

## 超细晶粒HRB400热轧带肋钢筋的研制

陈戈萍, 钟浩, 孙杰清

(青岛钢铁控股集团有限责任公司 技术中心, 山东 青岛266043)

**摘要:** 介绍了采用20MnSi生产超细晶粒HRB400(Ⅲ级)小规格热轧带肋钢筋的冶炼及轧制试验工艺。冶炼时完全取消钒氮合金,适当调整了碳当量,采用超细晶粒工艺轧制。检验结果表明,试制的钢筋化学成分均匀,强度高,塑性、韧性、焊接性能良好,无应变时效,强屈比1.35~1.45,晶粒度10~12级,完全符合GB1499-1998要求。

**关键词:** HRB400(Ⅲ级); 热轧带肋钢筋; 20MnSi; 超细晶粒工艺; 晶粒度

中图分类号: TG333.6+4 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620(2005)04-0014-02

**Development of HRB400 Hot Rolled Ribbed Bar with Ultra-fine Grain**

CHEN Ge-ping, ZHONG Hao, SUN Jie-qing

(Qingdao Iron and Steel Holding Group Co., Ltd., Qingdao 266043, China)

**Abstract:** Introduces the testing processes of small diameter hot-rolled ribbed bar HRB400(Ⅲ grade) with ultra-fine grain and the process of zero V-alloy addition and controlled rolling and cooling. In the course of steel smelting, the content of the alloy element "V" was decreased from 0.02% to 0%, the carbon equivalent was adjusted properly and in the course of rolling, the rolling temperature of the each pass was strictly designed and the cooling rate was raised on base of the theory of deformation induced ferrite transformation. Subsequent to the designing, the ribbed bar was tested to roll through the high-speed wire mill strand. The experimental result showed that the ribbed bar have a good intensive effect, the components are even, welding performance is excellent, the effect of strain do not occur, the intensity to yield strength ratio is 1.35~1.45, grain fineness is 10~12grade, and the mechanical, technology and microstructure of the ribbed bar are according to the standard of GB1499-1998.

**Key words:** HRB400(Ⅲ grade); hot rolled ribbed bar; 20MnSi; ultra-fine grain technology; grain fineness

## 1 前言

超细晶粒钢又名超级钢,是新一代钢铁材料。上个世纪末,日本率先提出研制这种材料,随即成为国际钢铁领域的研究热点。我国于1998年和2001年相继在“国家重点基础研究发展规划项目”和“国家高技术研究发展计划”(863计划)中启动超级钢项目,目标是将占我国钢产量60%以上的碳素钢、低合金钢和合金结构钢的强度及寿命提高1倍。

青岛钢铁控股集团有限责任公司(简称青钢)自2004年4月开始HRB400(Ⅲ级)小规格超细晶粒热轧带肋钢筋试验。首先,将钒氮合金从0.049%减到0.028%,共试制194炉次6152t超细晶粒钢筋,结果表明,减少钒氮合金的加入量后,采用超细晶粒工艺的钢筋性能指标均达到GB1499-1998标准的要求(晶粒公称直径为5.6 $\mu\text{m}$ )。

2005年,为降低成本,青钢决定取消钒氮合金加入量,利用超细晶粒工艺开发生产HRB400(Ⅲ级)小规格热轧带肋钢筋。2005年5月20~25日,在青钢第一炼钢厂与高速线材厂进行了规格为 $\Phi 6$ 、 $\Phi 8$ 和 $\Phi 10\text{mm}$ 的

HRB400热轧带肋钢筋生产试验，试验选取的批号为： $\Phi 6\text{mm}$ （不加V）：9190771共计17支钢坯； $\Phi 6\text{mm}$ ：9190116（V）共计10支钢坯； $\Phi 8\text{mm}$ ：9213568、9213564两批共计35支钢坯； $\Phi 10\text{mm}$ ：9213568共计5支钢坯。

首先，分别用20MnSiV钢坯与提高了碳当量的20MnSi钢坯生产 $\Phi 6\text{mm}$ 规格的钢筋来比较试验效果，然后确定不加钒氮合金的钢筋生产工艺，并接着试产 $\Phi 8\text{mm}$ 和 $\Phi 10\text{mm}$ 两个规格。结果表明，采用超细晶粒工艺的钢筋强化效果好，屈服强度、抗拉强度、延伸率等性能指标均达到GB1499-1998标准的要求，塑性、韧性、焊接性能保持良好、无应变时效，晶粒度都不小于10级，最高达到12级，通过多次试验和工艺不断优化，现在工艺成熟，已转入大生产。

## 2 工艺流程及试制设备参数

小规格超细晶粒热轧带肋钢筋的生产工艺流程为：高炉铁水→30t转炉冶炼→脱氧合金化→吹氩→全保护浇注连铸→检查入库→钢坯加热→粗轧中轧→精轧→双模块轧制→轧制成 $\Phi 6\sim 10\text{mm}$ 钢筋→检验、称重、入库。

试制所用设备及主要参数包括：4座公称容量30t氧气顶吹转炉；3台R5m、1台R8m四机四流小方坯连铸机；1套最高轧制速度120m/s的高速线材轧机生产线。

## 3 试制工艺

HRB400热轧带肋钢筋不但对产品屈服点和抗拉强度等指标有较高要求，而且还必须保证钢筋有良好的焊接性能。研制开发符合GB1499-1998标准的HRB400（III级）小规格超细晶粒热轧带肋钢筋，应通过高洁净、均匀化、超细晶来提高钢筋性能。

冶炼方面，主要考虑针对不同规格适当控制碳当量、通过炉外精炼提高钢水纯净度、通过电磁搅拌均匀钢质。轧制方面，主要考虑的强化机制为细晶强化和相变强化。

组织及晶粒度控制最有效的手段就是通过特定的热加工工艺控制钢的变形组织、再结晶过程和相变过程，获得细晶组织。充分利用高速线材轧机的先进工艺装备，利用轧制过程中的水冷控制工艺及形变诱导相变原理，使其晶粒直径更小。因此，严格控制各项温度和提高冷却速度是超细晶粒钢筋试制成功的保证条件。

### 3.1 冶炼工艺

对钢的化学成分进行了调整，通过提高碳当量而取消钒氮合金的加入，达到同样的钢材质量要求，节约成本。

#### 3.1.1 主要原材料及要求

要求铁水S含量不大于0.07%；主要合金包括：锰硅合金、高碳锰铁、硅铁。

#### 3.1.2 终点

以拉碳法冶炼为主，用“锰硅合金”或“高碳锰铁”合金化。

#### 3.1.3 吹氩

采用钢包底吹氩以充分保证成分均匀性，吹氩时间不小于3min。

### 3.2 轧制工艺

（1）严格控制加热及保温制度，综合考虑变形抗力和加热特点，控制出钢温度低于1100℃，避免出现

魏氏体，获得小的奥氏体晶粒度。

(2) 合理分配各道次压下量，控制好各架次半成品尺寸，保证成品架次充满横肋和纵肋；控制好水冷，以保持各道温度均匀，实现恒温轧制。根据HRB400的成分，奥氏体未再结晶区温度范围在820~920℃，因此，宜将终轧温度与吐丝温度控制在920℃以下。

(3) 轧后实行快冷。风机开启，不盖保温罩。这样钢筋冷却均匀，可保证钢筋通条性能稳定。

## 4 试验结果及分析

### 4.1 化学成分

随机抽取15炉，分析其化学成分，结果平均值见表1。由表1可知，HRB400化学成分均达到了标准要求。

表1 试制钢筋的化学成分 %

规格	C	Si	Mn	P	S	V	Ceq
Φ6mm	0.21	0.56	1.33	0.019	0.03	0	0.44
Φ6mm	0.17	0.52	1.31	0.024	0.021	0.020	0.39
Φ8mm	0.21	0.56	1.36	0.019	0.03	0	0.45
Φ8mm	0.21	0.57	1.4	0.026	0.036	0	0.45
Φ10mm	0.21	0.56	1.36	0.019	0.03	0	0.45
GB1499-1998	≤0.25	≤0.80	≤1.60	≤0.045	≤0.045		≤0.54

### 4.2 力学性能

随机抽取Φ6mm、Φ8mm、Φ10mm三规格各5批数据，钢筋性能指标见表2。

表2 试制钢筋的力学性能

规格/mm	$\sigma_s$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	强屈比	组织	晶粒度
Φ6 (不加V)	$\frac{495\sim515}{502}$	$\frac{670\sim700}{681}$	$\frac{24\sim35}{29}$	$\frac{1.35\sim1.36}{1.36}$	F+P	11-12
Φ6 (加V)	$\frac{490\sim500}{494}$	$\frac{665\sim680}{669}$	$\frac{30\sim33}{32}$	$\frac{1.36\sim1.36}{1.35}$	F+P	12
Φ8	$\frac{420\sim475}{450}$	$\frac{610\sim655}{629}$	$\frac{22\sim29}{26}$	$\frac{1.45\sim1.38}{1.40}$	F+P	10-10.5
Φ10	$\frac{425\sim445}{438}$	$\frac{605\sim620}{613}$	$\frac{28\sim32}{30}$	$\frac{1.42\sim1.39}{1.40}$	F+P	10
GB1499-1998	≥400	≥570	≥14			

通过表1、表2可以看出，随着Ceq的增加，强度显著增加。用20MnSiV钢坯与提高了碳当量的20MnSi钢坯生产Φ6mm规格的钢筋，检验结果各项指标接近。这表明通过提高碳当量可以适当弥补取消钒氮合金造成的强度损失。由表2可知，大规格的强度低于小规格的强度，在冷却过程中，需加大风冷线冷却能力，同时，可以将碳的成分控制在上限，以提高强度。

钢筋力学性能较标准要求值在强度、延伸率指标上，有富裕量，强屈比全部满足抗震钢筋不小于1.25的要求。抽查检验完全符合GB1499-1998规定。用其制作混凝土梁、板完全达到了设计及混凝土设计规范要求。

### 4.3 金相组织

各规格的金相组织示于图1，均为等轴状铁素体+珠光体。各规格晶粒度见表2。晶粒细化明显受产品规格影响，主要原因是规格越小，压缩比越大，细晶强化的效果越好。

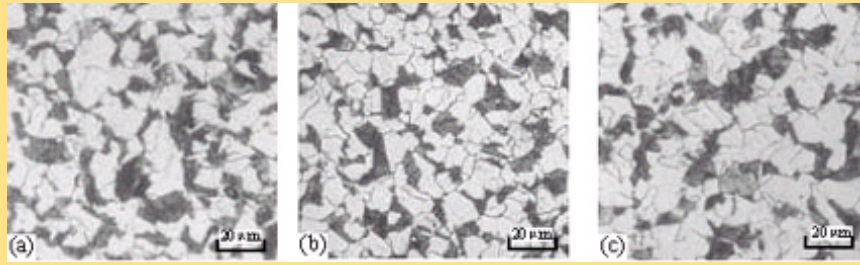


图1 试制钢筋的金相组织，F+P

## 5 结 语

**5.1** 合理调整碳当量，同时利用轧制过程中的水冷控制工艺及形变诱导相变原理，使其晶粒细化，强度高，韧性好，最终可以达到取消钒氮合金的加入量，保证产品质量、降低成本的目的。

**5.2** 在现有工装条件下，采用20MnSi钢坯超细晶粒钢轧制工艺生产400MPa（Ⅲ级）钢筋，晶粒度最细达到12级，可满足GB1499-1998标准要求。

**5.3** 采用20MnSi钢坯生产HRB400（Ⅲ级）小规格超细晶粒热轧带肋钢筋，开辟了节省合金元素、降低成本的新途径，具有极大的经济和社会效益。

---

[返回上页](#)