

钒含量对新型高强钢性能的影响

李梅¹, 王强², 高宏文¹, 韩泉叶¹, 张克明¹

(1. 陕西广播电视大学, 陕西 西安 710068; 2. 华北理工大学材料科学与工程学院, 河北 唐山 063210)

摘要: 为了研究钒含量对 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢性能的影响, 对添加不同钒含量的 Q690-0.5Al-0.5In 钢进行制备, 并对试样进行了冲击性能和拉伸性能的测试与分析。结果表明: 随钒含量的增加, 试样的冲击吸收功、强度表现为先增大后缓慢减小, 断后伸长率先减小再缓慢增大。与钒含量 0.05% 相比, 钒含量 0.2% 使试样的冲击吸收功增大了 23.27%, 抗拉强度和屈服强度分别增大了 42 MPa 和 25 MPa。从提高 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢的性能出发, 钒含量的最佳添加量为 0.2%。

关键词: 新型高强钢; 钒含量; 冲击性能; 拉伸性能

中图分类号: TF841.3, TG142

文献标志码: A

文章编号: 1004-7638(2019)06-0118-04

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2019.06.023

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



听语音
与作者互动
聊科研

Effect of Vanadium Content on Properties of New High Strength Steel

Li Mei¹, Wang Qiang², Gao Hongwen¹, Han Quanye¹, Zhang Keming¹

(1. Shanxi Radio and TV University, Xi'an 710068, Shanxi, China; 2. School of Materials Science and Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, Hebei, China)

Abstract: In order to study the effect of vanadium content on the properties of Q690-0.5Al-0.5In high strength steel, the base chemistry Q690-0.5Al-0.5In steel with different vanadium contents had been prepared, and the impact and tensile properties of the samples were measured and analyzed. The results show that with the increase of vanadium content, the impact absorbing energy and strength of the sample increase firstly and then decrease slowly, but the elongation decreases firstly and then increases slowly. Compared with 0.05% V steel, the impact absorption energy of 0.2% V steel increases by 23.27%, the tensile strength and yield strength increase by 42 MPa and 25 MPa, respectively. In order to improve the properties of Q690-0.5Al-0.5In new high strength steel, the optimum addition of vanadium is 0.2%.

Key words: new high strength steel, vanadium content, impact property, tensile property

0 引言

钢因结构稳固、可靠、成本低廉等特点已成为建筑、机械、制造、工业等领域使用最多的材料之一。随着各行业对钢制品质量、性能等越来越高的要求, 以及受轻量化发展理念的影响, 高强钢受到越来越

多的关注和应用。这是因为高强钢具有强度高、综合力学性能优、冶金稳定、经济的优点, 可用于大型船舶、机械、机车等^[1-3]。高强钢的延展性较差, 仅为普通钢的一半, 容易出现开裂、回弹、起皱、磨损, 表面质量差, 冲压载荷及能耗加大^[4]。钒是钢中常会添加的元素, 在钢中加入钒, 可强化晶粒细化

收稿日期: 2019-04-07

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划项目(项目编号: 14JK1060), 榆林市科技计划项目(项目编号: 20-3)。

作者简介: 李梅(1980—), 女, 辽宁开原人, 副教授, 硕士, 研究方向为机电一体化, 机械材料研究。E-mail: 9498285@

qq.com。

和沉淀,能够极大地提高钢的强度,增加弹性和耐磨性能,使高强钢的综合性能得到提升^[5-7]。基于目前关于钒钛改性高强钢的研究和应用还较为鲜见,所以为了进一步提升高强钢的综合性能,扩展应用前景,笔者以 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢为试验研究对象,研究了不同的钒含量对 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢性能的影响。

1 试验材料及方法

试验材料为添加不同钒含量的新型高强钢 Q690-0.5Al-0.5In,钒含量分别为: 0.05%、0.1%、0.15%、0.2%、0.25%),具体化学成分见表 1。将称量好的原料置于真空中频感应炉内熔炼、模铸成钢锭,对钢锭进行 1 250 ℃×2 h 均匀化处理,空冷后获得尺寸为 140 mm×80 mm 的方形坯料。对坯料

再次进行均匀化处理(1 230 ℃×2 h),接着在二辊可逆热轧试验轧机(直径 550 mm) 上热轧成 5 mm 和 10 mm 厚的钢板,并分别加工成 3 组 55 mm×10 mm×5 mm 冲击试样和 3 组 Ø10 mm×70 mm 拉伸试样。冲击试样为矩形状,带 V 型开口,开口深度 1 mm,在摆锤冲击试验机上进行室温冲击试验,记录冲击吸收功,计算 3 个冲击试样试验结果的平均值,并作为试样冲击测试值,新型高强钢试样的冲击断口形貌用电子扫描镜(JSM-6510 型) 观察和分析。拉伸试样为圆棒状,在万能拉伸试验机上进行室温拉伸试验,拉伸速度 1.5 mm/min,记录抗拉强度、屈服强度和伸长率,计算 3 个拉伸试样试验结果的平均值,并作为试样拉伸测试值。新型高强钢试样的拉伸断口形貌用电子扫描镜(JSM-6510 型) 观察和分析。

表 1 新型高强钢试样的化学成分
Table 1 Chemical compositions of new high strength steel samples

													%
Nb	Ti	Cr	Ni	Cu	N	Mo	B	P	S	Al	In	V	Fe
≤0.11	≤0.20	≤1.00	≤0.80	≤0.80	≤0.015	≤0.30	≤0.004	≤0.025	≤0.020	0.5	0.5	0.05	bal.
≤0.11	≤0.20	≤1.00	≤0.80	≤0.80	≤0.015	≤0.30	≤0.004	≤0.025	≤0.020	0.5	0.5	0.1	bal.
≤0.11	≤0.20	≤1.00	≤0.80	≤0.80	≤0.015	≤0.30	≤0.004	≤0.025	≤0.020	0.5	0.5	0.15	bal.
≤0.11	≤0.20	≤1.00	≤0.80	≤0.80	≤0.015	≤0.30	≤0.004	≤0.025	≤0.020	0.5	0.5	0.2	bal.
≤0.11	≤0.20	≤1.00	≤0.80	≤0.80	≤0.015	≤0.30	≤0.004	≤0.025	≤0.020	0.5	0.5	0.25	bal.

2 试验结果

2.1 冲击性能

不同钒含量新型高强钢 Q690-0.5Al-0.5In 的冲击吸收功测试数据如图 1 所示。从图 1 中获悉,加入不同含量的钒会对 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢试样的冲击吸收功造成显著的影响。试样的冲击吸收功随着钒含量的增加表现为先增大再缓慢减小,冲击性能先提升后下降。0.05% 钒时,试样的冲击吸收功测试值(159 J) 最小,此时冲击性能最差; 0.2% 钒时,试样的冲击吸收功测试值(196 J) 最大,较 0.05% 钒时增大了 23.27%,冲击性能达到最佳状态。但钒含量的添加达到 0.25% 时,试样的冲击吸收功较 0.2% 钒含量时下降了 4.08%,冲击性能开始降低。

图 2 是钒含量分别为 0.05% 和 0.2% 时 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢试样的冲击断口形貌照片。由图 2 可见,0.05% 钒含量时试样的冲击断口呈河流状分布,解理平台稍有斜度,内部夹杂有少量较大的韧窝和球状颗粒,冲击韧性较差; 0.2% 钒含量时

合金的断口不再呈河流状分布,韧窝尺寸减小,数量增加,呈规则排列,冲击韧性较佳。综合不同钒含量添加的冲击吸收功测试结果可知,为优化 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢试样的冲击性能,钒含量优选为 0.2%。

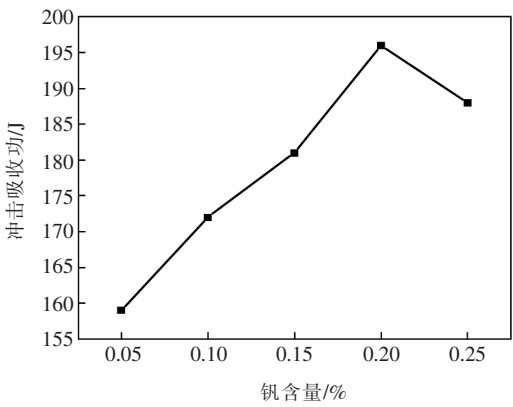


图 1 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢试样的冲击吸收功测试结果

Fig.1 Impact absorption energy test results of Q690-0.5Al-0.5In new high strength steel samples

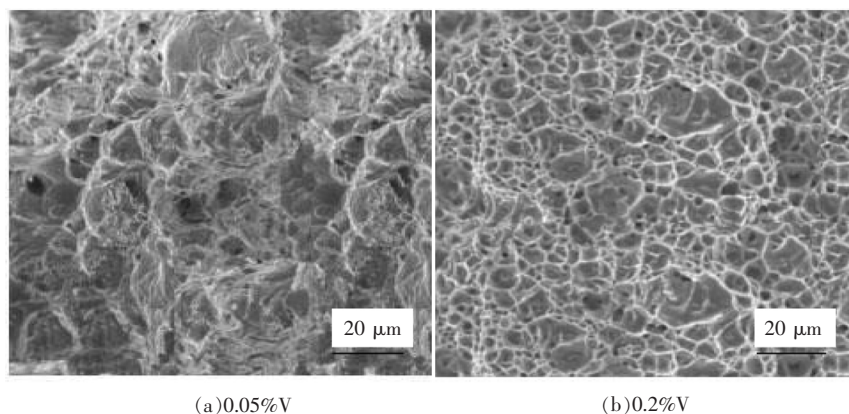


图 2 试样的冲击断口形貌

Fig.2 Impact fracture morphology of samples

2.2 拉伸性能

Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢在不同钒含量下的拉伸性能测试数据如图 3 所示。

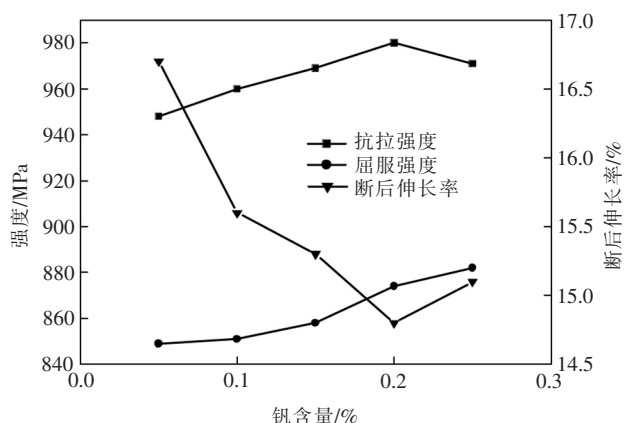


图 3 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢试样的拉伸性能测试结果

Fig.3 Tensile properties of Q690-0.5Al-0.5In new high strength steel samples

从图 3 中获悉,加入不同含量的钒会对 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢试样的抗拉、屈服强度和断后伸长率产生显著的影响。试样的抗拉强度、屈服强度随着钒含量的增加表现为先增大再缓慢减小,断后伸长率则先减小再缓慢增大(总体变化幅度小),拉伸性能先提升后下降。0.05% 钒含量下,试样的抗拉强度为 948 MPa、屈服强度为 849 MPa,二者均为最小值,断后伸长率则相对最大(16.7%),此时拉伸性能最差;0.2% 钒含量下,试样的抗拉强度为 980 MPa、屈服强度为 874 MPa,二者均为最大值,断后伸长率则最小(14.8%),抗拉、屈服强度较 0.05% 钒含量时各增

大了 42 MPa、25 MPa,伸长率仅减小了 1.9%,拉伸性能达到最佳状态。但钒含量的添加达到 0.25% 时,试样的抗拉、屈服强度均减小,拉伸性能开始降低。

图 4 是钒含量分别为 0.05% 和 0.2% 的 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢试样的拉伸断口照片。由图 4 可见,0.05% 钒含量时试样的拉伸断口处韧窝尺寸大、撕裂棱显著、断裂失效、塑性变形能力差;0.2% 钒含量时合金的断口处,韧窝形状细小、圆润、规则,排列均匀,拉伸性能较佳。综合不同钒含量添加的拉伸性能测试结果可知,为优化 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢试样的拉伸性能,钒含量优选为 0.2%。

2.3 讨论与分析

钒元素是各种钢中常会添加的一种合金元素。钒在奥氏体中具有较高的溶解度,将钒元素加入高强钢中,钒会和高强钢中的碳元素形成 VC,可以显著细化合金内部的晶粒、改善组织,并起到沉淀和强化的作用,因此钒含量的添加对于高强钢的质量和性能有重要的影响。以 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢为试验对象,当添加的钒含量较低(0.05%) 时,试样的冲击吸收功(159 J)、抗拉强度(948 MPa)、屈服强度(849 MPa) 最小,冲击性能和拉伸性能最差;当钒含量达到 0.2% 时,试样的冲击吸收功(159 J)、抗拉强度(980 MPa) 和屈服强度(874 MPa) 达到最大值,冲击性能和拉伸性能最佳。这是因为钒含量较低时,质点更粗大,铁素体晶粒无法得到充分细化,钒固溶析出强化的作用不明显,所以此时试样的强度不高、冲击韧性不佳。随着钒含量继续增加,高强钢的固溶析出强化作用不断增强,质点变细小、铁

素体晶粒进一步细化,组织更为均匀、致密,高强钢的强度、硬度、强韧性进一步提高,冲击韧性增加,冲击性能和拉伸性能达到最佳状态。由此可见,适当地添加钒含量有益于 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强

钢试样的强度、冲击韧性的增强,冲击性能和拉伸性能显著提高。从优化 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢的冲击性能和拉伸性能的角度出发,钒含量添加优选为: 0.2%。

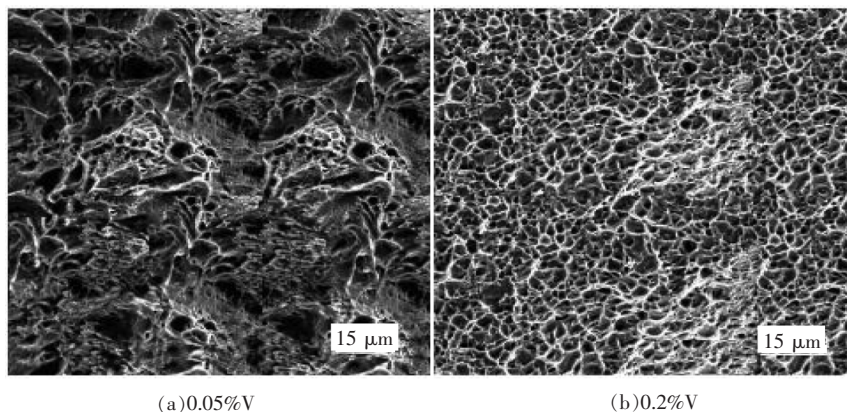


图 4 试样的拉伸断口形貌

Fig.4 Tensile fracture morphology of samples

3 结论

为了研究钒含量对 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢性能的影响,对添加不同钒含量的 Q690-0.5Al-0.5In 钢进行制备,并对试样进行了冲击性能和拉伸性能的测试与分析,结论如下:

1) 试样的冲击吸收功随着钒含量的增加表现为先增大再缓慢减小,冲击性能先提高后下降;与钒含量 0.05% 相比,钒含量 0.2% 使试样的冲击吸收功

增大了 23.27%。

2) 试样的抗拉强度、屈服强度随着钒含量的增加表现为先增大再缓慢减小,断后伸长率先减小再缓慢增大,拉伸性能先提升后再下降。与钒含量 0.05% 相比,钒含量 0.2% 使试样的抗拉强度和屈服强度分别增大了 42.25 MPa,伸长率仅减小了 1.9%。

3) 从提高 Q690-0.5Al-0.5In 新型高强钢的冲击性能和拉伸性能出发,钒含量的最佳添加量为 0.2%。

参考文献

- [1] Li Shuangyi, Zhao Lei, Wang Guang, *et al.* Research on stamping characteristic and springback of the third generation high strength steel [J]. *Automobile Parts*, 2016(11): 21-25.
(李双一, 赵磊, 王光, 等. 第三代高强钢在汽车应用中冲压特性及回弹研究 [J]. *汽车零部件*, 2016(11): 21-25.)
- [2] Liu Qingchun, Wu Lin, Zheng Zhiwang, *et al.* Effect of vanadium on the precipitation behavior and aging properties of higher yield strength weathering steels [J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2019, 40(2): 144-148, 155.
(刘庆春, 吴林, 郑之旺, 等. 高强度热轧耐候钢的析出行为与时效性能研究 [J]. *钢铁钒钛*, 2019, 40(2): 144-148, 155.)
- [3] Li Yongxiang, Li Bin. Research and development of V-N micro alloying technology for Q420B angle steel [C] // 2012 National Steelmaking-Continuous Casting Production Technology Conference Proceedings. 2012: 515-519, 543.
(李永祥, 李兵. Q420B 角钢钒氮微合金化工艺研究与开发 [C] // 2012 年全国炼钢—连铸生产技术会论文集. 2012: 515-519, 543.)
- [4] Wang Chun. Application of high strength steel in body [J]. *South Agricultural Machinery*, 2019, 50(4): 230-231.
(王纯. 高强钢在车身的应用 [J]. *南方农机*, 2019, 50(4): 230-231.)
- [5] Zhang Bin. Effect of heat treatment temperature on properties of vanadium and titanium modified automobile transmission shaft steel [J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2017, 38(6): 55-58, 63.

- [4] Obara T, Takeuchi H, Takamiya T, *et al.* Control of inhibitor precipitation for producing grain-oriented silicon steel [J]. *Journal of Materials Engineering & Performance*, 1993, 2(2): 205–210.
- [5] Chen Xianhong, Zhu Chengyi, Li Guangqiang, *et al.* Influence of niobium and chromium on the high temperature microstructure evolution and behaviors of inhibitors of as-cast grain-oriented silicon steel [J]. *Materials Reports*, 2016, 30(Z1): 94–101.
(陈先红, 朱诚意, 李光强, 等. Nb、Cr 含量对铸态取向硅钢高温组织演变及抑制剂析出行为的影响 [J]. *材料导报*, 2016, 30(Z1): 94–101.)
- [6] Kumano T, Ohata Y, Fujii N, *et al.* Effect of nitriding on grain oriented silicon steel bearing aluminum (the second study) [J]. *Journal of Magnetism & Magnetic Materials*, 2006, 304(2): 602–607.
- [7] Feng Yunli, Yin Xiaopan, Zhang Sijia. Effect of Nb on precipitates in grain oriented silicon steel [J]. *Hot Working Technology*, 2015(18): 89–91.
(冯运莉, 尹晓盼, 张思佳. 铌对取向硅钢中沉淀析出的影响 [J]. *热加工工艺*, 2015(18): 89–91.)
- [8] Zhang Ying, Fu Yunli, Wang Ruwu, *et al.* Feasibility of Nb(C, N) as inhibitors in oriented silicon steel [J]. *China Metallurgy*, 2008, 18(7): 14–18.
(张颖, 傅耘力, 汪汝武, 等. Nb(C, N) 作为取向硅钢中抑制剂的可行性 [J]. *中国冶金*, 2008, 18(7): 14–18.)
- [9] Hulka K, Vlad C, Doniga A. The role of niobium as microalloying element in electrical sheet [J]. *Steel Research*, 2002, 73(10): 453–460.
- [10] Feng Y, Jing G, Jie L, *et al.* Effect of Nb on solution and precipitation of inhibitors in grain-oriented silicon steel [J]. *Journal of Magnetism & Magnetic Materials*, 2017, 426(Complete): 89–94.
- [11] Nakae H, Tagashira K. Effects of impurities on grain growth in strain-anneal and secondary recrystallization of Fe–3.25%Si alloy [J]. *Transactions of the Japan Institute of Metals*, 1973, 14(1): 15–21.

编辑 杨冬梅

(上接第 121 页)

- (张斌. 热处理温度对钒钛改性汽车传动轴钢性能的影响 [J]. *钢铁钒钛*, 2017, 38(6): 55–58, 63.)
- [6] Yi Hailong, Du Linxiu, Wang Guodong, *et al.* High-temperature deformation behavior of Nb/V/Ti-bearing and Ti-bearing HSLA rolled steels [J]. *Journal of Northeastern University(Natural Science)*, 2007, 28(10): 1369–1373.
(衣海龙, 杜林秀, 王国栋, 等. 铌钒钛与含钛高强钢的高温变形行为 [J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2007, 28(10): 1369–1373.)
- [7] Liu Chengbao, Chen Hui, Cai Xiaohui, *et al.* Precipitation behaviour of vanadium-bearing high strength low alloy steel [J]. *Shandong Metallurgy*, 2013(5): 24–26.
(刘成宝, 陈辉, 蔡晓辉, 等. 含钒低合金高强钢的沉淀析出行为 [J]. *山东冶金*, 2013(5): 24–26.)

编辑 杨冬梅