

# Ti 微合金化 700 MPa 级大梁钢组织和性能研究

张智刚<sup>1</sup>, 刘 妍<sup>1</sup>, 宿 成<sup>1</sup>, 李 鹏<sup>2</sup>, 徐 龙<sup>1</sup>, 刘德勤<sup>1</sup>

(1. 内蒙古包钢稀土钢板材有限责任公司, 内蒙古 包头 014010;  
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 文章对比分析了低 C + Mn + Ti 和低 C + Mn + Ti + Nb 两种成分设计的 700 MPa 级大梁钢组织和性能, 结果表明, 在相同强度情况下, 单 Ti 微合金化产品和 Nb - Ti 复合微合金化产品塑性相同, 但低温冲击韧性较差, 前者在 -20 °C 发生脆性转变, 而后者在 -50 °C 才发生脆性转变。通过提高粗轧首道次压下量和中间坯厚度有助于改善单 Ti 微合金化大梁钢低温冲击韧性, 使其达到 Nb - Ti 复合微合金化产品控制水平。

**关键词:** Ti 微合金化; Nb - Ti 复合微合金化; 700 MPa 级; 低温韧性; 控轧工艺

中图分类号: TG142.1

文献标识码: B

文章编号: 1009 - 5438(2022)02 - 0042 - 04

## Study on Microstructure and Properties of Ti Microalloyed 700 MPa Grade Beam Steel

Zhang Zhi-gang<sup>1</sup>, Liu Yan<sup>1</sup>, Su Cheng<sup>1</sup>, Li Peng<sup>2</sup>, Xu Long<sup>1</sup>, Liu De-qin<sup>1</sup>

(1. Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth Steel Plate Co., Ltd., Baotou 014010,  
Inner Mongolia Autonomous Region, China;

2. Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010,  
Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** In this paper, the microstructure and properties of 700 MPa grade beam steel with such two composition designs as low C + Mn + Ti and low C + Mn + Ti + Nb are compared and analyzed. The results showed that the plasticity of single Ti microalloyed product and that of Nb - Ti multi - microalloyed product were the same with the same strength, but the low temperature impact toughness of single Ti microalloyed product was poorer so that its brittle transition was at -20 °C, while the brittle transition of Nb - Ti multi - microalloyed product was at -50 °C. It could be improved through increasing the rolling reduction of the first pass of rough rolling and thickness of intermediate billet so as to reach the control level of Nb - Ti multi - microalloyed products.

**Key words:** Ti microalloyed; Nb - Ti multi - microalloyed; 700 MPa grade; low temperature toughness; controlled rolling process

随着国家绿色发展战略的实施, 各行业对钢铁材料的强度提出了越来越高的要求, 极大地推动了高强度钢的发展和应用, 其中 700 MPa 级高强大梁用钢的广

泛应用就是典型。700 MPa 级高强大梁钢作为铁素体型热轧高强度钢, 主要通过微合金化技术提高产品综合性能, 即在钢中添加微量的合金化元素, 如铌、钒、

钛,细化晶粒尺寸和析出第二相提高材料的综合性能<sup>[1-4]</sup>。目前,700 MPa 级高强度大梁钢主要采用铌微合金化技术、钒微合金化技术、铌-钛复合微合金化技术和铌-钒-钛复合微合金化技术。与之相比,钛元素因化学性质活泼容易造成产品塑性差、性能波动大等问题没有得到充分利用,更多的作为一种辅助元素用于铌钒等复合微合金化钢中。近些年,铌铁矿和钒铁矿价格不断攀升,企业生产成本压力越来越大,而我国钛元素储量占世界的 45%<sup>[5]</sup>,充分利用我国钛资源丰富的有利条件开发低成本钛微合金化高强度钢具有重大的经济价值和广阔的应用前景。

本文以 700 MPa 级高强度大梁钢为研究对象,对比分析单 Ti 微合金化和 Nb-Ti 复合微合金化工艺

下组织性能差异,并研究分析控轧工艺对单 Ti 微合金化高强度钢韧性的影响,从而为开发低成本 Ti 微合金化高强度钢提供参考。

## 1 生产工艺

### 1.1 成分设计

试验钢使用两种成分设计。试验钢 A 和 B 为 Ti 微合金化 700 MPa 级大梁钢,即采用低 C + Mn + Ti 成分路线。为对比 Ti 微合金化 700 MPa 级大梁钢与 Nb-Ti 复合微合金化 700 MPa 级大梁钢组织性能差异,将试验钢 C 作为比对产品,其成分采用 C + Mn + Nb + Ti 路线。试验钢 N 含量均控制在 0.006 0% 以下,试验钢具体化学成分见表 1。

表 1 试验钢化学成分(质量分数)

试验钢	C	Si	Mn	P	S	Al <sub>i</sub>	Nb	Ti	N
A 和 B	0.07	0.07	1.38	≤0.015	≤0.005 0	0.033		0.10	≤0.006 0
C	0.07	0.07	1.38	≤0.015	≤0.005 0	0.040	0.03	0.09	≤0.006 0

### 1.2 热轧工艺

试验钢 A、B 和 C 炼钢生产工艺相同,经 KR 铁水脱硫预处理、转炉顶底吹炼、LF 精炼、RH 精炼和连铸处理形成高纯净连铸坯。RH 工序处理期间真空度要求不大于 260 Pa,循环脱气时间不低于 7 min。浇注过程中采用连铸坯轻压下技术控制中心偏析,铸坯规格为 230 mm × 1 500 mm。

试验钢铸坯通过 2 250 mm 热连轧机组轧制成钢卷,规格为 6.0 mm × 1 500 mm,控轧控冷工艺参

数见表 2。板坯经步进式加热炉加热,出炉温度控制在 1 250 ~ 1 270 °C;粗轧采用 6 道次模式轧制,试验钢 A 和 C 粗轧首道次压下量控制为 30 mm,中间坯厚度控制为 39 mm,试验钢 B 粗轧首道次压下量控制为 32 mm,中间坯厚度控制为 43 mm;精轧采用 7 道次模式轧制,精轧终轧温度控制在 835 ~ 855 °C;随后采用前集中层流冷却方式即在 20 ~ 30 °C/s 的冷却速度将钢卷均匀冷却在 600 ~ 610 °C 进行卷取。

表 2 试验钢控轧控冷工艺参数

试验钢	出炉温度/°C	粗轧首道次压下量/mm	中间坯厚度/mm	终轧温度/°C	卷取温度/°C	冷却速度/°C
A	1 250 ~ 1 270	30	39	835 ~ 855	600 ~ 610	20 ~ 30
B	1 250 ~ 1 270	32	43	835 ~ 855	600 ~ 610	20 ~ 30
C	1 250 ~ 1 270	30	39	835 ~ 855	600 ~ 610	20 ~ 30

### 1.3 取样检测

试验钢热轧卷尾部去除 5 m 后切取样板,在样板 1/4 位置加工制备垂直轧制方向的拉伸试样、平行轧制方向的金相试样和冲击试样。拉伸试样宽度为 20 mm,标距为  $L_0 = 5.65 \sqrt{s_0}$ ,在 SCL130X 型 500 kN 拉伸试验机上测定下屈服强度、抗拉强度和延伸率;冲击试样尺寸为 5.0 mm × 5.0 mm ×

55 mm,V 型缺口,在冲击试验机测定系列温度冲击吸收功;金相试样经研磨、抛光后用 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀观察金相组织。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 拉伸性能结果及分析

试验钢 A、B 和 C 力学性能检测结果见表 3。

试验钢 A、B 和 C 力学性能满足 700 MPa 级大梁钢标准 Q/BG 560—2018 要求,且 180°冷弯后外表面没有明显裂纹。试验钢 A 和 C 抗拉强度分别为 779 MPa 和 780 MPa,延伸率分别为 22.3% 和 21.3%,结果表明,在相同强度下单 Ti 微合金化 700 MPa 级大梁钢与 Nb-Ti 复合微合金化 700 MPa 级大梁钢塑性没有明显差异。试验钢 A 和 B 抗拉强度分别为 779 MPa 和 772 MPa,延伸率分别为 22.3% 和 23.9%,结果表明,增加粗轧首道次压下量和中间坯厚度对 Ti 微合金化 700 MPa 级大梁钢强度没有明显影响。

表 3 不同生产工艺下 700 MPa 级大梁钢拉伸和弯曲性能

试验钢	力学性能			180°冷弯 $D = 2a$
	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	延伸率 /%	
A	723	779	22.3	合格
B	710	772	23.9	
C	716	780	21.3	

## 2.2 冲击韧性结果及分析

试验钢 A、B 和 C 系列温度冲击功检测结果见图 1。由图 1 可知,0 °C 以上,试验钢 A、B 和 C 冲击吸收功基本相同,没有明显差异。随温度降低,试验钢 A 的冲击功降幅最大,-40 °C 冲击功仅为 30 J。

试验钢 B 和 C 冲击功随温度降低同样减小,但较试验钢 A 降幅明显减小,-40 °C 冲击功仍有 50 J,试验钢 C 冲击韧性整体优于试验钢 B。根据试验钢 A、B 和 C 系列温度冲击吸收功结果可知,强度相同情况下,Nb-Ti 复合微合金化 700 MPa 级大梁钢拥有良好的低温冲击韧性,而单 Ti 微合金化 700 MPa 级大梁钢低温冲击韧性表现较差。提高粗轧首道次压下量和中间坯厚度有助于提高单 Ti 微合金化 700 MPa 级大梁钢低温韧性,使其接近 Nb-Ti 复合微合金化同级别产品。

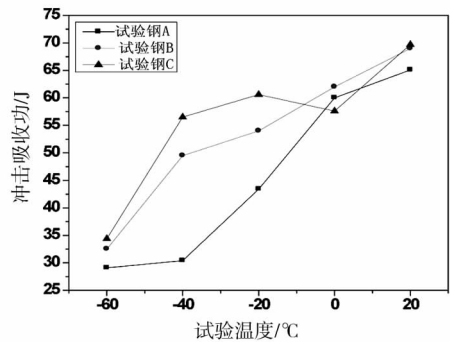


图 1 不同生产工艺 700 MPa 级大梁钢系列温度冲击吸收功

## 2.3 金相组织及分析

试验钢 A、B 和 C 放大 500 倍显微组织见图 2。

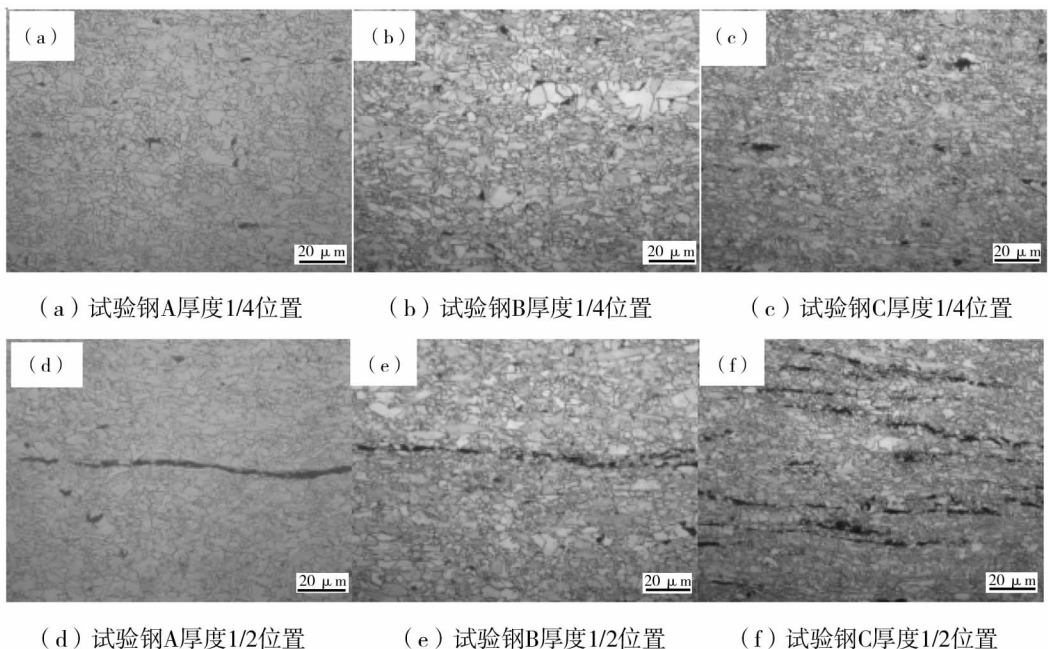


图 2 不同生产工艺 700 MPa 级大梁钢显微组织

试验钢 A、B 和 C 显微组织均为铁素体和少量珠光体,铁素体呈多边形,珠光体呈带状,主要分布在厚度 1/2 位置。产品晶粒尺寸由大到小依次为试验钢 A、试验钢 B、试验钢 C。进一步对比发现,试验钢 A 厚度 1/2 位置和 1/4 位置晶粒尺寸存在明显差异,厚度 1/2 位置晶粒尺寸明显增大,见图 2(a)和图 2(d),而试验钢 B 和 C 厚度 1/2 位置和 1/4 位置晶粒尺寸基本相同,见图 2(b)、图 2(c)、图 2(e)和图 2(f)。上述结果表明,Nb-Ti 复合微合金化 700 MPa 级大梁钢中添加的 Nb 元素不仅使产品晶粒得到细化,而且使晶粒尺寸在厚度方向得到均匀控制。单 Ti 微合金化 700 MPa 级大梁钢可通过提高粗轧首道次压下量和中间坯厚度,替代 Nb 元素实现细化晶粒的效果。

### 3 结论

(1)同一强度下,单 Ti 微合金化 700 MPa 级大梁钢的塑性与 Nb-Ti 复合微合金设计产品基本一致。

(2)增大粗轧首道次压下量和中间坯厚度有助

于提高单 Ti 微合金化 700 MPa 级大梁钢低温韧性,使其达到 Nb-Ti 复合微合金化 700 MPa 级大梁钢的控制水平。

### 参 考 文 献

- [1] 郑磊,刘柱,李占强.普阳钢铁汽车大梁钢 700L 的研制开发[J].中国金属通报,2021,(4):131-132.
- [2] 唐小勇,管传华,左鹏,等.汽车大梁钢 700L 的研制开发[J].浙江冶金,2019,(4):16-18.
- [3] 师可新.700 系列大梁钢薄规格板卷的开发轧制[J].天津冶金,2020,(6):34-37.
- [4] 李永亮,王福明,李长荣,等.钕对高强度汽车大梁钢组织细化的影响[J].工程科学学报,2016,38(8):1 108-1 114.
- [5] 汪云辉,董继亮,王海龙,等.600 MPa 级钛微合金化钢带生产实践[J].山西冶金,2016,39(3):16-18.

(上接第 21 页)

在更换剪刀时不断的进行测量及修正,通过多次测量和校验,找出最佳的剪刀间隙量基础值,进行标零设定,进而减少测量误差影响。通过制定标准化作业指导书,细化标零步骤,减少人为干预。在标零过程中保证剪刀重叠量和间隙量误差在 0.05 ~ 0.10 mm 范围内。为保证间隙量和重叠量在此范围内对剪刀的平直度和圆度均有要求。

如在生产深冲钢等质地较软的钢时可选用硬度大一些的剪刀利于剪切,生产强度大的钢带时可选用硬度小一些的剪刀避免崩刃。在更换剪刀时将轴套、剪刀、压环间的碎屑及异物清理干净再进行更换,保证剪刀拆解和装配的质量;在磨削剪刀时,按照“少进给量多次”的原则进行磨削,并在磨削后对剪刀不同位置进行硬度测试,对硬度异常点进行探伤,保证磨削质量,制定合理单次磨削量。

### 4 结束语

通过对圆盘剪剪切理论的研究及轧后质量的反

馈,间隙量及重叠量的调整是影响圆盘剪剪切后冷轧板带边部质量的主要因素,且在调整时需要考虑钢带化学成分带来的影响。剪刀磨削、更换、及标定等对切边效果也有一定的作用。通过对切边缺陷分析,制定对策,可减少圆盘剪切边工作时的故障率,提高切边生产稳定性,提高切边质量。

### 参 考 文 献

- [1] 介升旗,吕宏伟,刘丽.圆盘剪纵剪钢带边缘质量影响因素[J].焊管,2010,33(5):60-63.
- [2] 吴公平,王建文,马铭.圆盘剪工艺改进[J].科技创新与应用,2017,(27):51-53.
- [3] 魏玉鹏,张晓伟.切边圆盘剪剪刀侧隙和重叠量的调整[J].设计与计算,2012,(4):13-15.