

Q420 材料焊接裂纹原因分析及改善措施

马子红 周柳泉

山东中车同力钢构有限责任公司, 山东济南, 250000;

摘要: Q420 材料因其高强度特性在工程建设中广泛应用, 但焊接过程中易出现裂纹问题, 影响结构安全。针对此问题, 深入分析裂纹原因并提出改善措施, 对于提高焊接质量、确保工程安全至关重要。Q420 材料焊接裂纹的原因主要包括材料本身的高碳含量和合金元素导致的脆性增加, 以及焊接过程中工艺参数不当、焊接环境不稳定和外部应力等因素。为了改善这一问题, 本文采取以下措施: 优化材料选择与预处理、调整焊接工艺参数、采用合适的焊接材料和焊接方法、加强焊接过程监控与检测以及提高焊接操作人员技能和设备性能。这些措施的综合应用将有效减少 Q420 材料焊接裂纹的产生, 提高焊接接头的质量和可靠性。

关键词: 焊接裂纹; 焊接参数; 材料优化

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.069

1 Q420 材料焊接裂纹的原因分析

Q420 材料作为一种中高强度的低合金钢, 在风力发电塔筒、桥梁、建筑等领域有着广泛的应用。然而, 在焊接过程中, Q420 材料时常会出现焊接裂纹的问题, 这不仅影响了材料的整体性能, 还可能对结构的安全性造成威胁。下面将从材料组织成分、焊接工艺、焊接环境和外部因素四个方面, 对 Q420 材料焊接裂纹的原因进行详细分析。

1.1 Q420 材料组织成分

Q420 材料是一种高强度低合金结构钢, 其组织成分经过精心调配, 以满足各种工程应用的需求。该材料主要由碳、硅、锰、磷、硫等元素组成, 其中碳含量较低, 确保了良好的可焊性和韧性; 硅的加入有助于提高材料的强度和硬度; 锰是主要的合金元素, 能有效提升材料的屈服强度和抗拉强度; 磷和硫的含量则严格控制, 以减少材料的脆性和提高焊接性能。

1.2 焊接工艺参数分析

1.2.1 焊接电流

焊接电流的选择直接影响焊接接头的熔深和焊缝形貌。一般来说, Q420 钢材的焊接电流大小需要根据

焊材直径、焊接位置、板厚等因素进行调整。通常情况下, 焊接电流较大时可以获得更好的焊透性和熔合度, 但也需要注意避免过大的电流造成热影响区过大或者焊缝太宽的问题。

1.2.2 焊接电压

在相同条件下, 焊接电压的设定对焊接稳定性和电弧特性有重要影响。通常情况下, Q420 钢的焊接电压应在一个合适的范围内调节, 以保证电弧稳定、飞溅少, 并且能够有效地控制焊接熔池形成和熔透深度。

1.2.3 焊接速度

焊接速度是指焊接电弧在焊接接头上移动的速度。对于 Q420 钢的焊接, 焊接速度的选择应根据焊接电流和电压的设定、焊丝直径、板厚等因素综合考虑。通常情况下, 焊接速度过快可能导致焊缝质量下降, 焊接速度过慢则可能导致热影响区过大。因此, 选择与焊接电流大小、弧焊电压相匹配的焊接电流至关重要。

1.3 试验研究分析

(1) 分别制作 4 块规格为 450*150mm, 厚度为 15mm 的 Q420NE 材质钢板制作焊接工艺试板 (分别焊接两组), 焊接接头形式如附图 1 所示 (组对间隙 0-1mm), 焊接顺序如图 2 所示:

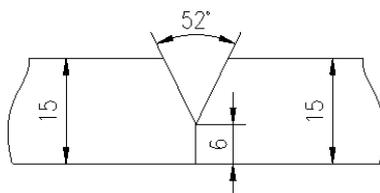


图 1 焊接接头形式

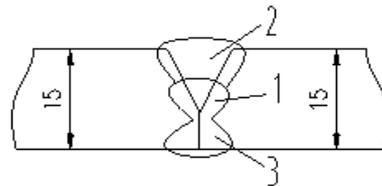


图 2 焊接顺序示意图

- (2) 焊接方式：埋弧焊，打底焊采用 SQJ5011Ni 行标准：GB/T36037-2018、GB/T5293-2018 及 (L) 药芯焊丝（清根）； NB/T47018.4-2022）；
- (3) 焊接材料选择：选择与 Q420 材料强度等级相匹配的 H08MnO_A-4.0mm 焊丝（执行标准：GB/T5293-2018 及 NB/T47018.4-2022）、SJ101 焊剂（执行标准：NB/T47018.4-2022）；
- (4) 施焊记录：按所焊位置及位置、焊接顺序，分别列出电流和电压范围、焊接速度等工艺参数，记入下表：

表 1 施焊记录表

焊道/焊层	焊接方法	填充材料		焊接极性		电弧电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	线能量 (kJ/cm)
		牌号	直径	电流	电流(A)			
1	SAW	S3AR	4	直、反 DC、Reverse	(cm/min)	28~32	35~40	≤45
气刨		B508	8.0	直、反 DC、Reverse	35~40	/	/	/
2	SAW	S3AR	4	直、反 DC、Reverse	35~45	28~32	35~45	≤45

- (5) 实验结果：焊接试板 2 焊前对试板母材进行充分的预热、预热温度 80-120℃，VT（目检）、UT（超声）、MT（磁粉）均在施焊后 24h 及 48h 对两块焊接试板进行无损检测，其中：均符合标准要求，并按照 NB/T47014 规范要求，针对焊缝取样进行拉伸、弯曲及低温冲击试验，试验结果如下（其中 C 代表常温、Y 代表预热）：
- 焊接试板 1 在常温状态进行焊接，环境温度约 10℃，在 48 小时后 UT 无损检测时发现焊缝根部微小裂纹；

表 2 拉伸试验

试样编号	试样尺寸 (宽 mm*厚 mm)	最大力 F _m (kN)	抗拉强度 R _m (MPa)	断裂位置	断裂类型
1-1C	24.98*15.11	219.29	581	断母材	韧性断裂
2-1Y	25.01*14.99	223.07	595	断母材	韧性断裂
结论	合格（判定依据：NB/T47014、GB/T1591）				

表 3 弯曲试验

试样编号	试样形式	试样尺寸 (长 mm*宽 mm*厚 mm)	弯轴直径 (mm)	支辊间距离 (mm)	弯曲角度(°)	试验结果
1-1C	侧弯	170.42*15.26*10	40	63	180	完好
1-2C	侧弯	170.78*15.28*10	40	63	180	完好
2-1Y	侧弯	170.11*15.26*10	40	63	180	完好
2-2Y	侧弯	170.25*15.33*10	40	63	180	完好
结论	合格（判定依据：NB/T47014、GB/T1591）					

表 4 冲击试验

试样编号	试样尺寸 (宽 mm*高 mm*长 mm)	缺口位置	试验温度 (°C)	冲击吸收功 单个值(J)	冲击吸收功 平均值 (J)
1-1C	10*10*55	焊缝中心	-40	73	67
1-2C	10*10*55	焊缝中心	-40	60	
1-3C	10*10*55	焊缝中心	-40	68	
2-1Y	10*10*55	焊缝中心	-40	93	110
2-2Y	10*10*55	焊缝中心	-40	118	

2-3Y	10*10*55	焊缝中心	-40	120	
结论	合格（判定依据：NB/T47014、GB/T1591）				

以上试验结果，均符合 Q420NE 材料焊接接头针对于力学性能复验的相关标准要求，预热情况下焊接接头力学性能优于常温状态。

1.4 焊接环境

焊接环境对 Q420 材料焊接裂纹的影响也不可忽视。首先，空气中的湿度和温度会影响焊缝的冷却速度和氢含量。湿度过大可能导致焊缝中氢含量增加，从而增加氢致裂纹的风险；温度过低则可能导致焊缝冷却速度过快，产生淬硬组织。其次，焊接环境中的污染物质如油、水、铁锈等也会影响焊接接头的质量。这些污染物质会降低焊缝的纯净度，增加夹杂物的数量，从而增加裂纹的风险。

1.5 外部因素

外部因素也会对 Q420 材料焊接裂纹产生影响。例如，焊接接头的设计是否合理、焊接结构的拘束度大小、焊接接头的残余应力大小等都会影响裂纹的产生。Q420 材料焊接裂纹的产生是一个复杂的过程，受到多个方面的影响。因此，在实际焊接过程中，需要综合考虑各种因素，制定合理的焊接工艺和措施，以确保焊接接头的质量和安全性。

2 Q420 材料焊接裂纹的改善措施

针对 Q420 材料在焊接过程中易产生的裂纹问题，需要从多个方面出发，综合采取一系列改善措施，以确保焊接接头的质量和安全性。以下将详细阐述这些改善措施。

2.1 优化材料选择与预处理

针对 Q420 材料焊接裂纹问题，优化材料选择与预处理是关键改善措施之一。应选用化学成分稳定、杂质含量低的 Q420 材料，等级较高焊丝等，确保材料本身的强度和韧性满足要求。其次，对材料进行充分的预处理，如去油、除锈、除氧化皮等，以提高焊缝的纯净度和焊接接头的质量。通过这两方面的优化，可以有效降低焊接裂纹的风险，提升焊接接头的整体性能。

2.2 调整焊接工艺参数

应合理控制焊接电流，过大的电流易导致过热和裂纹，而过小的电流则可能造成焊缝熔深不足。焊接速度

也需适当，过快可能使焊缝未充分熔化，产生缺陷；过慢则可能导致过度加热和变形。此外，焊接电压、焊接电极与材料之间的距离（即焊接电弧长度）等参数也应根据具体材料和焊接要求进行调整。通过精细调整这些参数，可以优化焊接过程，减少裂纹的产生，提高焊接接头的质量和可靠性。

2.3 采用合适的焊接材料和焊接方法

应根据 Q420 材料的化学成分和性能要求，选择合适的焊接材料，主要采用埋弧焊等焊接方法。这种方法具有较高的焊接质量和较低的裂纹风险。同时，在焊接过程中，应注意控制焊接参数，如焊接电流、电压、焊接速度等，以确保焊接接头的质量。

2.4 加强焊接过程监控与检测

在焊接过程中，应实时监控焊接参数和焊接质量，确保焊接过程的稳定性和可靠性。一旦发现异常情况，应及时采取措施进行调整和处理。在焊接完成后，应对焊接接头进行严格的质量检测，包括外观检查、尺寸测量、无损检测等。通过检测可以发现并处理潜在的焊接缺陷，提高焊接接头的质量和安全性。

2.5 焊前预热，焊后保温

焊前预热是有效减少焊接裂纹的关键措施之一。通过预热，可以降低焊接时金属材料的热应力和收缩应力，减少焊缝与相邻母材的温差，从而显著降低裂纹的风险。预热温度通常在一定范围内，需根据材料的厚度和形状来确定。

焊后保温同样重要。焊接完成后，保温措施可以防止焊接部位的温度迅速下降，有助于减少焊接变形和裂纹的产生。通过保温，可以使焊接部位的材料缓慢冷却，保持稳定的温度状态，进一步提高焊接质量。

2.6 提高焊接操作人员技能和设备性能

应定期对焊接操作人员进行培训，提高他们的技能水平和质量意识。通过培训，减少人为因素对焊接质量的影响。同时应选用性能稳定、精度高的焊接设备，并进行定期维护和保养。通过提高设备性能，可以确保焊接过程的稳定性和可靠性，降低焊接裂纹的风险。

3 结论与展望

针对 Q420 材料焊接裂纹问题，经过深入分析，发现主要原因包括材料的高碳含量和合金元素导致的脆性增加、焊接工艺参数不当、焊接环境不稳定以及外部因素如残余应力等。为改善这一问题，提出了优化材料选择、调整焊接工艺参数、加强焊接环境控制和采用先进焊接技术等措施。这些措施的实施显著降低了焊接裂纹的风险，提高了焊接接头的质量。

展望未来，随着科技的进步和创新，Q420 材料焊接裂纹问题有望得到更加彻底的解决。新型焊接材料的研发将带来更高的材料性能和焊接质量，智能化焊接技术的应用将实现焊接过程的精准控制，而焊接接头设计

的优化将有效降低裂纹风险。这些进步将进一步提升风力发电塔筒等关键部件的安全性和可靠性，为风力发电等清洁能源行业提供强有力的技术保障。有理由相信，这些技术革新将推动风力发电行业的持续健康发展，为全球能源结构的转型和可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 李娜. 安钢风电塔筒用 Q420NC 钢板焊接适应性评价[J]. 河南冶金, 2023, 31 (05): 12-15+43.
- [2] 张友建, 曲之国, 王树国, 于浩. 新型高性能桥梁用 Q420qENH 钢焊接性能的研究[J]. 山西冶金, 2021, 44 (06): 8-9+13.