连铸机扇形框架再制造中的冷却水管密封焊接

常州宝菱重工机械有限公司 （江苏 213019） 孔念荣 颜 东 于光远 孙凌晨

【摘要】本公司承接了某钢厂连铸机扇形段框架的修复任务，承担了从方管割除、补焊打磨、堆焊过渡层、水管密封焊到角钢及密封板焊接等生产工序，其中冷却水管的密封焊接是连铸框架中的修复难点。通过改进其冷却水管材质及焊接结构、堆焊过渡层，以及采取合理的施焊顺序和控制焊接热输入等工艺措施，终于成功完成冷却水管的再制造并一次性通过水压试验。

1. 概述

连铸扇形段是连铸机设备的重要组成部分，它是由弯曲段、弧形段、矫直段、水平段以及基础框架支承结构等组成。连铸的内、外弧框架作为连铸扇形段中的关键部件，其框架上的轴承座与导向辊经受着长期高温铸流的冲击，使用过程中为了保证设备温升不会过高，框架上布满了循环冷却水管，而水管的密封不泄漏是设备能正常运行的关键因素之一。

公司承接了某钢厂连铸机扇形段框架的再制造任务，原设计轴承座冷却水管由Q235B槽钢满焊于框架主板上部，由于长时间使用在铸流高温环境下，Q235B槽钢被腐蚀生锈，并有部分焊缝产生裂纹。为了提高框架及轴承座的使用寿命，我们将Q235B槽钢更换为截面尺寸50mm×30mm×4mm的0Cr18Ni9不锈钢矩形方管。方管焊接完成后要求在1.2MPa水压（保压1h）试验下不漏水，而实际修复过程中水管的焊接会涉及到焊接位置偏、焊接变形大和异种钢焊接易开裂等难题，因此连铸框架再制造中的冷却水管的密封焊接是连铸扇形段再制造中的一大难题。

2. 问题分析

连铸框架修复工作的主要难点是框架上冷却水管的焊接，要求焊后在恶劣的工作环境下长期服役不会泄漏，而冷却水管的泄漏会直接影响到连铸机

（4）焊接应力与变形的控制 在焊接过程中，有效的防止构件在焊接过程中产生的应力与变形是保证焊接质量的另一关键因素。在焊接过程中将各部件按图样位置点焊后，确保与图样尺寸一致，采取对称多层多道焊，保证适当的焊接参数，从而可有效的防止焊接变形。

第一，焊后应放在木板上面，采用缓慢冷却，防止焊缝产生冷裂纹。

第二，焊后可锤击焊缝周围，以消除和扩散应力。

第三，焊后热处理，为了有效的消除内应力，提高构件的稳定性，改善构件的力学性能，据实际情况可采取550℃整体高温回火的方式进行焊后热处理。

第四，焊接缺陷返修，焊接缺陷要彻底清除，可用机械加工或角向砂轮打磨，坡口要合适，补焊时预热、层温及后热的范围要适当放宽，温度与焊接要保持一致。

第五，应严格制定工艺措施，同时进行严格检验，确保焊接质量。

3. 结语

通过以上工艺实施，保证了中部槽各项性能指标，满足了设计要求，为制造重型刮板机焊接中部槽积累宝贵经验，经过实际应用效果良好。MW

（20111213）

生产过程中的冷却效果，从而直接影响到连铸坯质量，严重时会引起漏钢液等事故。

通过现场分析，冷却水管的密封焊接存在以下问题（见图1水平段外弧框架）。

（1）原有接头形式不利于焊接质量的保证 原设计方案是将Q235B槽钢直接满焊于框架主板上部，焊接量过大，尤其在某些焊接位置可达性较差，密封效果不好，这也是导致框架漏水修复的主要原因。另外，由于焊接量过大，容易产生框架的整体焊接变形，最终影响到轴承座和连铸辊的安装精度。

（2）异种钢焊接 冷却水管Q235B槽钢改为奥氏体不锈钢管后，若不锈钢方管与框架主板Q345B直接焊接，其接头防腐蚀性能必然受到严重影响，在高温水的冷热环境下工作，焊缝处极易产生裂纹而开裂。

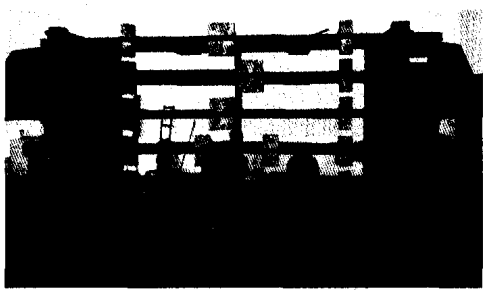


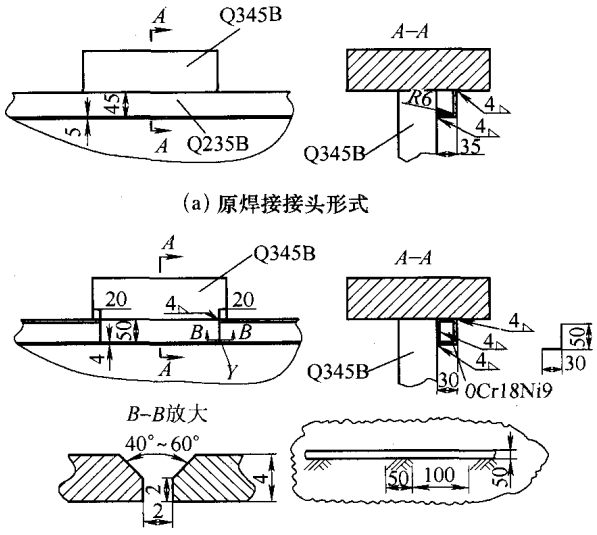
图1 水平段外弧框架

3. 工艺措施

针对上述问题难点，采取以下工艺应对措施：

（1）改进冷却水管材质及接头形式 对原有的冷却水管结构进行了改进设计（见图2），将原Q235B槽钢改为0Cr18Ni9不锈钢方管（化学成分见表1）。首先将冷却水管槽钢改进为方管减少了焊接接头长度，从而减少产生泄漏的可能性；其次将原先满焊改为间断焊，降低工人劳动强度，特别是减少了焊接变形；再则用0Cr18Ni9不锈钢取代Q235B，增强了耐高温冷却水腐蚀和抗疲劳能力，提高了冷却水管的使用寿命。

（2）在框架与不锈钢水管接缝处堆焊过渡层 由于奥氏体不锈钢与碳钢直接进行焊接，新的焊缝中的Cr含量大幅度降低，C含量增加。一方面Cr含量的大幅降低，尤其在恶劣的工作条件下，势必严重影响到焊接接头的防腐蚀能力；另一方面C含量是影响奥氏体不锈钢产生晶间腐蚀的最主要因



(a) 原焊接接头形式

(b) 改进后接头形式

图2 焊接接头设计

表1 0Cr18Ni9方管化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	S	P	Cu	Cr	Ni
≤0.07	≤1.00	≤2.00	≤0.030	≤0.035	≤0.20	17.00 ~ 19.00	8.00 ~ 11.00

素，晶间腐蚀敏感性随C含量（>0.03%）的增加而增大，加之在实际应用过程中，焊缝直接与温度较高的冷却水接触，极易因腐蚀而失效。

另外，由于对旧的冷却水管采用的火焰切割，其切割面粗糙且存在大量氧化物，经砂轮打磨清理后切割面凹凸不平，所以直接在打磨后的切割面焊接不锈钢方管，焊接质量难以保障。

为避免上述现象的发生，设计了在待焊处清理打磨干净后采用ϕ4mm的A302不锈钢焊条（化学成分见表2）堆焊厚2~3mm，10mm宽的过渡层（见图3），并打磨平整，避免了碳钢与不锈钢直接焊接，保证了焊缝化学成分及力学性能，从而确保了焊缝质量。

表2 A302不锈钢焊条化学成分（质量分数） (%)

C	Si	S	P	Cu	Mo	Mn	Cr	Ni
≤0.15	≤0.90	≤0.030	≤0.040	≤0.75	≤0.75	0.5 ~ 2.5	22.0 ~ 25.0	12.0 ~ 14.0

图3 不锈钢堆焊层及打磨清理后过渡层

（3）采取合理的施焊顺序 为减少焊接变形及框架翻身次数，保证堆焊部位的可达性，我们采取了合理的施焊顺序：先将所有的方管两端与过渡层焊接，然后再用角钢进行密封焊接，经水压试验合格后再将管身间断焊固定于框架主板两侧。

（4）严格控制焊接热输入 由于轴承座是厚板碳钢，焊接时需要进行适当的预热以避免接头凝固热裂纹的产生；而冷却水管为0Cr18Ni9奥氏体不锈钢需要严格控制较低的层间温度才能避免热裂纹的产生，因此综合二者后的层温应控制在100～150℃较为合理。基于上述原因，将焊接电流、电弧电压、焊接热输入、预热温度和施焊顺序等焊接参数进行总体优化，采取对碳钢进行适当预热，并采用小电流、低电压和大焊接速度的操作方法，同时采用交替焊接的方式来保证层间温度得到有效控制，从而避免焊接凝固裂纹的产生。具体焊接参数如表3所示。

表3 焊接参数

预热温度/℃	焊条牌号	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接热输入/kJ·mm^{-1}
100～150	A302	4	110～130	25～26	0.55～0.68

（5）确保接头拐角处的焊接质量 角焊缝的拐角历来是最易出现焊接缺陷的部位，是产生渗漏的主要部位之一，而且一旦产生焊接缺陷将难以返修。为了保证焊接质量，我们首先选择经验丰富的优秀焊工进行施焊，在几次模拟产品接头试验成功的基础上，在拐角处进行不间断焊接（见图4），同时对可达性不好的焊接部位辅以电筒、平面镜等工具来保证焊接质量，确保一次成功。

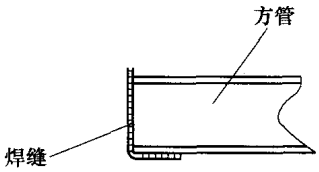


图4 拐角处不间断焊模拟

4. 结果分析

对于奥氏体不锈钢凝固裂纹是一大焊接问题，裂纹敏感性主要取决于成分，所以控制焊缝的成分可以有效地防止凝固裂纹的产生。

图5及图6为方管及角钢密封板的焊接过程及PT探伤。从图中可以看出，焊缝表面成形良好，未发现肉眼可见的表面裂纹及夹渣。经过后续的渗透检查，也未发现气孔、微观裂纹等缺陷。

图5 方管焊接及PT探伤

图6 角钢及密封板的焊接

5. 焊后检验

（1）外观检测（VT） 焊完经目视检查焊缝表面未发现气孔、夹渣及裂纹等缺陷。

（2）渗透探伤（PT） 通过渗透检验，所有焊缝均未发现表面裂纹、气孔等缺陷。

（3）压力试验 按照修复图样技术要求试验压力为1.2MPa（1h），未发现漏水。

（4）框架尺寸检查 焊接变形在技术要求所控制范围内。

6. 结语

通过设计改进、焊接工艺优化等一系列措施，提高了连铸框架再制造的成功率和生产效率。其他单位曾花费了近三个月的往返修复才最终焊接成功一个水平段框架，而我公司通过首创堆焊水冷管焊接过渡层的工艺方案，避免了焊接裂纹的产生，节省了由于直接焊接导致缺陷而多次返修的时间，仅用一个月便成功修复了水平段框架，水压试验一次获得成功。不但为公司节省了成本，取得了可观的经济效益，而且为连铸框架的再制造积累了经验。

MW（20111113）