

钒含量对钻头用 W6Mo5Cr4V_x 高速钢 组织与性能的影响

王振光

(山东工业职业学院, 山东 淄博 256414)

摘 要:在钻头用 W6Mo5Cr4V_x 高速钢中添加了不同含量的合金元素钒, 并进行了显微组织、耐磨损和耐腐蚀性能的测试与分析。结果表明: 添加钒有助于提高高速钢的耐磨损和耐腐蚀性能, 随钒含量从 0 增至 5%, 钢的耐磨损和耐腐蚀性能均先提高后下降。钢中钒含量优选为 3%。与不添加钒相比, W6Mo5Cr4V_x($x=3$) 高速钢的磨损体积减小 $5.2 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ 、腐蚀电位正移 57 mV。

关键词: 高速钢; 钒含量; 耐磨损性能; 耐腐蚀性能; 显微组织

中图分类号: TF76 文献标志码: A 文章编号: 1004-7638(2021)01-0139-05

DOI: 10.7513/j.issn.1004-7638.2021.01.022

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Effect of vanadium content on microstructure and properties of W6Mo5Cr4V_x high speed steel for bit

Wang Zhenguang

(Shandong Vocational College of Industry, Zibo 256414, Shandong, China)

Abstract: In this paper, different content of vanadium was added to W6Mo5Cr4V_x high speed steel for bit, and the microstructure, wear resistance and corrosion resistance were tested and analyzed. The results show that the addition of vanadium can improve the wear resistance and corrosion resistance of high speed steel. With the increase of vanadium content from 0 to 5%, the wear resistance and corrosion resistance of steel increase firstly and then decrease. The optimized vanadium content in experimental steel is 3%. Compared the steel without vanadium addition, the wear volume of W6Mo5Cr4V_x($x=3$) high speed steel decreases by $5.2 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$, and the corrosion potential shifts positively by 57 mV.

Key words: high speed steel, vanadium content, wear resistance, corrosion resistance, microstructure

0 引言

钻头是工业化生产中常用的一种工具, 对材料的韧性、耐磨损性能和抗腐蚀性能有较高的要求。钻头用高速钢的主要钢种有以 M2(W6Mo5Cr4V2)

为代表的含钒高速钢以及以 M42(W2Mo9Cr4VCo8) 为代表的含钴高速钢。含钴高速钢具有优异的耐磨性和韧性, 但红硬性较差。含钒高速钢因其硬度高、耐磨性高、红硬性高和耐热性强等优点, 并具有较佳的强度与韧性配合, 是钻头用高速钢的

收稿日期: 2020-05-19

基金项目: 山东省高校科技计划项目(J14LA58); 2019 年淄博市重点研发计划项目(高级别管线钢冶炼工艺关键技术的研究与开发, 编号 2019ZBXC357)。

作者简介: 王振光(1982—), 男, 内蒙古包头人, 硕士, 副教授, 主要从事冶金工程专业方向, E-mail: wangzg782@163.com。

主要钢种,备受业界关注^[1-2]。王启明等^[3]研究了M2高速钢(钒含量1.82%)大尺寸碳化物的形貌特征以及大尺寸碳化物的析出机理。薛屹等^[4]研究和分析了淬火温度对高钒高速钢(钒含量2.94%)摩擦磨损性能的影响规律。寇国富等^[5]研究了基于深冷和钝化工艺的W6Mo5Cr4V2高速钢(钒含量1.75%~2.2%)丝锥磨损机理。何时剑^[6]分析了热处理对机床用高速钢(钒含量1%)刀具组织和力学性能的影响。何星等^[7]研究了热处理工艺对CM2高速钢(钒含量1.9875%)组织性能的影响规律。陈翔等^[8]分析了扫描速度对激光熔覆薄板高速钢(钒含量1.77%)变形与组织的影响。侯锡铭等^[9]分析了热处理工艺对SF9V高速钢(钒含量1.77%)组织及性能的影响。王胜^[10]对特制高速钢(钒含量1%~1.4%)车刀成形塑料尼龙时工艺参数进行了优化研究。迟宏宵等^[11]研究和分析了M2高速钢(钒含量1.85%)的高温力学性能。梁刚和王振廷^[12]分析了Mo和变质处理对高钒高速钢(钒含量5%)耐磨性的影响。众所周知,合金元素钒对于改善高速钢综合性能具有重要作用,但现有的含钒高速钢研究主要集中在某一特定钒含量下高速钢的组织 and 性能研究,关于钒含量对含

钒高速钢组织性能的影响规律、高速钢中钒含量优选等问题的研究还鲜有报道。为此,笔者以W6Mo5Cr4V_x($x=0,1,2,3,4,5$)为研究对象,进行了不同钒含量的含钒高速钢实验室开发,分析了钒含量对W6Mo5Cr4V_x高速钢组织和性能的影响,以优化W6Mo5Cr4V_x含钒高速钢的钒含量,进一步提高含钒高速钢的综合性能,以促进W6Mo5Cr4V_x含钒高速钢材料在高性能钻头等领域的大规模工业化生产。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验材料:基于现有不同钒含量高速钢的性能研究成果以及钒在高速钢中的作用研究,首先按照W6Mo5Cr4V_x($x=0,1,2,3,4,5$)高速钢各试样成分进行配料,然后在中频感应炉中进行熔炼,接着采用下注法将钢液浇成自耗电极,浇铸完成30 min后脱模并立即埋入沙坑缓冷,再通过电渣重熔制备出铸锭,最后经过780℃×10 h退火处理,获得W6Mo5Cr4V_x高速钢试样(尺寸为 $\phi 120\text{ mm}\times 600\text{ mm}$)。W6Mo5Cr4V_x高速钢各试样的化学成分如表1所示。

表1 W6Mo5Cr4V_x高速钢试样化学成分
Table 1 Chemical compositions of W6Mo5Cr4V_x high speed steel specimens

%

编号	C	W	Mo	Cr	V	Si	Mn	其它元素	Fe
试样1($x=0$)	0.9±0.05	6.0±0.2	5.0±0.2	4.0±0.1	0	<0.03	<0.035	<0.3	Bal.
试样2($x=1$)	0.9±0.05	6.0±0.2	5.0±0.2	4.0±0.1	1	<0.03	<0.035	<0.3	Bal.
试样3($x=2$)	0.9±0.05	6.0±0.2	5.0±0.2	4.0±0.1	2	<0.03	<0.035	<0.3	Bal.
试样4($x=3$)	0.9±0.05	6.0±0.2	5.0±0.2	4.0±0.1	3	<0.03	<0.035	<0.3	Bal.
试样5($x=4$)	0.9±0.05	6.0±0.2	5.0±0.2	4.0±0.1	4	<0.03	<0.035	<0.3	Bal.
试样6($x=5$)	0.9±0.05	6.0±0.2	5.0±0.2	4.0±0.1	5	<0.03	<0.035	<0.3	Bal.

1.2 试验方法

在试样中部切取金相试样(尺寸 $\phi 120\text{ mm}\times 5\text{ mm}$),制样并腐蚀(腐蚀液:5 mL 42% HF+100 mL 30% H₂O₂溶液)后,在PG18型金相显微镜及TESCAN VEGAII LMU扫描电镜下观察试样的内部显微组织。在试样中部及两侧位置分别切取1个磨损试样(尺寸 $\phi 50\text{ mm}\times 15\text{ mm}$),以3个磨损试样测试值的算术平均值作为试样的磨损体积测试值,对磨材料为试样本体,相对滑动速度100 mm/min、磨轮转速400 r/min、试验时间15 min、试验温度300℃,并在TESCAN VEGAII LMU扫描电镜下观

察试样的表面磨损形貌。在试样中部及两侧位置分别切取1个腐蚀试样(尺寸 $\phi 20\text{ mm}\times 10\text{ mm}$),以3个腐蚀试样测试值的算术平均值作为试样的耐腐蚀性能测试值,腐蚀试验在CS360型电化学工作站上进行,腐蚀液为5%氯化钠水溶液,扫描速度0.001 V/s,腐蚀试验前先-1.0 V恒电位极化180 s。

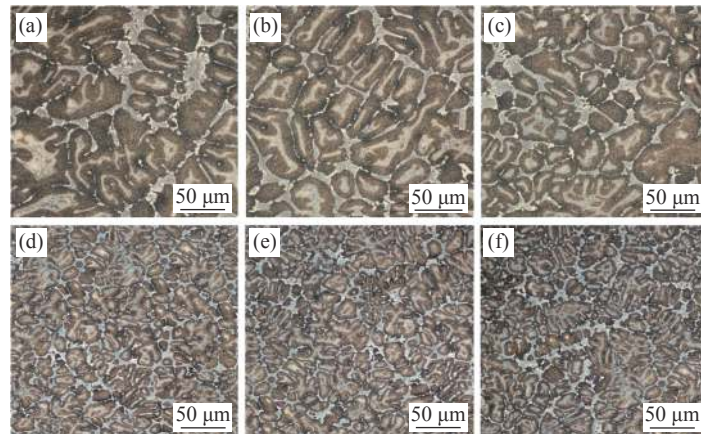
2 试验结果及讨论

2.1 显微组织

不同钒含量的W6Mo5Cr4V_x高速钢试样显微组织金相照片如图1所示。从图1可以看出,当钒

含量低于 2% 时试样显微组织差异不太明显;但当钢中钒含量 $\geq 3\%$ 时,试样显微组织发生明显变化,晶粒发生明显的细化。钢中钒含量越多,呈网状或近似网状分布的碳化物分布越多。此外,当钢中

钒含量从 3% 逐渐增加到 5% 时,钢中碳化物呈现出逐渐粗化的变化趋势,尤其是当钒含量达到 5% 时,钢中呈网状分布的碳化物较钒含量 3% 时更加粗大。



(a) V 含量 0%; (b) V 含量 1%; (c) V 含量 2%; (d) V 含量 3%; (e) V 含量 4%; (f) V 含量 5%

图 1 试样显微组织金相照片

Fig. 1 Microstructure of the experimental steels with various vanadium contents

2.2 耐磨损性能

不同钒含量的 W6Mo5Cr4Vx 高速钢试样耐磨损性能测试结果如图 2 所示。由图 2 可知,随 V 含量增加,试样磨损体积逐渐减小,耐磨损性能逐步提高。当 V 含量从 0 增加到 3% 时,试样磨损体积减小幅度较为明显,耐磨损性能提高显著;但当钒含量从 3% 增加到 5% 时,磨损体积非但没有进一步减小反而略有增大,耐磨损性能有所下降。与 V 含量 0 相比, V 含量 3% 时 W6Mo5Cr4Vx 高速钢试样磨损体积从 $14.8 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ 减小至 $9.6 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$,减小了 $5.2 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$, V 含量 4% 和 5% 时试样磨损体积

仅减小了 5.0×10^{-3} 和 $4.8 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ 。

图 3 是不同钒含量的 W6Mo5Cr4Vx 高速钢试样磨损试验后的表面形貌 SEM 照片。从图 3 可以看出,未添加钒时高速钢试样磨损后表面布满团状磨屑或起皮,磨损现象较为严重;添加钒后高速钢表面的磨屑或起皮明显减小,磨损现象明显减轻。此外,当钒含量从 0 增加到 3% 时,试样表面磨损现象减轻效果较为显著;但当钒含量从 3% 增加到 5% 时,试样表面的颗粒状磨屑有所增加。

2.3 耐腐蚀性能

不同钒含量的 W6Mo5Cr4Vx 高速钢试样耐腐蚀性能测试结果如表 2 所示。从表 2 可以看出,随钒含量增加,试样腐蚀电位先正移后负移,试样耐腐蚀性能先提高后下降。此外,从表 2 还可以看出,当钒含量从 0 增加到 3% 时,试样腐蚀电位正移幅度较为明显,试样耐腐蚀性能提高较为显著;但当钒含量从 3% 增加到 5% 时,试样腐蚀电位出现负向移动,试样耐腐蚀性能出现下降。与 V 含量 0 相比,钒含量 3% 时高速钢试样腐蚀电位从 -0.724 V 正移至 -0.667 V ,正移了 57 mV ;当钒含量 4% 时仅正移了 52 mV ;当钒含量 5% 时仅正移了 45 mV 。

图 4 是不同钒含量的 W6Mo5Cr4Vx 高速钢试样腐蚀形貌 SEM 照片。从图 4 可以看出,未添加钒时高速钢试样腐蚀试验后表面出现较多的腐蚀坑,有椭圆形和圆形的不同腐蚀坑,试样腐蚀情况较其

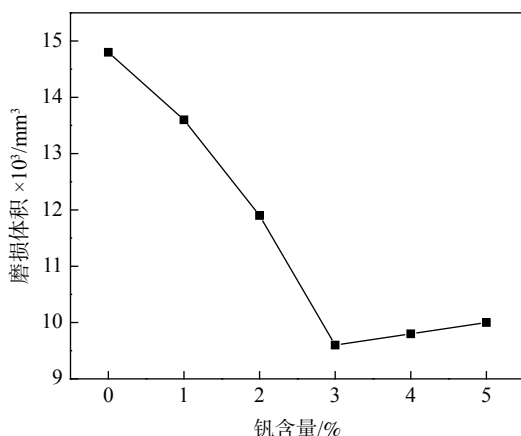
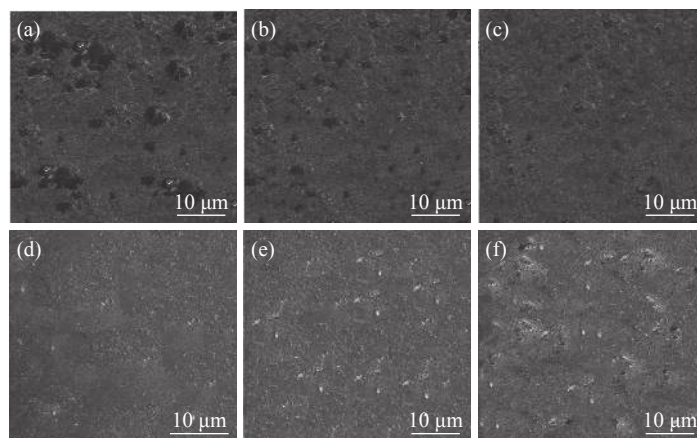


图 2 试样耐磨损性能测试结果

Fig. 2 Wear resistance test results of experimental steels with various vanadium contents

它试样更为严重;添加钒后高速钢腐蚀坑明显减少,试样腐蚀情况明显减轻。此外,当钒含量从 0 增加到 3% 时,试样腐蚀试验后表面仅有细小的腐蚀点,无明显的椭圆形或圆形腐蚀坑,腐蚀现象较其它试

样更为轻微;但当钒含量从 3% 增加到 5% 时,试样表面腐蚀情况有所加重。由此可以看出,钒含量的添加有助于改善 W6Mo5Cr4Vx 高速钢的耐腐蚀性能,但是钒含量并非越高越好。



(a) V 含量 0%; (b) V 含量 1%; (c) V 含量 2%; (d) V 含量 3%; (e) V 含量 4%; (f) V 含量 5%

图 3 试样表面磨损形貌 SEM 照片

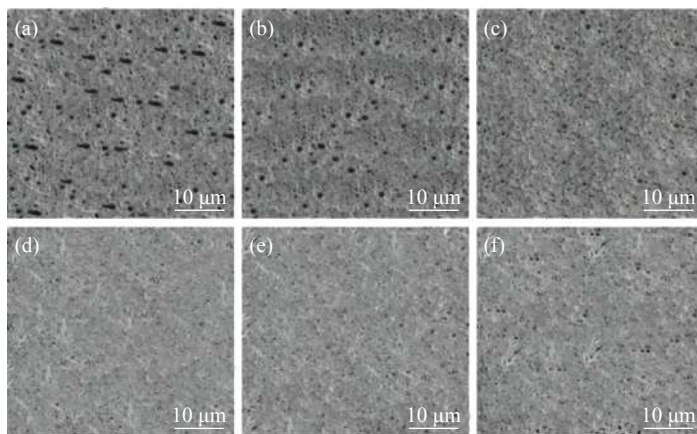
Fig. 3 SEM photos of wear surface morphology of experimental steels with various vanadium contents

表 2 W6Mo5Cr4Vx 高速钢耐腐蚀性能测试结果
Table 2 Corrosion resistance test results of W6Mo5Cr4Vx high speed steel specimens

试样编号	钢中钒含量/%	腐蚀电位/V
试样1	0	-0.724
试样2	1	-0.711
试样3	2	-0.692
试样4	3	-0.667
试样5	4	-0.672
试样6	5	-0.679

随着钒含量的增加, W6Mo5Cr4Vx 高速钢的耐磨损和耐腐蚀性能均呈现出先提高后下降的变化趋

势;从提高 W6Mo5Cr4Vx 高速钢的耐磨损和耐腐蚀性能出发,钒含量优选为 3%。这主要是因为钒加入到 W6Mo5Cr4Vx 高速钢中,形成的含钒碳化物有助于细化晶粒;当钒含量过低时,晶粒细化效果不够显著,难以显著提高 W6Mo5Cr4Vx 高速钢的耐磨损和耐腐蚀性能;当钒添加到合适含量时,晶粒细化效果显著,含钒碳化物呈网状或近似网状地均匀分布在钢中,从而显著改善 W6Mo5Cr4Vx 高速钢的耐磨损和耐腐蚀性能;但是当钒含量添加过多时,容易形成粗大的含钒碳化物,导致高速钢的耐磨损和耐腐蚀性能非但没有进一步提高,反而出现了下降。



(a) V 含量 0%; (b) V 含量 1%; (c) V 含量 2%; (d) V 含量 3%; (e) V 含量 4%; (f) V 含量 5%

图 4 试样腐蚀形貌 SEM 照片

Fig. 4 SEM photos of the samples after corrosion test

3 结论

1) 添加钒有助于提高 W6Mo5Cr4Vx 高速钢的耐磨损和耐腐蚀性能, 随着钒含量从 0 增加至 5%, 钢的耐磨损和耐腐蚀性能均先提高后下降。

2) 为提高 W6Mo5Cr4Vx 高速钢的耐磨损和耐

腐蚀性能, 钒含量优选为 3%。

3) 与不添加钒相比, W6Mo5Cr4Vx(x=3) 高速钢的磨损体积从 $14.8 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ 减小至 $9.6 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$, 减小了 $5.2 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$; 腐蚀电位从 -0.724 V 正移至 -0.667 V , 正移了 57 mV 。

参考文献

- [1] Liu Zhiqiang, Cao Huanjun, Zheng Xiping, *et al.* Research and application of high vanadium high speed steel[J]. Hot Working Technology, 2014, 43(16): 23–26.
(刘志强, 曹环军, 郑喜平, 等. 高钒高速钢的研究与应用[J]. 热加工工艺, 2014, 43(16): 23–26.)
- [2] Liu Dongdong, Zhang Guoshang, Wei Shizhong, *et al.* Investigation of wear performance of high vanadium high speed steel[J]. Foundry Technology, 2013, 34(2): 135–137.
(刘冬冬, 张国赏, 魏世忠, 等. 高钒高速钢磨损性能的研究现状[J]. 铸造技术, 2013, 34(2): 135–137.)
- [3] Wang Qiming, Cheng Guoguang, Huang Yu. Morphology and precipitation mechanism of large carbides in M2 high speed steel[J]. Iron & Steel, 2018, 53(1): 65–71.
(王启明, 成国光, 黄宇. M2 高速钢大尺寸碳化物的形貌特征及析出机理[J]. 钢铁, 2018, 53(1): 65–71.)
- [4] Xue Qi, Yi Cheng, Zhou Yi, *et al.* Effect of quenching temperature on friction and wear properties of high vanadium high speed steel[J]. Heat Treatment of Metals, 2017, 42(11): 156–160.
(薛屹, 易诚, 周毅, 等. 淬火温度对高钒高速钢摩擦磨损性能的影响[J]. 金属热处理, 2017, 42(11): 156–160.)
- [5] Kou Guofu, Yan Xianguo, Feng Zhiyang, *et al.* Research on wear mechanism of W6Mo5Cr4V2 high speed steel taps based on cryogenic and passivation technology[J]. Tool Engineering, 2017, 51(3): 26–28.
(寇国富, 闫献国, 冯志阳, 等. 基于深冷和钝化工艺的 W6Mo5Cr4V2 高速钢丝锥磨损机理的研究[J]. 工具技术, 2017, 51(3): 26–28.)
- [6] He Shijian. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of high speed steel cutter for machine tool[J]. Hot Working Technology, 2017, 46(12): 215–217, 221.
(何时剑. 热处理对机床用高速钢刀具组织和力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2017, 46(12): 215–217, 221.)
- [7] He Xing, Li Yanzheng, Lei Xionghui, *et al.* Effect of heat treatment process on microstructure and properties of CM2 high speed steel[J]. Shanghai Metals, 2019, 41(1): 66–70.
(何星, 李炎铮, 雷雄辉, 等. 热处理工艺对 CM2 高速钢组织性能的影响[J]. 上海金属, 2019, 41(1): 66–70.)
- [8] Chen Xiang, Zhang Deqiang, Sun Wenqiang, *et al.* Effect of scanning speed on deformation and microstructure of thin plate high-speed steel by laser cladding[J]. Surface Technology, 2019, 48(9): 150–157.
(陈翔, 张德强, 孙文强, 等. 扫描速度对激光熔覆薄板高速钢变形与组织的影响[J]. 表面技术, 2019, 48(9): 150–157.)
- [9] Hou Ximing, Liu Kunfeng, Zeng Xuelan. Influence of heat treatment process on microstructures and mechanical properties of SF9V steel[J]. Foundry Technology, 2015, 36(4): 913–914, 917.
(侯锡铭, 刘坤峰, 曾雪兰. 热处理工艺对 SF9V 高速钢组织及性能的影响[J]. 铸造技术, 2015, 36(4): 913–914, 917.)
- [10] Wang Sheng. Parameters optimization of plastic nylon parts formed by high speed steel turning tool[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2016, 23(2): 162–165.
(王胜. 特制高速钢车刀成形塑料尼龙时工艺参数的优化[J]. 塑性工程学报, 2016, 23(2): 162–165.)
- [11] Chi Hongxiao, Xu Huixia, Fang Feng, *et al.* High temperature mechanical properties of M2 high speed steel[J]. China Metallurgy, 2016, 26(1): 31–34.
(迟宏霄, 徐辉霞, 方峰, 等. M2 高速钢的高温力学性能[J]. 中国冶金, 2016, 26(1): 31–34.)
- [12] Liang Gang, Wang Zhenting. Effect of molybdenum and modification treatment on wear behaviors of high vanadium high speed steel[J]. Journal of Heilongjiang University of Science and Technology, 2014, 24(6): 599–602.
(梁刚, 王振廷. Mo 和变质处理对高钒高速钢耐磨性的影响[J]. 黑龙江科技大学学报, 2014, 24(6): 599–602.)