铁道车辆用耐大气腐蚀钢 Q450NQR1 耐腐蚀性能研究*

洪 涛[1], 董 磊[2]

(1. 中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司检修服务分公司, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢稀土钢板材有限责任公司, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章介绍了铁道车辆用耐大气腐蚀钢 Q450NQR1 耐大气腐蚀性能的影响因素, 采用扫描电子显微镜对 Q450NQR1 的显微组织及夹杂物进行分析, 探讨显微组织类型及组织均匀性、晶粒尺寸、钢中非金属夹杂物等因素对耐大气腐蚀钢耐腐蚀性能的影响, 研究表明耐候钢晶粒尺寸从 11.2 μm 减小到 7.5 μm, 腐蚀速率呈减小趋势, 耐大气环境下的腐蚀性提高 31%。

关键词: 耐候钢; Q450NQR1; 显微组织; 夹杂物
中图分类号: TG142.7; U270.41 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2021)05-0058-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.05.015

Study on Corrosion Resistance of Weather Resisting Steel Q450NQR1 for Railway Vehicles

Hong Tao[1], *Dong Lei*[2]

(1. *Maintenance Service Branch Co. of Hi-tech Co., Ltd. of North Rare Earth(Group) Co., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth Steel Plate Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the influence factors of atmospheric corrosion resistance of weather resisting steel Q450NQR1 for railway vehicles are introduced. Its microstructures and inclusions are analyzed by scanning electron microscope as well as the influences of such factors as type and homogeneity of microstructure, grain size and non-metallic inclusions in steel on the corrosion resistance of weather resisting steel are discussed. The study results show that the corrosion rate of weathering steel decreases and the corrosion resistance in atmospheric environment increases by 31% when its grain size decreases from 11.2 μm to 7.5 μm.

Key words: weathering steel; Q450NQR1; microstructure; inclusion

金属裸露在自然条件下发生的腐蚀行为称为大气腐蚀行为, 在此条件下耐腐蚀的钢铁材料称为耐大气腐蚀钢[1]。近年来随着国民经济和铁路建设的不断发展, 铁道车辆用耐大气腐蚀钢在铁路车辆上得到广泛的推广和使用。选用耐大气腐蚀钢作为制造铁道车辆的材料, 可以明显减轻车辆在大气中

* **收稿日期**: 2021-08-14
作者简介: 洪 涛(1987-), 女, 内蒙古包头市人, 工程师, 现从事设备技术管理工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的腐蚀，提高车辆的使用寿命。

钢材在自然条件下腐蚀是其失效的一个主要原因，所以耐大气腐蚀性能是评定钢材的重要指标之一[2]。包钢在开发铁路车辆用耐大气腐蚀钢 Q450NQR1 时，主要从化学成分、显微组织和夹杂物等角度，通过成分及工艺的调整，产品耐腐蚀性能得到提高，经中国铁路总公司检测，耐腐蚀性能满足 TB/T 1979—2014 要求，并通过 CRCC 技术审查，目前 Q450NQR1 已实现批量稳定生产，广泛应用于国内车辆厂。

1　合金元素对耐腐蚀性能的影响

Q450NQR1 成分设计思路是通过加入少量铜、磷、铬、镍等合金元素，在钢铁材料锈层和基体之间形成一层致密的氧化膜，这层氧化膜吸附在钢铁材料本身，阻止了自然环境中的氧气和水蒸气等向耐大气腐蚀钢基体渗入。包钢耐大气腐蚀钢 Q450NQR1 的主要成分如表 1 所示。

表 1　Q450NQR1 的主要成分(质量分数)

元素	C	Si	Mn	S	P	Cu	Cr	Ni
含量/%	0.05 ~ 0.07	0.15 ~ 0.25	1.2 ~ 1.4	≤0.015	≤0.006	0.25 ~ 0.35	0.40 ~ 0.50	0.25 ~ 0.35
贡献	★	★	★	★★	有害元素	★★★	★★★★	★★

2　显微组织对耐蚀性的影响

2.1　显微组织类型对耐蚀性的影响

图 1 为扫描电镜观察下耐大气腐蚀钢 Q450NQR1 的显微组织。不同规格 Q450NQR1 的金相组织均为铁素体 + 珠光体，晶粒度 11 ~ 13 级，晶粒细小均匀。

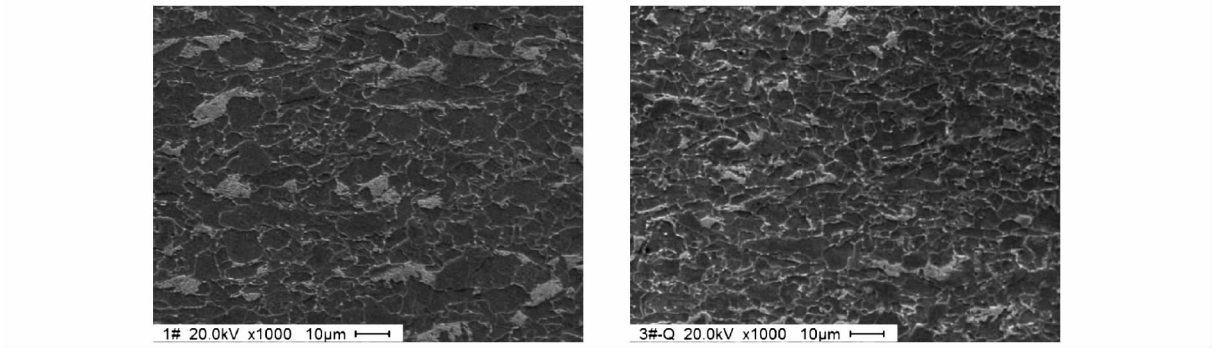


图 1　Q450NQR1 显微组织

Q450NQR1 耐大气腐蚀钢的显微组织直接决定了 Q450NQR1 耐大气腐蚀钢的初期腐蚀行为。在腐蚀刚刚开始的时候，其表面的保护性锈层还未形成，耐候钢基体直接与自然环境中的空气和水蒸气等腐蚀介质接触，显微组织中的珠光体被优先腐蚀，铁素体晶界未被腐蚀。

在整个耐大气腐蚀钢的自然环境腐蚀过程中，显微组织类型也对整个耐腐蚀最终性能起着主要的作用。已有的成果表明，腐蚀过程中选择性腐蚀行为集中在珠光体及其边界，珠光体中的渗碳体片对锈层与基体起铆接作用。所以优化耐大气腐蚀钢成分和生产工艺，尽量减少显微组织中珠光体比例[3]，可以提高 Q450NQR1 耐大气腐蚀钢耐腐蚀性能。

2.2　晶粒尺寸对耐蚀性的影响

对于 Q450NQR1 耐大气腐蚀钢而言，自然环境是一个复杂的干湿环境不断交替的过程，Q450NQR1 表面所形成的保护层直接决定着其最终耐大气腐蚀性能的好坏[4]。表 2 为 Q450NQR1 不同晶粒尺寸和耐大气腐蚀性能的关系。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表2 晶粒尺寸对耐蚀性性的影响

编号	平均晶粒尺寸/μm	晶粒度/级	原奥晶粒尺寸/μm	相对耐腐蚀速率/%
1#	11.2	10	62	72
2#	7.5	11	50	50

经过对不同晶粒尺寸试样开展的周浸加速腐蚀试验平均腐蚀速率结果表明，耐候钢晶粒尺寸从11.2 μm减小到7.5 μm，腐蚀速率呈减小趋势，耐大气环境下的腐蚀性提高31%。晶粒细化减少了耐候钢周浸加速腐蚀试验后锈层中裂纹和空洞的数量[5]，使得锈层更加致密，提高了锈层的保护性。

Q450NQR1组织细化后，显微组织内部晶界的面积增大，合金元素和夹杂物的重新分布，内部疏松和孔洞会明显减少，形成的致密的保护锈层和钢铁材料基体相互连接，最终Q450NQR1耐大气腐蚀性能明显提高。

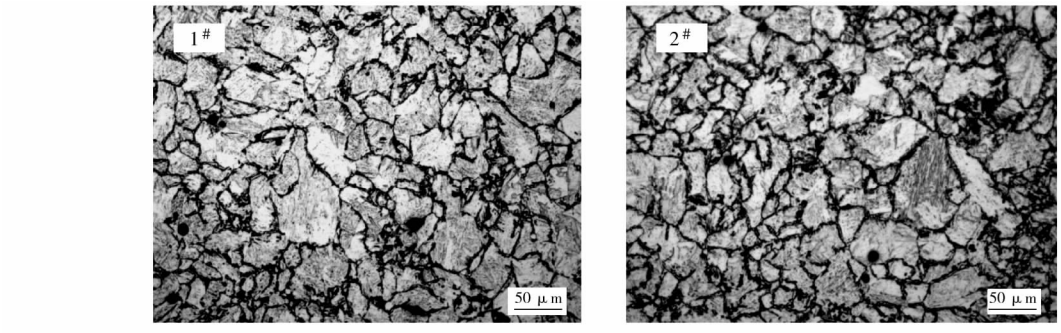


图2 Q450NQR1原始奥氏体晶粒

图2为Q450NQR1原始奥氏体晶粒。原始奥氏体晶粒的大小对金属材料的力学性能有很大的影响。细晶组织可减少钢中磷的晶界偏聚，提高组织均匀性。此外，细化原始奥氏体晶粒可提高Q450NQR1耐大气腐蚀性能。

2.3 显微组织均匀性对耐蚀性的影响

Q450NQR1的显微组织类型为铁素体基体加适量珠光体，两种类型的显微组织电位差较大，在腐蚀条件下易形成腐蚀微电池，加强电化学腐蚀驱动力，降低最终的耐大气腐蚀性能。

在腐蚀行为的后期，由于铁素体和珠光体组织的腐蚀速率不同，腐蚀行为在各部位开展速度不一致，导致生长过程中的锈层产生较大内应力进而产生并发展出微裂纹，减弱了锈层对Q450NQR1材料基体的保护能力。在耐大气腐蚀钢的长期腐蚀过程中，铁素体的大角度晶界易于被优先腐蚀。所以保证耐大气腐蚀钢的显微组织尺寸的均匀性，可以提高耐腐蚀性能。

3 非金属夹杂物的影响

Q450NQR1非金属夹杂物形态如图3所示。夹杂物主要类型是MnS。在耐大气腐蚀行为发生的过程中，非金属夹杂物中尤其是硫化物夹杂，与基体材料之间很容易形成微电池。

钢中夹杂物严重破坏金属基体的连续性，造成应力集中，Q450NQR1钢的力学性能显著下降的同时，耐大气腐蚀性能减低。Q450NQR1耐大气腐蚀钢中的非金属夹杂物数量和分布如表3所示，夹杂物满足标准要求，保证了耐大气腐蚀钢最终的耐腐蚀性能。

表3 非金属夹杂物数量和分布级 级

牌号	A	B	C	D	D_s
Q450NQR1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
暂行技术条件	≤2.5	≤2.0			

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

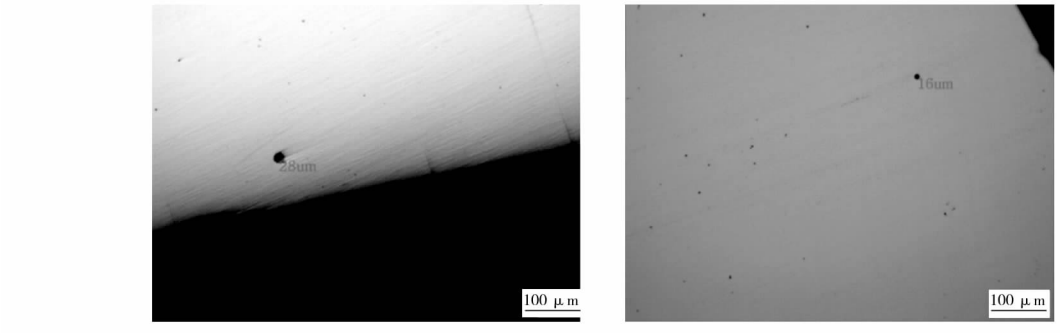


图 3　Q450NQR1 夹杂物

4　结论

(1) Q450NQR1 的显微组织类型为铁素体基体加适量珠光体,晶粒度 11 ~13 级,晶粒细小均匀。

(2) 耐候钢晶粒尺寸从 11.2 μm 减小到 7.5 μm,腐蚀速率呈减小趋势,耐大气环境下的腐蚀性提高 31%。

(3) 减少 Q450NQR1 耐大气腐蚀钢中的非金属夹杂物数量和分布,是提高其耐大气腐蚀性能的有效途径。

参　考　文　献

[1] 刘清友,董瀚,翁宇,等. 450 MPa 级超细组织耐大气腐蚀钢板的开发与研制 [J]. 钢铁,2004,39(4):45 -48.

[2] 董方,卜凡超,赵晓辉,等. Nb 对 09CuPRE 耐候钢耐工业大气腐蚀性能的影响 [J]. 腐蚀与防护,2013,34(12):1098 -1003.

[3] 陈小平. 组织细化对耐候钢抗大气腐蚀性能影响研究 [D]. 北京: 钢铁研究总院,2004.

[4] 姜鹏飞,汪兵,刘清友,等. 晶粒尺寸对 Corten -B型耐候钢耐大气腐蚀性能的影响 [J]. 钢铁,2009,44(12):65 -68.

[5] 钱余海,李自刚. 加速腐蚀环境下高强耐候钢 Q450NQR1 的耐蚀性能研究 [J]. 宝钢技术,2007,(2):5.

(上接第 33 页)

的效能得分与优劣分级,结合指标项指出了具体的针对性改进建议,有利于各单位企业针对性调整相关油气田管道管理方案,显著提高自身的效能现状与管理质量。

参　考　文　献

[1] 周素云,傅袁袁. 长输管道完整性管理效能评价方法研究 [J]. 科技创新导报,2020,17(11):2.

[2] 俞树荣,张义远. 管道完整性管理效能评价双指标体系的建立与应用 [J]. 兰州理工大学学报,2018,(4):66 -70.

[3] 郑洪龙,许立伟,谷雨雷,等. 管道完整性管理效能评价指标体系 [J]. 油气储运,2012,31(1):8 -12,19.

[4] 傅雨佳,刘雨轩. 基于 AHP 的作业指挥管理系统应用效能评价模型 [J]. 船舶,2020,31(4):6.

[5] 王伟,么秋菊,冯亚辉. 长输管道完整性管理效能评价方法研究 [J]. 能源与环保,2019,41(10):49 -52.

[6] 谷雨雷,董晓琪,郑洪龙,等. 基于数据包络分析的管道完整性管理效能评价 [J]. 油气储运,2013,32(8):840 -844.

[7] 李平. 基于 DEA 分析法的港口物流效率测评研究 [J]. 物流科技,2020,293(1):108 -111.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net