DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.11.009

Nb、V 对 23CrNi3MoA 钢组织和力学性能的影响

方光锦,张宝荣,汪青芳,张成林,刘　瑜,靳生洪
(西宁特殊钢股份有限公司,青海 西宁 810005)

摘　要：研究了不同含量 Nb、V 元素对 23CrNi3MoA 钢组织和力学性能的影响。结果表明,Nb、V 元素对 23CrNi3MoA 钢均起到超细化的作用。微合金 Nb、V 含量偏高时,均存在碳化物偏聚现象,Nb 的偏聚效果强于 V;加入 0.059%V 时,碳化物均匀弥散分布,钢的强度和塑、韧性较好。

关键词:23CrNi3MoA 钢;晶粒细化;Nb、V 元素;力学性能
中图分类号:TG269　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)11-1171-03

Effect of Elements Nb and V on Microstructure and Properties of 23CrNi3MoA Steel

FANG Guangjin, ZHANG Baorong, WANG Qingfang, ZHANG Chenglin, LIU Yu, JIN Shenghong
(Xining Special Steel Co., Xining 810005, China)

Abstract: The effects of different content of Nb and V on microstructure and mechanical properties of 23CrNi3MoA Steel were studied. The results show that Nb and V elements played an ultra-refined role in 23CrNi3MoA steel. When the content of Nb and V in microalloy is too high, there exists carbide segregation phenomenon, Nb segregation effect is better than V. When 0.059%V is added, the carbide is evenly dispersed and the steel has good strength, plasticity and toughness.

Key words: 23CrNi3MoA steel; grain refinement; Nb, V elements; mechanical properties

23CrNi3MoA 钢属 Cr-Ni 一 Mo 系列合金钢,该钢是现代钎具产品的理想材料[1],特殊的服役环境对钎具产品的质量提出很高的要求,不仅要求表面具有足够高的硬度和耐磨性、耐蚀性,心部也要求具备较高的屈服强度和韧性[2],然而,在服役过程中,23CrNi3MoA 钢往往出现韧性很低且易发生脆断的情况,缩短了钎具的使用寿命,降低凿岩工作效率,给生产造成了巨大损失[3]。研究表明,在常温下细晶粒金属具有高的强度、硬度,良好的塑性、韧性。主要因为细晶粒受到外力时,产生塑性变形可分散在更多的晶粒内进行,塑性变形相对较均匀,应力集中较小;此外,晶粒越细小,晶界面积则越大,晶界越曲折,越不利于裂纹扩展[4]。因此,本文加入 Nb、V 元素对 23CrNi3MoA 钢进行变质处理,形成大量弥散分布质点增加非均质形核,细化晶粒。通过金相显微组织、拉伸试验、室温夏比冲击试验、洛氏硬度测试的手段,探究加入不同含量 Nb、V 元素对 23CrNi3MoA 钢显微组织和性能演变规律。

收稿日期:2019-05-06
作者简介:方光锦(1984-),江苏沭阳人,工程师,硕士研究生.主要从事特殊钢产品管理方面的工作.
电话:18797014329

1　试验材料及试验方法

本试验原材料为 23CrNi3MoA 钢,通过感应电炉加入 Nb、V 元素重新冶炼 4 炉 23CrNi3MoA 钢,重新熔炼后的 4 炉钢编号及化学成分见表 1。

表1 23CrNi3MoA钢化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of 3CrNi3MoA steel

编号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	V	Mo
1#	0.24	0.19	0.65	0.014	0.005	1.29	3.05	-	0.092	0.28
2#	0.23	0.16	0.63	0.013	0.002	1.33	3.01	0.061	-	0.26
3#	0.24	0.25	0.64	0.012	0.003	1.30	3.06	0.090	-	0.28
4#	0.24	0.30	0.69	0.016	0.007	1.31	3.04	-	0.059	0.30

将熔炼后的 23CrNi3MoA 钢棒材加工成标准金相试样进行渗碳晶粒度及奥氏体晶粒度检验,渗碳工艺为 930 ℃保温 6 h,随炉冷却;奥氏体晶粒度热处理温度为 900、930、960 ℃,保温 1 h,水淬。

拉伸试验、冲击韧度、硬度的检测试样均由钢材锯切而来,按照试验标准,对试样进行处理。在万能试验机上进行拉伸试验;摆锤式冲击试验机上进行冲击韧度试验;在洛氏硬度计上进行硬度测量。

2　试验结果及分析

2.1　Nb、V 微合金元素对晶粒度的影响

按照上述试验方案,在金相显微镜下观察不同

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

合微合金含量下晶粒度，按 GB/6394-2017 评级标准评定，结果见表 2。

表2 晶粒度检测
Tab.2 Grain size test

编号	渗碳(930 ℃)	级别	900 ℃	级别	930 ℃	级别	960 ℃	级别
1#	1	6.90	2	8.60	3	8.59	4	8.53
2#	5	7.27	6	8.74	7	8.80	8	8.73
3#	11	7.35	12	8.90	13	8.77	14	8.61
4#	15	8.10	16	8.64	17	8.74	18	8.72

从评级结果来看，Nb、V 加入后均达到细化晶粒的效果，渗碳粒度级别低于奥氏体晶粒度。由 1# 与 4# 对比分析，23CrNi3MoA 钢中 0.059%的 V 细化晶粒效果强于含量为 0.092%V，这是因为 V 元素为强碳化物形成元素，且 V 具有很强的偏析倾向。随着 V 含量的增加引起 V(C、N)颗粒偏聚，削弱了细化效果。由 2# 与 3# 对比分析可知，Nb 含量从 0.061%增加至 0.090%时，晶粒细化效果相当。由 2#、3#、4# 对比分析可知，钢中加 V 的细化效果优 Nb。根据 M. Enomoto 等的研究表明，Nb、V 元素各自在 FCC-Fe 晶界的偏聚能，计算出的 Nb、V 杂质形成能与晶界偏聚能，Nb 元素比 V 元素更容易在偏聚在晶粒的晶界或晶内高能区，Nb 的偏聚效应强于 V[5-7]。图 1 为 930 ℃保温 1 h 后检测的奥氏体晶粒度，从图 1 的 1#-4# 晶粒照片看出，微量元素对 Nb、V 钢晶粒细化作用效果显著，4# 试样整个视场中晶粒尺寸＜10 μm 的晶粒占比达到 95%。

2.2 Nb、V 微合金元素对力学性能影响

2.2.1 力学性能

对 23CrNi3MoA 钢棒材采取整体热处理后，机加工成标准拉伸、冲击试样进行力学性能检验，热处理制度为：920 ℃淬火+油冷，200 ℃回火+空冷。检测结果如图 2 所示。可以看出，V 含量为 0.092%时，棒材的抗拉强度、屈服强度、延伸率均偏低，冲击功、面缩率较高；Nb 含量波动时，力学性能变化幅度较窄。综合考虑来看，V 含量为 0.059%时的棒材的力学性能较优越，这是因为含微量 V 合金钢中，V 析出起到钢沉淀强化效果且同时保证钢材的塑性冲击功，即与 Nb 相比，V 的强化耦合作用较强[8]。

2.2.2 洛氏硬度

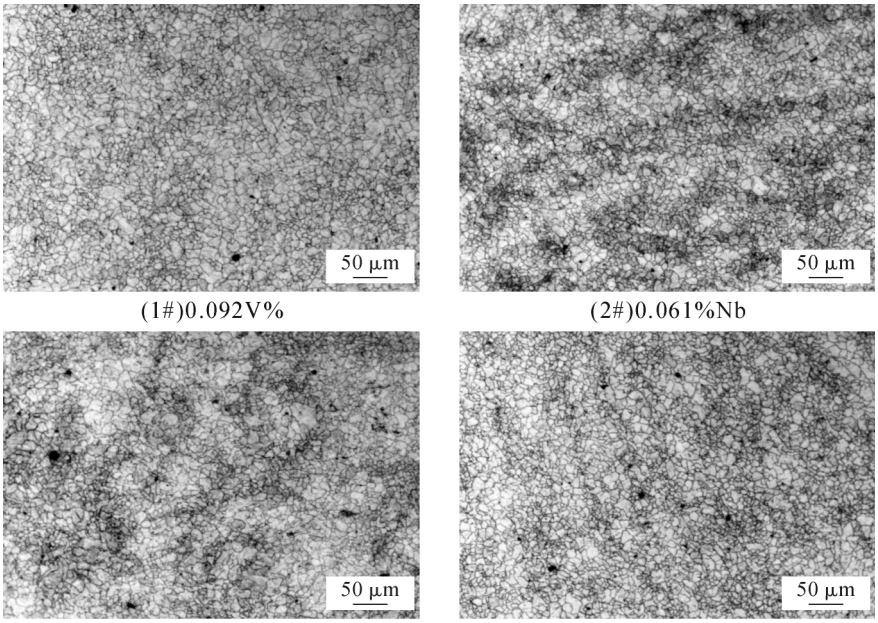
对冲击后的试样进行硬度检测，每个试样沿中心线等距离测 6 个点进行统计分析，洛氏硬度检测结果见表 3。

表 3 洛氏硬度（HRC）
Tab.3 Rockwell Hardness

编号	1	2	3	4	5	6	平均值
1#	40.4	40.7	41.1	40.8	41	41.3	40.9
2#	42.3	42.7	43.3	42.1	42.2	42	42.4
3#	43.5	43.4	44	43	42.7	42.9	43.3
4#	41.9	41.9	43.8	42	41.8	41.7	42.2

由表 3 硬度检测结果可以看出，当钢中加入 0.061%Nb 时，硬度值为 42.4 HRC；0.090%Nb 时，硬度值为 43.3 HRC，随着 Nb 含量升高硬度值增加2.1%，当加入 0.059%V 时，硬度值为 42.2 HRC，0.92%V 时硬度值为 40.9 HRC。从硬度分布变化整体来看，加 Nb 后的硬度稍高于加 V。

2.2.3 显微组织



(1#)0.092V%　(2#)0.061%Nb

(3#)0.090Nb　(4#)0.059%V

图 1 奥氏体晶粒度(930℃)
Fig.1 Austenite grain size (930 ℃)

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

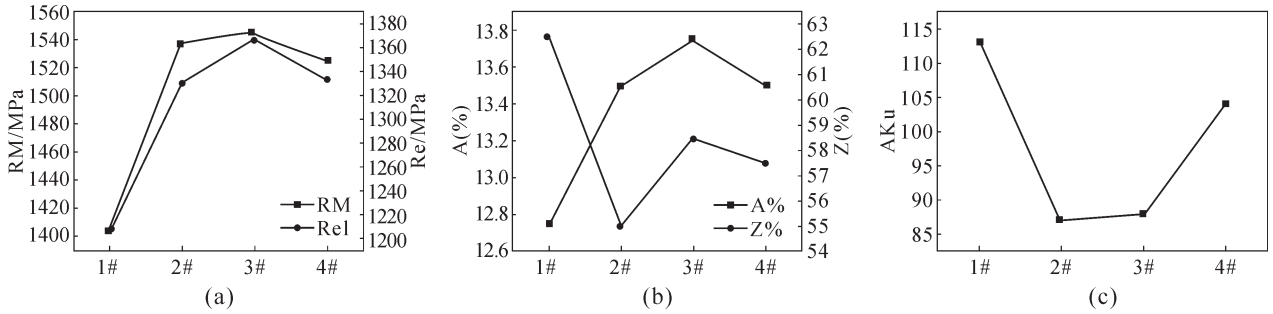


图 2　Nb、V 含量对 23CrNi3MoA 钢力学性能影响

Fig.2　Effect of Nb and V content on mechanical properties of 23CrNi3MoA Steel

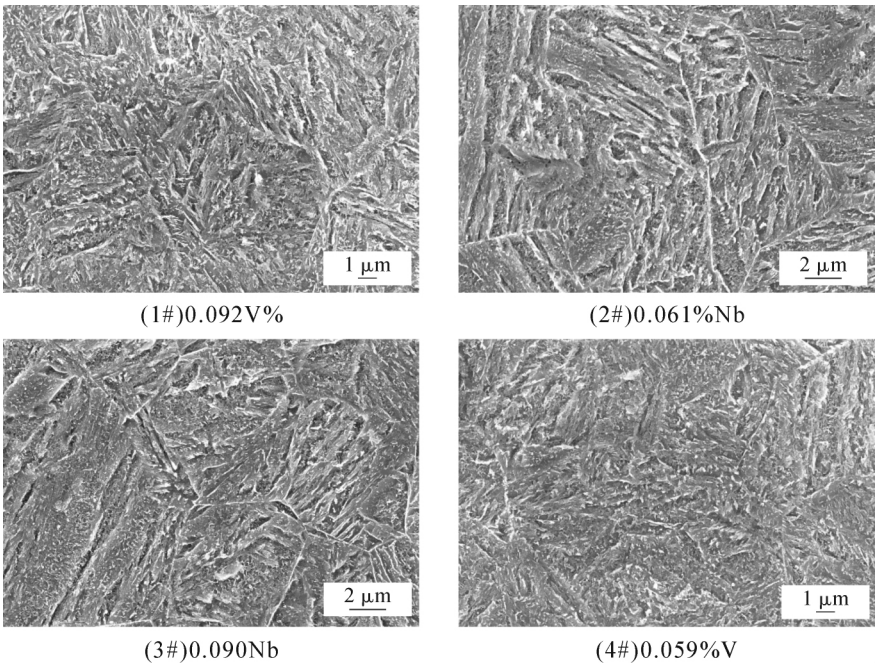


图 3　显微组织

Fig.3　Microstructure of 23CrNi3MoA Steel

经调质处理后，Nb、V 微合金化的显微组织如图 3 所示，由图可知，23CrNiMo 钢低温回火后组织为回火马氏体+细质点状碳化物组织。1# 和 4# 图片对比可知，0.59%V 中碳化物析出弥散分布较均匀，0.092V%中碳化物部分偏聚在马氏体板条束附近；2# 和 3# 图片中碳化物偏聚于晶粒内，部分区域无碳化物析出。

3　结论

（1）Nb、V 微合金化均对 23CrNi3MoA 钢起到超细化作用，奥氏体化温度达到 960 ℃是依然能保持 8.50 级以上的细晶粒。

（2）V 析出起到钢沉淀强化效果且同时保证钢材的塑性冲击功，即与 Nb 相比，V 的强化耦合作用较强。

（3）V 元素为强碳化物形成元素，具有很强的偏析倾向，随着 V 含量的增加引起 V（C、N）颗粒偏聚，削弱了细化效果，适量 V 的加入，既起到提高强度又具有良好的塑韧性。

参考文献：

[1]　代利，杨晓，雷旻. 23CrNi3Mo 钢的连续冷却转变曲线[J]. 金属热处理，2017，42(3):15-17.

[2]　黄斌，周乐育，刘雅政，等. 23CrNi3Mo 钢钎具断裂失效分析[J]. 金属热处理，2014，39(5):145-149.

[3]　闫永明. 冷却方式对 23CrNi3Mo 渗碳钢组织结构的影响 [J]. 金属热处理，2016，41(7):134-138.

[4]　徐海卫，杨王玥，孙祖庆. 基于动态相变的细晶双相低碳钢组织控制[J]. 金属学报，2006，42(10):1101-1108.

[5]　陶春国，王冰，冯义成，等. 钒含量对 ZG28MnCrNiMo 组织和性能的影响[J]. 铸造技术，2012，33(10):1153-1155.

[6]　陈雷雷，周雪峰，方峰，等. V 含量对 D2 钢组织与性能的影响[J]. 材料热处理学报，2017，38(1):71-76.

[7]　Enomoto M, Nojiri N, Sato Y. Effects of vanadium and niobium on the nucleation kinetics of proeutectoid ferrite at austenite grain boundaries in fe-c and fe-c-mn alloys [J]. MATERIALS TRANSACTIONS- JIM, 1994, 35(12): 859-867.

[8]　林丽红，宋季耘. 合金元素 V 对 82B 高碳钢组织与性能的影响[J]. 铸造技术，2018，39(6):1215-1217.

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