	0.704	0.832	0.863	0.858	0.894	6.935	9.767	13.528	11.079	11.019
y_2	0.858	0.881	0.893	0.897	0.902	9.851	10.755	11.794	10.685	12.621
y_3	0.945	0.923	0.916	0.900	0.899	12.940	12.881	10.361	11.181	11.769
y_4	1.098	0.968	0.933	0.950	0.909	16.318	12.640	10.361	13.099	10.634



a 凸台未熔透



b 凸台熔透

图 3 试件焊缝宏观形貌

对此进行五次单因素试验,所得熔深稳定在 0.88 mm,熔深波动率 10%。表明当峰值电流 $I_p=60$ A、基值电流 $I_b=20$ A、脉冲频率 $f=3$ Hz、电弧弧长 $L=0.7$ mm、

占空比 $R_w=33\%$ 时,所得焊接接头能满足设计要求。将该工艺参数用于现场焊接,经抽查成功率在 95% 以上,获得了良好的经济效益。

3 结论

(1)在本试验条件下,当峰值电流 $I_p=60\text{ A}$ 、基值电流 $I_b=20\text{ A}$ 、脉冲频率 $f=3\text{ Hz}$ 、电弧弧长 $L=0.7\text{ mm}$ 、占空比 $R_w=33\%$ 时,所得焊接接头能够满足设计要求。

(2)峰值电流对熔深的影响最为显著,当峰值电流小于 50 A 或大于 80 A 时,其熔深及其波动率难以满足本试验的要求。

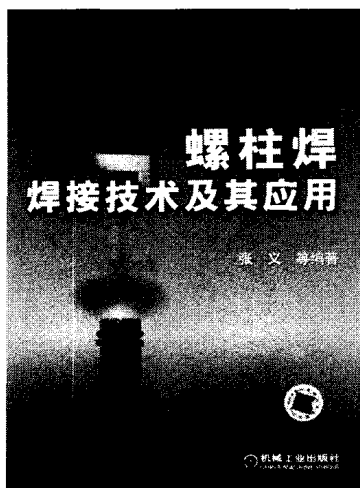
(3)将优化后的工艺用于产品现场焊接,获得了较为满意的结果。

好书推荐,欲购从速!

《螺柱焊焊接技术及其应用》

书 号:0256

售 价:44 元



本书系统地介绍了螺柱焊技术及其应用,共分 5 章。第 1 章绪论,讨论了电弧法螺柱焊焊接方法的分类,简介了瓷环保护电弧螺柱焊、电容放电螺柱焊、拉弧式电容放电螺柱焊及短周期螺柱焊等四种基本焊接方法的原理、工艺特点;第 2 章系统介绍了瓷环保护电弧螺柱焊的原理、工艺、设备及应用,也讨论了工艺评定程序和质量检验,同时介绍了电弧螺柱焊在建筑钢结构中的变形应用——一步法穿透焊、埋弧螺柱焊、空间位置螺柱焊和有色金属的惰性气体保护螺柱焊的特点;第 3 章讨论了以电解电容为二次电源的以适用于小直径螺柱在薄钢板上植焊为特征的电容放电螺柱焊;第 4 章分析了拉弧式电容放电螺柱焊技术及其应用,并就其应用选择与电弧螺柱焊、电容放电螺柱焊进行了比较,强调了拉弧式电容放电螺柱焊在植焊镀锌钢板方面的优势;

第 5 章分析了短周期螺柱焊的原理、工艺、设备及其应用,介绍了短周期螺柱焊在汽车制造中应用的特殊优势。在第 2、3、4、5 章的四种焊接方法的设备部分介绍了国内外常见螺柱焊机的构成、原理和应用特征,并初步解读了螺柱焊电设备的发展历程及方向。

本书给出了尽可能多的信息量,使读者尽可能多地查到所需的参考资料、数据。它是一本涉及螺柱焊工艺、设备及应用的专业著作,可作为相关焊接工程师必备的工具书,大专院校焊接专业教学科研参考书,以及从事螺柱焊接工程的技术人员和高级技工培训教育参考书。

本书特色(本书由吉林大学张义教授等编著)

权威性 作者一直从事焊接工作,从事螺柱焊的开发和研究 20 多年,是国内螺柱焊的先导者。

应用性 随着螺柱焊焊接技术的成熟和设备的研发与推广。螺柱焊在建筑钢结构、汽车、船舶等领域中都有着广泛的应用。

独一无二性 该书是国内第一本有关螺柱焊的专著,是一本具有大学教材某些特征的系统的专业著述,更是一本焊接工程师必备的螺柱焊工具书。本书的出版必定为广大钢结构、汽车制造、化工设备、冶金炉窑、造船、电力及厨具五金制造等行业从事焊接的工程技术人员和焊工提供一本宝贵的资料。

最大的信息量 本书对各种螺柱焊工艺的几乎所有问题都作了最简明的阐述,使读者能尽可能多地查到所需的资料、数据和信息。本书是交给读者的一把金钥匙,以此来开启读者的智慧,任凭读者自由应用、发展、开发和创新。

实用性 本书除从专著的角度论述了各种螺柱焊工艺及设备以外,还专门给出了建筑钢结构和汽车方面的螺柱焊应用技术。