

## 铌微合金化 400 MPa Ⅲ级钢筋的开发

任一峰 吴小林 承江 顾国明  
(江阴兴澄特种钢铁有限公司, 江阴 214400)

**摘 要** 采用 40 t EBT 电弧炉-40 t LF-150 mm×150 mm 方坯连铸工艺, 开发了成分(%)为: 0.17~0.25C, 1.20~1.45Mn, 0.02~0.04Nb 的 400 MPa Ⅲ级 Φ10~25 mm 铌微合金化钢筋。钢筋的力学性能为  $\sigma_s$  420~490 MPa,  $\sigma_b$  590~680 MPa;  $\delta_5$  24%~30%, 自然时效 8 周后屈服强度下降较少。生产的 Nb 微合金化 400 MPa Ⅲ级钢筋符合 GB1499-1998 标准要求。用 0.02%~0.04%Nb 取代 0.05%~0.10%V 时, 吨钢成本显著降低。

**关键词** 铌微合金化 400 MPa Ⅲ级钢筋 开发

## Development of Nb Microalloying 400 MPa Ⅲ Grade Steel Reinforced Bar

Ren Yifeng, Wu Xiaolin, Cheng Jiang and Gu Guoming  
(Jiangyin Xingcheng Special Iron and Steel Co Ltd, Jiangyin 214400)

**Abstract** The Φ10~25 mm reinforced bars of Nb microalloying 400 MPa Ⅲ Grade steel - 0.17~0.25C, 1.20~1.45Mn, 0.02~0.04Nb have been developed by 40 t EBT arc furnace- 40 t LF- 150 mm×150 mm billet concasting process. The mechanical properties of reinforced bars were  $\sigma_s$  420~490 MPa,  $\sigma_b$  590~680 MPa,  $\delta_5$  24%~30%, and the yield strength decreasing was minor after nature aging for 8 weeks. The produced Nb microalloying 400 MPa Ⅲ grade steel reinforced bars were up to the requirement of GB 1499-1998 standard and the production cost was obviously decreasing by 0.02%~0.04% Nb to replace 0.05%~0.10% V.

**Material Index** Nb Microalloying, 400 MPa Ⅲ Grade Reinforced Bar, Development

HRB400 Ⅲ级钢筋以其强度高、性能稳定、安全储备大、抗热震性能好、节省钢材(比Ⅱ级钢筋省 14%~16%)等优点, 正逐步淘汰传统的 20-MnSi, 作为今后主流建筑钢筋。由于达到同样的强化效果, Nb 微合金化的用量仅需 V 量的一半(表 1)。兴澄公司自 1996 年试制成功 20MnSiV 以来, 一直以此生产 HRB400 Ⅲ级钢筋, 近来随着钒铁价格的不断上涨, 于 2004 年 10 月起试验开发 Nb 微合金化Ⅲ级螺纹钢。

表 1 钒微合金化和铌微合金化钢筋的化学成分/%  
Table 1 Chemical compositions of V microalloying and Nb microalloying steel Reinforced bars /%

钢种	C	Mn	Si	V	Nb
钒钢	0.17~0.25	1.20~1.60	0.30~0.70	0.05~0.10	-
铌钢	0.17~0.25	1.20~1.45	0.35~0.60	-	0.02~0.04

### 1 铌微合金化 400 MPa Ⅲ级钢筋的成分和冶炼

大规格的 C、Mn、Si 含量中上限控制、小规格中下限控制, 但需注意 Mn 控制在中限为宜。据

有效性和最小量的原则把 Nb 含量定为 0.02%~0.04%, 目标值 0.03%。并且 Nb、Ti 复合微合金化更能发挥效果, 按 0.01% 加入 Ti。以 Ti 固 N, 用 Nb 固 C, 以期尽量减少时效强度损失。

铌微合金化 400 MPa Ⅲ级钢筋的化学成分见表 1。炼钢采用 40 t EBT-40 t LF-R6 m CC 150 mm×150 mm 方坯的工艺路线。尽量多加铁水, 以减少残余元素含量和获得较充分的净沸腾时间进行脱氮。EBT 出钢时钢包内合金化, Ar 气搅拌, LF 快速调整成分, 成分按规格内控以利性能稳定。连铸过热度控制在 < 50 ℃, 拉速 < 2.5 m/min, 适当控制铸坯冷却强度以保证含铌钢的表面质量。

### 2 铌微合金钢筋的轧制

加铌螺纹钢走 1# 线轧制: 3.2 m×24 m 燃气加热炉→D430×1 粗轧机→6 机架中轧机→D280×6 高刚度精轧机→轧后穿水处理→冷床→检验、打包、入库。

控制较高的加热温度, 以便充分发挥 Nb 的细化晶粒、析出强化效果, 并使微量的铌在钢中均

匀分布。

对同炉号的热轧钢筋在冷床上进行了空冷和加保温罩的试验。试验后钢筋性能对比如表 2。试验结果表明: 现有装备、工艺下, 冷床上加或不加保温罩均能实现屈服效应。考虑到成本消耗及便于组织生产, 批量生产不加保温罩。

表 2 冷床加保温罩对铌微合金化钢筋性能的影响

Table 2 Effect of covering on properties of Nb microalloying steel reinforced bars on cooling bed

炉号	冷床	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_s$ /%	屈服效应
A	不加罩	460	640	24	明显
	加罩	475	640	24	明显
B	不加罩	480	635	26	明显
	加罩	460	640	28	明显

### 3 铌微合金化钢筋

试制加铌 HRB400 热轧带肋钢筋的力学性能见表 3。除了少数几炉屈服效应不明显外, 其余所有规格的力学性能均能达到国标 GB1499-1998 要求, 并且能满足屈服强度与 400 之比不大于 1.30、抗拉强度与屈服点之比不小于 1.25 的附加技术条件。

表 3 铌微合金化 HRB400 钢筋力学性能

Table 3 Mechanical properties of Nb microalloying HRB 400 steel reinforced bars

规格/mm	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_s$ /%	Ceq	冷弯
$\Phi 10 \sim 25$	420 ~ 490	590 ~ 680	24 ~ 30	0.44 ~ 0.52	完好

由于 Nb 对奥氏体再结晶有强烈的延迟作用<sup>[1]</sup>, 比 V 钢更能阻止焊接热影响区晶粒的粗大, 适合高效的大热量输入焊接。

加 Nb 钢筋自然时效后强度下降较少(见图 1), 满足应用要求。

### 4 讨论

试制初期发现含 Nb III 级钢筋容易产生屈服效应不明显而不合要求的情况<sup>[2]</sup>, 并认为微合金化钢只要保证延迟性要求, 无物理屈服亦属正常。但笔者以为既然国标有明确要求, 从钢筋的用途、建筑的安全性看, 屈服效应明显的钢筋建筑遭险时预兆明显, 可为居者留有更多逃生机会。因此有必要攻克这一难题。

据文献介绍, 同行厂家在生产螺纹钢时也有类似的屈服不明现象。韶钢<sup>[3]</sup>、济钢<sup>[4]</sup>在研究

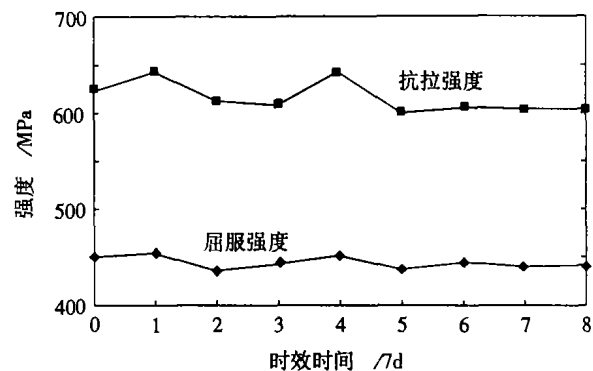


图 1 铌微合金化 HRB400 钢筋自然时效对力学性能的影响

Fig. 1 Effect of nature aging on mechanical properties of Nb microalloying HRB 400 steel reinforced bars

HRB335 屈服不明时认为组织中出现粒状贝氏体是造成屈服不明的根本原因。检验发现: 无论屈服效应明显与否的加 Nb 钢筋, 其金相组织均为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体。因此暂时无法解释组织与屈服不明之间的关系。

第 1 阶段试生产作总结后, 再次生产了 21 炉加 Nb 钢筋, 成分均符合内控要求, 轧制温度也符合内控规范, 无一炉发生屈服不明现象。证明成分、轧制温度按内控执行, 对屈服效应的实现有保证。

### 5 经济效益

按 2004 年 11 月份的市场价钒铁 12.5 万元/t, 铌铁 12.3 万/t 计算, 采用铌铁代替钒铁微合金化生产 III 级螺纹钢, 吨钢成本可节约 80 余元, 经济效益显著。兴澄钢铁公司虽以优特钢为主, 但新炉衬、钢包使用时作为洗炉正好可以生产质量要求不太高的螺纹钢。公司年产螺纹钢约 10 万 t, 全年可节省 800 万元。

### 参考文献

- 刘 强, 谢建新. 铌对 20MnSi 钢奥氏体化和静态再结晶的影响. 轧钢, 2002, 19(6): 17
- 东 涛, 付俊岩. 铌/钒微合金化 400 MPa III 级钢筋的生产技术. 中国冶金, 2004, 78(5): 1
- 涂传江, 林晏民. CONSTEEL 电炉生产的螺纹钢屈服强度不确定性的研究. 钢铁研究, 2002, 127(4): 39
- 程洪兴, 李 昱, 高 山. 屈服点不明的 20MnSi 热轧带肋钢筋金相组织分析. 山东冶金, 2002, 24(6): 48

任一峰, 男, 28 岁, 工程师, 北京科技大学在读工程硕士。从事钢铁冶炼、加工生产工艺研究。

收稿日期: 2004-12-24