

## 经济型III级热轧带肋钢筋的生产实践

王春梅, 刘海东

(济南钢铁集团总公司, 山东 济南250101)

**摘要:** 介绍了济钢第一小型轧钢厂利用穿水冷却工艺技术, 减少微合金元素的加入量, 试制III级热轧带肋钢筋的生产过程。结果表明: 铌含量控制在0.005%~0.015%范围内, 规格为 $\Phi 16\sim\Phi 25$  mm、 $\Phi 25\sim\Phi 28$  mm、 $\Phi 32$  mm以上的热轧带肋钢筋穿水后终冷温度分别控制在800~830 °C、780~810 °C、750 °C以下, 热轧态、时效及焊接性能均能满足标准要求且余量较大, 钢筋低成本优势明显。

**关键词:** III级热轧带肋钢筋; 经济型; 穿水冷却; 力学性能; 金相组织

中图分类号: TG335.6+2 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620(2008)01-0028-03

**Production Practice of Economic-type III Grade Hot-Rolled Ribbed Bar**

WANG Chun-mei, LIU Hai-dong

(Jinan Iron and Steel Group Corporation, Jinan 250101, China)

**Abstract:** This paper introduced the trial-production of III grade hot-rolled ribbed bar by intensive pressure water cooling and reducing micro alloy addition in No.1 small section mill of Jinan Steel. The results showed that when the Nb content was between 0.005 to 0.015 percent, for  $\Phi 16\sim\Phi 25$  mm, the temperature after water cooling was 800 to 830 °C, for  $\Phi 25\sim\Phi 28$  mm specification, the temperature after water cooling was 780 to 810 °C and for  $\Phi 32$  mm upward specification, the temperature after water cooling was below 750 °C, the mechanical properties and the ageing and welding properties were all reach and largely over the standard requirements and the production cost was low.

**Key words:** III grade hot-rolled ribbed bar; economic-type; intensive pressure water cooling; mechanical property; metallographic structure

## 1 前言

20世纪80年代, 穿水冷却工艺技术在我国小型材生产线上已广泛应用, 其机理是利用轧后余热进行淬火回火式热处理, 这项技术可使II级热轧带肋钢筋达到III级热轧带肋钢筋的标准要求。但是在较长一段时间内, 不能形成批量生产规模, 原因是产品焊接性能达不到III级热轧带肋钢筋的标准要求。国内III级热轧带肋钢筋的生产, 大多采用Nb、V、Ti、VN微合金化, 由于微量元素的加入量大, 吨钢成本高。为了降低生产成本, 济钢第一小型轧钢厂通过加入少量合金元素与穿水冷却工艺结合的生产方式, 生产III级热轧带肋钢筋。这种方式生产的钢筋力学、焊接性能均达到了III级热轧带肋钢筋的标准要求, 而且成本低, 投放市场后, 受到了用户青睐。

## 2 装备情况

1) 加热炉。侧进侧出蓄热步进梁式, 燃料为高炉混合煤气, 最大加热能力为冷坯130 t/h, 热坯170 t/h, 有效尺寸2.19 m×1.11m, 加热温度可自动控制。

2) 轧机。18架准全连续轧机。粗轧机组: 550 mm×4 + 450 mm×2; 中轧机组: 450 mm×5 + 300 mm×1; 精轧机组: 300 mm×2 + 350 mm×4。

3) 冷却水箱。3组5个冷却水箱, 湍流式水喷嘴冷却, 每组穿水管的长度为2 420 mm, 穿水冷却水管管径 $\Phi 55$  mm, 可实现温度闭环控制。

### 3 化学成分与生产工艺

#### 3.1 化学成分设计

结合济钢第一小型轧钢厂设备能力, 兼顾微量元素微合金化以及对生产成本的影响, 在不增碳少加合金的同时, 应用穿水冷却工艺和必要的控制轧制工艺, 使Ⅱ级热轧带肋钢筋达到Ⅲ级的标准要求。

铌是微合金化最有利的元素之一。1) 能够阻止奥氏体再结晶, 含铌钢的再结晶温度高, 很容易得到在再结晶温度以下变形而生成的细晶粒; 2) 碳氮化铌在奥氏体中发生沉淀, 这种沉淀物能阻止再结晶后的晶粒长大, 所以在各轧制道次之间, 奥氏体晶粒几乎不生长大<sup>[1]</sup>。3) 在低于950 °C轧制时, 仅需要中等的变形量就可以获得细小的奥氏体晶粒。另外, 铌铁市场价格约为9.4万元, 相对便宜, 济钢具有冶炼铌钢的丰富经验。根据铌元素微合金化的特点与其优越的市场价格, 选择铌进行微合金化。

成分设计见表1。

表1 新Ⅲ级热轧带肋钢筋化学成分设计 %

C	Si	Mn	P	S	Nb	Ceq
0.19~0.25	0.40~0.65	1.35~1.60	≤0.045	≤0.045	0.005~0.015	≤0.51

#### 3.2 生产工艺

**3.2.1 冶炼工艺控制** 铌微合金化在冶炼过程较铌钛复合微合金化操作难度大, 铌微合金化钢对裂纹敏感性较强, 且易造成弯曲。为了确保方坯表面质量和平直度, 冶炼过程中严格控制钢水氧化性, 终点C含量≥0.12%, 终点温度1 640~1 670 °C; 出钢温度1 660~1 670 °C; 出钢时间≥2 min。出钢后对大包钢水进行炉外处理, 吹氩、喂线、调温, 底吹氩时间>5 min。吹氩后钢水温度1 570~1 585 °C。二冷配水实施弱配水。中间包温度1 520~1 535 °C, 保持中间包液面稳定。拉速为2.2~2.8 m/min。

**3.2.2 加热工艺控制** 150 mm×150 mm的铸坯热送到济钢第一小型轧钢厂, 在600 °C以下入炉。由于钢坯装炉前, 由高温向低温首先发生奥氏体向铁素体和珠光体的转变, 首次试验的铌钢开始转变温度为750 °C左右, 完成转变温度为650 °C左右。这个温度区间Nb的碳氮化物析出数量最多, 而且集中在晶界, 形成的脆性晶界较多, 易造成晶界裂纹。为了保证热送方坯表面不出现裂纹缺陷, 热送温度控制在600 °C以下。加热时间保持在60~90 min, 加热到1 100~1 200 °C, 以确保铌元素充分固溶。

**3.2.3 轧制工艺控制** 受济钢第一小型轧钢厂粗、中轧机组设备能力的限制, 难以实现真正意义上的控轧工艺制度, Ⅲ级热轧带肋钢筋轧后组织状态的调整、铁素体晶粒的细化以及强韧性的提高, 都是通过控制加热、开轧和终轧温度实现的。因此, 严格控制各段温度是保证钢筋性能合格的关键所在。首次试制的温度控制: 开轧温度1 100 °C以下, 终轧温度900 °C左右。期间进行粗中轧、精轧两阶段轧制, 总变形率分别为65%、35%<sup>[2]</sup>。

**3.2.4 穿水冷却工艺控制** 首次试制共冶炼了3炉试验钢, 每炉钢分Φ16、Φ25、Φ32 mm 3个不同规格轧制, 穿水冷却工艺参数见表2。取样方式为: 第1炉试验钢钢筋取样批号为161、251及321; 第2炉试验钢取样批号为162、252及322; 第3炉试验钢取样批号为163、253、323。

表2 穿水冷却工艺数据

批号	规格/mm	轧制速度/(m·s <sup>-1</sup> )	终轧温度/°C	进口水温度/°C	出口水温度/°C	水压/MPa	流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	终冷温度/°C
161	16	15.5	880	26.6	32.2	1.25	460	680
162	16	14.5	905	26.0	33.1	1.3	456	755
163	16	16.0	895	26.5	33.2	1.28	463	830
251	25	14.5	915	26.6	33.2	1.4	475	711
252	25	14.5	921	25.6	34.5	1.4	475	710
253	25	15.5	911	26.7	33.8	1.3	460	805
321	32	14.5	927	25.6	35.8	1.41	480	690
322	32	13.0	918	26.8	35.7	1.32	478	752
323	32	12.0	920	26.5	34.8	1.29	473	831

## 4 组织与性能

### 4.1 试样成分与性能

试验产品化学成分均在设计范围内，分析结果见表3。

表3 试验钢化学成分 %

批号	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ceq
161、251、321	0.21	0.51	1.55	0.026	0.024	0.006	0.47
162、252、322	0.22	0.55	1.55	0.019	0.025	0.015	0.48
163、253、323	0.2	0.52	1.52	0.026	0.018	0.011	0.46

对9批试样分别做了热轧态、时效及焊接性能检验，首次试验结果见表4。

表4 试样力学性能

批号	热轧态力学性能			时效力学性能			焊接性能			
	下屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	下屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	焊接方式	断点	下屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa
161	475	620	26	440	620	26	搭焊	母材	430	635
162	490	650	22	460	635	29	对焊	母材	450	640
163	455	605	23	435	620	25	搭焊	母材	420	625
251	455	645	26.5	450	630	27	对焊	母材	445	625
252	460	650	27	440	620	26	搭焊	母材	430	610
253	430	635	26	430	605	25	对焊	母材	415	585
321	450	630	23	440	620	25	搭焊	母材	420	625
322	455	640	24	435	610	28	对焊	母材	410	595
323	415	585	25	405	565	30	对焊	母材	400	580

GB1499-1998要求，钢筋混凝土用热轧带肋钢筋下屈服强度400 MPa，抗拉强度570 MPa，断后伸长率14%。由表4可看出，热轧态下屈服强度除323试样余量为15 MPa之外，其它在30~90 MPa之间；抗拉强度只有323试样余量为15 MPa，其它试样余量在35~80 MPa之间；延伸率最低为22%，超过标准值8%。时效性能比热轧态低，323试样下屈服强度为405 MPa，超过标准值5 MPa，其它试样余量在30~60 MPa之间，抗拉强度323试样低于标准要求，其它试样余量在35~65 MPa之间，延伸率最低为25%。焊接性能采用两种方式试验，断裂点均在母材上，且只有323试样屈服强度在标准要求的下限，其它试样性能均超过了标准要求。

同规格产品，终冷温度低的试样，下屈服强度、抗拉强度明显高于终冷温度高的试样，而延伸率正好相反。9批试样中，除323试样性能不理想外，其它试样富余量较大，说明规格为 $\Phi 16$ 、 $\Phi 25$  mm的带肋钢筋终冷温度控制在830 °C以下，穿水效果显著；而规格为 $\Phi 32$  mm的带肋钢筋终冷温度控制在750 °C以下，效果才明显。

### 4.2 金相组织与SEM照片

应用穿水冷却工艺生产Ⅲ级热轧带肋钢筋，若冷却参数控制不当，易出现魏氏体和贝氏体。从图1a~c可看出，边部组织细小，带有回火马氏体的形貌特征；过渡区晶粒大小有明显的变化，组织为铁素体+珠光体；中心处组织特征与过渡区相同，较均匀，但较边部略粗大，没有出现魏氏体与贝氏体组织。162试样韧性较好，边部、过渡区均布满韧窝，中心处有一处为脆断特征，其它大部分为韧窝，见图1e、f SEM照片。这说明穿水冷却工艺制度合理，效果明显。

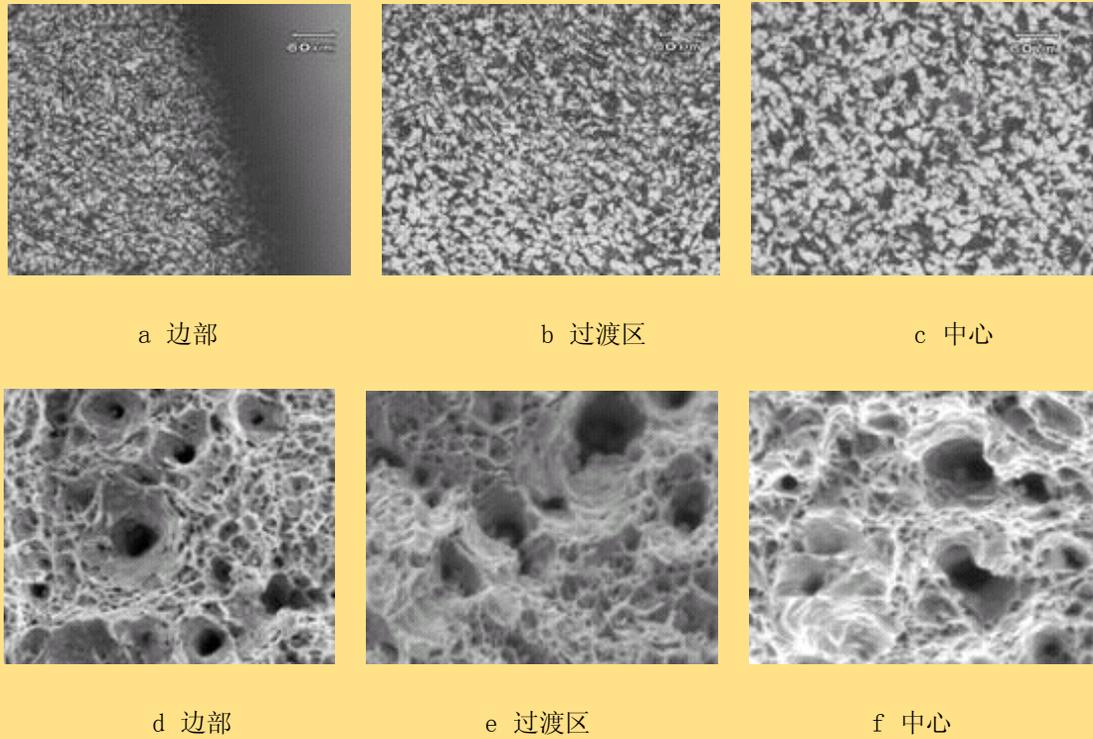


图1 162不同部位的金相组织与SEM照片

## 5 应用效果

试验结果表明，铌含量控制在0.005%~0.015%，终冷温度控制在合理范围，Ⅲ级热轧带肋钢筋热轧态、时效及焊接性能均符合标准要求。规格为 $\Phi 32$  mm的带肋钢筋，终冷温度为831℃，性能不理想。因此第二次试验时适当调整了冷却工艺，规格为 $\Phi 32 \sim \Phi 40$  mm的Ⅲ级热轧带肋钢筋加大供水水量及水流速度，同时降低了轧制速度，使穿水后的终冷温度控制在750℃以下，其它执行首次试制时的工艺路线，化学成分保持不变。检验结果表明，各规格产品性能非常理想。此后，固定了该产品工艺路线。目前该产品已批量生产，2007年上半年产量达15万t，性能检测合格率达到100%、产品合格率达到99.8%。由于该产品合金元素加入量减少，吨钢降成本约60元，采用铌微合金化和穿水冷却工艺相结合，生产Ⅲ级热轧带肋钢筋是完全可行的，具有显著的经济效益。

### 参考文献：

- [1] 李曼云, 孙本荣. 钢的控制轧制和控制冷却技术手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1989.
- [2] 赵志业. 金属塑性变形与轧制理论[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.

[返回上页](#)