耐候桥梁钢 Q370qNH、Q420qNH 焊接工艺研究*

张凤明,付学义

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章采用不同焊接试验参数对耐候桥梁钢 Q370qNH、Q420qNH 的焊接预热温度、焊接冷裂纹敏感性、焊接热输入进行了研究。对比焊接接头综合力学性能及金相组织,确定了 Q370qNH、Q420qNH 合理的焊接热输入范围、焊材选配及焊接工艺参数等,使焊接接头性能满足产品的使用要求。

关键词: 耐候桥梁钢; Q370qNH; Q420qNH; 焊接工艺

中图分类号: TG407; U445.58^{+}3 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2020)05-0059-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.05.018

Research on Welding Process of Weathering Bridge Steels Q370qNH and Q420qNH

Zhang Feng-ming, Fu Xue-yi

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the article, the welding preheating temperature, welding cold crack sensitivity and welding heat-input of weathering bridge steels Q370qNH and Q420qNH are studied with different welding experiment parameters. The reasonable range of welding heat-input, welding material selection and welding process parameters of Q370qNH and Q420qNH are determined by comparing the comprehensive mechanical properties and metallographic structure of welded joint so that the performances of welded joint can meet the operating requirements of product.

Key words: weathering bridge steel; Q370qNH; Q420qNH; welding process

高性能耐候桥梁钢可以无涂装应用于工业大气、海洋大气及海水等严苛腐蚀环境,具有极其优良的耐蚀性能。随着桥梁钢强度级别的提高,桥梁焊接钢结构在服役过程中对裂纹等缺陷更加敏感,特别是焊接接头,由于经历了焊接热循环的作用,焊接热影响区晶粒显著粗化,并形成淬硬组织。高性能耐候桥梁钢焊接性能的优劣会直接影响产品的使用性能,最终关系到产品是否安全可靠。因此,桥梁钢的焊接性能显得日益重要,合适的焊接工艺参数及工艺措施是确保钢材安全可靠使用的关键。

1 焊接材料和方法

1.1 试验材料

试验用耐候桥梁钢 Q370qNH、Q420qNH 母材主要化学成分及力学性能见表1。

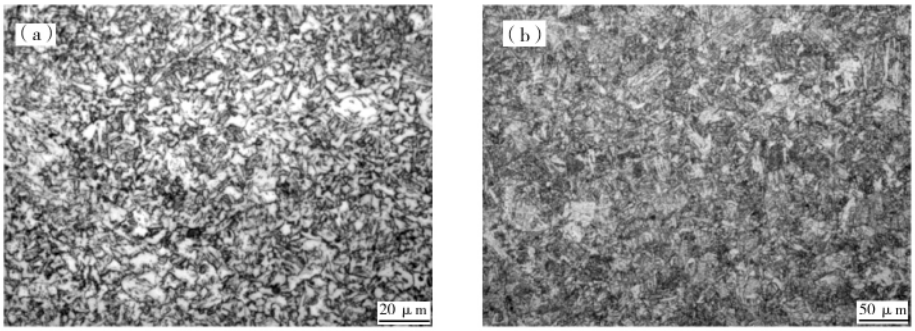
试验用对耐候桥梁钢 Q370qNH、Q420qNH 金相组织见图1。

* **收稿日期**: 2020-07-23

作者简介: 张凤明(1987-),男,内蒙古赤峰市人,工程师,现从事钢轨研发工作。

表1 母材化学成分及力学性能

牌号	化学成分(质量分数)/%						母材力学性能			
	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	R_{el}/MPa	R_m/MPa	A/%	KV_2(-40 ℃)/J
Q370qNH	0.061	0.233	1.18	0.436	0.288	0.341	489	512	40	269
Q420qNH	0.059	0.258	1.29	0.453	0.291	0.350	517	607	38	255



(a) Q370qNH (b) Q420qNH

图1 母材金相组织

试验用母材Q370qNH金相组织为铁素体+珠光体,Q420qNH金相组织为铁素体+贝氏体。

1.2 焊接试验设备及焊丝

使用的焊机为OTC DIGITAL INVERTER DP500;摆动式自动焊接小车HK-100 K。保护气体为富氩气体(80% Ar_2 + 20% CO_2)。焊丝CHW-40CHN、CHW-55CHN实心焊丝,焊丝化学成分及力学性能见表2。

表2 焊丝化学成分及力学性能

焊丝	直径/mm	化学成分(质量分数)/%								焊丝力学性能				耐候指数
		C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	R_{el}/MPa	R_m/MPa	A/%	KV_2(-40 ℃)/J	
CHW-40CHN	1.2	0.070	1.10	0.48	0.012	0.005	0.34	0.33	0.28	432	538	27	143	6.7
CHW-55CHN	1.2	0.059	0.28	0.44	0.009	0.012	0.26	0.40	0.23	499	589	27	127	6.2

由表2可知,按照本次试验等强匹配焊接原则,选用的焊丝各项力学及耐候指数满足耐候桥梁钢Q370qNH、Q420qNH焊接试验要求。

2 焊接试验结果与分析

2.1 预热温度理论计算

预热温度理论计算见式(1)[1]。

裂纹敏感指数:

$$P_{cm} = w(C) + w(Si)/30 + [w(Mn) + w(Cu) + w(Cr)]/20 + w(Ni)/60 + w(Mo)/15 + w(V)/10 + 5w(B) \quad (1)$$

冷裂纹敏感性:

$$P_w = P_{cm} + 100H_{DM}/60 + h/600 \quad (2)$$

$$P_w = P_{cm} + 100H_{DM}/60 + R/40\,000 \quad (3)$$

式中:H_{DM}为熔敷金属中扩散氢含量,mL/g;h为板厚,mm;R焊缝拉伸拘束度,kN/cm。

最低预热温度:

$$T = 1\,440P_w - 392 \quad (4)$$

由理论计算公式而得到的Q370qNH焊接最低预热温度为7 ℃,Q420qNH焊接最低预热温度为16 ℃。

2.2 斜Y型坡口焊接裂纹试验

试验焊板Q370qNH、Q420qNH所采用的焊丝分别为CHW-40CHN、CHW-55CHN,加工尺寸及试

验方法依据标准 GB 4675.1—1984《焊接性试验斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法》[2] 进行，试验使用4 种预热温度进行斜 Y 型坡口的焊接裂纹试验，具体试验条件见表 3。通过试验可测试得到焊接冷裂纹百分率，斜 Y 坡口焊接裂纹试验结果见表 4、表 5。斜 Y 坡口焊接裂纹试样焊缝断面及根部断面照片见图 2。

表 3　斜 Y 坡口焊接裂纹试验焊接条件

直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(cm·min^{-1})	保护气体	气体流量 /(L·min^{-1})
1.2	250	26.5	33.3	80% Ar_2 +20% CO_2	20

表 4　Q370qNH 斜 Y 坡口焊接裂纹试验结果

编号	预热温度 /℃	表面裂纹率 /%	断面裂纹率 /%	根部裂纹率 /%
1#	25	0	0	0
2#	80	0	0	0
3#	100	0	0	0
4#	160	0	0	0

表 5　Q420qNH 斜 Y 坡口焊接裂纹试验结果

编号	预热温度 /℃	表面裂纹率 /%	断面裂纹率 /%	根部裂纹率 /%
5#	25	0	2.3	0
6#	80	0	1.0	0
7#	100	0	0	0
8#	160	0	0	0



图 2　斜 Y 坡口试样焊缝断面及根部断面照片

斜 Y 型坡口焊接裂纹敏感性试验是一种拘束程度较苛刻的冷裂纹试验方法，其根部焊缝的应力集中系数高达 4.7。一般认为，焊缝表面、断面、根部裂纹率不超过20%，则焊接结构不会出现冷裂纹。由表 4、表 5 可知，Q370qNH、Q420qNH 预热温度在 25～160 ℃时，焊缝表面、根部均未出现裂纹，且焊缝断面裂纹率远小于 20%，所以，Q370qNH、Q420qNH 钢材的冷裂纹敏感性较低。

2.3　热影响区最高硬度试验

试验用钢板的加工及硬度测定按 GB 4675.5—2008《焊接性试验焊接热影响区最高硬度试验方法》[3] 标准进行，热影响区最高硬度打点位置如图 3 所示，焊接工艺参数见表 6，对焊板 Q370qNH、Q420qNH 进行不预热、室温(25 ℃) 焊接试验。

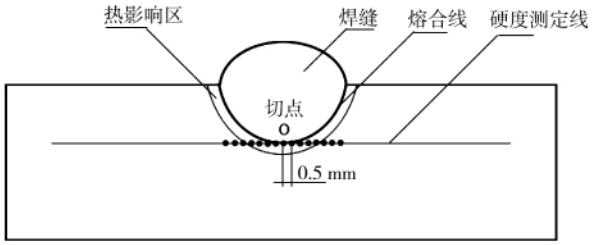


图 3　维氏硬度 HV10 测试示意图

通过热影响区最高硬度试验可测试得到焊接热影响区的最高维氏硬度，即得到钢材的淬硬倾向。试验结果如表 6 所示，Q370qNH、Q420qNH 试验焊板在室温 25 ℃、不预热进行焊接，焊接热影响区维氏最高硬度分别为 242、253，其热影响区最高硬度远低于临界值 350，表明该钢板淬硬倾向不明显。依据斜 Y 型坡口焊接裂纹敏感性试验和热影响区最高硬度试验两项试验结果，判定 Q370qNH、Q420qNH 的冷裂纹敏感程度较低，无需进行预热焊接。

表6 热影响区最高硬度试验结果

钢种	编号	硬度测量值 HV10														
Q370qNH	1#	180	183	218	242	229	217	219	213	217	227	239	219	195	191	190
Q420qNH	2#	220	230	234	240	245	253	230	222	221	242	249	220	219	224	220

2.4 焊接工艺试验

试验焊板 Q370qNH、Q420qNH 焊接方式采用 X 型坡口、双面对接自动焊接，焊接前将坡口及坡口附近母材清理干净。焊接试验不变量为：气体流量 20 L/min，道间温度不高于 200 ℃，焊丝干伸长度 15 mm，板厚 20 mm。两个钢种焊接工艺对比试验热输入 E 分别为 10 kJ/cm、19 kJ/cm、25 kJ/cm，不同热输入条件下 Q370qNH 焊接接头力学性能见表7，Q420qNH 焊接接头力学性能见表8。

表7 Q370qNH 不同热输入条件下焊接接头力学性能

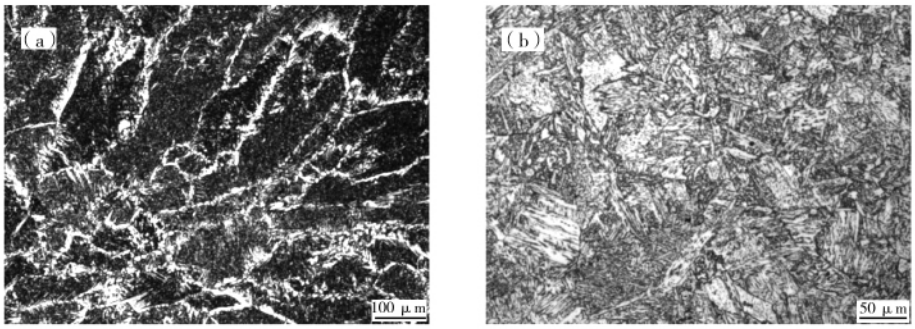
编号	E /(kJ·cm^{-1})	R_{el} /MPa	R_m /MPa	A /%	焊缝 KV_2 /J	热影响区 KV_2 /J	断裂位置	冷弯 $d=2a$ $a=180°$
1#	10	466 483	611 620	37 34	242 267 235	195 260 210	母材	合格
2#	19	456 521	578 634	37 21	232 269 225	103 185 260	母材	合格
3#	25	476 468	601 602	36 22	216 227 253	136 128 136	母材	合格

表8 Q420qNH 不同热输入条件下焊接接头力学性能

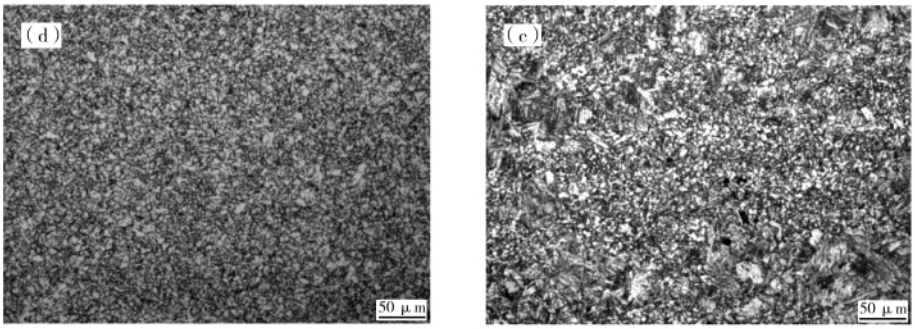
编号	E /(kJ·cm^{-1})	R_{el} /MPa	R_m /MPa	A /%	焊缝 KV_2 /J	热影响区 KV_2 /J	断裂位置	冷弯 $d=2a$ $a=180°$
4#	10	516 576	649 712	35 22	275 265 258	152 141 155	母材	合格
5#	19	504 525	584 642	38 20	246 276 265	120 150 144	母材	合格
6#	25	549 538	650 671	26 24	192 150 115	68 73 70	母材	合格

试验焊板 Q370qNH、Q420qNH 在热输入 E 为 10～25 kJ/cm范围内的焊接接头金相组织见图4、图5。

由表7、表8数据可知，Q370qNH 焊接热输入量 E 在 10～25 kJ/cm 范围时，拉伸断裂位置均为母材，各项力学性能指标符合焊接要求。Q420qNH 焊接热输入量 E 在 10～19 kJ/cm 范围时，拉伸断裂位置均为母材，各项力学性能指标符合焊接要求，当焊接热输入量 $E \geqslant 25$ kJ /cm 时，热影响区及焊缝冲击、延伸降低明显，使用过大的焊接线能量导致 Q420qNH 热影响区宽度增大及晶粒粗化严重，从而降低焊缝力学性能。过小的焊接线能量，就必须多道次焊接，增大道间焊接缺陷的风险，容易在焊缝处出现夹杂等缺陷，并且降低了生产效率。由图4、图5金相组织照片可知，Q370qNH、Q420qNH 在不同热输入下焊缝组织为贝氏体和少量铁素体，粗晶区组织为贝氏体和少量铁素体，细晶区组织为贝氏体，不完全相变区组织为贝氏体和铁素体。

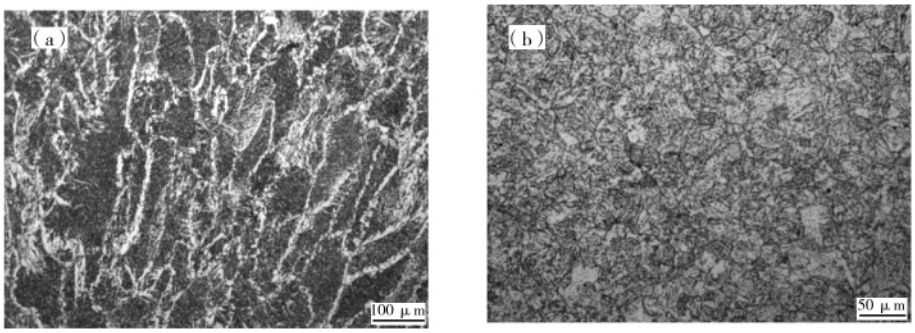


（a）焊缝组织　　（b）粗晶区组织

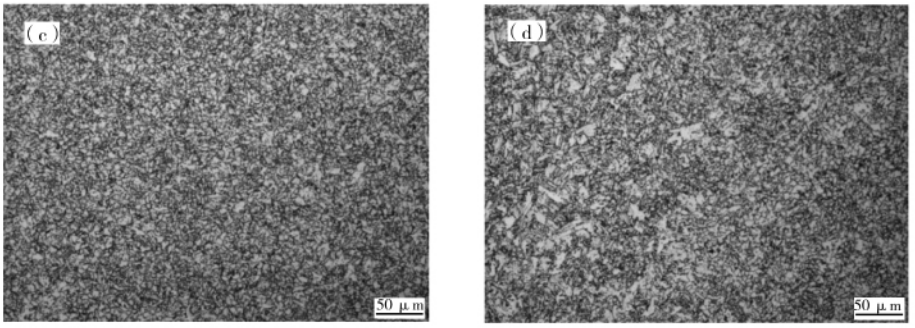


（c）细晶区组织　　（d）不完全相变区组织

图 4　Q370qNH 焊接接头金相组织



（a）焊缝组织　　（b）粗晶区组织



（c）细晶区组织　　（d）不完全相变区组织

图 5　Q420qNH 焊接接头金相组织

（下转第 87 页）

硫反应不完全，进而影响污染物的排放浓度。降低烧结系统漏风率，既减少烧结生产过程风量变化对脱硫效率的影响，又提高系统有效风量，降低脱硫系统出口烟气 SO_2 浓度。

2.4　提高主电除尘器效率

进入吸收塔的烟气中烟尘含量在一定程度上阻碍了 SO_2 与脱硫剂的接触，降低石灰石溶解速率。脱硫设备长期在高粉尘浓度下运行，也可导致脱硫设备故障率增加，降低脱硫效率。2015 年烧结二部脱硫系统改造升级，同时对机头主电除尘器也进行了同步升级改造，主电除尘器出口粉尘浓度由原设计 150 mg/m^3 降低至 50 mg/m^3。改造后除尘器收尘效果明显提高，降低了脱硫系统入口粉尘浓度，减轻了脱硫系统负荷，同时也减少了带入脱硫浆液中粉尘量，使脱硫系统出口粉尘排放浓度从 50 mg/m^3 降低至 25 mg/m^3，保证了脱硫系统稳定运行，出口 SO_2 排放浓度控制在 120 mg/m^3 以下。

3　结束语

烧结生产须为脱硫系统提供有利的条件，通过源头控制，中间操控，结合控制烧结烟气温度和烟气流量及降低脱硫系统入口粉尘浓度等措施，减轻脱硫系统负荷，保障脱硫系统稳定运行，达到了降低出口污染物排放浓度的目的。

参　考　文　献

[1] 田力. 浅谈烧结烟气脱硫工艺技术在通钢烧结的应用[J]. 中国科技投资，2013，(32)：236－236.

[2] 郝素菊，蒋武锋，张玉柱，等. 减少烧结生产中 SO_2 污染的方法[J]. 华北理工大学学报(自然科学版)，2006，28(2)：14－17.

[3] 曾召伟. 烧结矿烧结过程中 SO_2 和 NO_x 生成的影响因素研究[D]. 湖北：华中科技大学，2014.

[4] 秦玉杰，范兰涛，范文生，等. 提高烧结机烟气脱硫效率的措施[J]. 河北冶金，2007，(1)：57－62.

(上接第 63 页)

3　结论

(1) 依据斜 Y 型坡口焊接裂纹敏感性试验和热影响区最高硬度试验可知，Q370qNH、Q420qNH 热影响区最高硬度远低于临界值 350，焊缝表面、根部均未出现裂纹，且焊缝断面裂纹率远小于 20%，从而判定 Q370qNH、Q420qNH 的冷裂纹敏感程度较低，无需进行焊前预热处理，可在室温条件下免预热焊接。

(2) 焊接工艺试验结果表明，20 mm 厚度 Q370qNH 钢板最佳热输入范围为 10～25 kJ/cm，20 mm厚度 Q420qNH 钢板最佳热输入范围为 10～19 kJ/cm。在以上热输入范围内，焊板各项力学性能指标满足标准及使用要求，焊缝及热影响区组织正常。

参　考　文　献

[1] 曹良裕，魏战江. 钢的碳当量公式及其在焊接中的应用[J]. 材料开发与应用，1999，14(1)：39－43.

[2] GB/T 4675.1—1984 焊接性试验斜 Y 型坡口焊接裂纹试验方法[S].

[3] GB/T 4675.5—2008 焊接性试验焊接热影响区最高硬度试验方法[S].