

短轴零件电子束焊接缺陷控制工艺研究

张宏芳^{1,*}, 王强², 张晨¹

1. 沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司, 辽宁 沈阳 110043

2. 沈阳黎明国际动力工业有限公司, 辽宁 沈阳 110043

摘要: 本文通过对某型航空发动机零件—短轴零件真空电子束焊接工艺过程的分析, 介绍控制电子束焊接缺陷的工艺方法。通过工艺控制避免焊后极易产生的缺陷如裂纹、气孔等, 使焊接后零件无缺陷。

关键词: 短轴零件; 电子束焊接; 焊接缺陷; 工艺

中图分类号: TG456.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2014) 08-0065-04

电子束焊接是一种在真空环境中进行的熔合焊接工艺, 也是航空发动机零件制造常用的一种工艺方法。它的工作原理是将高速电子束聚焦在工件的结合线上来产生热量, 电子与工件碰撞产生的动能转化成热能, 致使光束扫过的位置和附近的金属熔化形成焊接接头。由于是一种冶金过程, 同时受零件表面状态、设备稳定性等因素影响, 焊接后可能出现束流烧伤、裂纹、咬边、飞弧、气孔、夹杂、焊偏等缺陷或缺欠。若缺欠超过标准许可的范围会成为焊接缺陷, 从而导致焊缝不合格。

首先介绍待焊件电子束焊接的能量级, E 是通过电子束流传递给接头的能量总和, 其计算公式如下^[1]:

$$E = \frac{AV \times BC \times 60}{SP \times T} \quad (1)$$

式中: E 为能量级, 单位为 $J \cdot s / mm^2$; AV 为加速电压, 单位为 kV ; BC 为电子束流, 单位为 mA ; SP 为移动速度, 单位为 mm/s ; T 为接头厚度, 单位为 mm 。

在电子束焊接过程中, 对中是保证电子束能发挥作用的重要控制因素。焊缝对是在焊接时确保电子束与焊缝对准的方法, 此时通过在焊前扫描焊接接头上每一个单独的点, 焊接时焊缝沿着这些扫描点来完成调节。电子束焊接设备的焊接驱动轴由计算机控制, X 轴、 Y 轴定位精度为 $\pm 0.05mm/m$, 重复定位精度不大于 $\pm 0.03mm$, 准确性和重复性都较高。但如果零件表面不够清洁或电子束流斑不稳定会影响焊缝的对

中, 致使穿透位置漂移, 从而影响到能量的传递。

1 电子束焊接的原理及特点

1.1 电子束焊接的原理

电子束焊接的工作原理是在真空条件下, 从电子枪中发射出的电子束在高电压加速下(常用电压为 $100 \sim 150kV$), 通过电磁线圈聚焦成高能量密度的电子束。当电子束轰击工件时, 电子的动能转化为热能, 焊接区域的局部温度可以骤升到 $6000^\circ C$ 以上。高温致使工件材料局部熔化实现焊接。电子束焊接原理如图1所示。

从微观角度讲, 电子是物质的一种基本粒子, 通常情况下它们围绕原子核高速运转。当电子吸收一定的能量, 能脱离轨道跃迁出来。加热阴极, 使得其释放并形成自由电子云, 当电压增加到 $30 \sim 200kV$ 时, 电子被加速, 并向阳极运动。适当地放置偏转线圈和电磁线圈以聚焦自由电子, 可以产生一股非常窄的带电粒子流。在电子枪中, 粒子流可以达到 $1/3 \sim 2/3$ 的光速。当电子穿透材料时, 它们的速度就会降低并释放出动能(大多数转化为热能)。深度焊接是按以下过程产生的: 当电子一个接一个的冲击到工作表面某点时, 会对该点加热, 当能量密度大于 $106W/cm^2$ 时, 在聚集点中心处的材料就会熔化蒸发; 这样熔化物质中就产生了蒸气形成的通道, 电子便可渗入更深一些, 并能熔化更多的固态金属。如果工件与电子束有相对

收稿日期: 2014-04-18; 录用日期: 2014-07-28

*通讯作者. Tel.: 024-24382773 E-mail: zhanghongfang@avic.com

引用格式: ZHANG Hongfang, WANG Qiang, ZHANG Chen. Defects control process research of short axis component during electron beam welding [J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(08): 65-68. 张宏芳, 王强, 张晨. 短轴零件电子束焊接缺陷控制工艺研究[J]. 航空科学技术, 2014, 25(08): 65-68.

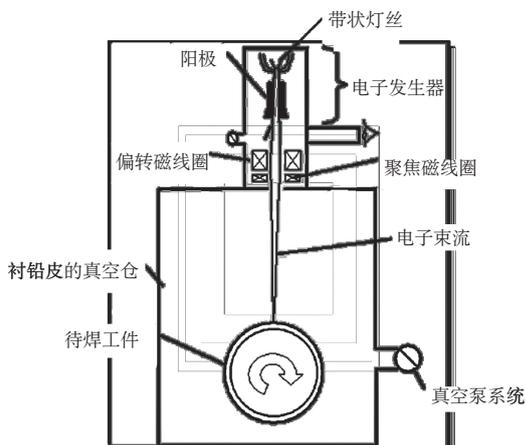


图1 电子束焊接原理示意图

Fig.1 Electron beam welding principle

移动,那么,在电子束前面的材料就会被熔化,而后就沿着蒸气形成的毛细管流动并随后固化。深度熔融可以焊出很窄并且深度超过100mm的焊缝。

1.2 电子束焊接的特点

(1) 电子束焊接的加热功率密度大。其功率为束流及其加速电压的乘积,范围为几十到一百千瓦以上。电子束束斑(或称焦点)的功率可达 $106 \sim 108 \text{ W/cm}^2$,比电弧功率密度高 $100 \sim 1000$ 倍。由于电子束功率密度大、加热集中、热效率高,形成相同焊缝接头需要的热输入量小,所以适宜于难熔金属及热敏感性强的金属材料的焊接,而且焊后变形小,可对精工后的零件进行焊接。

(2) 焊缝熔深熔宽比(即深宽比)大。普通电弧焊的深宽比很难超过2,而电子束焊接的比值可达20以上。因此,电子束焊可以利用大功率电子束对大厚度钢板进行不开坡口的单面焊,从而大大提高了厚板焊接的技术经济指标。目前,电子束单面焊接的最大钢板厚度超过了100mm,而对铝合金的电子束焊接,最大厚度已超过300mm。

(3) 熔池周围气氛纯度高。因电子束焊接是在真空度为 $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ Pa}$ 的真空环境中进行的。残余气体中所存在的氧和氮含量要比纯度为99.99%的氩气还少几百倍,电子束焊几乎不存在焊缝金属的氧化污染问题。

电子束焊接是在真空环境下用聚焦高能电子束($>10 \text{ kV}$)将接头加热到熔化温度,因此,只能焊接真空仓内放得下的零件。

2 工艺过程

2.1 工艺路线

某型航空发动机零件—短轴零件的焊接位置如图2所示。

该零件由三个单件共两道电子束焊缝组成,母材金属为厚度8mm的碳钢,锁底厚度5mm。按照规范要求,焊接后按照验收标准检查焊缝的表面质量,正面凹陷不超过0.8mm,不允许存在束流烧伤、束流划伤、裂纹、咬边、飞弧、夹杂物、焊偏、表面气孔等焊接缺陷。焊缝背面质量要求每20mm内至少需要有一个穿透点,焊后应进行目视检查和焊后去应力热处理。

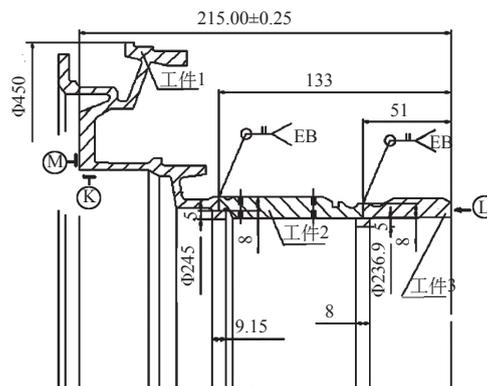


图2 待焊接零件示意图

Fig.2 Parts to be welded

主要工艺路线包括:集件、外观检查、退磁、清洗、装配、焊接。

(1) 集件:领取三个单件和试块。

(2) 外观检查:检查待焊接表面的质量,要求无磁划伤和其他缺陷。检查焊接组合件焊缝的装配间隙不大于0.10mm,错位量不大于0.50mm,接头结合处的表面无外来物。

(3) 退磁:检查单件及工装的磁性,磁通量密度不大于0.1mT。对于超出这个值的零件和工装放入退磁机进行退磁后,并再次使用磁强计检查剩磁。

(4) 清洗:将零件放入清洗机进行清洗和除油,之后用绸布蘸取异丙醇擦洗零件试片的待焊接表面,并清洗零件焊接使用的夹具。在清洗后2h内进行焊接,如果不焊接重新执行清洗步骤。

(5) 装配:再次使用异丙醇擦洗夹具、零件,不允许有油漆、污物、油脂、氧化物及杂质。将夹具3BWL35-2903安装到转具SMU200/2400C上,调整固定好夹具,使用塞尺检查底面与转具间的装配间隙不大于0.10mm。将工件1、2、3按图2所示顺序装到夹具上,保证两条焊缝处于水平位置。

2.2 电子束焊设备及工艺参数

电子束焊接设备为K100-G150KM型焊接设备,包括真空仓、电子枪系统、焊件机械驱动、机械部分运动控制系统、中央可视操作系统、CNC操作控制系统等。主要电子束焊接参数为:电压120kV,工作距离500mm,聚焦电流1950mA,焊接束流31.5mA,焊速6.4mm/s,起弧2s,收弧5s,灯丝型号20~80。为防止过度烧穿,焊接搭接区时,需要调小电流。

表1 电子束焊接设备日常维护检查内容
Table 1 Electron beam welding equipment routine maintenance inspection content

类别及序号	维护项目	检查部位及名称	判断合格标准
1、点检	空气干燥剂	高压油箱空气干燥剂	无色时更换
2、清理	清理压力平衡管道的阀门	平衡管道阀门	保证阀门通畅,管道无沉积物
3、点检	排气口过滤器、检查回流管	SV630B机械泵	保证排气口不被堵塞,检查过滤器是清洁的
4、点检	排气口过滤器、检查回流管	SV200机械泵	保证排气口不被堵塞,检查过滤器是清洁的
5、清扫	清理真空仓(彻底)	真空仓内及工作台	保证真空仓内清洁,用无水乙醇清理真空仓内壁,确保无金属蒸气残留
6、点检	更换阴极	电子腔内的灯丝	按需更换灯丝,灯丝型号:20-80
7、清理	清理冷却机组上的过滤网	冷却机组两侧过滤网	清除掉冷却机组两侧过滤网的灰尘

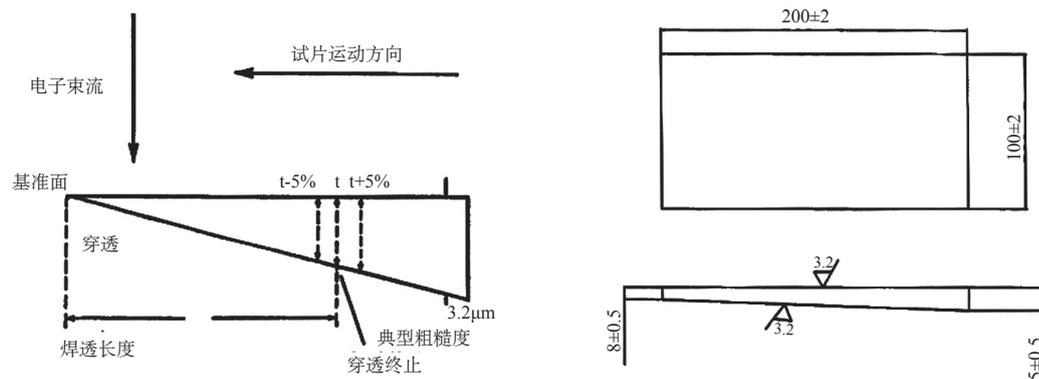


图3 楔形试片及其焊透长度示意图
Fig.3 Wedge specimen and its penetration length

焊接时,将真空仓和电子枪的真空度抽致 6.7×10^{-4} Pa以下,调整X轴,使焦点对准左边第一条焊缝(单件1和2的焊缝),并设为零点,调出焊接程序核对焊接参数无误后进行焊接;待第一条焊缝焊完后,手动调整X轴,使其对准第二条焊缝(单件2和3的焊缝),调出焊接程序对第二条焊缝进行焊接。

对于需要补焊的零件,不管需要补焊的焊缝长度为多少,都要进行整圈补焊,防止出现应力分配不均而导致随后的工序进行过程中出现变形。

2.3 工艺过程控制

2.3.1 设备控制

首先,为了保证生产区域的洁净程度,每天需要对工作环境进行维护和清理,对设备进行日常检查和清理,清理检查内容如表1所示,并对所做的检查工作进行记录。设备维护检查是保证设备正常稳定运行的必要条件,并按照规定维护期限总结出灯丝更换时间,可以有效避免设备在工作过程中故障而导致的工艺缺陷。

2.3.2 工艺控制

为了确保设备的稳定性和检测出设备的任何偏移,每周电子束焊接设备均需按标准焊接参数焊接一个楔形试样。另外,在更换钨丝、设备出现故障进行了修理之后也应焊接一个楔形测试件。楔形试样应按图3的要求使用不锈钢或与零件相同材料的合金制成。同一设备其焊接参数应该是固定的,以确保焊透深度 L_t 不小于40mm。在后续进行的监控测试中,测试件的材料和尺寸及焊接参数也应该是固定的。通常使用的是图3中右图尺寸的楔形试片。



图4 楔形试片焊透长度L的测量图
Fig.4 Specimen length measurement

楔形试片焊接后的评估方法有两种。

(1) 在穿透停止时测量厚度(t) (参见图3左)。

这样就建立起了验收限值 $\pm 5\% t$, 根据此标准监测后续进行的所有测试。

(2) 应用改进质量的方法(SPC方法)可以更好地监测设备, 通过以下方法来实现:

记录所使用的参数和楔形试样的结果。测量和画出以焊透长度 L 为纵坐标焊接时间为横坐标的曲线, 建立起每台设备的验收标准和验收带。图4是对楔形试片焊接后焊透长度的测量照片。验收带稳定在一个固定的范围内, 如果每周焊接的楔形试片都在合格范围内, 则可以证明设备的工艺参数波动不大, 在工艺许可范围内, 可以进行正常的焊接。如果楔形试片不合格, 为排除人为因素的影响, 重新焊接一个试片, 如果仍不合格, 需要找设备专业维修人员进行检修恢复。

3 结论

通过本研究, 对电子束焊接设备和工艺的控制有了较全面的总结。电子束焊接时影响焊缝质量的参数很多, 还要考虑待焊处厚度、焊缝表面质量及内部质量等因素, 焊接参数始终

稳定可靠是保证零件质量的基础。使用现有的工艺控制方法, 在短轴零件的焊接中已不需要进行焊后X光检查(仅终检前有X光检查), 通过有效的设备和工艺的控制保证零件的焊接合格。

AST

参考文献

- [1] 俞尚知. 焊接工艺人员手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1991.
YU Shangzhi. Welding process manual[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1991.

作者简介

张宏芳(1974—)女, 硕士研究生, 高级工程师。主要研究方向: 热处理及金属材料冶金等特种工艺技术。

Tel: 024-24382773

E-mail: zhanghongfang@avic.com

王强(1982—)男, 大学本科, 工程师。主要研究方向: 电子束焊接工艺及设备。

张晨(1984—)男, 大学本科, 工程师。主要研究方向: 金属材料及特种工艺技术。

Defects Control Process Research of Short Axis Component during Electron Beam Welding

ZHANG Hongfang^{1,*}, WANG Qiang², ZHANG Chen¹

1. Shenyang Liming Aero Engine (Group) Co., Ltd. Shenyang 110043, China

2. Shenyang Liming International Power Industry Co., Ltd. Shenyang 110043, China

Abstract: This article introduced the vacuum electron beam welding process method on the certain aircraft engine short axis component and the defects control technology during electron beam welding. Based on analysis of aero engine parts - short-axis parts vacuum electron beam welding process, it's presented that controlling of electron beam welding process for imperfections. Avoid defects which are easy to produce such as cracks, holes after welding through process control, and the parts will be without defects after welding.

Key Words: short axis component; electron beam welding; welding defects; technology

Received: 2014-04-18; Accepted: 2014-07-28

*Corresponding author. Tel.: 024-24382773 E-mail: zhanghongfang@avic.com