一种长短叶片形式转轮的制造工艺流程

张舜智，段伟赞
哈尔滨电机厂有限责任公司　黑龙江哈尔滨　150040

摘要：结合某混流电站长短叶片形式转轮叶片数量多、叶片间作业空间狭小、焊缝力学性能要求高的特点，通过采用长叶片单独装配焊接、短叶片穿轴卧放装配焊接来解决叶片间操作空间狭小的问题，并通过调整焊接材料与焊接工艺保证焊缝的焊接质量与力学性能。

关键词：水轮机；转轮；装配；焊接工艺

A manufacturing process of a long and short blade type runner

ZHANG Shunzhi, DUAN Weizan
Harbin ELEctric Machinery Company Ltd., Harbin 150040, Heilongjiang, China

Abstract: Based on the characteristics of a mixed flow power plant with a large number of long and short blade form runners, narrow working space between blades, and high mechanical performance requirements for welds, the problem of narrow operating space between blades is solved by using separate assembly and welding of long blades and horizontal assembly and welding of short blades through shafts. The welding quality and mechanical properties of welds are ensured by adjusting the welding material and welding process.

Keywords: hydroturbine; runner; assembly; welding technology

1　序言

转轮作为水轮发电机组的心脏，其重要性不言而喻。转轮主要由上冠、下环、叶片3部分组成，某电站长短叶片形式转轮结构为15个长叶片＋15个短叶片混流式转轮，转轮直径约4400mm。由于该转轮叶片的型线复杂且数量众多，如果按常规混流式机组转轮组装焊接工艺方案进行生产，即将所有叶片同时进行装配，可以预见到大部分叶片焊缝会由于叶片间距过小而无法进行焊接、打磨及无损检测，对生产过程及产品质量带来一系列无法消除的影响，同时无法保证焊缝的焊接质量及力学性能。因此，如何保证转轮装配尺寸及叶片焊缝的焊接质量与力学性能，是生产制造过程中的重点及难点。

2　工艺流程

常规混流式机组转轮叶片多为单一尺寸，装配时所有的转轮叶片会同时进行装配，其转轮组焊工艺流程如图1所示。

某电站长短叶片形式转轮结构为15个长叶片＋15个短叶片混流式转轮。若按照上述工艺流程进行制造，会因操作空间不足而导致叶片焊缝位置不可达的情况出现，带来一系列的焊接、打磨、无损检测等问题，不仅会拖慢生产进度，还会导致转轮生

基金项目：黑龙江省自然科学基金（LH2021E024）。

第一作者：张舜智，学士，金属材料工程专业，助理工程师，现从事焊接工艺研究工作，E-mail：1041580509@qq.com。

产过程不可控。为避免转轮制造过程中出现上述情况，设计了一种新的组焊工艺流程，如图2所示。

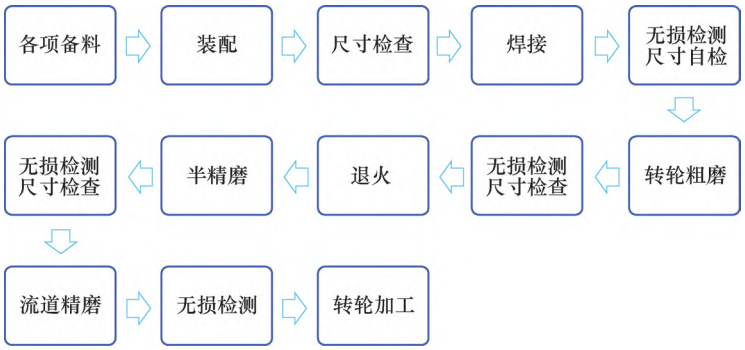

图1　常规转轮组焊工艺流程

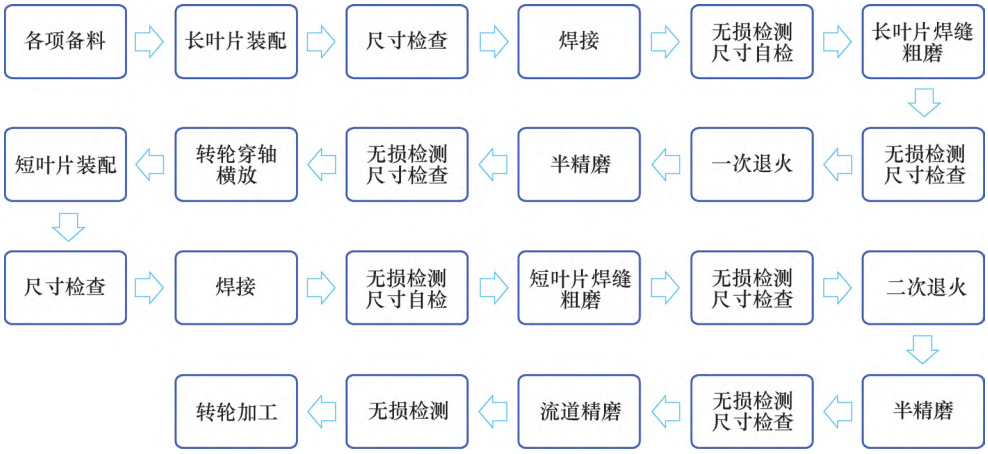

图2　新转轮组焊工艺流程

新转轮组焊工艺流程与常规转轮组焊工艺流程的区别在于，将长短叶片分别进行装配、焊接等工序。这样做的好处在于，没有短叶片分隔操作空间，保证了长叶片焊缝的制造质量。但由于长叶片的阻挡，短叶片无法在倒放状态下进行装配。为了解决短叶片装配问题，采用转轮穿轴方式，在立放状态下进行装配，如图3所示。

所有短叶片装配完成后，将转轮“假轴”取下，使转轮在正放或倒放状态下进行施工，从而完成短叶片装配后的焊接工作。

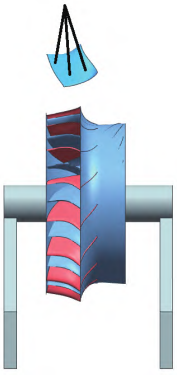

图3　转轮穿轴吊装短叶片示意

3　焊接工艺

该电站转轮叶片及上冠、下环材质为ZG04Cr16Ni5Mo钢（VOD精炼），这种材料具有很高的强度、耐蚀性和抗疲劳性能。在前期生产准备过程中，对该材质进行焊接工艺评定，发现常用于焊接以ZG04Cr13Ni5Mo钢（VOD精炼）为转轮母材的焊丝HS13/5L无法满足使用需求。

为保证转轮焊缝的力学性能，经过多次试验验证，决定使用具有与ZG04Cr16Ni5Mo钢相同化学成分的马氏体不锈钢焊接材料HS367L焊丝进行焊接。HS13/5L焊丝、HS367L焊丝的化学成分分别见表1、表2。

表1　HS13/5L焊丝化学成分（质量分数）　（%）

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0.02	0.45	0.7	13.0	5.0	0.5

表2　HS367L焊丝化学成分（质量分数）　（%）

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
0.02	0.45	1.0	0.01	0.004	16.5	5.5	0.5

HS367L焊丝与HS13/5L焊丝相比，具有较高的Mn、Cr、Ni含量。经过试验验证，以HS367L焊丝为焊接材料的叶片焊缝硬度较高，平均硬度达到了300HB，高于以HS13/5L焊丝为焊接材料的叶片焊缝硬度（平均硬度为280HB），具有良好的耐磨性及耐蚀性，能够抵抗复杂水质对转轮流道表面带来的冲击，大大提高转轮的使用寿命，减少返修次数。

由于泵轮焊接工作量大，实际生产过程中选择使用气体保护焊，混合气体采用95%Ar+5%CO2。前期工艺准备时对该焊接方法按ASME标准进行了焊接工艺评定，评定中的各项性能均达到标准规定的要求。与此同时，根据评定结果编制WPS（焊接工艺规范），作为焊工实际操作的指导文件。焊前采用天然气对转轮进行整体预热，预热应均匀，预热温度≥100℃，以增强抗裂性能[1]。

为消除转轮焊接时应力带来的影响，常见处理方式为退火，以消除焊接应力，焊接工艺评定规定的焊缝最长退火时间为16h，退火时间与焊缝厚度成正比；一旦退火时间超过焊接工艺评定规定的最长退火时间，则焊缝的力学性能会降低。退火前后均需进行无损检测确认焊缝质量，不同的退火时间可能带来不同的无损检测结果[2]。由于短叶片装焊后叶片间操作空间受限，部分长叶片焊缝无法进行无损检测，所以长叶片的焊缝需以第一次退火后的无损检测结果为准。根据内部标准计算，长短叶片焊缝退火时间均不得＜10h。采用上述装配方案，长叶片需进行两次退火，两次退火的时间相加不能超过焊接工艺评定规定的退火时间。为保证第二次退火时短叶片焊缝的退火时间，第一次长叶片焊接后的退火时间需要缩短，且退火时间应尽可能长。实际生产过程中长叶片第一次退火时间为6h，原因是根据焊接工艺评定要求，在满足短叶片焊缝10h退火时间的要求下，长叶片的最大允许退火时间为6h。

在生产过程中持续对转轮的装配焊接过程进行跟踪，及时收集和发现生产中存在的技术难题，根据过程监控情况调整焊接工艺，确保生产出的转轮满足要求。

4　结束语

该工艺采用了分体装配方式，将长叶片和短叶片分开进行装配和焊接，解决了因操作空间不足而导致的焊接、打磨和无损检测问题，提高了生产效率和转轮的质量；通过选择合适的焊丝、焊接工艺评定及合理的退火时间，保证焊缝质量。经过实际检测，证明上述长短叶片形式转轮的装配及焊接工艺流程合理、可行。叶片焊缝焊后进行UT、PT检测，UT检测按ASME-VIII-APP-12：2023《锅炉及压力容器规范》、PT检测按ASME-VIII-APP-8：2023《锅炉及压力容器规范》执行。所有焊缝焊后无损检测均一次通过，焊后各尺寸均满足图样要求。

参考文献：

[1] 张伟华. 大型泵轮制造工艺[J]. 电机技术，2015（6）：47-49.

[2] 王志华. 白鹤滩水电站转轮无损检测技术应用[J]. 人民长江，2020（51）：372-375.

MW 20240419

（上接第77页）

控制在100～150℃时，焊缝金属强度、伸长率及低温冲击性能达到良好的匹配。

4）在焊接电流220～240A、电弧电压26～28V、焊接速度21～23cm/min、道间温度100～120℃的情况下，焊丝采用95%Ar+5%CO_2气体保护，焊接接头可获得良好的综合力学性能，焊缝组织为针状铁素体。

参考文献：

[1] 杨玉民. 工程机械行业中的焊接技术应用[J]. 工程技术，2016（7）：257.

[2] 唐伯钢，尹士科，王玉荣. 低碳钢与低合金高强度钢焊接材料[M]. 北京：机械工业出版社，1987.

[3] 赵玉珍. 焊接熔池的流体动力学行为及凝固组织模拟[D]. 北京：北京工业大学，2004.

[4] 王宪，杜义，张京海，等. 道间温度对10CrNi5MoV钢气体保护焊接头力学性能的影响[J]. 材料开发与应用，2014（2）：37-41.

MW 20240429