加氢反应器管板堆焊工艺和防变形措施分析

贾娜 吴晶晶
（西安航天华威化工生物工程有限公司，西安市710000）

摘　要：加氢反应器的管板为Cr-Mo钢堆焊E309+2209双相钢结构，由于管板直径大，厚度薄，管板堆焊后极容易产生变形，而且还要避免堆焊铁素体含量超标等问题，堆焊难度大且工艺复杂。本文提出了一种合理的管板堆焊工艺和防变形措施，有效地解决了管板变形问题，并采用不同的测定方法对堆焊层的铁素体含量进行分析，均达到设计和标准要求。

关键词：加氢反应器 管板堆焊 防变形措施 铁素体检测

1 概况

本文主要从某项目中的固定床列管式反应器—加氢反应器的管板制造工艺出发，结合管板防变形措施和堆焊层铁素体含量检测等问题进行了分析总结。

在加氢反应器制造过程中，管板加工质量控制尤为重要，因管板直径达3800 mm，相对厚度薄，δ=135 mm，而且要在管板表面堆焊双相钢材料。双相钢是一种奥氏体+铁素体不锈钢，既有奥氏体不锈钢的优良韧性和焊接性，也具有铁素体不锈钢高强度和耐氯化物应力腐蚀的能力，双相钢中奥氏体和铁素体含量的组成比例直接影响不锈钢的耐腐蚀性能。所以在整个管板制作过程中如何控制管板的变形，确保堆焊后铁素体含量等，是管板堆焊成形工艺的关键点。

2 堆焊工艺分析

两块管板的规格为φ3140×（7+120），四周两边凸肩50mm，材质为15CrMoIV（正火+回火）锻件，靠近管程侧采用双层堆焊E309L+2209双相钢，堆焊总厚度不小于7mm，耐腐蚀层厚度不小于3mm，管板结构图见图1。

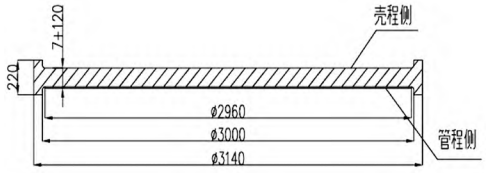


图 1　管板结构图

由于管板直径大，管板厚度相对较小，而且还需要进行全面积堆焊，如何控制管板的变形，保证管板尺寸等，是本设备的难点。

为了很好地解决管板堆焊变形问题，本文提出一种新的方法，即利用反变形原理，将管板中间直接机加工成凸面，提前留出变形量，然后再将两块管板背靠背，周边固定后再进行堆焊。

3 管板制造

3.1 下料

在管板基材下料时考虑加工余量，基层下料毛坯规格取为：φ3200×240mm。按照制定的防变形措施，将待堆焊表面加工为“凸缘”状，凹槽最低处深53mm，中心留出φ800mm的区域车平整即可。“凸缘”部分最高处于最低处高度差为15mm，见图2。机加工采用6.3m立式车床进行加工，见图3。

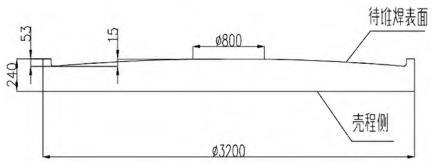


图 2　管板预留变形量图



图 3　管板加工

3.2 堆焊

根据上述分析，为了控制堆焊管板的变形量，除了采取上述预留变形量的方法外，还采用将两块管板背靠背刚性固定，周边采用连接板固定焊接的方法防止变形，在堆焊的过程中也采用逐层对称堆焊的方法，防止堆焊熔合区产生裂纹。连接板厚度采用30mm厚钢板，见图4。



图 4　管板防变形图

堆焊过程采用由内向外进行堆焊，管板堆焊分为两层，第一层为过渡层，过渡层堆焊E309L，第二层为耐腐蚀层，堆焊2209，见图5。

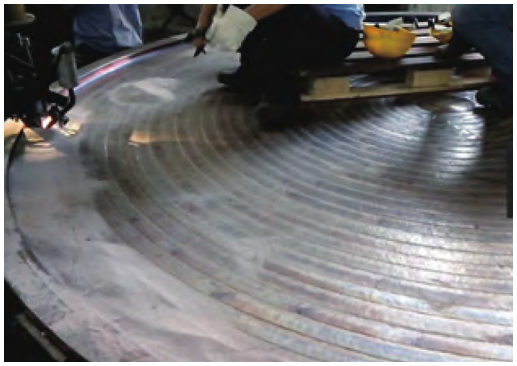


图 5　管板堆焊图

为了提高确保堆焊后双相钢的组织结构，提高抗晶间腐蚀能力，要求堆焊材料的含C量较低，且施焊需严格控制堆焊线能量和层间温度。管板堆焊采用带极电渣堆焊，管板堆焊的预热温度不低于150℃、层间温度≤250℃。管板堆焊应根据相应的焊接工艺评定制定焊接工艺，中间层电流控制在750A—780A；覆层电流控制在：800A—830A。

管板周边凸台部分无法采用带极堆焊，只能采用人工手把堆焊。

管板单面堆焊完成后，采用行车吊将两块背靠背管板进行翻转，然后进行另一块管板的堆焊，见图6。



图 6　管板翻面堆焊图

管板的过渡层堆焊完后，对两块管板进行整体消除应力热处理，再进行耐腐蚀层的堆焊，耐腐蚀层的堆焊应不小于3mm，在堆焊耐腐蚀层时，应预留出机械加工余量，应满足总堆焊层厚度7mm，以及管板堆焊后平面度不超过1mm的加工要求。

堆焊表面全部加工完毕，并检测合格后，将两块管板分离，然后进行管板的壳程侧表面，加工壳程侧表面时，应保证基层的最小厚度满足图中的要求，不得小于图纸要求厚度。

从管板分离的结果来看，见图7，两块管板分离开后，还存在16mm左右的间隙，说明之前管板加工时单层预留15mm高的凸台过高，超过

了管板的变形量，从结果来看，若预留8mm左右的变形余量即可。

实践证明，本文所采用的防变形措施，能够有效地解决管板堆焊变形的问题，由于材质、设备规格、堆焊工艺等多方面因素的影响，预留加工量不同，要根据实际情况进行具体确定。



图 7　管板分离后

4 堆焊层检测

为了确保双相钢堆焊层为均匀的奥氏体+铁素体组织，堆焊层铁素体含量在35FN—65FN之间，分别按照上述提供的两种方法进行测定。

铁素体测定仪选用德国生产的测定仪MP30型，设备以及配套使用的二级标块均通过国家焊接材料质量监督检验中心的鉴定，并在有效期内。

在上管板和下管板的堆焊层表面均布测量10个点，结果如下表1：

表 1　堆焊层铁素体测定值（FN）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上管板	36	38	37	36	41	40	37	39	37	36	37.7
下管板	48	51	52	49	47	52	51	46	48	49	49.3

堆焊层化学成分采用斯派克直读光谱仪测定，位置在堆焊层表面以下3.2mm处，上管板和下管板堆焊层化学成分实测值如下表2：

表 2　堆焊层化学成分（%）

	C	Cr	Ni	Mo	Nb	N	Cu
上管板	0.077	21.74	8.74	3.68	0.02	0.08	0.028
下管板	0.03	22.56	8.85	3.15	0.012	0.082	0.015

依据上述分析，本文按照WRC-1992进行计算铁素体含量计算，镍当量和铬当量的计算公式为：

$$镍当量 = \%Ni + 35\%C + 20\%N + 0.25\%Cu$$

$$铬当量 = \%Cr + \%Mo + 0.7\%Nb$$

上管板计算镍当量和铬当量分别为13.04和25.44，查图8 WRC-1992图可知铁素体计算值为38FN。

下管板计算镍当量和铬当量分别为11.54和25.72，查图8 WRC-1992图可知铁素体计算值为50FN。

将上下管板的磁性测定仪与计算值结果相比，铁素体含量值比较接近，均能满足设计要求。

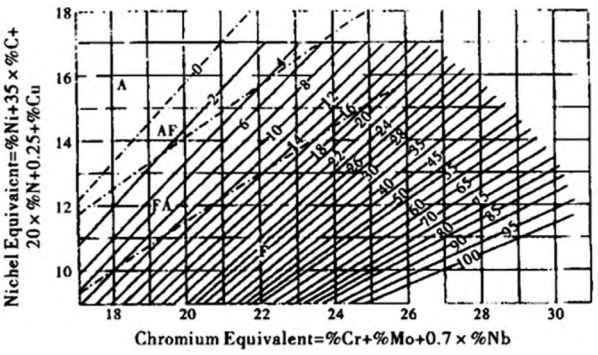


图 8　WRC-1992图

5 结论和建议

对本文所采用的管板堆焊工艺和防变形措施实施结果进行分析，总结如下：

5.1 利用反变形原理，将管板中间直接机加工成凸面，预留出变形量，并将两块管板背靠背进行堆焊，从管板成型结果来看，采用这种防变形措施能较好地控制管板变形量，预留15mm高凸台过大，预留8mm左右的变形余量即可。

5.2为了提高确保堆焊后双相钢的组织结构，提高抗晶间腐蚀能力，需严格控制堆焊线能

(下转第22页)

Study on Welding Performance of SA738 Gr.B Steel for Steel Containment Shells

Xu Rui, Li Jiamei
(Dalian Baoyuan Nuclear Equipment Co., Ltd, Dalian 116000)

Abstract: SA738 Gr.B steel is one of the main materials for nuclear power steel containment shells due to its low carbon content and good mechanical properties, which are commonly used in the butt welding of steel containment shells. Due to the presence of Cr, Mo and other elements in SA738 Gr.B, problems such as hardening, cold cracking, and thermal strain embrittlement may occur during welding. In this study, tensile, bending, impact, chemical analysis, macroscopic metallography, microscopic metallography, and drop weight tests were conducted on the welded and heat-treated test plates. Through experimental research, it was found that by selecting the correct welding materials, reasonable welding process parameters, and heat treatment specifications for SA738 Gr.B steel, good forming effects can be achieved, and the mechanical properties of the welded joints can meet the test requirements.

Keywords: SA738 Gr.B; steel containment shell; electrode arc welding; post weld heat treatment

(上接第14页)

量和层间温度，采用管板背靠背堆焊完过渡层后立即进行消应力热处理，然后再进行双相钢耐腐蚀层堆焊。

5.3为了确保双相钢中铁素体含量的准确性，分别采用磁性测定仪测法和计算法的测定方法对堆焊层的铁素体含量进行分析，两种方法结果比较接近，均能满足设计的要求。

参考文献

[1] 付郁峰.大型甲醇合成反应器的制造[J]，化学工业与工程技术，2008，29(3).
[2] 袁乘春，韩君，杨兰. φ3600mm甲醇合成反应器的研制[J]. 大锅炉制造，2004.
[3] 全国锅炉压力容器标准委员会技术委员会.压力容器设计工程师培训教程，2005.
[4] HG/T20581-2020，钢制化工容器材料选用规定[S].

Analysis on Tube-sheet Surfacing Welding Process and Anti-deformation Measures for Hydrotreating Reactor

Jia Na, Wu Jingjing
(Xi'An Huawei Chemical & Biologic Engineering Co., LTD., Xi'An 710100)

Abstract: The tube-sheet of the hydrogenation reactor is Cr-Mo steel surfacing welding E309+2209 dual-phase steel structure. Due to the large diameter and the thin thickness, the tube-sheet is easy to be deformed, and the problems such as the excessive content of the stack ferrite should be avoided, the surfacing welding is difficult, and the process is complicated. In this paper, a reasonable process and anti-deformation measures of tube-sheet surfacing welding are put forward, which effectively solve the problem of tube-sheet deformation. Different measuring methods are used to analyze the ferritic content of tube-sheet layer, and all meet the requirements of design and standard.

Keywords: hydrogenation reactor; tube-sheet surfacing welding; anti-deformation measures; ferrite detection