稀土对Q420qNH焊缝低温韧性及耐腐蚀性能研究*

张凤明,付学义,谢 丽

(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: 文章对比分析了稀土元素对耐候桥梁钢Q420qNH焊接接头力学性能、金相组织、耐腐蚀性能的影响。使用专用耐候焊丝对耐候桥梁钢Q420qNH和Q420qNHRE进行相同的焊接工艺下的接头性能对比试验,结合接头常规力学性能、金相组织、盐雾腐蚀试验的结果,表明稀土元素可有效的提高耐候桥梁钢Q420qNH焊接接头的韧性、低温冲击性能和耐腐蚀性能。

关键词: 稀土; 耐候桥梁钢; Q420qNH; 韧性; 耐腐蚀性能

中图分类号: TG422.1 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2021)04-0072-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.04.018

Study on Effects of Rare Earth on Low Temperature Toughness and Corrosion Resistance of Weld Seam for Q420qNH Steel

Zhang Feng-ming, Fu Xue-yi, Xie Li

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

Abstract: In the article, it is compared and analyzed the effects of rare earth elements on the mechanical properties, metallographic structure and corrosion resistance of welded joints for weather-resistant bridge steel Q420qNH. The contrast experiment of performances of welded joints with the same welding process for weather-resistant bridge steel Q420qNH and Q420qNHRE is carried out using special weather-resistant welding wire. The results showed that the toughness, low temperature impact performance and corrosion resistance of welded joints for weather-resistant bridge steel Q420qNH could be improved effectively with the rare earth elements combining with the conventional mechanical properties, metallographic structure and salt spray corrosion test results.

Key words: rare earth; weather-resistant bridge steel; Q420qNH; toughness; corrosion resistance

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焊接接头服役性能对整个钢结构至关重要,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,并容易形成淬硬组织,接头强度、韧性、耐腐蚀等性能相对与母材有很大程度的改变,服役过程中更加容易失效断裂。由于稀土原子化学性质活泼,结合力强,相关研究表明,将稀土添加到钢中可起到改善凝固组织、细化固态相变组织、使夹杂物变形无害化、偏聚强化界面、钝化表面锈层等作用,从而显著提高钢的韧性、耐蚀性能、抗

* **收稿日期**: 2021-04-13

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。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

疲劳性能、耐热性能等[1-3]。研究提高耐候桥梁钢焊接接头力学性能及耐蚀性能具有重要的实际意义,对综合评价高性能耐候桥梁钢的服役性能具有重要的工程价值。

试验用耐候桥梁钢 Q420qNH 母材主要化学成分及力学性能见表 1。

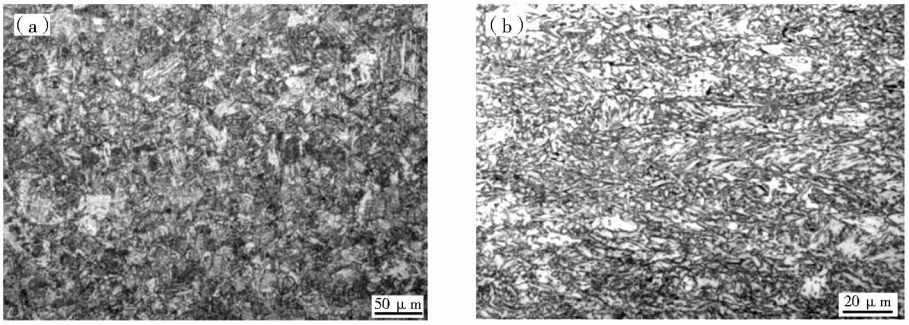
试验用耐候桥梁钢 Q420qNH 及 Q420qNHRE 金相组织见图 1。

1　焊接材料和方法

1.1　试验材料

表 1　母材化学成分及力学性能

牌号	化学成分(质量分数)%							力学性能				耐候指数
	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	RE	R_{el}/MPa	R_m/MPa	A/%	KV_2(-40 ℃)/J	
Q420qNH	0.061	0.257	1.28	0.456	0.288	0.347		529	621	38	229	6.5
Q420qNHRE	0.059	0.258	1.29	0.453	0.291	0.350	0.001 7	517	607	40	255	6.5



(a) Q420qNH　　(b) Q420qNHRE

图 1　母材金相组织

试验用母材 Q420qNH 金相组织均为铁素体 + 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-100K。

保护气体:富氩气体(80% Ar + 20% CO_2)。

焊丝:选用 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-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 Q420qNH 焊接试验要求。

2　焊接试验结果与分析

2.1　焊接工艺试验

试验焊板 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

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

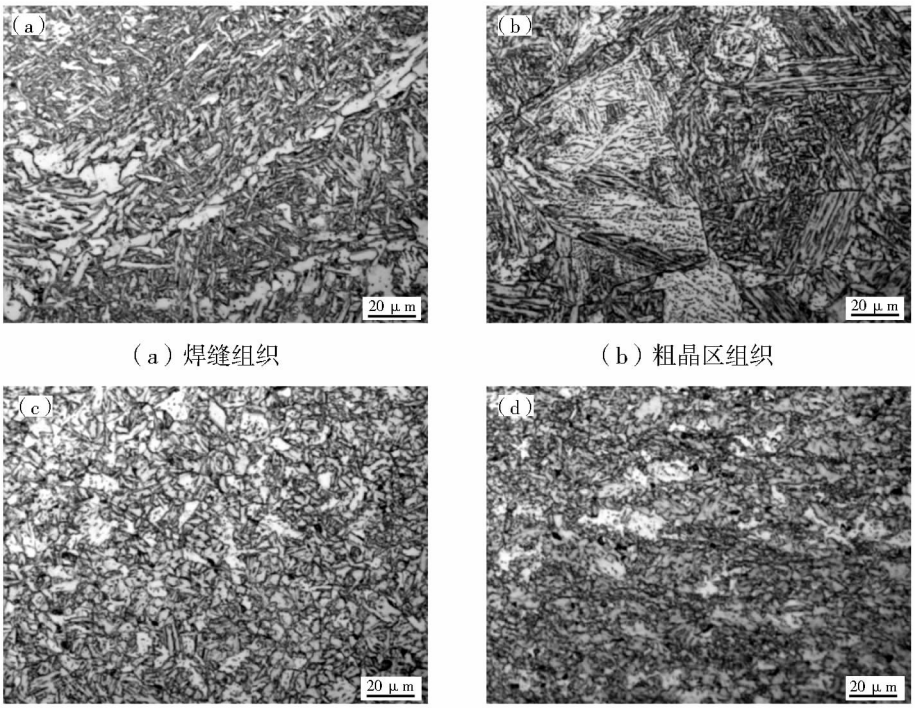
清理干净。焊接试验不变量为: 气体流量20 L/min, 道间温度≤200 ℃, 焊丝干伸长度 15 mm, 板厚 20 mm。焊前根据钢材预热温度理论计算、斜Y型坡口焊接裂纹试验、热影响区最高硬度试验判定Q420qNH的冷裂纹敏感程度较低, 无需进行预热焊接。Q420qNH及Q420qNHRE焊接热输入选择为19 kJ/cm, 焊接接头力学性能见表3。

试验焊板Q420qNH及Q420qNHRE焊接接头组织见图2、图3。

表3 Q420qNH及Q420qNHRE焊接接头力学性能

牌号	E /(kJ·cm^{-1})	R_{el} /MPa	R_m /MPa	A /%	焊缝 KV_2 (-40 ℃)/J	热影响区 KV_2 (-40 ℃)/J	断裂位置	冷弯 $d=2a$ $\alpha=180°$
Q420qNH	19	504 525	584 642	22 23	100 112 104	203 251 208	母材	合格
Q420qNHRE	19	508 515	600 612	38 25	103 99 124	246 276 265	母材	合格

由表3数据可知, Q420qNH及Q420qNHRE焊接热输入选择19 kJ/cm时, 拉伸断裂位置均为母材, 2个钢种接头抗拉强度、屈服强度基本相同, 屈服强度平均值分别为515 MPa、512 MPa, 抗拉强度平均值分别为613 MPa、606 MPa。Q420qNH加入稀土元素后焊缝-40 ℃冲击值基本相同, 但焊接接头平均延伸率提高9个百分点, -40 ℃热影响区冲击值提高42 J, 焊接接头具有良好的低温韧性, 且稀土元素对接头热影响区韧性提高明显, 冷弯($d=2a$, 180°)均未发生断裂或裂纹现象。

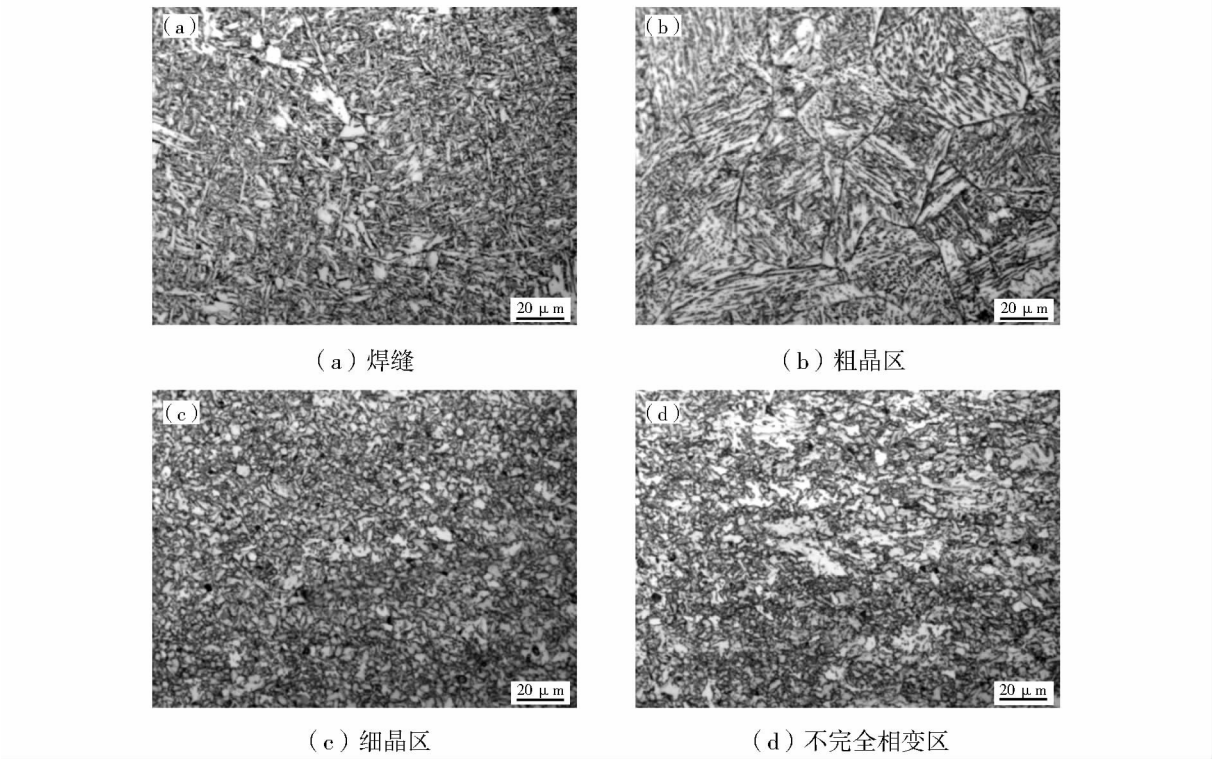


(a)焊缝组织 (b)粗晶区组织

(c)细晶区组织 (d)不完全相变区组织

图2 Q420qNH焊接接头金相组织

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



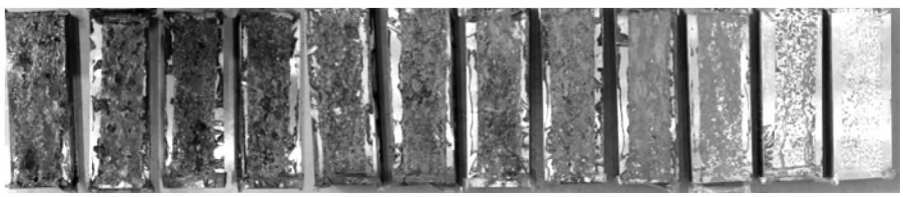
(a) 焊缝　(b) 粗晶区　(c) 细晶区　(d) 不完全相变区

图 3　Q420qNHRE 焊接接头金相组织

由图 2、图 3 金相组织可知，Q420qNH 及 Q420qNHRE 焊缝组织均为(B + 少量 F) ，粗晶区组织均为(B + 少量 F) ，细晶区组织均为 B，不完全相变区组织均为(B + F) 。Q420qNH 加稀土与不加稀土焊接接头韧性不同主要受晶粒尺寸影响，晶粒细化导致晶界增多、冲击提高，组织中的贝氏体、多边铁素体会起到显著的组织强韧性提高作用。粗晶区中虽然原始奥氏体晶粒尺寸较大，但其中存在粒状贝氏体、板条贝氏体和针状铁素体，从而保证其冲击性能稳定，细晶区、不完全相变区由于低温热循环作用，热影响区奥氏体化或部分奥氏体化后快速冷却形成细晶多边形铁素体，细晶多边形铁素体可以有效阻碍解理裂纹的扩展，增强低温韧性。

2.2　焊接接头腐蚀试验

按照标准 GB/T 10125—2012《人造气氛腐蚀试验盐雾试验》，对 Q420qNH 及 Q420qNHRE 焊接接头 (E =19 kJ/cm) 进行中性盐雾腐蚀试验，试验采用 50 g/L NaCl 中性水溶液，环境温度 28 ℃，试验温度 47 ℃。试样尺寸为 150 mm × 50 mm × 15 mm，试样数量 12 块，试验周期为 2 h、6 h、24 h、48 h、72 h、96 h、144 h、168 h、240 h、480 h、720 h、1 000 h，每个试验周期结束时取出一块试样，然后采用增重法评价试样腐蚀性能。Q420qNH 腐蚀宏观试样见图 4，2 种焊接接头不同腐蚀时间与增重量关系，如图 5 所示。



(试验周期由右至左: 2 h、6 h、24 h、48 h、72 h、96 h、144 h、168 h、240 h、480 h、720 h、1 000 h)

图 4　Q420qNH 腐蚀试样宏观照片

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由图4焊接接头试样表面宏观照片可知，随中性盐雾腐蚀时间的增加，接头腐蚀程度逐步加重。由图5腐蚀时间与增重量数据可知，Q420qNH及Q420qNHRE在0～200 h范围内腐蚀速度、程度基本相同。但随着腐蚀时间的持续增加，Q420qNHRE焊接接头增重量明显降低，耐腐蚀性能明显提高，Q420qNH加入稀土后耐腐蚀性能可以提高10%～17%。

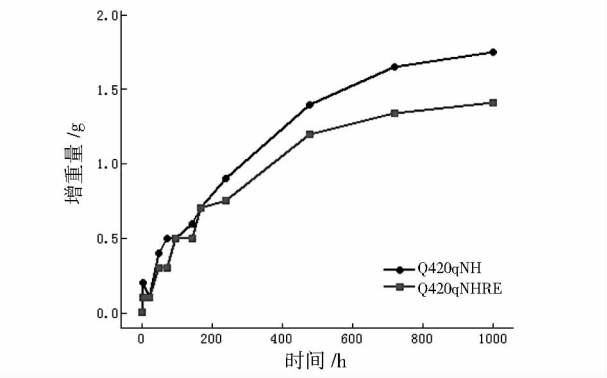


图5 腐蚀时间—试样增重曲线

Q420qNH及Q420qNHRE焊接接头通过480 h、720 h、1 000 h腐蚀试验后，接头表面腐蚀坑深度统计见表4。

表4 接头表面腐蚀坑深度 μm

牌号	位置	480 h		720 h		1 000 h	
Q420qNH	焊缝	78	73	132	113	67	83
	热影响区	40	51	175	124	51	78
	母材	70	81	145	148	45	60
Q420qNHRE	焊缝	81	70	124	137	69	73
	热影响区	35	41	117	131	57	48
	母材	73	62	127	131	33	49

接头表面腐蚀坑深度及大小表示材料耐蚀性能的优劣，由表4可知加入稀土元素后Q420qNH焊接接头热影响区及母材腐蚀坑深度明显降低，480 h后腐蚀坑深度降低16%和11%，720 h后腐蚀坑深度降低17%和12%，1 000 h后腐蚀坑深度降低19%和22%，随着时间的延长Q420qNHRE耐腐蚀性能逐渐增加，结果表明稀土元素的加入提高了Q420qNH焊接接头及母材的耐蚀性能。加入稀土后Q420qNH焊接接头表面腐蚀坑相对较为平整，起伏较小，耐腐蚀性能显著提高。且焊缝、热影响区及母材在盐雾环境下基本呈均匀腐蚀，无明显选择性腐蚀现象。

3 结论

(1) Q420qNH及Q420qNHRE 2个钢种接头抗拉强度、屈服强度、焊缝冲击韧性基本相同，但Q420qNH加入稀土元素后，焊接接头延伸提高9个百分点，-40 ℃热影响区冲击提高42 J，表明稀土元素可有效的提高焊接接头的韧性和低温冲击性能。420qNH加稀土后可以有效的细化晶粒，从而阻碍解理裂纹的扩展，增强低温韧性。

(2) 随中性盐雾腐蚀时间的增加Q420qNH及Q420qNHRE接头腐蚀速度、程度基本相同。当腐蚀时间不低于240 h后，Q420qNHRE焊接接头耐腐蚀性能明显提高，可以提高10%～17%左右，钢材表面腐蚀坑深度降低11%～22%。且加入稀土后Q420qNH焊接接头呈均匀腐蚀，无明显选择性腐蚀现象。

参 考 文 献

[1] 岳丽杰，汪磊丽，王龙妹. 微量稀土对洁净耐候钢力学性能的影响[J]. 稀土，2014，35(6)：20－26.

[2] LIAN X T，ZHU J N，WANG R Q，et al. Effects of Rare Earth (Ce and La) on Steel Corrosion Behaviors under wet－dry Cycleimmersion Conditions[J]. Metals，2020，10(9)：1174－1199.

[3] LIU Z，LIAN X T，LIU T S，et al. Effects of Rare Earth Elementson Corrosion Behaviors of low－carbon Steels and Weathering Steels[J]. Materials and Corrosion，2020，71(2)：258－266.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net