

燃气轮机旁路弯管焊接工艺分析

张雪飞

中国航发燃气轮机有限公司, 辽宁 沈阳 110000

[摘要] 燃气轮机通过燃烧来运作, 属于动力机械, 为工业、农业等领域进行工作, 并且在这些领域中得到广泛的应用。燃气轮机对各个领域的生产工作有着不可小觑的作用, 促进国民经济发展。从目前来看, 燃气轮机在运行、操作等方面上依然存在问题, 燃气轮机零件断口、脱落等故障问题是目前比较主要的问题, 需要引起重视。文章就燃气轮机旁路弯管的焊接进行分析, 阐述其焊接工艺难点和具体操作。

[关键词] 燃气轮机; 旁路弯管; 焊接工艺

DOI: 10.33142/ec.v3i5.1887

中图分类号: TM621

文献标识码: A

Welding Process Analysis of Bypass Elbow of Gas Turbine

ZHANG Xuefei

AECC Gas Turbine Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: Gas turbine operates by combustion, which belongs to power machinery, works for industry, agriculture and other fields and is widely used in these fields. Gas turbine plays an important role in the production of various fields and promotes the development of national economy. At present, there are still problems in the operation of gas turbine. The fracture and falling off of gas turbine parts are the main problems, which need to be paid attention to. This paper analyzes the welding of bypass elbow of gas turbine and expounds the difficulties in welding process and specific operation.

Keywords: gas turbine; bypass elbow; welding process

引言

燃气轮机是工业实力的象征, 目前我国尚无法进行自主生产的操作, 仅能完成 79% 的制作工艺, 剩余的技术要依靠进口得以实现。燃气轮机的燃烧器长期处于恶劣的工作环境下, 遭受高温燃气的炙烤, 经受特殊的介质的腐蚀, 严重影响了机组运行效率。旁路弯管是其重要零件之一, 一直采用国外进口的方式, 且需求量大, 若是能采取有效的焊接工艺, 实现国产化制造, 就能有效地降低工业生产成本的。

1 燃气轮机旁路弯管介绍

燃气轮机旁路弯管与正常管道不同的是, 其中间呈现弯曲形状, 位于燃烧器外侧与燃烧器尾管相连, 整体管道由一个法兰、一个弯管与一个圆环组成, 结构比较简单, 其中法兰和弯管的材质通常为 Hastelloy-X 制成, 有优秀的抗氧化作用, 圆环位置的材质由能够抵抗腐蚀的一种高合金钢制成, 通常称 06Cr19Ni10。弯管中共有四条焊接缝, 焊接材料全部采用镍基合金焊材, 焊接尺寸精度要求极高, 焊接工艺水平不足难以实现焊接工作, 需要加大研究。

2 焊接工艺难点分析

2.1 装配精度

旁路弯管是由两块薄壁钢板经过压型制造, 然后通过等离子切割的技术将钢板多余的部分去掉, 精修其形状后, 再进行线切割加工, 最后通过焊接制成, 但是制成后的弯管会产生较大的偏差, 主要是因为成型后回弹因素使得弯管处发生改变。且旁路弯管内部受限较多, 其角度 $58^{\circ} 55' 43''$, 在装配的时候需要极高的精度, 稍差微毫也无法安装使用, 最终导致弯管作废, 浪费工业生产成本。

其焊接材料 Hastelloy-X 在焊接过程中会出现膨胀, 导致材料尺寸变化, 影响最终的焊接质量。

2.2 焊接变形控制

旁路弯管较薄, 最厚的位置仅有 2.3 毫米, 难以为其增强刚性, 这也是其刚性较差的原因。另外, 弯管的形状决

定了焊接量,但是因其是弯曲形状,内外侧的焊接量无法保证分布均匀,在焊接之后经常导致变形现象出现。

2.3 材料焊接性

Hastelloy-X 作为焊接材料,其具有耐腐蚀、抗氧化等性能,其焊接性同奥氏体不锈钢较为相似,有较高的抗应力特性。根据金相显示的结果,Hastelloy-X 是树状组织结构,在高温的作用下,杂质沉淀、偏析等因素影响,在焊接的过程中,会呈现出大颗粒晶体,削弱分子力,使得薄膜无法承受拘束应力,导致 Hastelloy-X 形成热裂纹。在焊接旁路弯管的时候,因其液相温度间距小,为了减少焊接后出现的变形现象,需要立即对弯管进行冷却处理,但是这种操作会导致气体来不及溢出而产生气孔,根据 Hastelloy-X 的材料特性可知,其在焊接热能聚集区间停留时间过长就会出现腐蚀性下降的情况,在焊接时需要避免这种情况发生。

3 旁路弯管的焊接工艺攻关

3.1 有限元模拟

为了更好地了解旁路弯管在焊接时变形大小等有关数据的分布,使用焊接热处理软件进行有限元模拟,通过模拟旁路弯管,得到焊接应力等数据。通过对旁路弯管的焊接应力模拟可以分析出焊接应力的重点,由于圆环尺寸过小,焊接应力又主要集中在弯管与圆环的焊接缝隙周围,焊接时,圆环刚性过小,导致焊接后的圆环出现变形的现象。通过对其焊接应变模拟能直观地看出,弯管内壁太薄,导致整个管路的刚性差,而焊接应变就在弯管的部位,会使得弯管内壁更为脆弱,因此需要用最大部位作为弯管与法兰焊接的接缝位置。

根据有限元模拟分析可以清楚得知,弯管两端的焊接缝隙都为圆形,拘束度比较大,且弯管管壁因为太薄刚性略差,焊接后产生的应力大,使得弯管和圆环部位出现变形的风险,导致圆形变成椭圆形,影响机组工作。根据焊接公式可知: $\Delta L=0.86/\sqrt{0.86 \times 10^{-6} \eta UIL}$,电弧热效率、电压电流与焊接速度计算结果决定了焊接热的输入量,根据焊接热输入量就能得到弯管焊接变形后的相关数据信息,根据实际焊接的经验,采用分段焊接,以小电流的焊接方法进行焊接可以控制焊接热输入,从根本上减小焊接变形的现象。

除了上述的焊接方式以外,合理的分配焊接顺序也能有效的缓解因焊接导致的焊接应力。根据之前有限元模拟的结果,弯管的应力集中在法兰和圆环接缝周围,针对圆环焊接缝拘束度较大的特点,实施短焊缝对称焊接的方式来弥补其焊接后的缺陷,每一条焊缝的长度保持在 20-30 毫米,焊接后立刻冷却焊缝。

3.2 模拟焊接

因焊接材料 Hastelloy-X 导热性能较差,所以焊接的时候要控制好热输入,小电流模式焊接,避免高热因素给焊接缝带来损耗影响,热输入过高使得热量集中导致产生介质过度偏析、沉淀等现象,严重影响焊接材料的耐腐蚀性,造成热裂纹。

焊接技术工人经过多次的焊接模拟试验,总结出一套有利焊接的参数,将焊材换成镍基合金焊材,焊接前后无需预热和热处理,提升工作效率,控制电流在 50-70A 之间,焊接的层间温度保持在 100° C 以下。

通过焊接试验的参数分析不难发现,焊接接头试样未发现明显的缺陷问题,整体接头情况非常好,各区域的硬度值都满足旁路弯管的设计要求,焊接缝的质量完好,能满足工业生产使用要求^[1]。

3.3 焊装工装设计与制作

焊装设计要保持弯管的焊装角度为 58° 55' 43" 才更有利于焊接,在焊接的过程中这样的焊接工装设计能起到固定的作用;而这样的设计方式更有利于调整焊接的位置,能有效保证旁路弯管零件完整的进入工装,并且预留出 2 毫米的预留焊接缝,安装后呈现 58° 55' 43" 的角度,焊接过程中焊接工装无法拆除,在焊接的过程中,工装可以暂时充当拉筋为旁路弯管增加刚性。工装设计较为灵活,自身可以进行多个角度的反转,最大程度上保障焊接缝的各个位置都是易于焊接的情况,实现最简单的焊接操作,为焊接工作提高工作效率。

3.4 实际焊接情况说明

3.4.1 尺寸精度

通过前期实验准备和模拟工序,根据表 1 能看出,实践的结果尺寸偏差控制在 2 毫米以内,各部位待加工还有余

出，非加工部分的样式并未出现较大改变，焊接后的弯管个体尺寸满足设计标准。

表1 焊接后弯管尺寸实测 mm

旁路弯管编号	A 尺寸 (理论值 202.82)	B 尺寸 (理论值 140.19)
1	203.0	141.0/142.0
2	202.6	140.0/139.0
3	202.5	140.6/140.0

3.4.2 焊接缝质量

实验的旁路弯管焊缝，一般都为难度较大的环形焊缝，实验后对其检验，发现合格率能高达 99%。

3.4.3 实验结果阐述

根据本次的试验数据表明在国产化试制中获得了阶段性的成功，并得出以下结论。

- (1) 有限元模拟结果与实际结果有出入，实际焊接结果证明了分段焊接方式控制焊接变形有效性。
- (2) 通过多次模拟试验的结果参数证实了焊接缝的质量得到保障，日后的生产作业中，也可以用于实际焊接操作。
- (3) 采用焊接工装能有效地降低焊接难度，易于焊接操作的同时，还可以有效控制焊接变形。

4 结论

综上所述，旁路弯管焊接难以控制，焊接难度大，通过有限元模拟的技术，在相关材料的基础理论上实验性焊接，通过手工氩弧焊的焊接手法，在高水平的焊接技术下取得了阶段性的焊接实验成功，通过有限元攻克了焊接出现的问题，控制住焊接时管路变形，保障了焊接质量^[2]。希望在未来的工业套路探索过程中，找到更好的焊接方式，呈现更完美的焊接质量，以满足我国燃机核心部件国产化生产工作。

[参考文献]

- [1] 万一, 蒋能东. 燃气轮机旁路弯管焊接工艺研究[J]. 东方汽轮机, 2020(01): 37-41.
[2] 王庆初, 贺杰. 燃气轮机尾筒密封件首轮国产化制造与挂机实验[J]. 广东电力, 2019(11): 54-62.
作者简介: 张雪飞 (1987.3-), 男, 毕业院校: 西安交通大学; 现就职单位: 中国航发燃气轮机有限公司。