



大厚板焊接工艺

谢义斌

【摘要】 通过对270mm厚的Q345D钢板拼接难点进行深入分析, 针对焊接难点在焊接材料和参数等工艺方面进行了研究, 最终通过采取合理的焊接工艺及相应的控制变形措施, 大大降低了生产成本。

关键词: Q345; 大厚板; 焊接工艺

1. 概述

对于Q345材料的焊接, 国内论述这方面的资料文章比较多, 但对于厚度 $>250\text{mm}$ 的Q345板材的焊接, 探讨的较少。我们公司由于业务的开拓, 新业务中需要一块Q345D、尺寸规格为 $4\,810\text{mm} \times 4\,810\text{mm} \times 270\text{mm}$ 的钢板毛坯。

由于国内钢厂能提供的规格很少或者需要定制, 且工期较长, 所以我们采用拼接的方式, 通过合理的焊接工艺及相应控制变形手段, 很好地保证了焊接质量, 达到了设计使用要求。

2. 问题分析及解决方案

制作规格为 $4\,810\text{mm} \times 4\,810\text{mm} \times 270\text{mm}$ 钢板, 平面度要求在 $8\sim 10\text{mm}$, 且要保证钢板焊接后的材料性能, 虽然Q345D材料的焊接不是很难, 但这样厚度的板材及规格对于我们来说也是第一次, 工作上有很多的具体困难。这些具体问题都需要提前考虑或作业时解决。

(1) 焊接钢板的数量及尺寸 由于钢板规格的限制, 最终决定将钢板分为三部分, 宽度方向分别为 $1\,900\text{mm}$ 、 $1\,900\text{mm}$ 以及 $1\,050\text{mm}$, 长度方向为 $4\,830\text{mm}$, 两两对接。考虑焊接收缩量的问题, 根据常年施工经验按预留 9mm 余量来考虑。制作完工后, 发现收缩量为 $10\sim 12\text{mm}$, 因工件加工余量为 $25\sim 30\text{mm}$, 最大 3mm 误差, 故不影响我们加工使用。

(2) 焊接方法及坡口形式 一般厚板的焊接方法有电渣焊、埋弧焊、气体保护焊及焊条电弧焊等。电渣焊, 我们不但没有设备, 而且成本也比较高; 气体保护焊及焊条电弧焊, 焊接时劳动强度太大(计算焊接时间大致需要两周且连续作业), 人力和物力耗费时间长, 不宜采用; 埋弧焊熔点高、填充量大, 较气体保护焊效率高, 减少作业时间, 利于中间焊和盖面。综合以上分析并结合本部实际情况, 决定采用 CO_2 气体保护焊打底, 埋

弧焊焊接并盖面。

焊接方法确定后, 就需要相应的坡口形式。厚板坡口形式大多是以I形、X形和U形等为主, 经综合比较, 我们决定采用U形坡口。考虑清根的难易程度, 采用不对称的U形坡口形式, 如图1所示。

为保证焊接质量, 坡口的制作必须采用机加工手段完成, 且要保证尺寸和表面粗糙度值为 $12.5\,\mu\text{m}$ 。

(3) 提前试焊 为保证焊接质量, 我们用 1m 长、 200mm 厚的钢板做了一次焊接试验, 既锻炼了焊工, 又可以发现实际操作过程的不足。在打底焊试验的时候, 我们发现焊接一端向另一端移动的过程中, 没焊接一端的开口并未有十分明显的变化。

(4) 焊接材料和参数 首先, 对导致裂纹的主要原因进行具体分析: ①淬硬倾向: 钢板的材质Q345D钢, 碳含量上限为 0.18% ; $w_{\text{P}, \text{S}} \leq 0.03\%$ 。因淬硬倾向小, 焊接性良好, 故不是产

生冷裂纹的主要原因。②氢的作用：所用焊材经过严格烘干，厂房环境干燥，即使焊接时有少量的氢留在焊缝内，但含量较低，也不是产生冷裂纹的主要原因。③焊接时在厚度方向上的温度分布不均匀会产生较大的横向压缩塑性变形；焊后冷却时厚度方向上出现收缩不均匀易致使两连接件间产生角变形。

其次，焊接材料的选配原则是焊缝金属的合金成分与强度性能基本符合母材标准规定的下限值或达到产品技术条件规定的最低性能指标。

因此，综上所述，我们确定选用焊丝THQ—50C， $\phi 1.2\text{mm}$ ；埋弧焊丝H10Mn2、 $\phi 4\text{mm}$ ；焊剂SJ101（焊接前需 100°C 预热4h以上），焊接参数如附表所示。

最后，焊接过程中为控制变形采用反变形的办法。在焊接施工过程中由于焊接产生的反向变形，所以要及时翻转工件，焊接另一侧面，这样循环操作来实现控制变形。

(5) 热处理 焊接时必须要求工件预热，保证均匀加热工件是个很重要的问题。经过多次的试验，我们决定在一根约4.8m长管道一侧分别均匀钻几处孔，然后将气割嘴焊接在管道上，保证

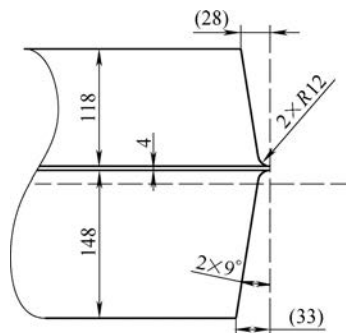


图 1

密封，通以气体点燃加热。共制作两件，以便在焊缝的两侧同时加热。

焊接结束，工件内部会产生大量的焊接残余应力，为防止产生延迟裂纹和加工过程中的变形，焊接后必须进行炉内去应力退火处理。

(6) 安全和作业时间 焊接必须是一个连续的过程，因此安排有经验的焊工分三班作业，保证焊接过程的连续、有效及可控。

焊接时为防止焊工烫伤，焊工必须穿劳保鞋；并在焊缝两侧钢板上各铺垫出宽度约300mm保温材料用以踩踏。

3. 具体实施过程和检测

(1) 焊前外购钢板检测 垂直于钢板矩阵阵列进行探伤检测，探伤点间距100mm。检测合格后进行后续的工作。

(2) 工件放置固定 高于地面 $1\sim 1.2\text{m}$ ，反变形角度在 $1^\circ\sim 1.5^\circ$ ，对接间隙 2mm 左右，如图2所示。

(3) 焊前预热 将焊缝反向两侧各200mm区域多点同时加热，以保证预热温度均匀和正向面的预热温度。预热温度在 $90\sim 120^\circ\text{C}$ 。

(4) 焊接 先焊接坡口尺寸

大的一侧，采用 CO_2 气体保护焊打底，当焊接厚度在 $15\sim 20\text{mm}$ 时，改用埋弧焊进行焊接，此时需测量控制板材最远处变形量（测量点均布不小于4点）。当工件变形在 $1^\circ\sim 1.2^\circ$ 时（计算出数字，设为A），即测量点高于平面值 $\leq A$ 时，对工件进行翻转。

注意翻转工件需在大厚板上，并在焊缝两侧焊接凹形筋板，以防止起吊时焊缝开裂。筋板和吊耳如图3所示。控制埋弧焊填充焊缝宽度要 $< 18\text{mm}$ ，以减少缺陷。焊接宽度也是如此。

翻转后的工件，需用碳弧气刨清除打底焊缝，露出焊缝金属并打磨处理光滑表面后开始用埋弧焊焊接。焊接过程中不断测量边板最远处的变形量，反向变形为 0° 时，去掉焊缝处凹形筋板，仅留三处焊缝筋板（均布），当反向变形量达到 $(A-5)\text{mm}$ 时，再一次翻转工件。

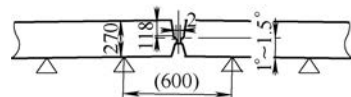


图 2

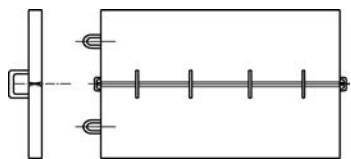


图 3

焊接参数

焊道	电弧电压/V	焊接电流/A	焊丝牌号和直径/mm	焊接速度/ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$	焊剂	备注
打底焊	26~32	140~180	1.2 / THQ—50C	300~400	—	CO_2 气体保护焊
填充焊	32~34	550	4 / H10Mn2	200	SJ101	埋弧焊/交流
盖面焊	40~42	650	4 / H10Mn2	334	SJ101	埋弧焊/交流

注：焊接区域层间温度 $120\sim 180^\circ\text{C}$ 。

(下转第50页)

表3 拉伸试验

试样编号	试样宽/mm	试样厚/mm	总载荷/kN	抗拉强度/MPa	断口位置
1	23.5	40	485.54	515	母材处
2	24.9	40	513.74	525	母材处

表4 侧弯曲试验

试样编号	试样宽/mm	试样厚/mm	试样长/mm	弯曲角度(°)	裂纹数量	试样结果
3	40	10	220	180	宏观未见有裂纹	合格
4	40	10	220	180	宏观未见有裂纹	合格
5	40	10	220	180	宏观未见有裂纹	合格
6	40	10	220	180	宏观未见有裂纹	合格

表5 冲击试验

试样编号	取样位置	试验温度/℃	冲击值/J
7	焊缝区钢板表面2mm处	-20	89
8	焊缝区钢板表面2mm处	-20	99
9	焊缝区钢板表面2mm处	-20	102
10	热影响区钢板表面2mm处	-20	128
11	热影响区钢板表面2mm处	-20	138.5
12	热影响区钢板表面2mm处	-20	140.5

工艺在合理范围内。

5. 结语

通过我们公司承揽盾构产品的生产制造,采用 $\phi 1.2\text{mm}$ 的ER50—6、 CO_2 气体保护焊,通过焊前预热、控制层间温度、控制焊接参数及焊后热处理等工艺方案,对盾构产品Q345B钢板进行焊接,其焊接接头力学性能满足要求。我公司在盾体焊接方面积累了一些经验,为以后的生产制造奠定了基础。

作者简介:李多等,北方重工集团有限公司。

MW 20160313

(上接第48页)

工件翻转放置稳固后,去掉焊接筋板,观察平板的变形情况(我们的观察值很少,2mm左右)。然后开始埋弧焊焊接,当反向变形量 $\leq 10\text{mm}$ 时(测量点同上),再次翻转工件。此过程若有条件,做一次高温UT探伤处理,以减少最后因缺陷返工的工作量。

工件翻转后,埋弧焊焊接,其反向变形量控制在5mm以内,直至焊接整体完毕,并翻转工件焊接另一侧完毕。

(5) 焊后热处理和检测 焊接完毕后,保温6h;待自然冷却后,打磨光焊缝表面,做UT探伤,然后整体进行 $620^\circ\text{C} \times 10\text{h}$ 的炉内去应力退火。退火时注意控制大平板由于自重

产生的变形,也可通过自重和外加重力等方法对大板进行矫平。

焊接件去应力退火冷却至室温后进行焊接缺陷和平面度检测,符合要求后进行下一步工作。将另一块钢板同焊接合体后的钢板焊接在一起,焊接方法及操作步骤同上。整体焊接后,焊缝保温6h,自然冷却,UT探伤,再一次整体进行去应力退火。

钢板整体冷却后,我们进行了整体焊接缺陷和平面度检测,检测结果:符合焊缝I级要求;平面度在5~7mm以内,达到了设计要求。

4. 结语

由于受工件重量和尺寸的限制,不能一次成形,所以只能采取拼焊的方式,如果有条件分

成两部分焊接可大大降低制作的成本。在大厚板制造的过程中,需要注意的方面如下:正确选择坡口形式,保证R圆弧的机械加工;加工坡口时要清污去油,避免焊接气孔等缺陷的产生;稳定控制预热温度、焊接参数及焊后保温热处理。另外,尤其需要注意的是:翻转工件的时机要同变形量相匹配,后期操作尤为重要。

实践证明,通过制定合理的焊接工艺和操作步骤,可将焊接变形控制在最小范围内,所有焊缝探伤一次性合格,保证了焊接质量,通过热处理消除内应力,为保证后续制造精度奠定了基础。

作者简介:谢义斌,中铁工程装备集团盾构制造有限公司。

MW 20160516