

文章编号: 1673-5196(2014)02-0065-04

# 双吸泵叶轮的热压焊接成型工艺

李琪飞, 吕文娟, 李仁年, 黎义斌

(兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 针对大型抽黄泵站双吸泵叶轮存在叶片及侧板磨损量大、运行效率低且寿命短等问题, 以大型双吸泵叶轮为研究对象, 选择热轧钢板热压成型叶片及盖板, 采用扭曲三维叶片平面展开、切割、热压一次成型技术, 结合两面开坡口打底焊与全熔透焊接成型工艺, 研制适用于抽黄泵站的双吸泵热压焊接成型叶轮. 该叶轮具有热压工艺精度高, 叶轮整体组焊时接缝处吻合好, 热压焊接工艺性良好等优点, 提高了热压焊接效率, 降低了叶轮成型的废品率和缺陷率. 实际在线运行结果表明, 其累计运行最高寿命可达 25 000 h, 在原有基础上增加了 40%, 机组的效率也提高了 4%~5%, 实现了该双吸泵叶轮热压焊接成型工艺方法的实效性.

**关键词:** 双吸泵; 热压焊接; 叶轮; 成型工艺

**中图分类号:** TH311 **文献标识码:** A

## Shaping process of double-suction pump impeller with thermal compression welding

LI Qi-fei, LU Wen-juan, LI Ren-nian, LI Yi-bin

(College of Energy and Power Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Aimed at the main existing problems in double-suction pump impeller at large pumping station, such as the serious wear of blade and side plate, low operation efficiency, and short service life, and taking a large double-suction pump impeller as investigation object, selecting hot-rolled sheet steel for thermal compression shaping of the blade and side plate, employing once-through shaping technique for planar expansion, cutting and thermal compressing shaping of the three-dimensional twisted blade, and using double-side bevel cutting for bottoming welding and full penetration welding, an impeller shaped with thermal compression welding was investigated for double-suction pump in pump station suitable for water pumping from Yellow River. This impeller had high hot-pressing accuracy, well fitted weld formed with overall grouped welding of the impeller, and the processing character of thermal compression welding was fine, making the efficiency of thermal compression welding improved and the rejection rate and defect rate of impeller shaping reduced. Actual online operation showed that its cumulative service life might amount to 25 000 hours, and compared with original service life, it was increased by 40%, the efficiency of pump unit was also increased by 4%~5%, and the practicability of this shaping process has been realized.

**Key words:** double-suction pump; thermal compression welding; impeller; shaping process

随着生产、生活和科技水平的不断提高, 用户对泵的性能要求也越来越高. 泵的性能不仅与其设计水平有关, 与其制造水平也密切相关<sup>[1-2]</sup>. 20 世纪 70 年代以来, 在泵的制造业中开始采用冲压焊接成型技术. 与传统的铸造叶轮相比, 冲压焊接叶轮具有高效节能、低碳环保等突出优点, 但目前国内的冲压焊

接叶轮技术还有许多不足<sup>[3-6]</sup>. 叶轮冲压焊接工艺水平较低, 尤其是冲压焊接工艺的精度控制、工艺技术水平低, 严重影响了叶轮的水力性能, 尤其在大型抽黄含沙水介质下, 叶轮前盖板与叶片不能很好地耦合, 两相流体在流道间存在较严重的二次流; 经冲压焊接叶轮后盖板变形严重, 出现起伏不平等现象. 为此, 本文提出一种新的双吸泵叶轮热压焊接成型工艺方法, 该成型工艺在国内双吸泵叶轮研制领域尚属首创, 并对其中的关键技术进行了研究.

收稿日期: 2013-07-05

基金项目: 国家自然科学基金(51079066)

作者简介: 李琪飞(1975-), 男, 甘肃靖远人, 副教授.

# 1 叶轮热压焊接成型工艺过程

叶轮结构不仅关系到双吸泵的水力性能,还对叶轮的加工制造有重要影响.图 1 为双吸泵叶轮结构图.在整个叶轮热压焊接成型工艺中,根据叶轮的结构特点和热压焊接成型工艺要求,将叶轮分解为盖板、叶片、轮毂及口环四个部分,各部件在热压成型后再进行组合焊接.其中叶片和盖板为热压成型工艺<sup>[7-8]</sup>,而轮毂采用铸造工艺,该工艺同普通铸钢铸造,保证工艺要求即可,文中不再作介绍.

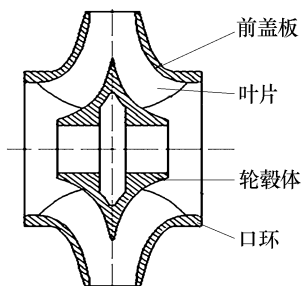


图 1 双吸泵叶轮结构

Fig. 1 Impeller structure of double-suction pump

图 2 是双吸泵叶轮热压焊接成型工艺路线.钢板热压制造工艺是叶轮成型的主要工艺,叶轮各部分的形状及精度靠模具来实现.模具的结构设计要合理,且具有良好的通用性和互换性,即整套模具由分离件组成<sup>[9]</sup>.对于热压工艺,良好的工艺设计是进行优质、高效、低耗、安全生产的必要条件.叶轮各部分所用材料、其结构工艺特性、工艺路线、设备选用以及模具等都将对工件的热压焊接成型工艺产生影响,所以进行工件的工艺设计时要综合考虑各种因素的影响,以保证工件的精度、降低生产成本,提高生产效率.

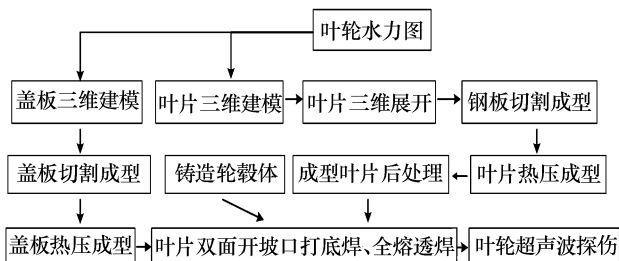


图 2 叶轮热压焊接成型工艺路线

Fig. 2 Shaping process flowchart of impeller with thermal compression welding

## 2 叶轮各部分热压成型工艺流程

### 2.1 叶片热压成型工艺流程

双吸泵叶片为空间扭曲面,形状较为复杂,其成

型材料选用普通热轧钢板,采用专用模具热压成型工艺(其模具的设计应考虑钢板热压后的回弹量),该工艺的精度是确保泵机组水力性能的关键.整个工艺过程分两步:第一步是三维扭曲叶片的平面展开.叶片在弯曲扭转时,同时发生弹性变形与塑性变形,为获得准确的叶片形状,除了靠模具来保证以外,还必须要有准确的叶片展开形状.但由于所加的力场、变形次序以及其他边界条件等都是不可逆的,所以不易将叶片曲面展平.本文基于叶片木模图和叶片三维曲面特征,采用三维叶片曲面近似展开法以获得准确的叶片展开形状,其展开的尺寸精度一般可控制在 5% 范围内.具体过程如下:

1) 根据叶片的轴面投影图和平面展开图,确定叶片宽度尺寸;

2) 根据叶轮平面投影图,确定叶片长度尺寸.这里,折叠于后盖板的平面部分及竖起的圆弧边保持不变,折弯处展开后长度为<sup>[9]</sup>

$$L = L_1 + L_2 + \pi\alpha(r + xt)/180$$

式中: $L$  为毛坯的展开长度,mm; $L_1$  为叶片平直部分长度,mm; $L_2$  为叶片竖起圆弧部分的长度,mm; $\alpha$  为弯曲角度( $^\circ$ ); $R$  为弯曲部分内层弯曲半径,mm; $x$  为变形中性层位移系数; $t$  为板料厚度,mm.

由上述得到的宽度及长度尺寸数据,换算对应为曲面型值点数据;

3) 由曲面型值点数据,对叶片曲面进行结构网格划分,单元网格尺度控制在 5~10 mm,通过型值点数据和叶片曲面网格尺寸的分布规律,将三维叶片曲面近似展开,然后根据网格单元数量对叶片曲面展开图进行精度测量,通过叶片木模图反复修正三维曲面展开图,特别对于叶片喉部采用余量精度可控,以保证经热压及焊接工艺后叶轮喉部尺寸.最终得到符合精度要求的叶片平面展开图,如图 3 所示.

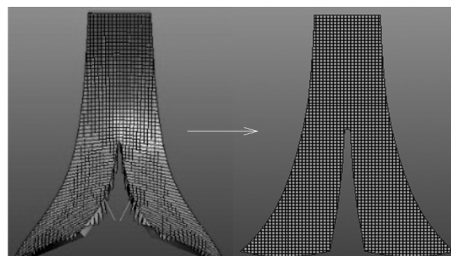


图 3 三维扭曲叶片平面展开

Fig. 3 Planar expansion of 3-D twisted blade

第二步是胎板划线、切割下料和热压成型.此时应保证叶片与盖板,叶片与轮毂组焊时吻合度良好,热轧钢板下料切割时也应保证尺寸的准确度,使切

割后的热轧钢板胎板满足热压成型工艺的要求. 工艺流程如图 4 所示, 对经过切割下料后的胎板进行热压前, 充分考虑了材料特性及弯曲力卸载后胎板产生的回弹效应. 由于叶片形状为扭曲三维结构, 叶片各部分的回弹方向互相牵制和抵消, 所以回弹量很小. 故在叶片热压成型时, 将凸模圆角半径和顶角略减小一点, 即可保证叶片尺寸在设计要求范围内.

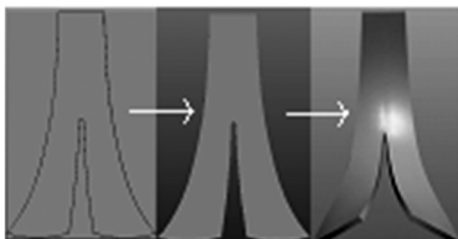


图 4 热压成型叶片胎板划线、切割与热压成型过程  
Fig. 4 Marking-out, cutting and thermal compression shaping process of thermal compressing shaped blade

### 2.2 盖板与口环热压成型工艺

盖板热压成型工艺和叶片热压成型工艺类似. 首先根据盖板的形状和叶片外侧型线将盖板三维结构进行平面展开, 并计算展开后的盖板胎板尺寸, 对盖板胎板切割下料; 接着, 对切割后的胎板放入中频炉内进行加热至设定范围(见工件热压炉温曲线图 5), 然后立即取出, 并放入预热后的凹凸模内进行压制, 至终压温度(即脱模时的温度)极限值, 立即取出工件. 考虑到成型后工件的余热有热处理的作用, 故工件不需要进行热处理, 自然冷却即可. 另外, 口环热压成型工艺与盖板热压成型工艺类似, 这里不再赘述.

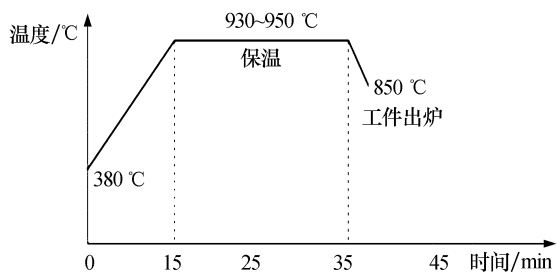


图 5 炉温曲线图  
Fig. 5 Furnace temperature curve

### 3 叶轮焊接成型工艺

焊接工艺是叶轮成型的最终工艺. 焊接前首先要选取合适的焊接方法, 这关系到焊后叶轮的形面质量、流道光滑度及焊接处的强度. 本文中叶轮焊接工艺采用了双面开坡口打底焊、全熔透焊接成型工

艺, 主要焊接工艺均采用手工电弧焊与 CO<sub>2</sub> 气体保护焊<sup>[10-11]</sup>. 叶轮整体组合焊接前, 先对叶片双面开坡口, 坡口角度控制在 53°~56°<sup>[10]</sup>, 叶片与轮毂体、叶片与盖板接触面长度为 3~5 mm. 考虑到叶轮的结构特点, 焊接时先将盖板、叶片与轮毂体的安装位置关系进行了计算、划线, 然后用专用夹具固定盖板、叶片与轮毂体, 并采用手工电弧焊点焊接缝处, 且每个焊缝的点焊数取 5~7 个, 这样可以较好地防止在焊接过程中产生偏差. 焊接顺序<sup>[12]</sup>如图 6 所示, 依次从叶轮进口端起沿叶片弯曲方向向出口端进行. 因为在焊接过程中, 叶片、盖板与轮毂体的接头形式为 T 形接头<sup>[13]</sup>, 叶轮进口端接触位置的叶片扭曲比出口端严重, 叶片与盖板和轮毂体之间耦合, 所以先从叶片进口端焊接, 从而保证了叶片、盖板与轮毂体的接缝均匀, 耦合良好. 这样保证了叶轮流道表面与原始设计的叶片型线要求及表面粗糙度要求, 叶轮流道内两相流体流动也更符合流体动力学特性, 局部磨蚀大大降低, 有效提高了叶轮的运行寿命, 整机效率也有显著提高.

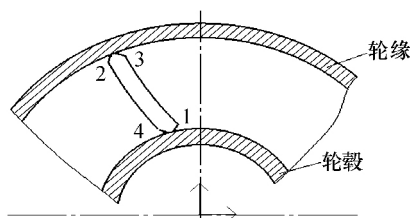


图 6 叶片、盖板与轮毂体打底焊缝顺序  
Fig. 6 Bottoming welding sequence of blade, cover plate and hub body

### 4 热压焊接成型叶轮超声波探伤

超声波探伤是利用材料及其缺陷的声学性能差异对超声波传播的影响来检验材料内部缺陷的无损检验方法. 对焊接完成后冷却 24 h 的双吸泵热压焊接成型叶轮进行外观检查和超声波探伤检验, 焊缝质量等级为一级, 外观二级, 见表 1. 可见, 采用双面开坡口打底焊与全熔透焊接工艺后, 减少了焊接缺陷, 探伤合格率由以前的 75% 提高到 90% 以上; 降低了加工成本, 提高了工作效率, 使人工费、材料费和生产周期降低近 20%.

表 1 热压焊接成型叶轮焊缝检测

Tab. 1 Weld inspection of shaped impeller with thermal compression welding

型号	外观检查	焊缝超声波探伤		
		焊缝数量	缺陷类型	合格比例/%
32SAP-10A	成型良好	32	夹渣未融合	95

## 5 热压焊接成型叶轮全服役寿命评价

热轧钢板焊接成型叶轮经 20 000 h 的累计在线运行后,对叶轮进行了修复,然后继续投入运行。在线运行结果验证,经过修复的双吸泵叶轮,可延长运行寿命至少 8 000 h,其累计运行寿命由 15 000 h 增加到最高可达 25 000 h,累计运行寿命增加了 40%,有效提高了该双吸泵叶轮的运行寿命,使整机效率也显著提高(达 4%~5%)。

## 6 结论

1) 针对抽黄泵站叶轮普遍存在的问题提出了双吸泵叶轮热压焊接成型工艺新方法,并对其关键技术进行了研究,分析表明:采用双面开坡口打底焊、全熔透焊接成型工艺研制的双吸泵叶轮,其叶片、盖板与轮毂体吻合良好,流道间两相流体的二次流动得到了很大的改善,盖板在焊接后基本不产生变形,焊接处焊缝平整、宽度小、结构强度高、焊接表面光滑,水力损失小,流体磨蚀大大降低,因此,泵的水力性能得到很大的改善和提高,并有效提高了叶轮的运行寿命。

2) 通过运行验证,使用双吸泵叶轮热压焊接成型工艺法研制的叶轮具有节能高效,低碳环保,工作寿命长,后期维护简单等优点,很好的改善了抽黄泵站大型含沙水介质双吸泵叶轮的制造工艺、效率和运行寿命,实现了双吸泵叶轮热压焊接成型工艺方法的实效性。

## 参考文献:

- [1] 袁寿其. 低比速离心泵理论与设计 [M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [2] 李红,袁建平,汤跃,等. 双吸离心泵性能提高及其试验研究 [J]. 农业机械学报,2005,36(12):77-80.
- [3] 李瑞光,刘元义,张善文. 大流量冲压焊接多级离心泵叶轮造型及工艺分析 [J]. 山东理工大学学报:自然科学版,2011,25(2):60-63.
- [4] 孙保群,王琼. 冲压工艺在泵类产品制造上的应用 [J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2004,27(7):797-800.
- [5] 雷利利,王洋. 泵叶轮冲压焊接工艺 [J]. 农业机械学报,2006,37(9):190-192,189.
- [6] 王洋. 泵叶轮与导叶冲压焊接成形工艺的研究 [J]. 农业机械学报,1998,29(1):117-119.
- [7] 李效龙,穆界天. 抽黄河含砂水双吸离心泵采用钢板焊接叶轮的试验研究 [J]. 水泵技术,2007(3):32-34.
- [8] JIN Quan-jun, LI Zhong-bing, XU You-zhong, *et al.* Research of weld ability of spot welding on hot stamping steel [J]. Electric Welding Machine,2008,38(11):15-18.
- [9] 黎义斌,敏政,王洋,等. 离心泵不锈钢叶轮冲压焊接的成型工艺 [J]. 排灌机械,2007,25(5):20-23.
- [10] 李志辉,辛庆彬,梁博. 中厚板 T 型接头全熔透焊缝的工艺研究 [J]. 莱钢科技,2010(4):19-20,29.
- [11] YANG Y S, LEE S H. A study on the joining strength of laser spot welding for automotive applications [J]. Journal of Materials Processing Technology,1999,94(2):151-156.
- [12] KASTELIC S, MEDVED J, MRVAR P. Prediction of numerical distortion after welding with various welding sequences and clampings [J]. Metallurgy,2010,49(4):301-305.
- [13] 郝幼淮. T 形焊接接头的焊缝可靠性分析 [J]. 焊接技术,2001,30(6):37-39.