

Q690qENH高强度桥梁用结构钢焊接性研究

陈潜, 郭红艳, 高波

中铁九桥工程有限公司 江西九江 332000

摘要: 介绍了Q690qENH高强度桥梁钢焊接性试验结果, 通过HAZ最高硬度试验、斜Y形坡口裂纹试验及系列温度冲击试验等, 从不同角度验证其力学性能及焊接性, 为今后Q690qENH高强度桥梁钢在桥梁建设中的应用奠定了理论基础。

关键词: Q690qENH; 桥梁用结构钢; 焊接性试验

1 序言

为适应我国桥梁钢结构向大跨径、高强度发展, 高强度桥梁钢板、耐候钢板、超高强度桥索及高强度螺栓等材料的强度均需提升。且随着我国交通基础设施的迅猛发展, 大跨度桥梁需要更高级别的桥梁用钢, 亟需解决强度级别超过Q500级的高强度钢板的研发和应用, 提升我国钢桥制造水平。而高强度桥梁钢板生产轧制工艺复杂, 其焊接性的优劣是指导实桥应用的关键。为此, 本文针对Q690qENH耐候钢板的母材检测、焊接热影响区最高硬度试验、斜Y形坡口裂纹试验及系列温度冲击

试验等进行研究, 综合评价其力学性能及焊接性。

2 试验材料

试验用的Q690qENH高强钢板厚分别为32mm、50mm, 钢板交货状态为TMCP+回火、低碳贝氏体钢。钢中加入Ni、Cr、Cu等主要元素, 具备一定耐腐蚀性能, 耐腐蚀指数 I 约为6.7; 同时添加了Ti、Nb、V等微合金元素, 可起到晶粒细化和沉淀强化等作用, 以改善组织性能, 提高钢的强度, 具体化学成分见表1。钢板纵向和横向的力学性能差异较小, 弯曲试验结果良好, 具体力学性能见表2。

基金项目: 国家重点研发计划项目《高性能桥梁用钢》(编号: 2017YFB0304800)。

施工控制要求, 如表面处理质量、施工温度、露点温度、相对湿度及干湿膜厚度检测控制期附着力的检测等。

4.6 包装运输

本项目构件由上海港船运至新西兰, 小件采用集装箱发货, 大件采用散件发货。所有构件的打包均要求使用打包架, 由于打包架与构件间不能直接接触, 故隔离材料采用珍珠棉或其他缓冲材料, 每包外部使用塑料薄膜裹覆, 以防止雨水、海水污染, 每包均应标明重心点和吊点。

质量管理, 制定了详细的项目检测和检测计划ITP。同时以米字形节点梁为例, 进行关键工艺研究, 实现了本工程构件质量精度控制要求, 可为类似工程提供借鉴与参考。

参考文献:

- [1] 戴为志, 高良. 建筑钢结构工程焊接技术及实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [2] 刘子祥, 戴为志. 国家体育场鸟巢钢结构工程施工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.

MW 20210313

5 结束语

本文详述了本项目在工厂制作过程中的QA/QC

表1 Q690qENH钢化学成分

板厚/mm	化学成分 (质量分数, %)												CEV (%)	P_{cm} (%)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Nb	Al	V	
50	0.081	0.143	1.388	0.007	0.001	适量							0.57	0.239
32	0.077	0.146	1.419	0.008	0.001	适量							0.58	0.242

表2 Q690qENH钢力学性能

板厚/mm	横向拉伸试验			纵向拉伸试验			弯曲试验	-40℃冲击吸收能量/J
	R_{eL} /MPa	R_m /MPa	A (%)	R_{eL} /MPa	R_m /MPa	A (%)		
50	806	884	19.5	808	886	19.5	合格	306、358、342
	799	858	20.5	810	901	19.0	合格	
32	804	889	19.5	785	871	20.5	合格	332、268、257
GB/T 714—2015	≥690	≥770	≥14	≥690	≥770	≥14	$\alpha=180^\circ$ 完好	≥120

3 母材系列温度冲击试验

材料的缺口冲击韧度与试验温度或环境温度密切相关^[1]。大量试验数据和工程经验表明,采用转变温度作为标准评定材料的韧脆转变特性,不仅可以

将韧脆转变温度与结构的使用温度联系起来,还可以评定结构的脆性破坏倾向,在某种近似程度上评定结构的抗断性。进行温度分别为20℃、0℃、-20℃、-40℃、-60℃及-80℃的冲击试验,试验结果见表3。根据表3绘制的Q690qENH钢母材系列低温冲击曲线,如图1所示。

表3 Q690qENH钢母材系列低温冲击结果

板厚/mm	冲击吸收能量/J					
	20℃	0℃	-20℃	-40℃	-60℃	-80℃
32	313、282、290 (295)	312、264、290 (289)	304、327、246 (292)	306、358、342 (335)	292、256、351 (300)	276、242、249 (256)
50	257、322、298 (292)	312、272 236 (277)	338、332、266 (312)	332、268、257 (286)	224、246、264 (245)	290、219 293 (267)

注:括号内数据为平均值。

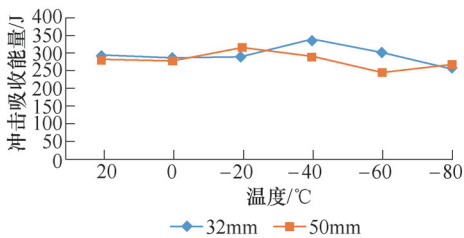


图1 Q690qENH钢母材系列低温冲击曲线

从图1可看出,板厚32mm和50mm的Q690qENH钢材有良好的抗低温冷脆性能,韧脆转变温度低于-80℃。

4 焊接性试验

针对32mm、50mm两种典型厚度的Q690qENH

钢板进行了焊接性试验,通过最高硬度法和斜Y形坡口焊接裂纹试验方法验证Q690qENH钢板的焊接性^[2]。

4.1 焊接热影响区最高硬度试验

焊接热影响区的硬度主要取决于被焊钢种的碳含量、合金成分以及冷却条件,其实质是反映不同金相组织的性能。按GB/T 4675.5—1984《焊接试验 焊接热影响区最高硬度试验方法》对32mm、50mm钢板进行了试验,焊条选用XY-S80QNH(ϕ 4mm),试验温度分别为室温20℃和预热60℃,最高硬度试验结果见表4。

由表4可以看出,Q690qENH钢在不预热和预热60℃焊接时HV10_{max}均不大于380HV10,说明Q690qENH钢在不预热和预热60℃情况下焊接均未

产生淬硬组织，冷裂纹倾向不大。

4.2 斜Y形坡口焊接裂纹试验

对板厚32mm、50mm的Q690qENH钢板进行斜Y形坡口焊接裂纹试验，焊接方法为焊条电弧焊（小铁研）。试验方法按GB/T 4675.1—1984《焊接性试验 斜Y形坡口焊接裂纹试验方法》进行。

首先，分别不预热焊接小铁研试验各一组，表

面裂纹率100%，然后32mm板预热50℃，50mm板预热75℃，分别焊接小铁研试验各一组，试验参数见表5。

每组试板先进行表面裂纹检查，结果表面均无裂纹产生。然后对每组试件取5个横断面进行断面裂纹检查，并分别计算其断面裂纹率，试验结果见表6。横断面的宏观金相结果如图2、图3所示。

表4 最高硬度试验结果

板厚/mm	温度/℃	硬度HV10（带下划线数据为切点值）	HV10 _{max}
32	20	324、344、353、304、299、328、296、350、302、318、324、311、312、309、320、308、311	353
	60	300、291、304、288、294、277、289、290、278、276、252、270、249、263、247、277、242	304
50	20	343、353、338、321、318、278、281、317、348、345、323、323、312、320、334、322、319	353
	60	289、264、274、279、282、283、260、270、278、291、292、289、290、277、255、268、259	292

表5 斜Y形坡口焊接裂纹试验参数

编号	预热 温度/℃	板厚 /mm	焊接材料	焊接参数		
				焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min ⁻¹
XY1-1	室温	32	XY-J80QNH (ϕ 4.0mm)	170	26	15
XY1-2	50					
XY2-1	室温	50		170	26	15
XY2-2	75					

表6 斜Y坡口焊接裂纹试验结果

编号	板厚/mm	焊接材料	预热温度/℃	表面裂纹率（%）	断面裂纹率（%）
XY1-1	32	XY-J80QNH (φ 4.0mm)	室温	100	—
XY1-2			50	0	0、0、0、0、0
XY2-1	50		室温	100	—
XY2-2			75	0	0、0、0、0、0

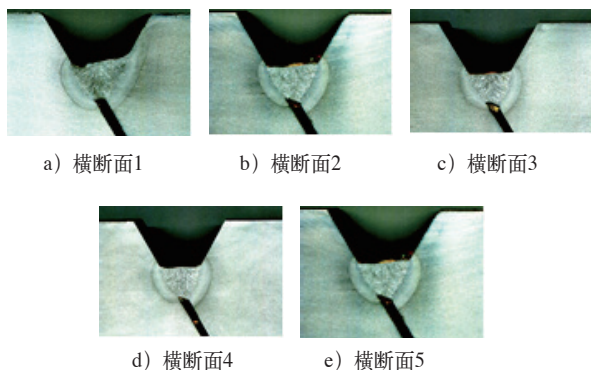


图2 试样XY1-2的斜Y形坡口焊接裂纹试验宏观金相结果

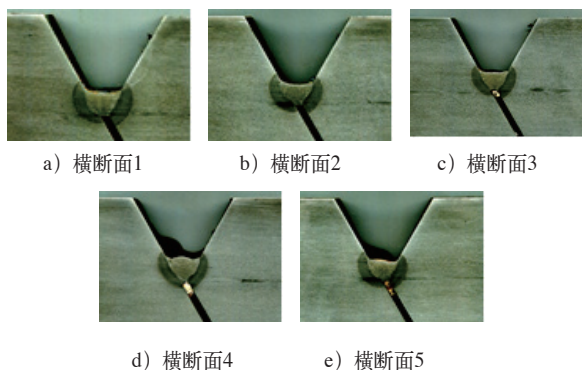


图3 试样XY2-2的斜Y形坡口焊接裂纹试验宏观金相结果

5 对接接头系列温度冲击试验

对埋弧焊对接（32+32）mm、（50+50）mm试板进行接头系列温度冲击试验，结果见表7。根据表

7绘制焊缝金属及热影响区（熔合线外1mm）的韧脆转变曲线，分别如图4和图5所示。

表7 焊接接头系列温度冲击试验结果

板厚/mm	取样位置	冲击吸收能量/J				
		20℃	0℃	-20℃	-40℃	-50℃
32	焊缝中心	218、193、197 (203)	180、180、183 (181)	191、166、128 (162)	158、184、142 (161)	143、149、140 (144)
	热影响区	199、254、258 (237)	244、255、244 (248)	250、230、129 (203)	297、265、202 (255)	82、232、198 (171)
50	焊缝中心	152、188、161 (167)	164、168、174 (169)	154、178、126 (153)	245、92、167 (168)	146、89、83 (106)
	热影响区	183、202、256 (214)	243、254、234 (244)	244、250、251 (248)	233、246、242 (240)	172、225、141 (179)

注：括号内数据为平均值。

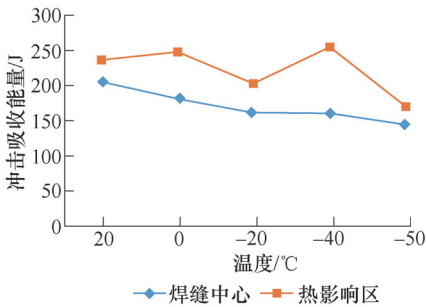


图4 (32+32) mm板对接接头韧脆转变曲线

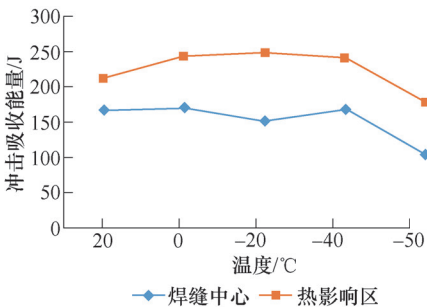


图5 (50+50) mm板对接接头韧脆转变曲线

从试验结果可以看出，随着冲击温度的下降，焊缝及热影响区的低温冲击值基本呈现较为缓慢的降低趋势^[3]。当试验温度为-40℃时，焊缝中心及热影响区低温冲击吸收能量在120J以上；当试验温度为-50℃时，焊缝中心及热影响区低温冲击吸收能量仍然保持在100J以上，说明接头具有良好的低温冲击性能，Q690qENH钢板接头韧脆转变温度低于-50℃。

6 结束语

1) Q690qENH满足GB/T 714—2015《桥梁用结构钢》的技术要求，Q690qENH钢板的韧脆转变温度低于-80℃。

2) 通过焊接热影响区最高硬度试验表明，Q690qENH钢板表面焊接时未产生淬硬组织，焊接性良好。

3) 斜Y形坡口裂纹试验结果表明，Q690qENH钢焊接时，32mm及50mm厚钢板焊前均需要预热；32mm厚板预热温度为50℃，50mm厚板预热温度为75℃，即可避免裂纹产生。

4) 对接接头系列低温试验结果表明，Q690qENH钢板接头韧脆转变温度低于-50℃。

参考文献：

[1] 徐向军，田智杰，高建忠，等.桥梁用新型超低温高性能Q420qFNH耐候钢试验研究[J].金属加工（热加工），2019（11）：7-14.

[2] 贝玉成，徐向军.高性能Q500qE钢焊接性试验研究[J].金属加工（热加工），2018（12）：42-45.

[3] 任希乐，朱藤辉，何秀，等.大跨度钢桥用Q420qE钢接头焊接性能的研究[J].焊接技术，2018，47（7）：24-26.