

宝钢1号高炉大修工程风口大套的超声波检测

张丕龙 吝健全

(上海宝冶建设有限公司 上海 201900)

摘要: 本文通过对宝钢1号高炉大修工程风口大套材质的分析, 并与普通碳素钢进行比较, 得出超声波检测的特点。从超声波仪器、探头、耦合剂、缺陷的定位、定量、检测时机及磁粉检测、射线检测方面进行解决。

关键词: 超声波检测; 风口大套; 铸钢件

宝钢1号高炉大修工程炉壳风口大套(以下简称风口大套)是炉壳的关键部件之一。宝钢原1号高炉炉壳系日本进口, 共38只风口大套, 现在炉壳大修后将原来容量从4500m³增至4960 m³, 因而风口大套从38只增至40只。旧炉壳设计使用寿命15年, 现将炉壳设计使用寿命延长至20年。旧炉壳风口大套与炉壳采用法兰连接, 特点是风口大套的内部质量要求不高, 不用进行无损检测, 损伤后方便更换。新炉壳采用直接焊接式风口大套, 特点是节省空间, 减少了安装现场风口大套与法兰的安装工序, 节约了时间, 但风口大套焊接后不能更换, 因此对风口大套的质量要求非常高。根据设计和业主的要求, 对风口大套按GB7233-1987《铸钢件超声探伤及质量评级方法》进行超声波检测, 2级合格。

1. 风口大套材质特点

风口大套材质为ZG20Mn, $\sigma_b \geq 510\text{MPa}$ 、 $\sigma_s \geq 295\text{MPa}$ 、HB ≥ 156 , 采用整体铸造, 热处理: 正火+回火。最终无损检测合格后进行水压实验, 工作压力为0.55MPa, 试验压力0.69MPa;

* 铸钢件在浇注时熔点高, 组织状态不均匀、晶粒粗大, 且有明显的各向异性;

* 铸钢件组织状态、晶粒受热处理工艺的影响较大;

* 铸钢件的化学成分的控制是个难点,

其中S、P含量与空气质量有一定的关系;

* 铸钢件容易产生气孔、缩孔、疏松、夹渣、夹沙、裂纹和冷隔等缺陷;

* 铸钢件的组织常分为三层, 即外层的细晶区, 次层的柱状晶区和中心的等轴晶区;

* 铸钢件的外部 and 内部的硬度不同。

2. 风口大套与普通碳素钢超声波检测的区别

普通碳素钢组织均匀, 超声波在其内部传播时透声性能良好, 衰减小; 铸钢件的组织状态不均匀、晶粒粗大, 且有明显的各向异性, 超声波在铸钢件中传播, 晶粒对超声波发散或吸收, 导致超声波衰减严重、透声性能差, 检测时存在明显的草状回波, 严重时甚至无法进行超声波检测。

超声波是由电能(电脉冲)激励晶片发生受迫振动和阻尼振动, 由此产生由n个脉冲波构成一个声场, 可近视为在一直线上传播。由于铸钢件的晶粒粗大, 根据惠更斯-菲涅耳原理, 在铸钢件中传播的超声波, 会发生衍射和反射, 在金相组织差异明显的区域声速不同。因而, 超声波在铸钢件中并不一定按直线传播。

3. 风口大套超声波检测的工艺优化

第一作者: 张丕龙, 男, 1977年5月出生, 工程师。

3.1 超声波检测仪的选择

由于风口大套的组织状态不均匀、晶粒粗大，所以选择发射功率强，灵敏度余量高的仪器。为了使用不同规格的探头，准确计算缺陷位置和当量，提高工作效率，选择CTS-3000型数字式超声波检测仪。

3.2 探头的选择

风口大套的超声波检测，一般以直探头检测为主，斜探头辅助检测。

根据风口大套的特点，选择纵波双晶聚焦直探头，而不选用单晶直探头。

纵波双晶聚焦直探头与单晶直探头的发射声场见图1。由图1可知，纵波双晶聚焦直探头与单晶直探头相比，其发射声场小，能量集中，散射小，声能损失小，信噪比高。

选择2.5MHzA45°横波斜探头辅助检测。

斜探头辅助检测主要有两个方面的作用，其一，检测与声束呈一定角度的裂纹类平面状缺陷，其二是对直探头检测的缺陷进行验证。主要为了检测表面和近表面的裂纹类缺陷，根据横波的声压反射率的规律，见图2，检测近表面裂纹等近似垂直于母材的缺陷，45°的横波声压反射率较高。风口大套检测区域的内外径之比小于80%，横波声束能够扫描到内表面的缺陷。

但应注意，对于铸钢件等晶粒粗大的工件，最好选择纵波斜探头，但风口大套需在热处理前后进行两次超声波检测，因此选择横波斜探头。

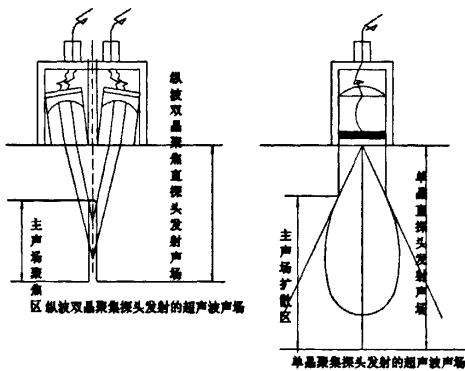


图1 纵波双晶聚焦直探头和横波斜探头的超声声场

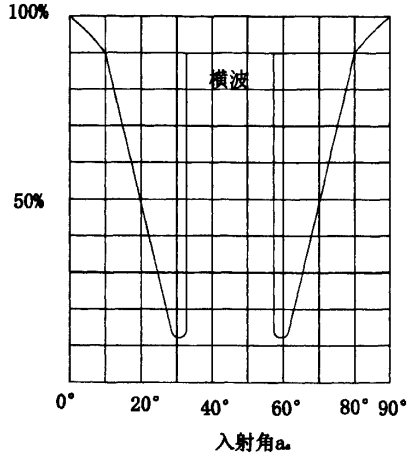


图2 横波的声压反射率的规律

3.3 试块的选择

根据GB/T 7233-1987《铸钢件超声波探伤及质量评级方法》的相关规定，自行制作双晶直探头试块。双晶直探头试块采用相同材质、同炉浇铸、并采用相同的热处理工艺，然后再按图3给出的几何尺寸进行第一次机加工。机加工完成后进行超声波检测，试块内部不得有大于或等于同声程的 $\Phi 2\text{mm}$ 当量的平底孔的缺陷。

3.4 耦合剂的选择

由声压透射率公式 $t = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$ 可知，耦合剂的声阻抗 (Z_2) 越大，声压透射率越高。常用的耦合剂有机油、甘油和化学浆糊等，一般来说，机油和甘油相对于化学浆糊来讲，具有表面张力小、润湿能力强、透声性能良好，考虑到检测面的铸钢件还要进行焊接，因而选择化学浆糊，焊接时进行打磨除锈。

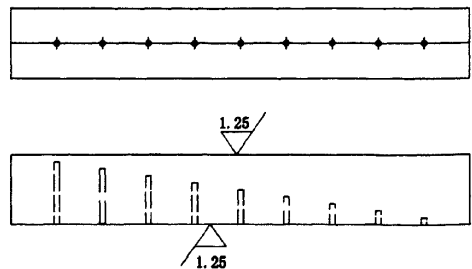


图3 纵波双晶直探头试块

4. 检测实例

风口大套的几何尺寸见图4。

风口大套的超声波检测见图5。

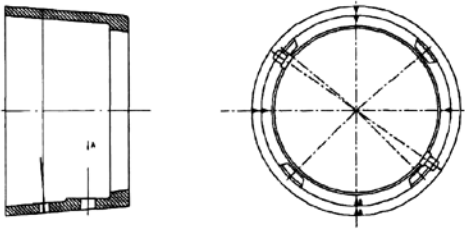


图4 风口大套精加工尺寸

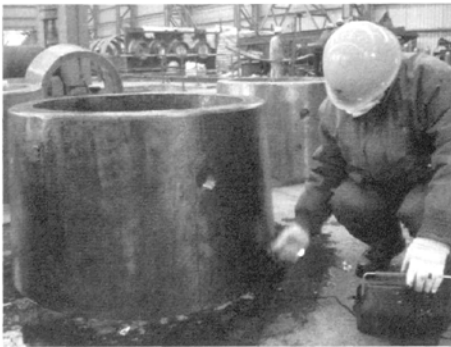


图5 风口大套超声波检测

4.1 检测时机的选择

风口大套制造的一般经过以下几个步骤: 建模(铸型), 熔炼(1540℃左右)、添加合金、取样(化学成分分析)、浇铸、冷却、清砂、割冒口、第一次机加工、超声波检测、精加工、热处理, 第二次超声波检测, 水压试验, 几何尺寸检查、出厂等。风口大套制造工序流程图(见图6)。

第一次超声波安排在第一次机加工后进行, 第二次超声波检测安排在热处理后进行。第一次超声波检测主要是为了判定铸钢件内部质量是否合格, 原则上以直探头检测为主, 一般不进行横波检测, 若不合格, 便进行修复或报废, 及早发现不合格品, 改进生产工艺, 避免浪费加工费用。第二次超声波检测因铸钢件进行了热处理, 检测的准确性较高。

4.2 检测面的选择

风口大套在浇注成型后, 原始表面非常粗糙, 必须经过机加工、打磨等处理才能后

进行, 因而超声波检测面选择机加工面耦合效果比较好。

4.3 检测区域厚度层次的划分

风口大套界面厚度划分为三个层: 外层、内层、外层(见图7), 由于风口大套检测区域的厚度45mm, 每层厚度占界面厚度的三分之一, 即15mm。对不同层次的缺陷使用不同焦距的纵波双晶聚焦探头, 外层(15mm)使用焦距F=8mm的纵波双晶聚焦探头, 内层(16~30mm)使用焦距F=20mm的纵波双晶聚焦探头, 外层(31~45mm)使用焦距F=38mm的纵波双晶聚焦探头。

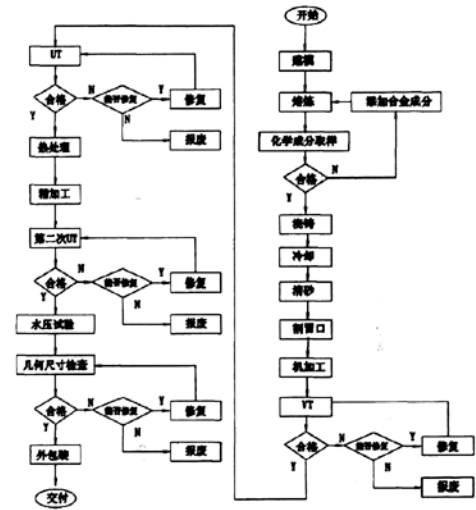


图6 风口大套制造工序流程图

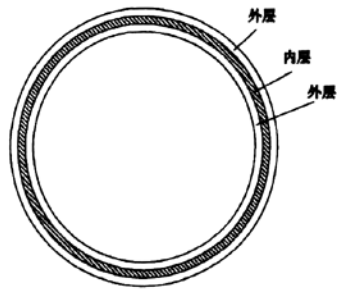


图7 检测区域厚度层次的划分

4.4 检测区域厚度层次中缺陷的分析

内层主要有气孔、缩孔、疏松等缺陷, 外层主要有夹渣、夹沙、裂纹和冷隔等缺陷; 根据断裂力学理论, 外层比内层更重

要，所以铸钢件外层的裂纹和冷隔是检测的重点。

4.5 缺陷的分类

《铸钢件超声波探伤及质量评级方法》GB/T 7322-1987把缺陷分为平面状缺陷（如裂纹和冷隔等）和非平面状缺陷（如：气孔、缩孔、疏松、夹渣、夹沙等）。平面状缺陷的危害性远大于非平面状缺陷，评定时相对严格。

4.6 缺陷指示长度和位置的修正

缺陷指示长度（指示面积）的检测见图8，修正按公式1。

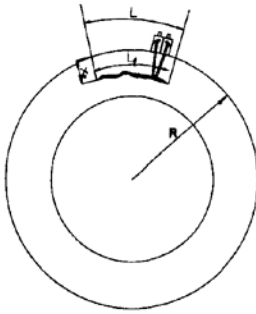


图8 缺陷指示长度定量

$$L_f = \frac{L}{R} (R - x_f) \quad (1)$$

公式1: L—探头移动的外圆弧长度

R—圆柱体外圆的半径

XF—缺陷的声程

斜探头缺陷的深度位置和水平位置检测见图9，水平位置修正按公式2，深度位置修正按公式3。

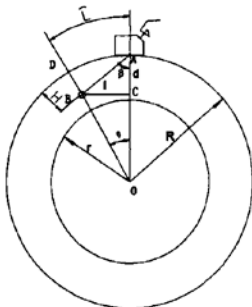


图9 缺陷定位

$$\hat{\angle} = \frac{R\pi\theta}{180} = \frac{R\pi}{180} \arctan \frac{Kd}{R-d} \quad (2)$$

$$H = OD - OB = R - \sqrt{(Kd)^2 + (R-d)^2} \quad (3)$$

公式2、3: R—圆柱体外圆的半径

r—圆柱体内圆的半径

AC=d, K=tan β

BC=d tan β = DK=l

AO=R, COMMMK=R-d

4.7 超声波检测的局限性

由于超声波检测存在一定的盲区，近表面的缺陷容易漏检，有的部位由于工件的不规则性及表面粗糙等原因，超声波的声束扫描不到，超声波检测定量不够精确、定性不够直观，受人为因素影响较大。

4.8 检测结果

风口大套检测区域内部质量达到《铸钢件超声波探伤及质量评级方法》GB/T 7233-1987 2级合格，生产厂家有大量铸钢件内部质量达不到要求且在不能修复的情况下而报废，使用斜探发现了大量近表面缺陷，在初步判定为裂纹时，采用射线检测和磁粉检测进行验证，取得较好的效果。磁粉检测见图10。



图10 风口大套磁粉检测

生产厂家根据无损检测的定量、定位，对铸钢件进行解剖，研究缺陷产生的机理，改进生产工艺，加强质量管理，经过一段时间的调整，在规定的工期内为宝钢提供了42只质量合格的风口大套（其中2件是备品）。无损检测在铸钢件生产中，为改进生产工艺、降低生产成本、保证产品质量发挥重要作用。

5. 结束语

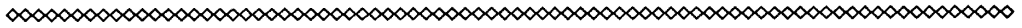
风口大套是采用ZG20Mn整体浇铸, 超声波检测相对于普通碳素钢而言有较大难度, 需采用特殊的工艺方法和丰富的实践经验, 并要了解铸造的基本原理, 才能达到良好的检测效果。

参考文献

[1] 郑辉等 《超声波检测》 [M] 中国劳动和社会保障出版社2008: 262, 200-201.

[2] 《承压设备无损检测 第三部分 超声检测》 JB/T 4730.3-2005 [S].

[3] 《铸钢件超声波探伤及质量评级方法》 GB/T 7233-1987 [S].



(上接第410页)

[7] 乌建中, 卞永明等. 东方明珠广播电视塔钢天线桅杆同步整体提升[J]. 同济大学学报, 1996, 24(1):44-49

[8] 杜民, 杨莹. 东航双机位机库超大型网架整体提升[J]. 上海建设科技, 1996, (6):33-34

[9] 李耀良. 上海大剧院6075吨钢屋盖整体提升施工技术[J]. 建筑施工, 1996, 18(5):4-8

[10] 鲍广鉴, 李国荣. 现代大跨度空间钢结构施工技术[J]. 施工技术, 2005, 20(1):43-48

[11] 候兆欣, 张海军等. 新加坡MEGA会展中心钢结构施工[J]. 建筑钢结构进展, 2003, 5(1):38-43

[12] 邵茂, 张从思. 国家大剧院壳体钢结构吊装施工[J]. 施工技术, 2004, 33(5):6-10

[13] 高振锋. 土木工程施工控制技术的研究与应用(上)[J]. 建筑施工, 2004, 26(1):49-51

[14] 高振锋. 土木工程施工控制技术的研究与应用(下)[J]. 建筑施工, 2004, 26(2):156-158

[15] 王瑜. 特大型钢结构施工技术[J]. 石油工程建设, 1994, (6):21-25

[16] 郭明明, 周观根. 大型空间钢结构工程的施工技术[J]. 浙江建筑, 2002年增刊, 8-10

[17] 陈国栋, 郭彦林等. 广州市新体育馆屋盖吊装及拆模过程动态分析[J]. 建筑结构, 2002, 32(1):12-16

[18] 郭彦林, 邓科等. 广州新白云国际机场维修机库钢屋盖整体提升技术[J]. 工业建筑, 2004, 34(12):6-11

[19] 郭彦林, 缪友武等. 澳门综合体育馆主桁架整体提升及提升塔架分析[J]. 建筑结构学报, 2005, 26(1):17-24

[20] 崔晓强. 大型钢结构施工方法和施工力学研究: [博士后研究报告]. 上海: 上海建工集团, 2004

[21] 张岳云, 孙希社. 澳门东亚运动会多功能场馆钢结构主桁架整体提升技术[J]. 工程建设与设计, 2005, (2):16-19

[22] 鲍广鉴, 陈柏全, 曾强. 空间钢结构计算机控制液压整体提升技术[J]. 施工技术, 2005, 34(10):5-7

[23] 王光远. 论时变结构力学. 土木工程学报[J], 2000, 33(6):105-108

[24] 罗尧治, 胡宁等. 网壳结构“折叠展开式”计算机同步控制整体提升施工技术[J]. 建筑钢结构进展, 2005, 7(4):27-32

[25] 王必卫, 谢良尊. 宝安体育馆钢屋盖安装技术[J]. 广东土木与建筑, 2002, (4):34-36

[26] 张友恩, 杨李志等. 贺龙体育场大型悬挑钢屋盖安装技术[J]. 施工技术, 2004, 33(5):23-25

[27] 林松辉. 广州新机场某航空货运站大跨度大面积钢网架吊装施工[J]. 广东土木与建筑, 200, (1):37-38

[28] 陈荣毅. 大跨度张弦桁架的整体吊装[J]. 广州建筑, 2002, (2):6-8

[29] 陈桥生, 游志文, 吴圣杰. 大跨度钢屋盖定点吊装与整体滑移施工技术[J]. 施工技术, 2003, 32(5):10-13

[30] Qinghua HAN, Yue CHEN. Design and construction of the steel roof structure of Laoshan cycling gymnasium for 2008 Beijing Olympic Games [J]. IASS Symposium2006.

[31] 徐志洪, 李寿奖. 大跨度钢结构屋盖吊装施工工艺的力学分析与评价[J]. 南京理工大学学报, 2001, 25(3):323-327

[32] 范传钧, 佟景源, 潘景瑶. 49m x 49m网架与吊挂屋整体提升施工技术[J]. 建筑技术, 2002, 32(11):745-746

[33] 郝燕春, 晏顺元. 抽空四角锥大型网架整体吊装技术[J]. 石家庄铁路工程职业技术学院学报, 2004, 3(4):19-23

[34] 张丽, 万瑞义. 网架整体吊装施工技术的应用研究[J]. 东北电力学院学报, 2001, 21(4):41-45

[35] 冯丽杰. 吉林“世纪之舟”钢网架整体吊装技术[J]. 化工设计, 2000, 10(6):28-31

[36] David S A, Schexnayder C J. Hoisting 'Y' columns at the Phoenix Airport parking garage expansion[J]. Practice Periodical on Structural Design & Construction, 2000, 5(4):138-141

[37] Zheng Jiang, Hao Jiping. The deformation and static research of hydromantic synchronizing lifting construction technology [J]. IASS Symposium2006.

[38] C. Carter, T. Murry, W. Thornton, Cost-effective steel building design [J], Progress in Structural Engineering and Materials, 2000, 2(1):16 - 25

[39] 扬薇. 变边界对结构受力性能影响的研究: [硕士学位论文]. 上海: 同济大学, 2005

[40] Y. F. Luo, R. Yu. Static and Buckling Behavior of Beams with Changeable Boundaries [J]. STEEL and COMPOSITE STRUCTURES, 2006.

[41] 罗永峰, 杨薇, 遇瑞. 国家大剧院施工与使用阶段变边界变边界约束网壳受力性能分析[J]. 建筑结构, 2008, 38(2):56-59