



感应热处理工艺在风塔筒建造中应用研究

■ 万举惠

摘要: 介绍了大唐胶南5MW风电塔筒的材料特点、焊接工艺、焊后热处理工艺。重点介绍了感应热处理的原理及风塔塔筒热处理工艺及力学性能试验。结果表明, 感应热处理工艺减小了塔筒内外壁温度差, 焊缝力学性能和焊缝硬度值满足标准要求, 该工艺可用于风塔塔筒的焊后处理。

关键词: 感应热处理; 风塔; 力学性能; 应用研究

一、概述

风塔塔筒是采用低合金高强度钢材的中厚板, 作为一种大型焊接工程结构, 其焊接区域是塔架结构中最薄弱的部位, 同时

塔架长期处于低温、强风等恶劣环境下, 特别是海上风力发电塔架, 焊接部位极易产生裂纹。通常在焊接后需要对关键焊接部位进行热处理, 改善其低温断裂韧

性, 保证塔架安全运行, 但塔架焊接部位多, 进行热处理施工周期长, 成本高, 焊接时热影区易淬硬, 对氢的敏感性强, 易产生氢致延迟裂纹。尤其是当焊接接

发现, 淬硬区长度只有270mm, 低于技术要求的350mm。在日常硬度及金相检测中没有对淬硬区域进行确认, 没有发现此问题。经厂家对平衡悬架轴中频感应淬火工艺改善后, 淬硬区长度增加到技术要求, 经市场验证, 平衡悬架轴断裂故障率降低了95%以上。

4. 整体淬火轴类产品

以汽车半轴为例, 淬硬区从半轴法兰盘内侧R角一直到花键末端。采用扫描淬火时, 当扫描到杆部与花键过渡段时, 有效圈上的磁力线常会产生偏移, 即杆部未加热到过渡区域, 而花键部已加热, 因此台阶处是过程控制中难保证的部位。为缩短检测

时间, 尽快掌握半轴感应淬火质量, 推荐在图3虚线框处取样。

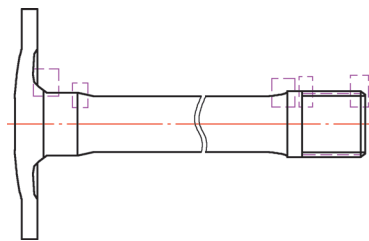


图3 半轴扫描淬火取样位置

5. 结语

在感应淬火件的淬硬区域内, 应选择一个或几个断面进行解剖检测分析, 除了检测淬硬层深度和金相组织外, 还要考虑淬硬区域的检测。

(1) 局部淬火件 对于淬硬区长度不长的件, 可以整段或分段取整个区域进行检验。对

于淬硬区域较长的件, 可以选取有代表性的区域进行检验, 代表性的区域常选择尺寸有变化的断面、受力面或过渡区域。

(2) 整体感应淬火件 需多处取样进行质量检验, 选取的代表性区域同局部淬火件选用的原则, 尽量能用最少的剖面对整体感应质量进行有效判断。

参考文献

- [1] 沈庆通, 黄志. 感应热处理技术300问[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.

作者简介: 苗国良、徐龙立, 东风柳州汽车有限公司。

MW 20171009

头承受较大应力时更容易产生各种裂纹，因此除了焊接时必须严格考虑焊材与母材强韧性的合理匹配，选用适合高效的焊接工艺，优化焊接参数外，热处理设备和工艺的选择也是至关重要的。传统的热处理工艺采用陶瓷电阻加热器外加石棉保温进行，缺点是温度控制误差大，厚壁杆件内外温度的均匀性差，焊缝硬度高，效率低，安全性差（电阻丝外露）大量使用石棉等对人体和环境有害的物质，瓷片的布设费时费力，大量的易耗品^[1-2]，如图1所示。

基于以上原因，开发采用中频感应热处理工艺对风塔塔筒的焊缝进行热处理，成功地解决了大唐黄岛5MW风电塔筒焊后热处理难题，达到了风塔塔筒的焊接质量控制要求，保证塔筒整体质量。

二、风塔塔筒材料及感应热处理

1. 风塔材料

大唐黄岛5MW风电项目风塔塔筒母材采用Q345D，板厚36mm，法兰材质采用Q345E-Z35，厚70mm。塔筒直径4260mm。其力学性能和化学成分符合GB/T 1591—2008，要求焊缝接头-40℃下，冲击吸收能量 $A_{KV} \geq 34J$ ，需要热处理的部分法兰和塔筒的主要参数见表1；焊接坡口采用V形坡口，碳弧气刨清根，CO₂气体流量15~20L/min，埋弧焊焊剂SJ101，其他焊接参数见表2。

2. 感应热处理原理及模型

线圈内的交变电流产生交变磁场，使工件中产生感应电流，靠感应电流加热工件。感应加热时工件整个截面都有感应加热电流，内部温度梯度小，最热区域在工件表面下方，热量在金属内部快速传导，如图2所示。

图3为塔筒焊缝感应热处理示意。热处理前将柔性加热电磁感应线圈缠分布于塔筒焊缝两侧，热电磁感应线圈小于塔筒壁厚，保温部位、加热部位、电流带依次覆盖。

三、热处理工艺及结果

1. 热处理工艺

采用ProHeat 35型中频感应加热设备进行热处理；采用内部通水的柔性加热电磁感应线圈；热处理焊缝采用岩棉进行保温；K型热电偶测温8个，内部安装4个、外部安装4个分别监控塔筒内外壁的温度，位置分别位于塔筒的12点、3点、6点、9点方位，如图4所示。

焊前预热，80~125℃；焊后热处理工艺：焊缝温度300℃以上，升温速度90~110℃/h，



图1 传统热处理工艺

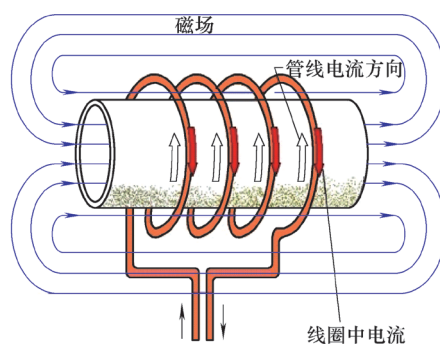


图2 感应热处理原理

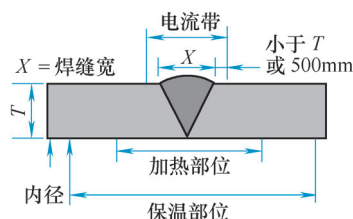


图3 塔筒焊缝感应热处理示意



图4 内部的热电偶位置

表1 法兰和塔筒的主要参数

部位	材质	板厚/mm
基础环法兰	Q345E-Z35	70
塔筒	Q345D	36

表2 法兰和塔筒焊接工艺

材料	焊接方法	焊丝		焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min ⁻¹
		牌号	直径/mm			
Q345D	SAW	H08Mn2	4	480~600	28~35	35~40
Q345D-Q345E-Z35	FCAW	E501T-1L	1.2	200~250	26~27	18~25
Q345E-Z35	FCAW	E501T-1L	1.2	200~250	26~27	18~25

降温速度 $100\sim 130^{\circ}\text{C}/\text{h}$; 300°C 以下可不控制温升速度。恒温保温温度 $630^{\circ}\text{C}\pm 15^{\circ}\text{C}$,保温 2.5h ,焊后热处理要在焊后 12h 内完成。焊后热处理工艺曲线如图5所示。

2. 测试结果与分析

(1) 内外壁温差 图6为感应热处理时内外壁温度。从图6可以看出,8个测温点测量内外壁数据表明内外壁的温差较小,基本上可以控制在 20°C 以内,相对于陶瓷加热或电阻加热内外壁较为均匀。

(2) 热处理后焊缝硬度 硬度测试根据ASTM E92,

测试结果见图7。硬度测试表明热处理后的热影响区硬度略高于焊缝区 20HV ,焊缝区硬度 $>200\text{HV}$,依据要求,Q345钢材经过热处理后的硬度值应小于 $320\text{HV}^{[3-4]}$ 。

(3) 弯曲性能测试 对采用相同热处理工艺的焊接工艺评定样件进行了弯曲性能测试,未在外表面发现裂纹,结果合格。

(4) 工艺评定 对采用相同热处理工艺的焊接工艺评定样件按照BS EN 10045.1在 -40°C 下进行夏比V型缺口试验。冲击试验机型号JBN-500-086。冲击测试结果见表3。冲击结果表明,热影响区冲击吸收能量大于焊缝

区。 -40°C 冲击试验焊缝金属和热影响区的冲击性能远高于标准值。

四、结语

感应热处理工艺加热均匀,效率高,节电效果明显,加热速度快,成本低,达到了焊后热处理工艺要求。

实践证明,感应热处理工艺预热有利于去除母材表面水分和加速氢气的溢出,从而降低焊道产生裂纹的敏感性,消除焊接结构的焊接残余应力,降低焊接区的硬度,促使扩散氢溢出,稳定组织,改善力学性能 and 高温性能,避免产生脆断和延迟裂纹,进行焊后热处理,残余应力可降低 $80\%\sim 90\%$,焊缝硬度也可降低 $10\sim 15\text{HBW}$ 。

参考文献

- [1] 林信智.高效节能的感应热处理工艺[J].金属加工,2012(5):6-11.
- [2] 王庆伟,秦显新.风电结构件用Q345E钢的焊接工艺研究[J].金属加工,2016,(6):54-56.
- [3] 曹玉林,宋育荣,方敏勇等.厚板焊接工艺及焊后热处理研究[J].金属加工,2012(16):55-57.
- [4] 石南辉,吴犇,郝亮.厚壁大直径风塔的焊接[J].电焊机,2012,42(8):17-19.

作者简介:万举惠,青岛科泰重工机械有限公司。

MW 20170818

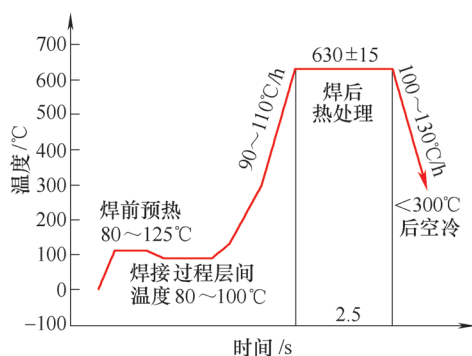


图5 焊缝热处理工艺

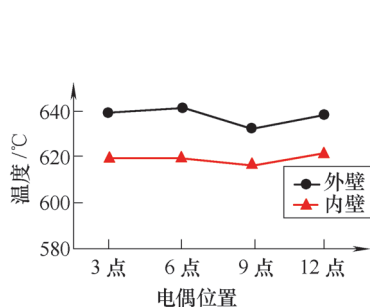


图6 内外壁温度

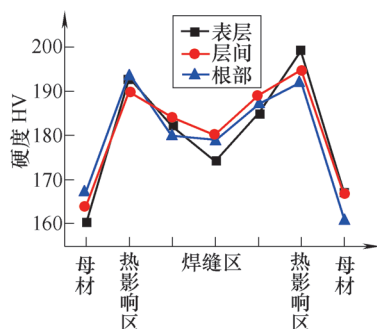


图7 热处理后焊缝硬度

表3 夏比V型缺口冲击测试结果

位置	冲击吸收能量/J			
	测试值			平均值
焊缝区	152	147	131	143
热影响区	180	180	199	186