

Nb 元素对 650 MPa 级高强钢组织和性能的影响

李 钊¹, 刘 妍¹, 宿 成¹, 刘朋成¹, 赵莉萍², 陈建华¹

(1. 内蒙古包钢稀土钢板材公司有限责任公司, 内蒙古 包头 014010;

2. 内蒙古科技大学 材料与冶金学院, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章以 650 MPa 级结构钢热轧卷板为研究对象, 讨论了不同含量的 Nb 元素对高强钢组织和性能的影响。数据显示, Nb 含量降低 0.010%, 高强结构钢屈服强度下降约 15 MPa, 抗拉强度下降约 25 MPa, 延伸率上升约 1 个百分点。对比透射电镜下的显微组织得出, 含铌钛高强钢中, 细小椭圆形析出物富含 Nb 元素, 方形析出物富含 Ti 元素。

关键词: 高强结构钢; 铌元素; 析出物形貌; 产品强度

中图分类号: TG13.5⁺

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2022)02-0063-04

Effects of Nb on Microstructure and Properties of 650 MPa Grade High Strength Steel

Li Zhao¹, Liu Yan¹, Su Cheng¹, Liu Peng-cheng¹, Zhao Li-ping², Chen Jian-hua¹

(1. Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth Steel Plate Co., Ltd., Baotou 014010,

Inner Mongolia Autonomous Region, China;

2. School of Materials and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology,

Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In this paper, the effects of Nb with different contents on the microstructure and properties of high strength steel are discussed by taking the hot rolled coils with 650 MPa grade structural steel as research object. The data showed that the yield strength of high strength structural steel reduced by about 15 MPa, tensile strength reduced by about 25 MPa and elongation rate increased by about 1 percentage point with reducing content of Nb by 0.010%. It is found that the fine oval precipitates are rich in Nb and square precipitates are rich in Ti in the high strength steel containing niobium and titanium by comparing the microstructures with transmission electron microscope.

Key words: high strength structural steel; Nb; morphology of precipitate; product strength

钢铁行业发展在国民经济和社会发展中发挥了重要作用,但是受能源短缺、环境污染等问题的影响,钢铁行业发展过程中矛盾日益突出。展望未来,钢铁行业只有建立在自然、生态、节能、低碳等背景下,才可持续发展。在此背景下,提高钢材强度、减

小钢材厚度实现轻量化,成为了重要的发展方向。但随着高强钢板强度的提升,其韧性变差,容易发生变形开裂现象,Nb 元素的添加能够明显改善这一问题。Nb 元素是提高钢材强韧性最为有效的合金元素之一^[1-2]。这是由于在控轧控冷过程中,铌能产

生显著的细晶强化和析出强化作用,最突出的作用是抑制高温变形过程的再结晶,扩大了奥氏体未再结晶区的范围,有利于实施控制轧制工艺。铌微合金化与控制轧制和控制冷却技术的有机结合成为高强高韧钢发展的主要研究方向。

本文以 650 MPa 级结构钢热轧卷板为研究对象,对其工业化生产工艺流程进行了阐述,通过添加不同含量的 Nb 元素,分析了 Nb 元素对高强结构钢组织和性能的影响,为含 Nb 高强钢热轧板带的批量生产提供了技术支持。

1 生产工艺流程

650 MPa 级高强结构钢热轧卷板工业化生产的

表 1 650 MPa 级高强结构钢化学成分(质量分数)

C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Al _i	Ca
0.06~0.08	≤0.15	1.50~1.70	≤0.018	≤0.005	0.020~0.030	0.050~0.070	0.020~0.050	0.001 0~0.003 0

1.1.2 冶炼要求

冶炼用铁水需经 KR 脱硫处理,要求入转炉铁水硫含量不高于 0.010%,脱硫渣扒清面积大于 90%。

转炉控制出钢温度不低于 1 620 ℃,保证成分与温度协调出钢。

LF 炉精炼造渣脱氧、脱硫,加入钛铁、铌铁、锰铁等进行合金化。

1.1.3 连铸工艺

表 2 为 650 MPa 级高强结构钢连铸工艺参数。铸机采用恒拉速控制,拉速范围为 1.0~1.5 m/min。铸坯低倍组织检验执行标准 YB/T 4003—2016^[3],连铸坯偏析不得大于 B 类 2.0 级,中心疏松不得大于 1.5 级。

表 2 连铸工艺参数

铸坯厚度/mm	过热度/℃	
	第一炉	其它
230	25~40	15~30

1.2 热轧工艺

表 3 为 650 MPa 级高强结构钢热轧卷板的热轧工艺参数。为保证合金元素的充分固溶,要求热轧

基本流程为:

高炉铁水→铁水预处理→转炉顶底复吹冶炼→LF 炉外精炼→板坯连铸→缓冷→板坯加热→高压水除鳞→定宽压力机→E1R1 粗轧机轧制→E2R2 粗轧机轧制→飞剪→高压水除鳞→F1—F7 精轧机轧制→加密型层流冷却→卷取→托盘运输→入库→取样、检验→称重、包装。

1.1 炼钢工艺

1.1.1 化学成分

表 1 为强度 650 MPa 级高强结构钢化学成分。

加热炉预热段、加热段以及均热段时间之和不小于 120 min。

表 3 热轧工艺参数

加热炉出炉温度/℃	粗轧中间坯厚度/mm	精轧终轧温度/℃	卷取温度/℃	层冷模式
1 250	40	880	600	前分散 11

2 结果与分析

2.1 Nb 元素对金相组织的影响

在强度 650 MPa 级高强结构钢板板宽 1/2 处取样,图 1 为试样厚度方向 1/4 处和试样厚度方向 1/2 处硝酸酒精腐蚀后的金相组织照片。组织显示,650 MPa 级高强结构钢金相组织含有大量细小弥散的析出物。结合表 1 数据,分析图 1 组织,650 MPa 级结构钢成分中同时含有 Nb 元素和 Ti 元素。从理论上分析,Nb 元素在热轧加热和粗轧高温轧制过程中析出,钉轧奥氏体晶界阻碍原奥氏体晶粒的长大,Ti 元素在热轧卷取相变后铁素体基体中析出,钉轧晶界阻碍晶粒的长大^[4-5]。扫描电镜下无法区分钢中析出物为 Nb 元素的析出物还是 Ti 元素的析出物。

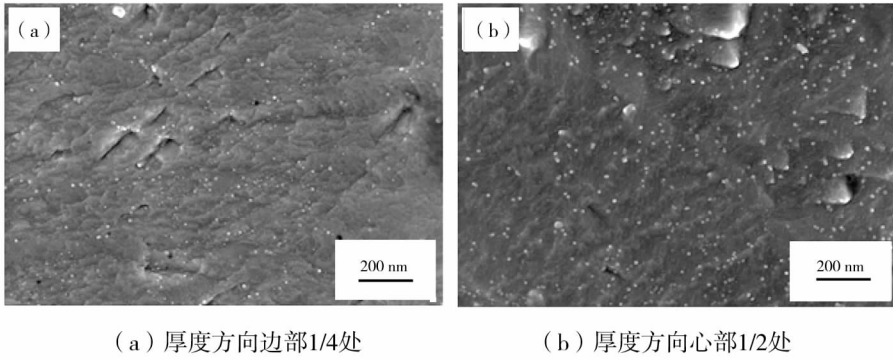


图1 高强结构钢热轧卷板金相组织

图2为高强结构钢相同位置处的试样的TEM照片。透射电镜下放大析出物显示其形貌为椭圆形和方形的第二相析出物。经过对应能谱分析发现含

铌钛高强钢中,细小椭圆形析出物主要富含Nb元素,方形析出物主要富含Ti元素,也有两种的复合析出,这与相关文献表述相一致^[6-7]。

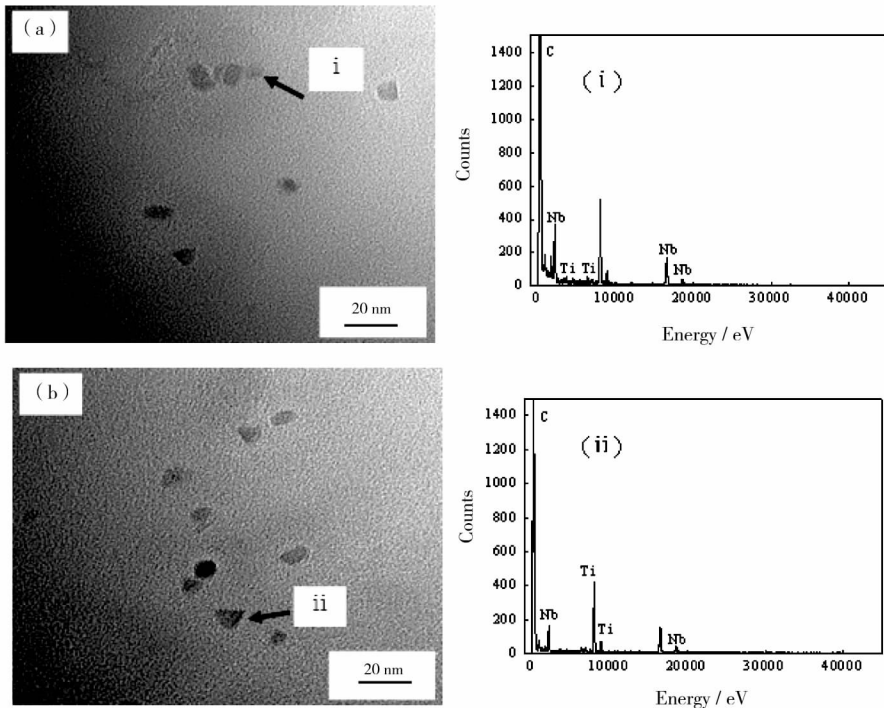


图2 高强结构钢热轧卷板TEM照片

2.2 Nb元素对力学性能的影响

工业生产中,小批量试验微合金化Nb元素对产品性能的影响。分别冶炼2个浇次,1个浇次冶炼9炉钢水,添加目标值0.035%的Nb元素,1个浇次冶炼7炉钢水,添加目标值0.025%的Nb元素。

图3为不同Nb含量对650 MPa级高强结构钢

产品性能的影响。图3中数据显示,降低Nb含量0.010%,屈服强度均值下降约15 MPa,抗拉强度均值下降约25 MPa,延伸率上升约1个百分点。造成这一现象的原因是,降低Nb均值后引起的细化晶粒现象减弱,晶粒变粗大,强度降低,韧性得到提高,延伸率升高。

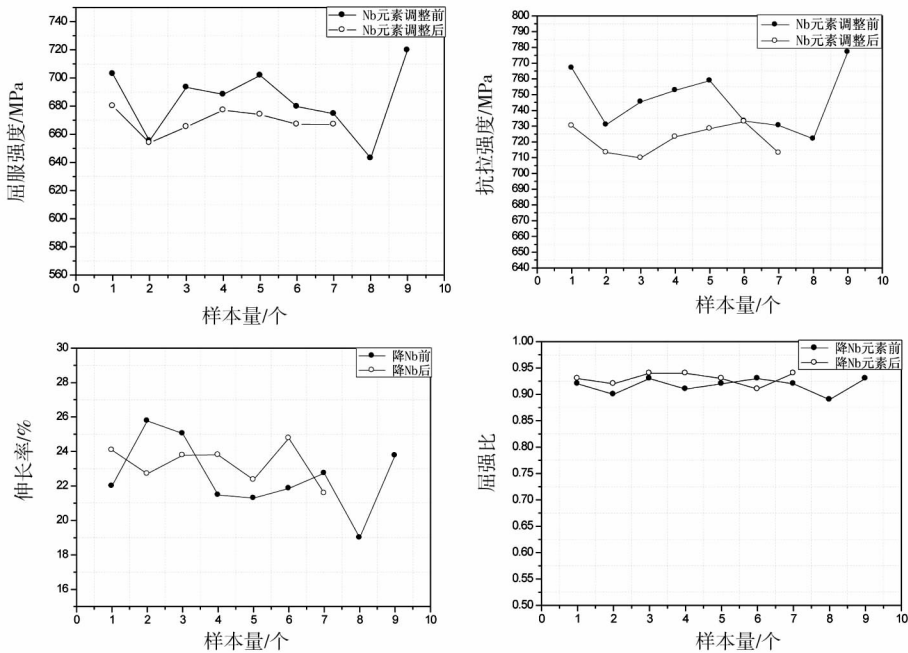


图 3 Nb 含量对产品力学性能的影响

3 结论

(1) 含铌钛高强钢中, 细小椭圆形析出物主要富含 Nb 元素, 方形析出物主要富含 Ti 元素。

(2) 对于高强结构钢热轧卷板, Nb 含量降低 0.010%, 屈服强度下降约 15 MPa, 抗拉强度下降约 25 MPa, 延伸率上升约 1 个百分点。

参 考 文 献

- [1] 付俊岩. Nb 微合金化和含铌钢的发展及技术进步[J]. 钢铁, 2005, 40(8): 1-6, 25.
- [2] 高惠临. 管线钢合金设计及其研究进展[J]. 焊管, 2009, 32(11): 5-12.
- [3] 韩荣东, 陈士华, 栾燕, 等. 连铸钢板坯低倍组

织缺陷评级图[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2017.

- [4] 张修群. TMCP 技术的发展与应用[J]. 化学工程与装备, 2012, (10): 127-129.
- [5] 兰亮云, 邱春林, 赵德文. 高钢级管线钢的常规 TMCP 工艺与 HTP 工艺[J]. 轧钢, 2009, 26(5): 39-42.
- [6] 齐亮, 张迎晖, 汪志刚, 等. X100 管线钢中 Nb 和 Ti 碳氮化物复合析出行为[J]. 材料热处理学报, 2014, 35(11): 75-80.
- [7] 阮红志, 赵征志, 赵爱民, 等. 高钢级 X100 管线钢的组织 and 析出相[J]. 材料热处理学报, 2013, 34(1): 43-48.