

铌钛复合技术在HRB400钢筋研制开发中的应用

王学忠, 李成军

(济南钢铁集团总公司 技术中心, 山东 济南250101)

摘要: 介绍了采用铌钛复合技术研制开发HRB400钢筋的工艺和产品性能, 分析了冶炼、轧制工艺及合金元素对钢筋性能的影响规律, 总结了适合铌钛复合技术生产HRB400的工艺参数, 并对化学元素与性能的关系进行回归分析。实践证明, 采用铌钛复合技术生产HRB400钢筋, 不仅其机械性能良好, 而且具有低成本优势。

关键词: HRB400钢筋; 铌钛复合技术; 力学性能; 低成本

中图分类号: TG335.6⁺4 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620(2006)05-0006-03

Application of Ti-Nb Microalloyed Technology in Developing HRB400 Rebar Steel

WANG Xue-zhong, LI Cheng-jun

(The Technology Center of Jinan Iron and Steel Group General Company, Jinan 250101, China)

Abstract: Introduces the process and properties of HRB400 with application Nb /Ti- microalloying technology, analyzes the influence rules of the smelt and roll process and the elements Nb/Ti on the properties of HRB400, summarizes the technological parameters adapted to Nb /Ti- microalloying technology and takes regression analysis of the relation of the elements and the mechanical properties. The practices prove that the HRB400 with application Nb /Ti- microalloying technology be of well mechanical properties and possess the advantage of low-cost.

Key words: HRB400 rebar; Nb/Ti microalloying; mechanical properties; low-cost

1 前言

自2005年以来, HRB400钢筋市场需求量不断增加, 使HRB400钢筋的生产规模迅速扩大, 产量大幅度增加, 由于在生产HRB400钢筋中采用V微合金化技术, 造成钒铁价格大幅度上升。因钒铁价格的提高, 企业生产HRB400钢筋的成本增加, 利润下降。为降低冶炼的合金成本, 济南钢铁集团总公司(简称济钢)采用了铌代钒技术生产。自应用铌微合金化生产HRB400以来, 在连铸生产中连续发生铸坯表面横裂纹和矫直前后漏钢事故, 直接影响正常生产。为稳定HRB400钢筋的生产, 根据V、Nb、Ti元素的冶金特性, 济钢提出铌钛复合技术在钢筋中应用, 经过试验, 研制成功铌钛复合HRB400钢筋, 并在生产中推广应用。

2 试验方案

为保证试验的顺利实施, 结合济钢现行生产工艺制度, 设计并修改了钢的化学成分, 制定了严格的工艺控制要求。

2.1 工艺流程

高炉优质铁水(废钢)→LD转炉→炉外处理(底吹氩、喂线)方坯连铸机→质量检验判定(熔炼成分、表面)→热送热装→轧钢加热→连续轧制→自然冷却→定尺剪切→质量检验→打捆包装→检验判定→产品出厂。

2.2 成分设计

试验轧制钢种20MnSiNbTi，钢筋牌号HRB400。微合金化采用铌钛复合技术，熔炼成分Nb含量0.015%~0.040%、Ti含量0.005%~0.025%。熔炼成分及力学性能按GB1499-1998执行。成分及力学性能设计见表1。

表1 熔炼成分及力学性能设计

熔炼成分/%							力学性能		
C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%
0.18~0.25	0.30~0.70	1.30~1.60	≤0.045	≤0.045	0.005~0.025	0.015~0.040	410~520	≥580	≥16

2.3 铌钛合金技术要求

试验钢按HRB400组织冶炼，采用铌铁和钛铁复合微合金化技术，铌铁合金（FeNb）要求Nb64%~67%，钛铁合金（FeTi）要求Ti28%~31%。

2.4 工艺要求

(1) 终点温度1640~1670℃，终点碳含量大于0.12%。(2) 按钢筋的生产规格，吨钢加入铌铁0.20~0.50kg、钛铁0.20~0.70kg，硅锰铁、高碳锰铁、硅铁按常规生产20MnSi配加。(3) 出钢后钢水进行炉外底吹氩处理，吹氩时间大于5min，吹氩后温度1570~1600℃。(4) 连铸中间包温度1515~1540℃，连铸拉速2.6~3.2m/min。二冷配水采用弱配水制度，矫直温度900~950℃。(5) 铸坯加热时间45~75min，加热温度1180~1250℃，开轧温度1050~1150℃，终轧温度小于850℃。(6) 直径 ϕ 12~ ϕ 20mm钢筋采用双切分轧制，直径 ϕ 22~ ϕ 32mm钢筋按常规轧制，成品轧制速度10~17.5m/min。

3 研制及生产试验

为检验钢筋力学性能是否达到HRB400标准要求，按设计方案进行冶炼轧制试验和批量生产。前期进行了研制试验，经对钢筋的成分、性能检验分析，各项指标达到标准要求。按试验结果对熔炼成分优化后，进行批量试验生产。

3.1 研制试验

2005年1月18~27日进行4次试验，分别轧制直径 ϕ 28、 ϕ 25、 ϕ 14、 ϕ 16mm有代表性的4个规格钢筋，熔炼化学成分和力学性能指标均达到HRB400标准要求。试验结果见表2。

表2 试验结果统计情况

规格/mm	熔炼成分/%								力学性能		
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	Ceq	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%
28	0.20	0.50	1.43	0.023	0.024	0.006	0.020	0.44	431	583	24
25	0.22	0.45	1.51	0.027	0.025	0.007	0.019	0.47	446	624	21
14	0.22	0.46	1.45	0.026	0.019	0.007	0.021	0.46	444	629	25
16	0.21	0.47	1.46	0.021	0.021	0.023	0.007	0.46	436	639	22
平均值	0.21	0.47	1.46	0.024	0.022	0.011	0.017	0.46	439	619	23

从表2看出，熔炼成分符合设计要求，钢筋力学性能指标虽达到标准要求，但在中下限范围。分析认为，力学性能指标偏低，应调整化学成分，提高C、Ti、Nb含量，保证力学性能的稳定性，优化熔炼成分控制目标。

3.2 生产试验

根据钢筋的试验结果，对化学成分和力学性能做统计回归分析，结合合金元素对力学性能的贡献，制定了化学成分的控制目标，保证力学性能在中限范围。熔炼成分优化控制目标方案见表3。

表3 熔炼成分优化控制目标方案 %

C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	Ceq
0.023	0.050	1.50	≤0.045	≤0.045	0.010	0.025	≤0.51

按表3的成分进行批量生产，试验生产规格为φ20、φ22、φ25mm，冶炼轧制HRB400钢筋220批，熔炼成分、力学性能合格率100%。成分、性能检验分析结果见表4、表5。

表4 成品成分 %

规格/mm	批数	C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb
φ20	142	$\frac{0.18\sim0.25}{0.225}$	$\frac{0.38\sim0.67}{0.49}$	$\frac{1.35\sim1.53}{1.45}$	≤0.045	≤0.041	$\frac{0.006\sim0.021}{0.014}$	$\frac{0.016\sim0.035}{0.024}$
φ22	32	$\frac{0.18\sim0.25}{0.22}$	$\frac{0.35\sim0.65}{0.51}$	$\frac{1.35\sim1.57}{1.44}$	≤0.040	≤0.041	$\frac{0.008\sim0.020}{0.013}$	$\frac{0.021\sim0.038}{0.022}$
φ25	46	$\frac{0.18\sim0.25}{0.23}$	$\frac{0.4\sim0.62}{0.53}$	$\frac{1.35\sim1.60}{1.45}$	≤0.040	≤0.040	$\frac{0.006\sim0.022}{0.015}$	$\frac{0.016\sim0.040}{0.028}$

表5 成品性能

规格/mm	批数	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%
φ20	142	$\frac{435\sim490}{460}$	$\frac{590\sim650}{620}$	$\frac{21\sim25}{23.4}$
φ22	32	$\frac{435\sim520}{468}$	$\frac{595\sim650}{623}$	$\frac{21.5\sim24}{23.0}$
φ25	46	$\frac{425\sim485}{459}$	$\frac{580\sim645}{608}$	$\frac{22\sim29}{24.5}$

由表5结果看，力学性能达到中限目标，说明熔炼成分调整后，力学性能指标得到明显改善，保证了钢筋性能的稳定性。为充分验证化学成分设计的合理性，对2005年3~6月份生产的φ12~φ32mm746批钢筋做统计回归分析，得出成分与性能之间的关系式为：

$$\sigma_s = 399.15 - 62.57C + 21.65Si + 17.29Mn + 750.85Ti + 785.46Nb \quad (1)$$

$$\sigma_b = 623.33 + 1.66C - 18.92Si + 10.69Mn + 162.04Ti + 257.52Nb \quad (2)$$

从关系式(1)、(2)分析得出，当钢中C、Si、Mn含量确定后，添加Ti、Nb元素可有效改善钢筋的力学性能指标。Ti含量每增加0.01%可提高屈服强度7.5MPa，抗拉强度1.62MPa，Ti元素对提高屈服强度值大于抗拉强度。Nb含量每增加0.01%可提高屈服强度7.8MPa，抗拉强度2.57MPa，Nb元素同样有利于提高屈服强度指标。

4 生产工序分析

4.1 炼钢工序

转炉终点温度1600~1690℃，平均1667℃；出钢温度1648~1690℃，平均1673℃；出钢时间大于110s；终点C含量在0.06%~0.15%，平均C含量0.09%。C含量集中在0.08%~0.12%，该范围数据占总量的93.66%，C含量大于等于0.10%的有67炉，占总量的47.18%，C含量大于等于0.12%的只有7炉，占4.93%。分析认为，大批量生产铌钛复合HRB400，终点C含量控制偏低，与设计目标值C含量大于等于0.12%差距较大，应引起高度重视。提高终点C含量可有效减少钢中含氧量，降低钢水氧化性，是提高合金元素回收率的措施。

冶炼过程对Ti、Nb加入制度严格控制，使Ti、Nb回收率明显提高。FeNb60按实际吨钢加入量0.4kg计

算, Nb元素回收率96.81%; FeTi30合金按实际吨钢加入量0.55kg计算, Ti元素回收率85.37%。

钢水吹氩时间不小于5min, 吹氩后温度1578℃, 温度比吹氩前降低29℃, 温降为6℃/min。吹氩后温度符合设计参数, 适合连铸工艺对钢水温度的要求。

连铸拉钢过程, 中间包温度1515~1540℃, 平均为1527℃。四流拉速2.8~3.2m/min, 平均拉速3.15m/min。试验时发生4次拉矫直机漏钢事故, 分析漏钢的原因主要是矫直温度低, 由于矫直外力作用, 在钢坯振痕处矫裂, 造成裂纹漏钢。为解决漏钢问题, 对拉钢工艺制度进行调整, 把矫直温度由880℃调整为930℃以上, 实践证明, 连续拉钢850炉未发生漏钢事故。

4.2 轧钢工序

连铸坯采用热送热装, 热装温度650℃以上, 正常加热时间50min。加热温度1150~1250℃, 平均1186℃。开轧温度1050~1180℃, 平均1135℃。

按生产规格, 分别采用双切分和不切分轧制, $\phi 12\sim\phi 20$ mm钢筋切分轧制, $\phi 22\sim\phi 32$ mm钢筋常规不切分轧制。成品轧制速度按规格严格控制, 不同的轧制规格采用不同的轧制速度, $\phi 12\sim\phi 14$ mm轧制速度为17.5m/s, $\phi 16\sim\phi 20$ mm轧制速度为14~15m/s, $\phi 22$ 、 $\phi 25$ mm轧制速度为145m/s, $\phi 28$ 、 $\phi 32$ mm轧制速度为10~12m/s。

成品钢筋上冷床温度小于850℃, 在自然冷却10~15min后进行定尺剪切, 剪切温度小于320℃。

5 铌钛复合成本分析

试验生产过程, 钢的熔炼成分按优化目标控制, 固定高碳锰铁、硅铁、硅锰铁合金加入量。按钢筋的生产规格调整钛铁、铌钛的加入量, 小规格钢筋铌钛加入量按成分下限配加, 大规格钢筋按上限配加。济钢自推广应用铌钛复合技术生产HRB400钢筋以来, 2005年3~8月份累计冶炼轧制生产 $\phi 12\sim\phi 32$ mm钢筋4255批, 生产合格钢筋214907.267t, 熔炼成分、力学性能、表面质量等综合合格率为100%, 理论成材率101.05%, 定尺率99.37%。

按HRB400铌钛合金的平均加入量计算, 合金生产成本比HRB335增加47元/t, 比传统钒铁微合金化工艺降低合金成本128.50元/t, 比铌微合金化工艺降低合金成本13元/t。实践证明, 用铌钛复合微合金化技术生产HRB400钢筋, 实现了生产成本最小化。

6 结论

6.1 实现了降低生产成本目标, 实现了生产成本最小化, 为企业创造了巨大经济效益。

6.2 回归分析关系式对于铌钛复合HRB400钢筋的生产具有很好的指导意义。Nb、Ti合金元素对屈服强度的影响大于对抗拉强度的影响, 并且Nb更有利于综合性能。

6.3 严格控制转炉操作制度, 提高终点C含量可有效减少钢中含氧量, 降低钢水氧化性, 通过合理的Ti、Nb加入制度, 使Ti、Nb回收率明显提高。

6.4 采用铌钛复合技术生产HRB400钢筋, 对工艺控制的要求较高, 要严格按照要求控制加热、终轧温度和轧后冷却制度, 加热温度1150~1250℃, 终轧温度950~1000℃, 穿水冷却后的温度不大于850℃。

[返回上页](#)