

可焊性高强度钢筋的开发与生产

徐守亮, 王学忠, 侯可强, 刘仲强

(济南钢铁集团总公司, 山东 济南 250101)

摘要: 为进一步开发国际钢材市场, 研制开发了符合加拿大可焊性高强度钢筋标准要求的高强度钢筋。制定了化学成分及力学性能内控标准, 分析了生产工艺各环节对成分和性能的影响, 依据试验结果, 在全面统计分析的基础上, 调整了冶炼成分, 生产的531批钢筋全部合格。通过直方图及回归分析, 说明了制定的产品生产工艺可行, 也为今后的生产提供了理论依据。

关键词: 可焊性高强度钢筋; 研制开发; 力学性能; 成材率; 直方图

中图分类号: TG335.6+4 文献标识码: B 文章编号: 1004-4620(2003)06-0024-04

Development and Production of Weldable High Strength Reinforced Bar

XU Shou-liang, WANG Xue-zhong, HOU Ke-qiang, LIU Zhong-qiang

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

Abstract: For exploiting international rolled steel market farther, the weldable high strength reinforced bar were developed according to Canada standard. Through establishing internally controlled standard of chemical composition and mechanical properties, analyzing the effect of productions and processes on compositions and properties, all products of 531 batches with qualification have produced on the basis of analyzing and adjusting melting composition. The practice has proved that the production process for producing this product is feasible and it provides a basis in theory for production in the future.

Keywords: weldable high strength reinforced bar; development; mechanical properties; ratio of finished product; histogram

目前, 世界各国的建筑已向大型化发展, 为提高大型建筑物的安全性, 国外建筑行业已普遍采用焊接性能好、强度高的钢筋。就各国大量使用的钢筋来看, 西欧、北美主要使用强度较高的400MPa、500MPa级钢筋, 其中400MPa级钢筋的生产量和使用量占80%。为适应国际建筑行业用钢筋的要求, 扩大钢筋出口, 济南钢铁集团总公司(简称济钢)于2001年1月试制成功了加拿大标准CSA-G30.18-M92 400W可焊性高强度钢筋, 并批量试生产合格钢筋70000余吨, 打开了加拿大建筑市场。

1 试验方案

1.1 主要技术要求

冶炼化学成分和力学性能指标符合CSA-G30.18-M92 400W《钢筋混凝土用钢坯钢钢筋》及定货合同技术

要求，合同中规定了屈服强度和抗拉强度上下限。为保证力学性能的稳定性，制定内控冶炼化学成分及力学性能，见表1。依据合同对钢筋力学性能提出的特殊要求，按钢筋的规格对冶炼及轧制提出控制目标。

表1 化学成分及力学性能

化学成分/%					力学性能					
C	Si	Mn	P	S	V	Ceq	σ_s /MPa	σ_b /MPa	$\delta_{200}/\%$	σ_b/σ_s
0.19~0.26	0.30~0.50	1.35~1.60	≤ 0.030	≤ 0.040	0.03~0.12	≤ 0.55	410~525	≥ 550	≥ 13	≥ 1.16

1.2 生产工艺

工艺路线：25t氧气顶吹转炉炼钢→高效方坯连铸机→250mm小型轧机轧钢。

工艺流程：高炉铁水（废钢）→25t转炉→钢包合金化→炉外处理（低吹氩、喂线、调温）→方坯连铸→钢坯加热→ $\phi 250$ mm轧机→冷床→剪切→成品检验→打捆→入库→产品发货。

1.2.1 化学成分控制主要控制钢的C、Mn、V含量，小规格钢筋按中下限，大规格钢筋按中上限，用不同的化学成分，保证钢筋力学性能的稳定性。

1.2.2 冶炼终点碳0.08%~0.12%；终点温度1640~1670℃；出钢温度1650~1680℃；钢包底吹氩时间不小于5min；钢包喂线量不小于1.5m/t。

1.2.3 连铸中间包钢水温度1510~1540℃；拉速3.2~3.5m/min。

1.2.4 轧钢加热温度按1150~1250℃控制；加热时间1.5~2.5h。

1.3 试验结果

为检验钢筋力学性能能否满足技术标准及合同要求，按内控化学成分炼钢及轧钢试生产 $\phi 10$ 、 $\phi 20$ 、 $\phi 25$ mm规格的钢筋，试验结果见表2。

表2 加标钢筋试制结果

规格/mm	冶炼化学成分/%						力学性能			
	C	Si	Mn	P	S	V	σ_s /MPa	σ_b /MPa	$\delta_{200}/\%$	σ_b/σ_s
25	0.24	0.39	1.47	0.020	0.029	0.050	475	640	22	1.35
25	0.25	0.38	1.48	0.021	0.024	0.050	470	640	22	1.36
20	0.20	0.46	1.42	0.025	0.019	0.044	475	640	19	1.36
15	0.22	0.44	1.47	0.025	0.018	0.032	445	615	21	1.38
15	0.23	0.46	1.48	0.019	0.023	0.038	490	620	22	1.33
10	0.21	0.50	1.41	0.023	0.022	0.035	510	660	17	1.29
10	0.20	0.50	1.38	0.020	0.021	0.047	500	645	19	1.29

由表2可以看出，冶炼成分符合质量计划及标准要求。试炼的 $\phi 10$ mm钢筋用钢，Si含量偏高，已达到上限值，而屈服强度也偏上限，应按中限控制，降低Si含量。

1.3.1 力学性能为检验钢筋的力学性能，试轧 $\phi 10$ 、 $\phi 20$ 、 $\phi 25$ mm钢筋6批，轧制结果力学性能指标符合标准及内控要求。由表2看出， $\phi 10$ mm钢筋屈服强度偏高，应对化学成分进行控制，防止屈服强度超上限。

1.3.2 外形尺寸现场对试轧的4种规格钢筋的外形尺寸单位重量进行检测，实测结果为： $\phi 10$ mm，0.781 kg/m； $\phi 15$ mm，1.508kg/m； $\phi 20$ mm，2.297kg/m； $\phi 25$ mm，3.689kg/m。符合标准及内控要求。

2 结果分析

依据试验结果，在全面统计分析的基础上，调整冶炼化学成分。

2.1 炼钢生产 冶炼终点生产工艺参数统计见表3。由表3数据分析可知，终点 [C] 比控制目标偏低 0.02%，其原因为终点温度偏低，拉后吹造成。终点 [S] 含量偏高，已达指标的上限，分析认为是铁水硫含量高造成的。

表3 终点温度及成分

温度/°C	C/%	S/%	P/%
1600~1690	0.04~0.12	0.017~0.040	0.005~0.030

钢水炉外处理工艺参数统计结果见表4。由表4数据计算可知，喂线量1.42m/t，平均吹氩时间大于5min，大包钢水平均出站温度1579°C。

表4 吹氩处理工艺参数

氩前温度 /°C	吹氩时间 /min	氩后温度 /°C	压力 /MPa	每炉喂线 /m
1574~1676	5~7.5	1562~1608	0.2~0.3	40~118

连铸生产工艺参数统计结果见表5。由表5数据计算可知，钢水平均到站温度1574°C，中间包钢水平均温度1526、1525°C。分析认为，中间包钢水温度控制符合工艺控制要求，拉速稳定。

表5 连铸工艺参数

到站温度/°C	中包温度 ₁ /°C	中包温度 ₂ /°C	拉速/m.min ⁻¹
1556~1590	1515~1546	1516~1548	2.8~3.5

炼钢冶炼成分统计结果见表6。由表6可以看出，冶炼化学成分符合内控要求。平均C含量0.22%，Si含量0.40%，Mn含量1.45%，P含量小于0.030%，S含量小于0.035%。碳当量小于0.55%。分析认为，冶炼成分控制达到控制目标值。

表6 熔炼成分%

C	Si	Mn	P	S	V	Ceq
0.19~0.26	0.31~0.50	1.36~1.53	≤0.030	≤0.035	0.040~0.50	0.43~0.52

2.2 轧钢

轧钢加热温度统计结果见表7。由表7数据可知，平均加热时间为163min，均热温度1194℃，加热温度1117℃，预热温度736℃。

表7 加热时间及温度

时间/min	均热/℃	加热/℃	预热/℃
103~330	1146~1230	1020~1188	645~821

根据合同要求，共生产4种规格钢筋531批，其中：φ25mm 27批，φ15mm 92批，φ10mm 312批，φ20mm100批。力学性能合格率100%。生产统计结果见表8。

钢筋的外形尺寸、力学性能指标均符合标准及合同要求。生产中由于对直径控制负偏差较大，造成φ25mm钢筋12.995t超负差。

3 成品分析

3.1 成品成分

成品成分统计结果见表9。由表9可知，成品化学成分符合标准及控制要求。C含量最大值超内控要求，但符合标准要求。分析认为是由成品成分与冶炼成分偏析造成的，结果符合成分偏差范围。

表8 生产结果统计

规格/mm	投料量/t	检验量/t	合格量/t	废品量/t	合格率/%	成材率/%
15	4018.546	3787.193	3785.450	2.800	99.95	94.20
25	1130.378	1129.689	1116.694	12.995	98.85	98.79
10	4781.860	4357.644	4349.530	8.114	99.81	90.95
20	1557.000	1459.345	1455.056	4.290	99.71	93.45
合计	11487.784	10733.871	10706.730	28.199	99.74	93.43

表9 成品化学成分 %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	V	Ceq
最小值	0.19	0.31	1.35	0.013	0.016	0.013	0.008	0.008	0.030	0.42
最大值	0.27	0.5	1.60	0.030	0.039	0.061	0.046	0.048	0.053	0.52
平均值	0.22	0.42	1.42	0.022	0.024	0.023	0.014	0.016	0.038	0.47

C含量直方图见图1。由图1可以看出，C含量集中分布在0.20%~0.25%的有513批，占总量的96.61%；C含量为0.21%~0.23%的有382批，占总量的71.94%。图1呈正态分布，属标准型直方图，符合生产规律和控制目标要求。

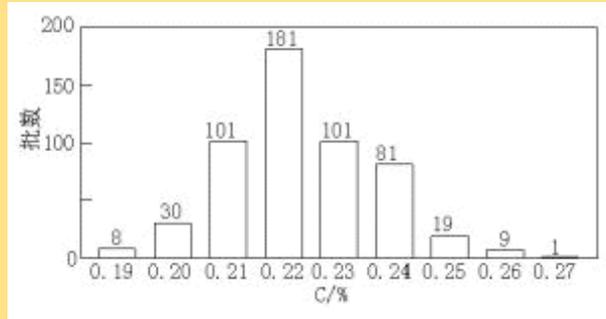


图1 C含量直方图

Si含量直方图见图2。由图2可以看出，Si含量集中分布在0.36%~0.48%的有524批，占总量的98.68%；Si含量为0.40%~0.46%的有469批，占总量的88.32%。分析认为，生产中对Si含量控制准确。图2呈正态分布，属标准型直方图。

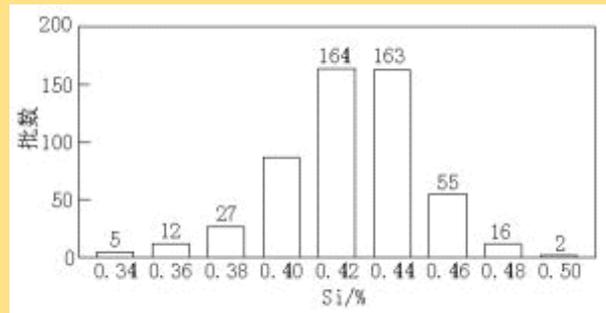


图2 Si含量直方图

Mn含量直方图见图3。由图3可以看出，Mn含量集中分布在1.30%~1.55%的有529批，占总量的99.62%；Mn含量为1.36%~1.51%的有465批，占总量的87.57%。分析认为，炼钢生产中对Mn含量控制准确，达到了生产控制的目标。图3呈正态分布，属标准型直方图。

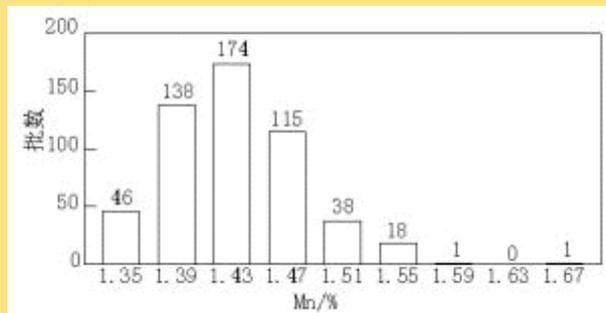


图3 Mn含量直方图

3.2 力学性能

力学性能统计结果见表10。由表10可知，力学性能指标符合标准及合同要求。合格率为100%，由最大值看已达到标准上限。延伸率指标比标准提高2%，强屈比指标比要求提高0.06。

表10 钢筋力学性能统计

σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ /%	σ_b/σ_s
415~525	570~690	15~24	1.2~1.5

屈服强度直方图见图4。由图4可以看出，屈服强度集中分布在425~510MPa的有525批，占总量的98.87%；屈服强度大于495MPa的有55批，占总量的10.35%，其中有4批已达到上限要求；屈服强度470~480MPa的有199批，占总量的37.48%。图4呈正态分布，属标准型直方图。

抗拉强度直方图见图5。由图5可以看出，抗拉强度集中分布在575~680MPa的有530批，占总量的近100%；抗拉强度为595~665MPa的有481批，占总量的90.58%。分析认为，轧钢生产中对抗拉强度的控制准确，达到控制目标要求。图5呈正态分布，属标准型直方图。

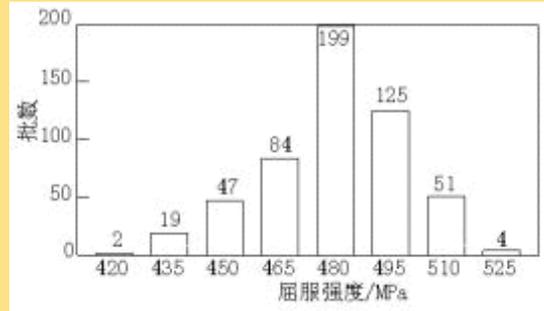


图4 屈服强度直方图

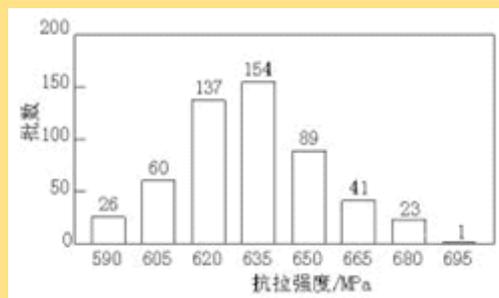


图5 抗拉强度直方图

4 回归分析

根据生产统计结果，对 $\phi 20\text{mm}$ 的冶炼成分与力学性能做回归方程如下：

$$\sigma_s = 254 + 34.2C + 71.7\text{Si} + 69\text{Mn} + 1496V \quad (1)$$

$$\sigma_b = 384 + 34.0C + 81.1\text{Si} + 101\text{Mn} + 1302V \quad (2)$$

按公式（1）、（2），将化学成分代入，力学性能计算结果与实际结果基本吻合。根据计算结果，该公式对指导生产具有实际意义。

5 存在问题

（1）终点 [C] 控制偏低，低于0.05%的占7%。其原因是由于终点温度控制偏低，为提高出钢温度吹氧造成的。

（2）炉外处理喂线量达不到操作要点要求，平均喂线量1 15m/t，比操作要点控制值低0.35 m/t，反映了操作要点执行不严肃。

(3) 钢筋的剪切、包装与轧制速度不匹配，剪切、包装慢，造成剪切批中出现非定尺1~2支，影响了成材率。

(4) 负公差控制范围较大，造成因负公差超差判为废品，影响成材率。

6 结论

6.1 根据分析结果认为，此次制定的冶炼化学成分范围合理，轧制后钢筋的力学性能指标全部符合标准要求，无力学性能出格情况。

6.2 力学性能控制准确，531批全部符合标准要求。充分说明：济钢目前的生产工艺技术条件、工艺制度合理可行，能满足生产出口钢筋的技术要求。

6.3 回归方程计算结果与实际相吻合，回归方程式对指导生产具有实际意义。

[返回上页](#)