

超大吨位起重机焊接裂纹及预防工艺分析

窦玮
(太原重工股份有限公司 山西 太原 030024)

摘要: 超大吨位起重机会随着板材强度的不断提升,薄厚板对接结构的应用情况,出现焊后延迟裂纹的现象,对起重机使用的安全性造成了严重的威胁。本文通过对超大吨位起重机出现焊接裂纹的原因进行分析,并提出有效的预防工艺措施,从而打造出高质量的超大吨位起重机产品,希望可以为相关产业发展提高参考与借鉴。

关键词: 超大吨位; 起重机; 焊接裂纹; 预防工艺

1 超大吨位起重机焊接裂纹产生的原因

超大吨位起重机主要受力结构件使用力学性能、焊接性能良好的低合金高强度钢 Q355-B,其化学成分如表 1 所示,力学性能如表 2 所示。

表 1 Q355-B 化学成分(质量分数) %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
≤ 0.24	≤ 0.55	≤ 1.6	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.4

表 2 Q355-B 力学性能

上屈服强度 ReHa/MPa	抗拉强度 Rm/MPa	冲击吸收能量 最小值 KV2/J	1800 弯曲试验 D 弯曲压头直径, a 试样厚度或直径	
当 δ ≤ 16mm 时	当 δ ≤ 100mm 时	当 t=20℃ 时	当 δ ≤ 16mm 时	当 16< δ <100mm 时
≥355	470 ~ 630	纵向 ≥ 34, 横向 ≥ 27	D=2a	D=3a

首先,对母材淬硬的倾向情况进行分析:化学成分、板厚、焊接工艺等都是影响钢材淬硬倾向程度的主要因素,焊接过程中,钢材的淬硬倾向程度越大,就越容易增加裂纹产生的概率。在多种元素中,碳的影响程度是最强的,其他元素在此作用下会综合对碳造成影响,因此,需要利用碳当量对焊接钢材的焊接性能进行评估。根据国际焊接学会碳当量公式进行计算:CE (IIW) = C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Cu+Ni)/15=0.45%。根据经验可知,碳当量超过 0.4% 的时候,板材淬硬的倾向性会更加明显,而焊接性能也会显著降低。

其次,焊缝位置处的拘束应力分析:焊缝本身属于薄厚板对接结构,板厚之间存在一定的差异,发生裂纹的位置主要都是出现在圆弧焊缝的过渡位置。由于焊缝两侧母材的厚度都不一样,所以在焊缝冷却的过程中,薄厚板自身的收缩能力也会不同,这种情况下就会导致焊缝内部出现非常明显的压力,从而增加焊缝内出现延迟裂纹的现象。

2 产生焊接裂纹的影响因素

2.1 氢的影响

氢在焊缝中会发生溶解,受焊接电弧高温的影响,焊接材料中所包含的水分,油污、铁锈都会被分解,并且在分解的过程中还会出现氢原子或氢离子,会迅速融入在大量的焊接熔池中。氢在铁中的溶解度并不是一成不变的,会随着温度的不断改变发生变化,在凝固点上会发生突变。熔池体积较小,冷却速度非常快,所以液态变成固态的速度也非常快。剩余的氢无法及时逸出,这样就导致在焊缝中长期出现饱和的状态,氢在焊接区域内会使浓度逐渐扩散。焊缝中的氢会处在一个不稳定的状态,在含量逐渐降低的情况下会自主地向周围的区域扩散。浓度扩散速度的快慢会随着温度的上升或下降而发生变化。在温度比较高的时候焊缝中过饱和状态的氢则处于不稳定状态。在含量差的作用下会自发地向周围热影响区和大气中扩散。这种浓度扩散的速度与温度有关,温度很高时,氢从焊接接头中散去的速度较快,而在温度比较低的情况下,氢的活动则受到限制,未在特定的温度条件下则会产生冷裂纹。唯有在温度 -100℃ ~ 100℃ 之间,氢的作用才可以充分地发挥出来。如果这个时候有敏感组织或者应力存在,也会增加冷裂纹的产生。在预热条件下进行焊接,会因为需要在冷裂纹敏感温度区域长时间停留,大部分氢就会从焊接区域充分逸出,温度降低到一定值时,残余的氢则不满足产生冷裂纹的条件,也就可以减少或者避免冷裂纹现象的出现。

2.2 组织状态的影响

钢材的淬硬倾向越大或者马氏体的数量越多,就越容易增加冷裂纹的产生。分析原因在于马氏体主要是碳在 α - 铁中会出现过饱和或者固溶体的现象,它属于一种硬脆组织,在发生断裂的时候不需要耗费大量的能量。冷裂

纹通常情况下主要发生在粗晶区域，因为晶粒较为粗大，能够对降低相变温度起到极大地促进作用，因此，该区域的冷裂倾向会随之逐渐增加。除此之外，在淬硬组织中还存在缺陷，最常见的就是空位、位错等。在应力条件下，上述缺陷均会发生移动或者聚集的现象，一旦他们汇集到一定尺寸时，就会形成裂纹源，会逐渐扩大裂纹的深度。

2.3 应力状态的影响

热应力主要由两个原因产生，其一是焊接过程中出现不均匀加热的现象，其二是焊接过程中出现冷却的现象。接头上不同位置所产生的热应力的方向和大小都不是一成不变的，而是会随着焊接热循环情况而发生变化，加热过程中所产生的应力都是因局部金属发生膨胀所致，冷却的时候则会因为局部金属发生过收缩所致。冷却之后焊接的接头上会存有剩余的应力，组织应力高强度钢奥氏体分解的过程中，会将很多元素组织析出，包括铁素体、珠光体、马氏体等，这些组织都有各自的膨胀系数，会使局部体积发生一定程度上的变化，进而产生组织应力，拘束应力焊接接头的位置会受到外部刚性拘束的影响，在焊件收缩的情况下会不受控制的产生应力。

3 超大吨位起重机焊接裂纹预防工艺

通过结合产生裂纹的原因，从焊材选型、焊前预热、后热等多个方面对焊接工艺进行改善和优化，并开展相关试验。

3.1 焊材选型

由于母材属于低合金高强度钢，淬硬倾向比较明显，所以焊材在选型上通常是以低强匹配为主，为保证熔敷金属的强度、韧性和塑性等力学性能与母材匹配，结合 Q355-B 的力学性能使用富氩混合气体保护焊进行焊接，采用实芯焊丝 ER50-6，熔敷金属的力学性能如表 3 所示，焊丝的化学成分如表 4 所示。

3.2 焊接工艺优化

焊缝左右两侧母材冷却后存在的收缩量是不完全相同的，这个位置结构是圆弧形焊接结构，这样会使冷却过程中出现较大的内应力。另外，焊接工作开展的过程中，若

时值冬季，车间温度需要控制在 5℃ 左右，焊缝的冷却速度比较快，不会出现氢逸出的现象，这样就会出现延迟裂纹的可能。任何一个环节处理不当，都会产生焊接缺陷，影响焊缝质量。因此要求焊工了解各类焊接缺陷产生的原因及防止措施。本文采用焊前预热或焊后保温的方式加以解决，在降低焊缝冷却后内应力的同时，还可以促使氢充分逸出。

工艺措施内容如下：首先，清除焊道上的杂质、污物，尤其是焊接坡口处要保持清洁干燥。按焊接工艺数据要求，选用合适的焊丝、适宜的坡口形式及尺寸，使用合理的焊接电流、电压及焊接速度，焊接过程中禁止大幅度摆动焊枪，注意不得伤及其他区域。多层焊时，要加强焊接过程的层道清理，仔细观察坡口两侧熔化情况，每一层都要认真清理焊渣。焊工应积极提高操作技术水平，持证上岗。焊接前需进行预热，预热的范围包括坡口及母材热影响区，预热温度不低于 150℃，不超过 200℃。

其次，选用合适的焊材、电流、电压、焊接方法，适当加快焊速使熔池温度不至过高，严格控制熔池温度。焊工需熟练掌握操作技术，合理摆动焊枪，保持正确的施焊角度，严格控制熔池大小。控制焊件的装配间隙并保持均匀一致，电弧在焊缝接头处不能长时间停留，需要从中间向两边同时施焊，控制层间温度不可低于预热温度。最后，焊后缓冷保温，施焊后需要用保温棉做好保温防护，这样能够减缓焊接接头冷却的速度，可以使 Ms 点的冷却时间得到显著延长，能够有效改善焊接金属内的显微组织和热影响区域的纤维组织，这样能够有效减少淬硬组织的产生，促使氢充分逸出，并且可以使冷却的内应力逐渐降低，对有效防止冷裂纹现象的出现起到了极大地促进作用。

3.3 改进效果

上述试验结构件经过焊接后进行静置处理，再通过超声波探伤（UT）及磁粉探伤（MT）发现是否有裂纹。静置一周后，从试验件端部进行取样，对样品进行拉伸、弯曲、冲击测试，具体测试结果如表 5 所示。

4 结语

表 3 熔敷金属的力学性能

焊丝 牌号	抗拉强度 bRm/MPa	屈服强度 bRp0.2/MPa	伸长率 A/%	V 型缺口冲 击吸收功 /J
ER50-6	≥ 500	≥ 420	≥ 22	当试验温度为 -30℃ 时， ≥ 27

表 4 焊丝的化学成分（质量分数）%

焊丝牌号	C	Mn	P	S	Si	Ni
ER50-6	0.06 ~ 0.15	1.40 ~ 1.85	0.025	0.025	0.80 ~ 1.15	0.15

表 5 力学性能测试结果

拉伸试验			弯曲试验			冲击试验		
编号	拉伸强度 /MPa	断裂位置	编号	角度	结果	编号	吸收能量 /J	结果
LS-1	551	焊缝	WQ-1	180°	合格	CJ-1	140	合格
LS-2	558	焊缝	WQ-2	180°	合格	CJ-2	136	合格

综上所述,随着超大吨位起重机设计水平的不断提升,低合金高强度钢的薄厚板对接的焊接结构得到广泛地使用,从而对焊缝质量提出了更高的要求 and 标准,而延迟裂纹则是焊接缺陷中的主要内容,会对起重机的内部结构和使用安全性造成严重的威胁。基于此,要更加关注对低合金高强度钢的焊接工艺的应用,加大焊接工艺的研究力度,优化预防工艺流程,从而打造高质量的国产超大吨位起重机。

参考文献:

[1] 周建民, 韩绍华, 陆凡, 等. 基于 SimufactWelding 的岸

边集装箱起重机主梁分段腹板焊接变形数值模拟[J]. 起重运输机械, 2020(17):42-46.

[2] 侯海丽,周鹏翔,蔡正标,等.27SiMn 轴套与 Q690 高强度钢板的焊接工艺研究[J]. 工程机械,2019,50(3):39-43.

[3] 赵德龙, 刘建波, 王桂军, 等. 港口起重机箱形梁隔板加强筋自动化焊接工艺[J]. 起重运输机械, 2019(6):59-62.

作者简介: 窦玮 (1986.10-), 男, 汉族, 硕士, 山西长治人, 工程师, 研究方向: 焊接工艺研究。

(上接第32页)

突然碰到障碍物使载车板停止横移,这时系统仍然判断为横移载车板运行到位,从而二层载车板落下,这就造成上下载车板重叠,会直接损伤下层车辆,也可能会造成上层载车板倾翻,汽车坠落地面。而且一个方向限位开关只设置了一个,在开关突然损坏失效时(如图4所示),横移载车板会一直运行冲出轨道,发生碰撞等事故。所以只用限位开关去定位载车板的横移有着非常大的风险。

3.3 改进措施

通过分析载车板的运行规律和程序,发现载车板横移距离是固定的,且正常情况下横移是匀速的,那么它的横移时间也是固定的,所以针对这种缺陷提出了两种改进措施。

3.3.1 设置时间限制器

设定好正常情况下载车板横移需要的时间，在时间存取车时对照载车板运行时间，若运行欠时，说明限位开关在碰到了障碍物，这时停车设备应停止运行，曝出故障，等待维修人员排除故障再回复运行，若运行超时，停车设备应停止运行，可能是限位开关失效，这时设备应报出故障，等待维修人员排除故障再回复运行。

3.3.2 在载车板车轮上设置编码器

因为载车板横移距离是固定的, 这样每次横移车轮转动的圈数就是的定值, 只需要编码器测出载车板每次运行的圈数, 就可以判断载车板运行的位置是否到位。

4 结语

本文通过了解升降横移类机械式停车设备使用状况,出现的事故、故障和检验当中试验出来的一些缺陷,指出在



图4 停车设备横移栽车板失效的限位

使用升降横移类机械式停车设备时存在 3 方面的安全风险,分析了它们产生的原因,并且针对这些安全风险提出了相应的改进措施。希望为升降横移类机械式停车设备的发展和安全管理提供一些促进作用,期待停车设备的发展,为城市停车难题找到解决方案。

参考文献:

[1]GB 17907—2010, 机械式停车设备通用安全要求[S].

[2]TSGQ7016—2016, 起重机械安装改造重大维修监督检验规则 [S].

[3] 涂翼民. 机械式停车设备载车板的防坠保护及其它[J]. 建筑机械, 2020(10):73-74.