

特高压 Q460 钢管塔低温特性研究

黄 耀¹ 朱彬荣¹ 白 张² 苏志钢¹ 刘蔚宁³ 姜占斌²

(1.中国电力科学研究院有限公司 ,北京 100192; 2.国网西藏电力科学研究院 ,西藏 拉萨 850000; 3.国家电网有限公司 ,北京 100031)

摘 要: 利用扫描电镜、力学性能测试和夏比冲击等测试方法 ,研究了不同规格、不同质量等级的 Q460 钢管塔在不同温度下的力学性能、冲击韧性和断口形貌 ,评价了规格对不同质量等级 Q460 钢管的韧脆转变温度影响 ,研究了不同质量等级 Q460 钢管的低温特性。研究表明: Q460D 钢管带状组织明显减少 ,其组织均匀性好于 Q460C 钢管。Q460D 的强度(屈服强度和抗拉强度) 波动范围稍窄于 Q460C 的范围 ,且不同规格的 Q460D 钢管的抗拉强度基本上保持一致。Q460C 钢管在-40 ℃ 及以上时 ,其冲击功最低值在 68 J 以上; Q460D 钢管在-60 ℃ 及以上 ,其冲击功最低值在 163 J 以上。

关键词: Q460 钢管塔; 韧脆转变温度; 特高压工程; 夏比冲击

中图分类号: TF76 ,TM754 文献标志码: A 文章编号: 1004-7638(2019) 05-0169-07

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2019.05.028

开放科学(资源服务) 标识码(OSID) :



听语音
与作者
聊科研

Study on Low Temperature Characteristics of UHV Q460 Steel Tube Tower

Huang Yao¹ ,Zhu Binrong¹ ,Bai Zhang² ,Su Zhigang¹ ,Liu Weining³ ,Jiang Zhanbin²

(1.China Electric Power Research Institute ,Beijing 100192 ,China; 2 .State Grid Tibetan Electric Power Research Institute ,Lhas 850000 ,Xizang ,China; 3.State Grid Corporation of China ,Beijing 100031 ,China)

Abstract: The mechanical properties ,impact toughness and fracture morphology of Q460 steel pipes of different specifications and different quality grades at different test temperatures were studied by means of scanning electron microscopy ,mechanical properties test and Charpy impact test.The influences of wall thickness on ductile-brittle transition temperature different quality grades of Q460 steel pipes were evaluated..The results show that band structure in Q460D steel tube is significantly reduced ,and microstructure uniformity is better than that of Q460C steel tube.The strength variation (yield strength and tensile strength) of Q460D slightly narrows than that of Q460C ,and the tensile strengths of Q460D steel pipes of different wall thickness are identical.When the Q460C steel pipe is tested at -40 ℃ and above ,the lowest impact energy value is above 68 J ,while the Q460D steel pipe is tested at -60 ℃ and above ,and the lowest impact energy value is above 163 J.

Key words: Q460 steel tube tower ,ductile-brittle transition temperature ,ultra high voltage transmission project ,charpy impact

收稿日期: 2019-05-02

基金项目: 国家电网科技项目《特高压交流同塔多回 Q460 高强钢管塔成套设计及加工技术研究》GCB17201700021。

作者简介: 黄 耀(1985—) 男 ,湖北孝感人 ,博士 ,高工 ,长期从事于电网金属材料研发、应用及腐蚀与防护 ,E-mail: tao-hua-daozhu@ 163.com。

0 引言

我国输电线路用钢在 2000 年以前主要以 Q235 和 Q345A 级钢为主; 2002 年, 国家电网公司提出了在整个铁塔制造企业采用 B 级钢, 以规避“地条钢”; 2006 年, 国家电网公司相继提出在全行业试点使用 Q420B 以及 Q460B 的钢材强度级别升级的项目; 2007 年, Q420 和 Q460 高强钢得以在我国推广应用, 至此, 我国输电铁塔用钢进入了高强钢时代^[1-5]。

2008 年在我国华中、华东部分地区出现长时间、大范围雨雪冰冻天气, 湖南、江西、浙江、安徽、湖北等地出现因为倒塔引起大面积停电事故, 输电线路近乎瘫痪。2010 年 3 月 12 日长春供电公司 66 kV 农开甲乙线铁塔主材根部沿着螺丝孔发生脆性断裂事故, 事后调查表明, 所用 Q345B 主材成分和性能符合国家标准。青藏联网工程, 输电铁塔常年工作在 0 °C 以下的冻土高原上, 极端气温均在 -40 °C 以下, 极端低温条件下铁塔用钢的低温性能引起了电网界的高度重视^[5-10]。

我国幅员辽阔, 在北方很多地区冬季气温在 -20 °C 以下, 极限气温达 -40 °C 以下, 东北地区最冷月温度大致在 -10 ~ -30 °C, 大兴安岭地区各地极端最低温度的多年平均值大多在 -40 °C 左右, 而极值可达 -45 °C。目前特高压交流同塔多回线路普遍采用 Q345B 钢材将使特高压交流同塔多回钢管塔的塔重较大, 铁塔经济性较差。输电铁塔在低温环境下, 由于钢材低温冷脆效应, 可能发生低应力脆性断裂现象。特高压交流同塔多回线路输送容量大, 电压等级高, 对钢材质量等级要求较高。Q460 较 Q345 钢材屈服强度提高 30% 以上, 双回 1 000 kV 与双回 500 kV 同塔四回 Q460 钢管塔较 Q345 钢管塔塔重降低 10% 以上, 特高压交流同塔多回钢管塔采用 Q460 强度级别的钢材经济性较优。Q460 钢材质量等级起步为 C 级, 而 Q420 钢材质量等级起步为 B 级, Q460 钢材比 Q420 有更好的低温性能^[11-15]。

按照 GB/50017—2003《钢结构设计规范》的要求, 钢结构用钢选择, 一般按工作温度(T) 来选择其质量等级: $-20\text{ °C} \leq T < 0\text{ °C}$, 选择 C、D 级钢; $T < -20\text{ °C}$ 时, 选择 D、E 级钢。而我国目前铁塔用角钢主要以 B 级为主, 虽然 YB/T4163《铁塔用热轧铁塔用角钢》国家标准已经规定了 C 级和 D 级铁塔用角钢, 但是目前国内主流型钢厂还没有能力

提供除 B 级以外的钢种。随着全球能源互联网发展, 特高压交流同塔多回线路逐渐采用 Q460 高强钢, 输电线路会途经我国北方高寒地区, 而 Q460C 和 Q460D 钢管在不同温度下的韧脆特性未见报道^[16-22], 因此需要对铁塔厂提供的 Q460C 和 Q460D 钢管进行低温韧性评估, 从而形成 Q460 钢管应用于特高压铁塔的工程应用原则, 指导 Q460 钢管塔选材与选型。

1 试验材料及方法

铁塔厂提供的 Q460C 和 Q460D 钢管尺寸及规格如表 1 所示。

表 1 试验用钢管材质及规格
Table 1 Material and wall thickness of Steel Pipes for Testing

材质	试样编号	厚度/mm
Q460C	1	10
	2	12
	3	14
Q460D	4	10
	5	12
	6	14

在钢管上平行于轧制方向切取 A50 拉伸试样, 拉伸试验依据《GB/T 228—2002 金属材料室温拉伸试验方法》在 CMT-4105 型万能试验机上进行。夏比冲击试样切 100 mm×5 mm×5 mm 的 V 型缺口试样, 冲击试验按照《GB/T 229—2007 金属材料夏比摆锤冲击试验方法》在 JB-30B 型冲击试验机上进行。在钢管上切取金相试样, 在磨样机和抛光机上磨制抛光以后用体积分数 4 % 的硝酸酒精侵蚀, 利用光学显微镜进行金相组织观察, 在 ZEISS ULTRA 55 热场发射扫描电镜(SEM) 下对材料的微观组织进行观察。

2 结果与分析

2.1 钢管组织分析

不同规格 Q460C 和 Q460D 钢管试样 SEM 组织如图 1 和图 2 所示。由图 1、2 可知, 三个规格的钢管的基体组织为沿轧制方向呈带状分布的珠光体和铁素体组织, 且珠光体与铁素体分布较均匀, 条带状的组织形貌主要是由于轧制过程变形所致。总体来说, Q460D 钢管带状组织明显减少, 其组织均匀性好于 Q460C 钢管。

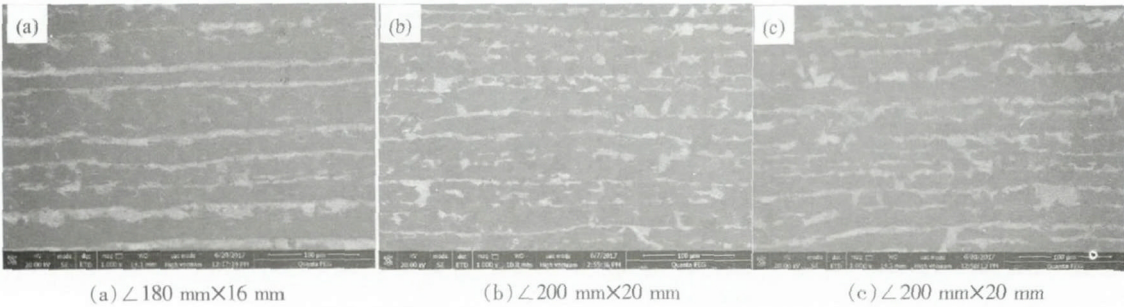


图 1 不同规格 Q460C 钢管 SEM 照片

Fig.1 SEM photographs of Q460C steel pipe with different wall thickness

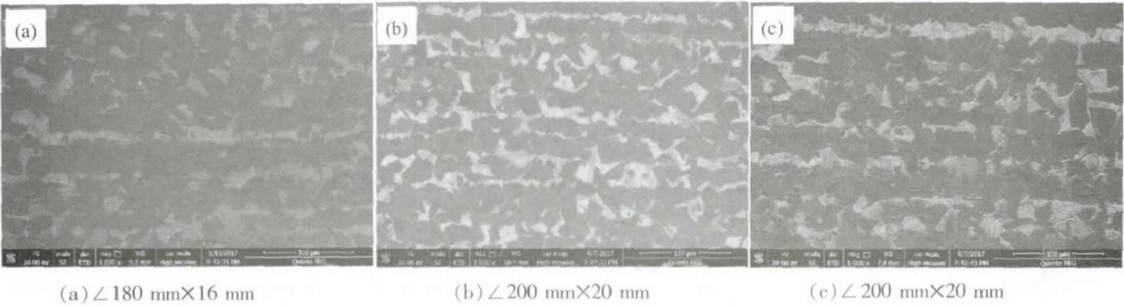


图 2 不同规格 Q460D 钢管 SEM 照片

Fig.2 SEM photographs of Q460D steel pipe with different wall thickness

2.2 钢管力学性能

表 2 为不同厚度规格 Q460C 钢管拉伸性能检测结果,由表 2 可知,试验用不同厚度规格 Q460C 钢管的屈服强度范围为 504~543 MPa,抗拉强度范围为 613~680 MPa,断后伸长率范围为 27%~29%,不同规格的 Q460C 钢管材质均匀性较好。

表 2 不同厚度规格 Q460C 钢管拉伸试验结果
Table 2 Tensile results of Q460C steel pipes with different thickness

规格 / mm	试验温度 /℃	试验编号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后伸长率 /%
10	20	7-1	527.99	619.87	28.74
		7-2	538.23	607.80	28.64
		平均值	533.11	613.83	28.69
		9-1	507.26	677.79	27.02
12	20	9-2	501.38	676.04	27.31
		平均值	504.32	676.91	27.16
		11-1	553.21	677.11	29.10
14	20	11-2	534.42	684.48	29.16
		平均值	543.81	680.79	29.13

表 3 为不同厚度规格 Q460D 钢管拉伸性能检测结果,由表 3 可知,试验用不同厚度规格的 Q460D 钢管的屈服强度范围为 530~562 MPa,抗拉强度范围为 653~673 MPa,断后伸长率范围为 23%~26%,不同规格的 Q460D 钢管材质均匀性也较好。

表 3 不同厚度规格 Q460D 钢管拉伸试验结果
Table 3 Tensile results of Q460D steel pipes with different thickness

规格 / mm	试验温度 /℃	试验编号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后伸长率 /%
10	20	8-1	555.71	674.62	24.60
		8-2	569.35	672.22	26.32
		平均值	562.53	673.42	25.46
		10-1	523.57	651.24	25.49
12	20	10-2	537.95	656.69	24.88
		平均值	530.76	653.96	25.18
		12-1	542.92	664.70	22.57
14	20	12-2	533.46	660.00	22.88
		平均值	538.19	662.35	22.72

对比表 2 和表 3 可知,Q460D 的强度(屈服强度和抗拉强度)波动范围稍窄于 Q460C 的范围,特别是不同规格 Q460D 钢管的抗拉强度基本上保持一致,因此,总的来说,Q460D 钢管材质均匀性稍好于 Q460C 钢管材质。

一般而言,冲击功是反应材料均质性的重要指标,表 4 和表 5 为不同规格的 Q460C 和 Q460D 钢管在-60~20℃的夏比冲击功试验结果,由表 4、5 可知,Q460C 钢管在-40℃及以上时,其冲击功最低值在 68 J 以上;Q460D 钢管在-60℃及以上,其冲击功最低值在 163 J 以上。

表 4 不同规格 Q460C 铁塔用钢管冲击吸收功试验数据
Table 4 Test data of impact absorbing energy of Q460C steel tubes for different wall thickness

温度/ ℃	冲击功/J					
	10 mm		12 mm		14 mm	
	测试值	均值	测试值	均值	测试值	均值
20	195.80		127.78		191.60	
	219.60	210.06	138.44	134.89	189.74	188.67
	214.79		138.44		184.66	
	219.60		111.50		160.26	
0	193.19	213.68	96.98	105.83	168.02	166.9
	228.25		109.01		172.42	
	197.67		89.71		154.41	
-20	201.03	201.03	86.39	85.30	139.28	146.38
	204.39		79.81		145.45	
	169.45		72.45		93.34	
-40	147.37	162.03	72.45	68.49	114.12	104.34
	169.25		60.56		105.57	
	19.64		16.89		83.48	
-60	11.25	14.41	9.43	13.34	53.94	68.52
	12.35		13.7		68.15	

表 5 不同规格 Q460D 铁塔用钢管冲击吸收功试验数据
Table 5 Test data of impact absorbing energy of Q460D steel pipes for different wall thickness

温度/ ℃	冲击功/J					
	10 mm		12 mm		14 mm	
	测试值	均值	测试值	均值	测试值	均值
20	236.09		274.89		287.31	
	223.65	228.54	268.40	266.62	262.33	278.11
	225.87		256.58		284.70	
	218.307		289.35		299.67	
0	234.093	231.01	267.26	263.44	240.39	264.44
	240.627		233.72		253.27	
	194.307		219.38		215.71	
-20	235.733	224.16	239.95	234.18	216.94	240.31
	242.427		243.20		288.27	
	184.213		250.68		195.3	
-40	157.72	187.18	267.9	246.07	209.73	197.72
	219.6		219.63		188.14	
	197.48		168.71		204.13	
-60	158.467	163.38	157.48	186.91	224.33	207.88
	134.2		234.54		195.17	

图 3 为不同规格的 Q460C 钢管的低温冲击韧性结果。以冲击吸收能量 21 J 作为韧脆转变的功值,10 mm 和 12 mm 两种规格 Q460C 钢管的韧脆转变温度分别为 -59.2°C 和 -57.5°C ,14 mm 规格 Q460C 钢管在试验温度范围内冲击功均大于 21 J。由 SEM 照片可知,规格为 10 mm 的 Q460C 钢管的组织为铁素体基体及少量珠光体。较高的铁素体含量使其具有良好的韧性。12 mm 和 14 mm 规格 Q460C 钢管的基体为珠光体与铁素体,为先共析铁

素体和珠光体交替相间的显微带状组织,且 14 mm 规格 Q460C 钢管比 12 mm 规格的 Q460C 钢管的组织更加均匀,珠光体含量相对较少,这会使低温韧性得到改善。图 3 清晰地反应了三种规格 Q460C 钢管的韧性差异,相同温度下,Q460C 钢管的冲击功随厚度增加,先降低后升高。相同厚度下,其冲击功随温度降低而下降。总体来看,三种规格的 Q460C 钢管均具有良好的低温韧性。

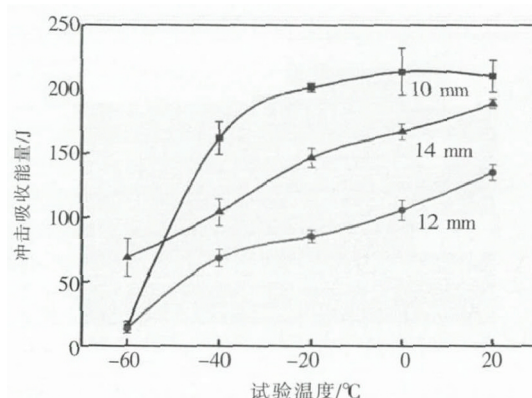


图 3 不同规格 Q460C 钢管不同温度冲击随温度变化
Fig.3 Temperature-dependent impact of Q460C steel pipes with different wall thickness

图 4 为不同规格 Q460D 钢管的低温冲击韧性结果。在试验温度范围内,三种规格的 Q460D 钢管的冲击功均在 21 J 以上。从 SEM 组织照片可以看出,三个规格的 Q460D 钢管的基体均为珠光体与铁素体,为先共析铁素体和珠光体交替相间的显微带状组织,并且可以看出组织较细小,条带状的组织形貌主要是由于轧制过程变形所致。14 mm 规格的 Q460D 钢管组织中有较为粗大的珠光体条带,可能会影响其局部性能。图 4 清晰地反映了三种规格 Q460D 钢管的韧性差异,在相同温度下,Q460D 钢管的冲击功随厚度增加而升高。相同厚度下,其冲击功随温度降低而下降。

综合以上结果分析,室温下,Q460 钢管都表现出了良好的冲击韧性。随着温度的降低,Q460C 和 Q460D 表现出了不同的低温韧性:各种厚度的 Q460D 钢管在 -60°C 下依然能保持较高的冲击韧性(大于 21 J);规格为 10 mm 和 12 mm 的 Q460C 钢管在 -60°C 下不能保持较高的冲击韧性(小于 21 J),而 14 mm 厚的 Q460C 级钢管冲击功依然在 21 J 以上;规格为 10 mm 和 12 mm 的 Q460C 级钢板在 -100°C 下不能保持较高的冲击韧性(小于 21 J),而

14 mm 厚的 Q460C 级钢板冲击功依然在 21 J 以上。因此,在极端环境条件下($-50 \sim -60\text{ }^{\circ}\text{C}$)用钢原则:在 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以上寒冷区,采用 Q460C 钢管,在 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下寒冷区,建议采用 Q460D 钢管。

2.3 断口形貌分析

断口形貌可从断裂机理角度,反映材料的韧脆转变过程。图 5 和图 6 分别为 14 mm 规格 Q460C 钢管和 Q460D 钢管在不同温度下的冲击断口形貌。由图 5 可知,在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,钢管的冲击断口为韧窝状韧性断裂,当冲击温度降低为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,断口形貌为解理断裂+局部有少量韧窝状断裂的形貌,当温度降低至 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,断口为河流状的纯解理断裂。

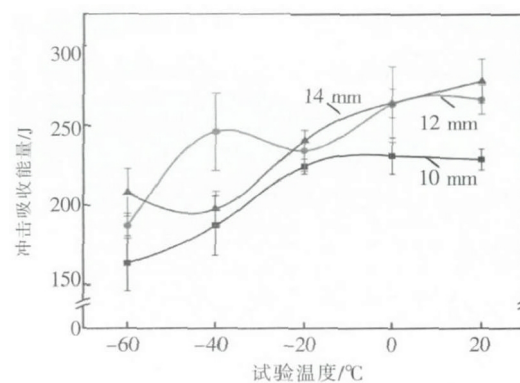


图 4 不同规格 Q460D 钢管不同温度冲击随温度变化
Fig.4 Temperature-dependent impact of Q460D steel pipes with different wall thickness

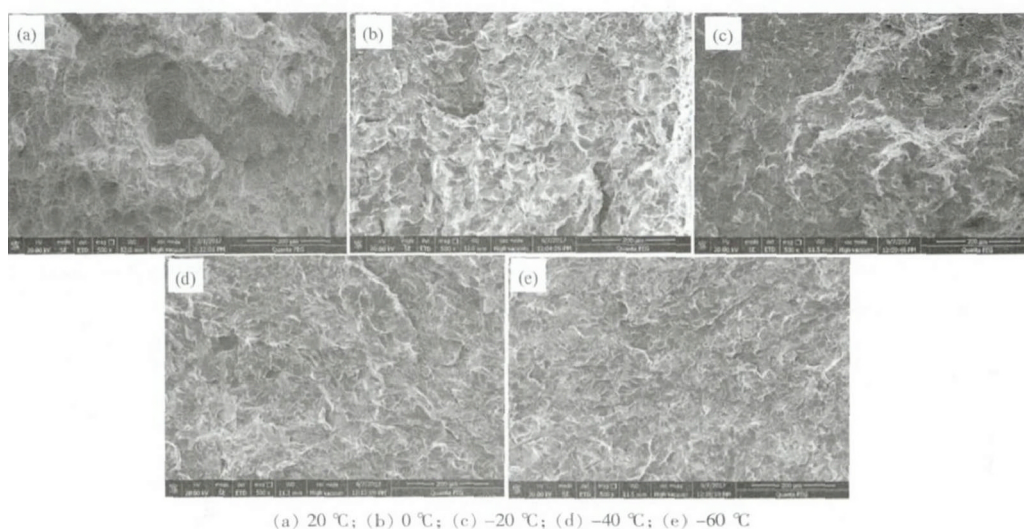


图 5 14 mm 规格 Q460C 钢管在不同温度下冲击断口形貌
Fig.5 Impact fracture morphology of 14 mm Q460C steel pipe at different test temperatures

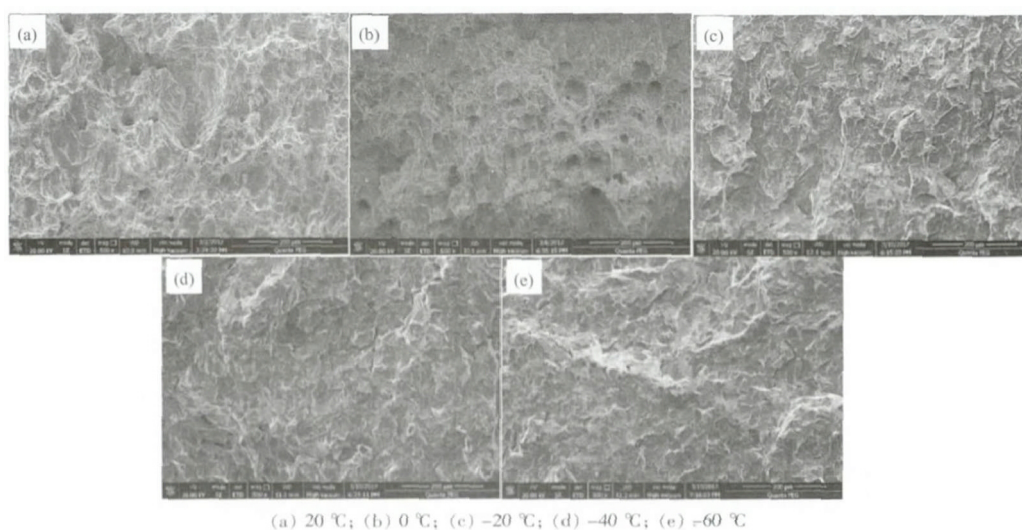


图 6 14 mm 规格 Q460D 钢管在不同温度下冲击断口形貌
Fig.6 Impact fracture morphology of 14 mm Q460D steel pipe at different test temperatures

由图 6 可知,在 20 ℃ 和 0 ℃ 时,钢管的冲击断口为韧窝状韧性断裂,当冲击温度降低为-20 ℃ 和-40 ℃ 时,断口形貌为沿晶断裂+局部有少量韧窝状断裂的形貌,当温度降低至-60 ℃ 时,断口为沿晶状脆性断裂。

3 结 论

1) Q460C 钢管在-40 ℃ 及以上时,其冲击功最低值在 68 J 以上;Q460D 钢管在-60 ℃ 及以上,其冲击功最低值在 163 J 以上。

2) 10 mm 和 12 mm 两种规格的 Q460C 钢管的韧脆转变温度分别为-59.2 ℃ 和-57.5 ℃,14 mm 规格的 Q460C 钢管韧脆转变温度低于-60 ℃。

3) 各种厚度的 Q460D 钢管在-60 ℃ 下依然能保持较高的冲击韧性,不同规格的 Q460D 钢管韧脆转变温度均低于-60 ℃。

4) 不同强度级别、质量等级和不同规格的钢管,在极端环境条件下(-50~-60 ℃)用钢原则:在-50 ℃ 及以上的寒冷区,采用 Q460C 钢管,在-50 ℃ 以下寒冷区,建议采用 Q460D 钢管。

参考文献

- [1] Lis A K. Mechanical properties and microstructure of ULCB steels affected by thermomechanical rolling, quenching and tempering [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 106(1-3): 212-218.
- [2] Schnitzer R, Zickler G A, Lach E *et al.* Influence of reverted austenite on static and dynamic mechanical properties of a PH 13-8 Mo maraging steel [J]. Materials Science & Engineering A, 2010, 527(7-8): 2065-2070.
- [3] Lee S H, Lee S U, Moon K I *et al.* A study on the improvement of the fracture toughness of L1 2-type Cu-added zirconium trialuminide intermetallics synthesized by mechanical alloying [J]. Materials Science & Engineering A, 2004, 382(1-2): 209-216.
- [4] Wang Z, Cui G, Sun T *et al.* Effect of boron on microstructure and mechanical properties of hot-rolled Nb-added HSLA H-section steel [J]. International Journal of Modern Physics B, 2009, 23(06&07): 1885-1890.
- [5] Tu Minglian, Jun Wenbin. Collected papers on low temperature brittle fracture of low alloy steel [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1985: 3.
(涂铭连, 郡文彬. 低合金钢低温脆性断裂论文集 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1985: 3.)
- [6] Shu Delin. Mechanical properties of metals [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1987: 91-93.
(束德林. 金属力学性能 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987: 91-93.)
- [7] Frear D, Morris J W. A study of the effect of precipitated austenite on the fracture of a ferritic cryogenic steel [J]. Metallurgical Transactions, 1986, 17(17): 243-252.
- [8] Bilines P D, Lorente C L, Solari M. Effect of post weld heat treatments on the microstructure and mechanical behavior of 13Cr-4NiMoL and 16Cr-4NiMoL weld metals [C]// Proceeding of 18th Heat Treating Society Conference ASM International, USA: Rosemont, 1998: 454-463.
- [9] Norstrom L A. Influence of austenitizing and tempering treatments on microstructure, yield strength and impact toughness of a martensitic 9 percent Ni steel [J]. Scandinavian Journal of Metallurgy, 1976, 5(1): 41-48.
- [10] Kim K J, Schwartz L H. On the effects of intercritical tempering on the impact energy of Fe+9Ni+0.1C [J]. Materials Science & Engineering, 1978, 33(1): 5-20.
- [11] Guo Z, Morris J W. Martensite variants generated by the mechanical transformation of precipitated interlath austenite [J]. Scripta Materialia, 2005, 53(8): 933-936.
- [12] Zhang Futian, Wang Jingyun, Guo Yunyi. Rotary austenite and low temperature toughness in Ni9 steel [J]. Acta Metallurgica Sinica, 1984, 6(6): 405-490.
(张弗天, 王景云, 郭蕴宜. Ni9 钢中的回转奥氏体与低温韧性 [J]. 金属学报, 1984(6): 405-490.)
- [13] Wen Yonghong, Tang Di, Wu Huibin *et al.* Low temperature toughness mechanism of F40 class ship plate [J]. Journal of Beijing University of Science and Technology, 2008, 30(7): 724-729.
(温永红, 唐荻, 武会宾, 等. F40 级船板低温韧性机理 [J]. 北京科技大学学报, 2008, 30(7): 724-729.)
- [14] Liu Dongfeng, Yang Xiuli, Hou Lifeng *et al.* Research and application of ultra-low temperature 9Ni steel for liquefied natural gas tanks [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2009, 21(9): 1-5.
(刘东风, 杨秀丽, 侯利锋, 等. 液化天然气储罐用超低温 9Ni 钢的研究及应用 [J]. 钢铁研究学报, 2009, 21(9): 1-5.)

- [15] Li Jianhua ,Xi Tianhui ,Chen Xiao.Effect of heat treatment on low temperature toughness of 3.5Ni steel [J].Physical Testing , 2008 26 (6) : 9-12.
(李建华 ,习天辉 ,陈晓.热处理对 3.5Ni 钢低温韧性的作用 [J].物理测试 2008 26(6) : 9-12.)
- [16] Yang Yuehui ,Cai Qingwu ,Wu Huibin *et al.*Formation regularity of rotary austenite and its effect on low temperature toughness of 9Ni steel during heat treatment in two-phase region [J].Acta Metallurgica Sinica 2009 45 (3) : 270-274.
(杨跃辉 ,蔡庆伍 ,武会宾 ,等.两相区热处理过程中回转奥氏体的形成规律及其对 9Ni 钢低温韧性的影响 [J].金属学报 2009 45(3) : 270-274.)
- [17] Gao Guhui ,Zhang Han ,Bai Bingzhe.Effect of tempering temperature on low temperature toughness of Mn-based low carbon bainitic steel [J].Acta Metallurgica Sinica 2011 47 (5) : 513-519.
(高古辉 ,张寒 ,白秉哲.回火温度对 Mn 系低碳贝氏体钢的低温韧性的影响 [J].金属学报 2011 47(5) : 513-519.)
- [18] Zhang Kun ,Tang Di ,Wu Huibin.Effect of tempering holding time on reversed austenite and low temperature toughness of 9Ni steel [J].Metal Heat Treatment 2012 37 (3) : 85-88.
(张坤 ,唐荻 ,武会宾.回火保温时间对 9Ni 钢逆转变奥氏体和低温韧性的影响 [J].金属热处理 2012 37(3) : 85-88.)
- [19] Luo Xiaobing ,Yang Caifu ,Chai Feng *et al.*Effect of secondary quenching in two-phase zone on low temperature toughness of high strength hull steel [J].Metal Heat Treatment 2012 37 (9) : 79-82.
(罗小兵 ,杨才福 ,柴锋 ,等.两相区二次淬火对高强度船体钢低温韧性的影响 [J].金属热处理 2012 37(9) : 79-82.)
- [20] Li Hui ,Zhang Jingwu ,Zheng Yingzeng.Effect of electroslag remelting on low temperature toughness of austenitic steel [J].Journal of Iron and Steel Research 2001 13(3) : 68-70.
(李慧 ,张静武 ,郑炆曾.电渣重熔对奥氏体钢低温韧性的影响 [J].钢铁研究学报 2001 13(3) : 68-70.)
- [21] Hu Bin ,Liu Aiguo ,Xu Chun.Effect of production process on low temperature impact toughness of Q235D medium plate [J].Mechanical Engineering and Automation 2001 (S1) : 72-73.
(胡彬 ,刘爱国 ,徐春.生产工艺对 Q235D 中板低温冲击韧性的影响 [J].机械工程与自动化 2001(S1) : 72-73.)
- [22] Zhou Ping ,Yang Jianxun ,Li Yan *et al.*Effect of cooling rate on low temperature impact toughness of Q690D high strength steel [J].Rolling 2011 28 (6) : 18-20.
(周平 ,杨建勋 ,李艳 ,等.冷却速率对 Q690D 高强钢低温冲击韧性的影响 [J].轧钢 2011 28(6) : 18-20.)

编辑 杨冬梅

攀枝花学院与乌克兰扎波罗热国立大学钛研究所 就双方技术合作举行视频交流会

为加快与乌克兰扎波罗热国立大学钛研究所在钛领域的合作,9月30日下午,攀枝花学院在办公楼三楼会议室举行视频交流会。乌克兰钛研究所所长 Taras B.Yanko 教授, Alexander V. Ovchinnikov 教授, Sergej P. Panov 教授与攀枝花学院党委书记肖立军,党委副书记、校长王曙光,以及科研处、国际教育学院、攀枝花国际钒钛研究院有关专家通过视频就技术合作事宜进行交流。双方围绕钛及钛合金粉末冶金技术、用于铸造和锻造钛合金产品的合金化海绵钛的制备技术、特殊钛及钛合金制品的制备技术等几个研究方向进行有效交流,寻求技术合作契合点。

据悉,本次视频会议让双方对各自领域的研究所取得的成效、发展方向有了更为深入的了解,为后期开展项目合作、拓宽合作领域、推动攀枝花学院国际科技合作奠定了基础。

(李军 供稿)