

离心压缩机窄流道叶轮焊接的引弧研究

冯耀耀¹, 齐文平¹, 吉昌¹, 徐金¹, 吕杰², 王禹³, 兰晓晓³

1. 西安陕鼓动力股份有限公司 陕西西安 710075

2. 甘肃钢铁职业技术学院 甘肃嘉峪关 735100

3. 一汽-大众汽车有限公司 吉林长春 130000

摘要: 叶轮是离心压缩机的核心部件, 离心压缩机叶轮的高速运转对叶轮的焊接质量提出了较高要求, 其制造质量和可靠性对机组的安全运行至关重要。窄流道叶轮焊接技术相比其他焊接技术工艺, 需要更高的专业焊接技术水平, 而引弧效果的好坏将直接影响后续焊接过程能否顺利进行。常规引弧操作方法有直击法和划擦法, 但均会因叶轮流道狭窄而带来引弧困难的问题, 容易污染焊缝导致缺陷产生, 直接影响焊接质量。针对离心压缩机窄流道叶轮焊接引弧问题, 介绍了叶轮焊接一种新的引弧方法。通过在工件外试引弧, 焊条末端熔化呈熔滴的瞬间及焊条末端处于灼热烧红的状态, 迅速将焊条伸向焊缝处或前一次焊接的收弧点进行高温下的热引弧, 在达到快速引弧的同时又能够保证引弧位置精准。实践表明: 该方法能够有效地提高引弧成功率和焊接质量。

关键词: 离心压缩机; 窄流道; 叶轮; 焊接; 引弧

Arc ignition study of narrow channel impeller welding of centrifugal compressor

FENG Yaoyao¹, QI Wenping¹, JI Chang¹, XU Jin¹, LÜ Jie², WANG Yu³, LAN Xiaoxiao³

1. Xi'an Shaangu Power Co., Ltd., Xi'an 710075, Shaanxi, China

2. Gansu Iron and Steel Vocational and Technical College, Jiayuguan 735100, Gansu, China

3. Faw-Volkswagen Automotive Co., Ltd., Changchun 130000, Jilin, China

Abstract: The impeller is the core component of the centrifugal compressor, and the high-speed operation of the centrifugal compressor impeller puts forward high requirements for the welding quality of the impeller, and its manufacturing quality and reliability are crucial to the safe operation of the unit. Compared with other welding technology processes, narrow channel impeller welding technology requires a higher level of professional welding technology, and the quality of the arc ignition effect will directly affect whether the subsequent welding process can proceed smoothly. Conventional arc ignition operation methods include direct strike method and scratch method, but they will cause difficulty in ignition due to the narrow impeller channel, which is easy to pollute the weld and lead to defects, which directly affects the welding quality. This paper introduces a new arc ignition method of impeller welding for centrifugal compressor narrow flow channel impeller welding. By testing the arc ignition outside the workpiece, the moment the end of the electrode melts into a droplet and the end of the electrode is in a state of scorching red, the electrode is quickly extended to the weld or the arc closing point of the previous welding for thermal arc ignition at high temperature, so as to achieve rapid arc ignition and ensure the accuracy of the arc ignition position. Practice shows that this method can effectively improve the success rate and welding quality of arc ignition.

Keywords: centrifugal compressors ; narrow flow channel; impeller; weld; arc ignition

1 序言

离心压缩机是冶金、石化、空分等行业的重要装备,而叶轮是离心压缩机的核心部件。离心压缩机叶轮的高速运转对叶轮的焊接质量提出了较高的要求,其制造质量对机组性能和可靠性是至关重要的^[1, 2]。叶轮制造分为铸造叶轮、焊接叶轮及整体铣制叶轮。近些年,随着焊接技术的发展,焊接叶轮的制造工艺也随之发展起来^[2]。

某离心压缩机窄流道叶轮如图1所示。流道高度为18mm,窄流道叶轮焊接技术相比其他工艺,需要更高的专业焊接技术水平。叶轮通常采用焊接方式制造,引弧是电弧焊开始时,通过焊条引燃电弧,在焊条末端和焊件间建立电弧的过程^[3]。常规的引弧操作方法(直击法和划擦法)均会因间隙狭窄而带来引弧困难的问题,容易污染焊缝产生缺陷,直接影响焊接质量。实现电弧焊接过程的3个主要环节是引弧、焊接和收弧,而引弧效果的好坏将直接影响后续焊接过程能否顺利进行,引弧不好会导致焊条与试件黏连,产生密集型气孔、未熔合、夹渣等缺陷,最终影响焊接效率和质量^[4, 5]。划擦法和直击法两种焊接引弧方式对于窄流道叶轮焊接有一定的局限性,因此研究窄流道叶轮焊接的引弧是必要的。

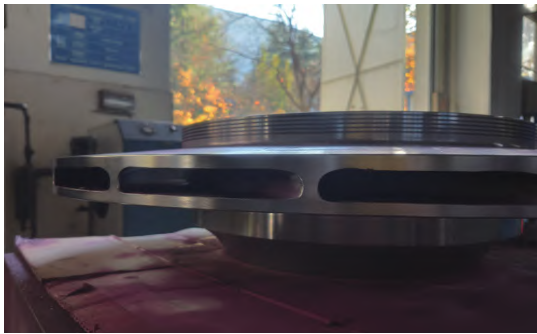


图1 某离心压缩机窄流道叶轮

2 焊接引弧原理

焊接引弧时,焊条端部与焊件接触的瞬间造成短路,接触点位置会产生相当大的电阻热,此热量使焊条与焊件之间接触点位置的金属迅速熔化,形成微小的熔池,并开始蒸发。焊条提升使焊条与焊件之间产生一定的空间,此空间内充满了金属蒸气和空气,其中某些原子已被电离。与此同时,焊条刚拉开的瞬间,由于接触处的温度较高,距离较

近,因此阴极将发射电子。电子以高速向阳极方向运动,与电弧空间的气体介质发生撞击。碰撞的结果使气体介质进一步电离,同时使电弧温度进一步升高,则电弧开始引燃,焊件与焊条端部具有一定的电压,放电过程就能连续进行,使电弧连续燃烧,但此时焊接电弧稳定燃烧是有一定条件的,只有当电弧长度等于焊条直径时,电弧才能稳定燃烧,因此焊条的提升高度要控制好,否则焊接电弧燃烧将不稳定,会造成短路或电弧熄灭^[3]。

3 焊接引弧方法及存在的问题

焊条电弧焊引弧的方式包括两类:不接触引弧和接触引弧。

(1) 不接触引弧 利用高频高电压使焊条末端与焊件间的气体导电产生电弧。用这种方法引弧时,焊条末端与焊件不需要接触就能引燃电弧,其优点是可靠、引弧位置准确,引弧时不会烧伤焊件表面,但需另外增加一个小功率高频、高压引弧电源或高压脉冲同步电源,且成本较高,因此焊条电弧焊很少采用这种引弧方法。

(2) 接触引弧 引弧前先接通电源,使焊条端部与焊件短路,当焊条拉开时就能引燃电弧。这是焊条电弧焊常用的接触引弧方法,根据操作手法不同,可分为直击法和划擦法。

1) 直击法(也称敲击法):引弧时用焊条末端垂直敲击焊件,当焊条末端与焊件接触后,立即拉起焊条,并保持一定距离,立即引燃电弧。这种方法引弧位置比较准确,适用于各种位置的引弧,但操作时必须掌握好手腕和手臂上下动作的时间和距离,操作难度也比较大^[6]。下手重容易击碎焊条药皮造成短路,产生粘焊条现象,下手过轻或提起焊条过高,容易造成电弧引燃失败或者引燃电弧又迅速熄弧的现象。

2) 划擦法:引弧时先将焊条端部对准焊件,然后使焊条末端在焊件表面划擦一下。当电弧引燃后,趁金属还未大量熔化的一瞬间,立即将电弧移到需要开始焊接的地方,并保持2~4mm的弧长,使电弧稳定燃烧。用这种方法引弧时,手腕只需顺时针转动一下,使焊条端部与焊件接触即可,操作容易,但引弧位置不易把握,如果操作手法不熟练,容易造成电弧划伤焊件,会使划伤处母材表面

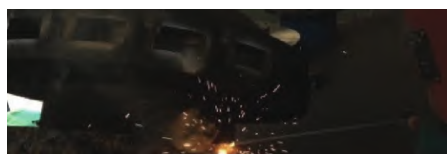
受损,造成应力集中,严重时会影响工件的使用寿命^[6]。

目前,我公司离心压缩机叶轮产品材料为马氏体不锈钢,采用碱性焊接材料焊接。由于药皮特性对根部熔透有利,故不能直接引弧,需在坡口前端一段距离引弧后,再迅速拉回至始焊端。但对于窄流道叶轮焊接而言,由于流道狭窄,尤其是轮盖与轮盘扣合后进行施焊时,以上两种常规的引弧操作方法均会因间隙狭窄而带来引弧困难的问题。另外,为减小叶轮出口流道变形,目前采取在叶轮流道口添加限位块的方式,焊接可操作空间变得极为有限,视线很容易受挡,也容易污染焊缝产生缺陷,影响焊接质量。实践表明,以上两种焊接引弧方式都不适用窄流道叶轮流道焊接引弧。

4 窄流道叶轮的引弧

窄流道叶轮焊接引弧方法如图2所示。当叶轮叶片进行焊接时,焊条需按工艺要求烘干后方可进行施焊,不允许在焊道以外表面引弧,引弧处稍作停留,收弧时填满弧坑,防止产生弧坑裂纹。焊接过程中通过智能管控系统来监测焊接过程中焊接电流、电弧电压、焊接速度等参数,确保焊接过程的稳定性和一致性。

对于窄流道叶轮焊接问题,通过在工件外试引弧(见图2a),焊条末端熔化呈熔滴的瞬间,同时焊条末端处于灼热烧红的状态(见图2b),迅速将焊条伸向焊缝处或前一次焊接的收弧点进行高温下的热引弧(见图2c),在达到快速引弧的同时,又



a) 工件外试引弧



b) 焊条末端熔化呈熔滴



c) 高温下的热引弧

图2 窄流道叶轮焊接引弧方法

能够保证引弧位置的精准。此引弧方式比常规引弧产生的熔池温度要高,增加了熔池凝固的时间,间接减少焊条的粘连。再次引弧时应在前一次焊接的收弧点前面15~20mm处焊缝金属上引弧,然后将电弧拉长,带回原收弧点,稍作停留作预热后再压短电弧,填满弧坑所需要的厚度后继续正常施焊。

应用窄流道叶轮引弧方法焊接的叶轮如图3所示。通过磁粉和着色渗透方式对叶轮焊缝进行检测。不允许存在任何裂纹、未熔合或烧穿等缺陷,长宽比>3的缺陷按线状缺陷处理,长宽比≤3的缺陷按圆形缺陷处理。经检测,该叶轮缺陷数量为气孔3个、夹渣2处、无裂纹缺陷。

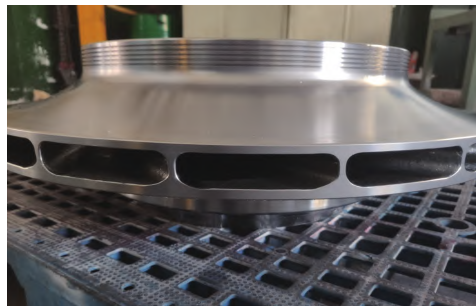


图3 应用窄流道引弧方法焊接的叶轮

应用该引弧方法完成了窄流道叶轮的焊接引弧,并借助焊条末端的光照亮流道,焊工可以精准地在焊缝处引弧,施焊方便,焊后每层的氧化皮更易清理,后续铆工对叶轮焊缝的打磨也更容易,打磨效率高、效果好,尤其对于出风口焊接限位块附近区域处焊缝的焊接和打磨更为便利。目前,焊接操作者在各叶轮上已使用该方法进行引弧,效果良好,与常规的引弧操作方法相比,焊接缺陷减少50%左右,焊后打磨焊缝变得更为便捷、高效,焊接质量显著提升。通过智能管控系统监测的焊接速度为160~210mm/min,该焊接参数可以保证焊接质量。

5 结束语

采用传统的引弧方法,引弧成功率较低,焊接质量不稳定。该引弧方法顺利解决了窄流道叶轮焊接时的引弧问题,引弧成功率显著提高,相比焊条电弧焊常用的接触引弧方法,该方法可以有效地减少因流道狭窄引弧困难而导致焊接缺陷的增多,焊后打磨焊缝变得更为便捷、高效,同时避免对焊缝造成污染,焊接接头处缺陷数明显减少,极大地提升了焊接质量。

(下转第70页)

果如图6所示。根据GB/T 26952—2011《焊缝无损检测 焊缝磁粉检测 验收等级》验收，焊缝验收等级达到1级。

内部缺陷检测的方法有超声波和射线检测，因母材和熔覆金属是奥氏体组织，晶粒度等级低，超声波检测时的反射波会有一定的衰减，故适用性不强。射线检测的应用范围较广，但是成本较高，因此在产品的焊接生产中可以采用只对首件检测或批次抽检的方式，用来分析其焊接质量。



图6 渗透检测

6 结束语

本文通过对锁具部件承压铸钢和高锰铸钢的异种材料焊接的分析，制定了锁具部件承压铸钢、高锰铸钢母材的焊接方法和焊接工艺，针对焊接难度大、焊缝易裂的情况，提出切实可行的解决方法，并在实际生产中验证，检验结果显示对接焊缝熔合良好，无裂纹缺陷。本文提出的焊接工艺和方法对同品类承压铸钢和高锰铸钢异种材料焊接一般工艺方法具有一定的借鉴和指导作用。

锁具部件承压铸钢、高锰铸钢的异种材料焊接方法总结如下。

1) 为了避免承压铸钢和高锰铸钢异种材料焊接

产生裂纹缺陷（熔覆金属和热影响区的裂纹），需要在满足许用强度的前提下，采用不等强焊接的方案，选用不锈钢焊接材料，保证焊接质量，避免焊接缺陷。

2) 承压铸钢的焊接需要预热，而高锰铸钢焊接不能预热，因此这两种材料对接焊的预热温度和层间温度不能统一。高锰铸钢在升温至一定温度后，组织具有不稳定性，因此焊接温度和层间温度倾向于高锰铸钢，采用冷焊和低层间温度的工艺方法。

3) 相比钢板和锻件，铸件的焊接更容易产生缺陷。为了严格控制焊接质量，有必要采用焊前、焊后两道无损检测工序，焊前无损检测主要为确保母材中没有气孔、夹渣等缺陷，焊后无损检测主要用来检测焊缝的成形质量。

参考文献：

- [1] 叶景峰，吴蔚峰，林羿杰，等. 35CrMnSi与 Q355B 异种材料焊接工艺[J]. 机械工程与自动化，2023（5）：138-140，143.
- [2] 刘小智. 金属材料焊接缺陷防治方法研究[J]. 中国金属通报，2020（9）：87-88.
- [3] 陆文华，李隆盛，黄良余. 铸造合金及其熔炼[M]. 北京：机械工业出版社，2012.
- [4] 杨江. 低温高锰钢焊接热影响区组织演变与力学性能研究[D]. 大连：大连理工大学，2023.
- [5] 熊运霞. 工程机械用ZGMn13Cr2高锰钢热处理工艺研究[J]. 热加工工艺，2020，49（14）：128-130
- [6] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册[M]. 北京：机械工业出版社，2021.
- [7] 温海军，姚荣茂，陈炳耀，等. 浅析着色探伤剂[J]. 山东工业技术，2018（16）：33，14.

MW 20240819

（上接第65页）

参考文献：

- [1] 韩龙，徐甄真，牛靖，等. 大型离心压缩机焊接叶轮出口流道变形数值分析[J]. 焊接，2020（9）：1-7，61.
- [2] 梁彦荣，王引珠，徐金. 离心压缩机叶轮焊接修复工艺[J]. 金属加工（热加工），2015（6）：72-74.
- [3] 石南辉. 焊接引弧过程中易粘连的原因分析及解决措施[J]. 实验室科学，2021，24（1）：147-149.

- [4] 石里男. 焊接电弧引燃过程的机理分析[D]. 北京：北京工业大学，2011.
- [5] 费庆男，陈帅，丁冬. 离心压缩机窄流道叶轮焊接技术应用探讨[J]. 南方农机，2017，48（2）：91.
- [6] 壮强，戴前玉. 浅析手工电弧焊的焊接工艺[J]. 汽车维护与修理，2019（22）：69-70.

MW 20240807