



# 可焊接高强钢筋 500B 的开发生产实践

韩晓宇

(河钢集团 河钢国际宣化分公司,河北 宣化 075100)

**摘要:**宣钢采用铁水扒渣—转炉—LF 精炼炉—12 机 12 流连铸机(165 方电磁搅拌)—棒材轧制的生产工艺,制定炼钢、精炼、连铸、轧制工艺控制要点,开发生产了可焊接高强钢筋 500B。产品整体性能较好,生产稳定,焊接后屈服强度(549 MPa)下降 2 MPa,抗拉强度(697 MPa)升高 1 MPa,拉伸断口为延性,断裂过程发生在母材,产品具有较好的焊接性能。

**关键词:**高强钢筋 500B;焊接性能;力学性能;开发

**中图分类号:** TG335.64

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-4620(2017)06-0022-02

## 1 前言

为开拓香港市场,扩大宣钢销售品种,进一步提升宣钢螺纹钢产品档次、竞争力和知名度,针对客户提出的英标高强钢筋技术要求,开发生产英标高强钢筋 500B。实现宣钢英标 500B 高强钢筋成功走向国际市场。

## 2 研制开发

### 2.1 工艺路线制定

结合宣钢现场冶炼、连铸、热轧设备实际条件,采用铁水扒渣—转炉—LF 精炼炉—12 机 12 流连铸机(165 方电磁搅拌)—棒材轧制方式开发生产 500B

高强钢筋。

### 2.2 化学成分の設定

英标 BS4449:2005 除对 C、S、P、N、Cu、Ceq 成分有上限要求外,没有具体规定其他合金元素及成分范围,仅在备注中明确说明如果能证明有足量氮结合元素,较高的氮含量是允许的。

参考相关资料并结合近年来宣钢以 V、N 合金化生产 HRB500 钢筋的成熟经验,首先确定设计 500B 钢筋化学成分,结合炼钢成分的实际控制能力,将成分内控范围进行逐步缩窄并确定目标值,使得产品屈服强度在合理范围内。同时考虑出口退税要求 V 含量元素须在 0.10%以上,将 V 含量内控范围确定在 0.105%~0.110%。钢种设计化学成分见表 1。

表 1 化学成分控制要求 %

项目	C	Si	Mn	V	S、P	Ceq
控制范围	0.18~0.22	0.40~0.60	1.25~1.45	0.105~0.110	≤0.04	0.41~0.49
目标	0.20	0.45	1.30	0.105		

注:  $C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ , 英标螺纹钢必须具备良好的焊接性能,要求碳当量较低。

### 2.3 工艺控制要点

#### 2.3.1 转炉操作

Fe-Si、Si-Mn、强脱氧剂硅铝钡铈等合金料要求干净、干燥,不得混料,并提供准确的合金成分。铁水渣扒净,铁水亮面 ≥ 70%;采用硅铝钡铈脱氧(参考加入量为 0.5 kg/t),合金化使用硅锰、硅铁、钒氮合金。出钢过程钢包底吹全程吹氩气操作,渣层厚度应 ≤ 70 mm。终点 C、终点 P、终点温度三者协调, C ≥ 0.10%、P ≤ 0.030%、S ≤ 0.035%,进精炼温度要求为 1 550~1 560 ℃。出钢口形状良好,采用挡渣塞挡渣出钢,终渣碱度控制在 3.0~3.5。

#### 2.3.2 精炼操作

LF 精炼周期控制在 40~45 min,软吹时间 5

min。精炼过程调整成分,均匀温度,采用碳化硅进行弱脱氧,确保造白渣,白渣时间 ≥ 10 min,保持合适的渣层厚度。精炼渣碱度 2.5~3.0,出精炼温度 1 590~1 630 ℃。

#### 2.3.3 连铸操作

中包使用 Φ 19.5 mm 中包上水口,开浇前烘烤温度 > 1 000 ℃(塞棒红亮),水口温度 > 800 ℃,引锭头烘烤干燥;采用全保护浇注,中包冲击区无钢花翻溅;大包长水口、浸入式水口密封良好;浇钢过程中,中包液面必须 ≥ 700 mm,换大包时中包液面必须 ≥ 800 mm;浇注铸坯断面尺寸 165 mm × 165 mm,连铸使用电磁搅拌,参数 4 Hz/220 A;要求目标过热度 20~40 ℃;典型拉速 1.7 m/min(12 流生产),保持稳定,波动 ≤ 0.1 m/min;连铸工艺不正常时生产的连铸坯剔除。连铸坯表面不得有目视可见的重接、翻皮、结疤、夹杂,不得有深度或高度 > 3 mm 的划痕、

收稿日期:2017-10-28

作者简介:韩晓宇,男,1983年生,2008年毕业于河北理工大学金属材料专业。现为河钢集团宣钢公司工程师,从事钢材出口工作。

压痕、擦伤、气孔、皱纹、冷溅、凸块、凹坑；连铸坯横截面不得有影响使用的缩孔、皮下气泡、裂纹<sup>[1]</sup>。此钢种 V 和 N 含量偏高，易诱发铸坯裂纹，拉速、过热度、二冷水、拉矫必须稳定。

### 2.3.4 轧钢工序

1) 组批、投料。组批时按每批由同一钢号、同一炉号、同一规格的原则进行组织。装炉时，炉与炉之间作明显标识，执行按炉送钢制度，并设专人跟踪。

2) 加热炉加热制度。钢坯加热制度：预热段温度 650 ~ 850 ℃，加热段及均热段温度 1 000 ~ 1 150 ℃。加热应均匀无明显黑印，断面温差 ≤ 20 ℃，钢坯长度方向温差应 < 30 ℃，严禁过热和过烧。当钢坯开轧温度低于规定值下限时，炉气温度可适当提高。加热温度按该区域热电偶实测温度的平均值为准。开轧温度以高压水除鳞后测温仪测得的最高温度为准。保证钢坯加热时间和加热温度，严格控制加热炉出钢速度。

3) 轧制。要求钢坯使用高压水除鳞设备去除炉生氧化铁皮。按照轧制程序给定的辊缝和料型高度值设定辊缝，并预加弹跳值。定期检查定尺挡板磨损情况，对磨损严重的定尺挡板进行更换，保证定尺长

度控制在 10 ~ 20 mm 范围之内。其次出现故障停机对于冷床上温度降低的钢材，根据温降，利用钢材线性热胀系数测算定尺长度变化进行挡板厚度调整，保证定尺精度。钢筋定尺长度偏差 0 ~ +100 mm，负差要求 0 ~ -3.0%。充分利用在线工艺磅进行负差验证，并采用电子称每批测试米重。发现负差出现较大波动时及时调整料型。成品按照集港材出口材包装，保证包装坚实。按国标要求执行检验，每批至少 3 个试样。成品表面不得有裂纹、折叠、结疤、夹杂等缺陷。公称直径 Φ 10~Φ 40 mm 规格钢材力学性能满足表 2 要求。

表 2 可焊接高强钢筋 500B 力学性能要求

$R_{el}$ (或 $R_{p0.2}$ )/MPa	$R_m$ /MPa	$R_m/R_{el}$	A/%	$A_{gt}$ /%	弯心直径
510 ~ 650	≤ 640	≤ 1.08	≤ 16	≤ 7.5	4d

## 3 产品可焊性性能试验分析

接头表面无横向裂纹；电极接触处的钢筋表面无明显烧伤。

钢筋样品经闪光对焊后的拉伸性能试验结果见表 3(钢筋断裂性质均为韧性断裂)。

表 3 500B 钢筋样品经闪光对焊后的拉伸性能

试样 序号	$R_{el}$ /MPa		$R_m$ /MPa		A/%		$A_{gt}$ /%		$R_m/R_{el}$		焊缝与断口 间距离/mm
	母材	焊件	母材	焊件	母材	焊件	母材	焊件	母材	焊件	
1	556	555	700	701	18	17	10.5	10	1.26	1.26	23.25
2	545	543	688	690	19.5	19	11	11.5	1.26	1.27	24.23
3	555	552	702	700	19	19	11	11.5	1.26	1.27	23.39
4	548	546	695	696	20.5	20	11.5	11	1.27	1.27	20.03
平均	551	549	696	697	19.3	18.75	11	11	1.26	1.27	23.53

焊接后的拉伸试验结果表明，屈服强度下降 2 MPa，抗拉强度升高 1 MPa，说明焊接过程引入的焊缝及热影响区对钢筋力学性能的影响很小。

试样拉伸断口均在远离焊接接头熔合区及热影响区的母材上，均为延性断口；焊缝与断口间距离较大，断裂过程发生在母材。断口颈缩明显，呈现出良好的韧性断裂特征，也看不到脆性断裂的痕迹。

弯心直径依据《钢筋验收及焊接规范》JGJ 18—1996 规定选取<sup>[2]</sup>。经检验冷弯和反弯全部合格。弯曲后，试样未现裂纹。

宣钢生产的高强钢筋 500B 具有良好的焊接性能，完全满足相关标准的要求。

## 4 结 语

通过专题会议，对出口技术方案，取样要求，材质单要求等所有细节都做了详细的方案，通过各部门的配合，生产严格执行工艺规程，在轧制中全程取

样跟踪、严控轧制工艺参数，同时实时与客户沟通等，对产品实行全过程质量管理。从开发产品至今，累计生产销售 500B 高强钢筋 10 万 t。通过绘制标准规定检验项目特性值统计表分析：宣钢对各成分的控制工序能力指数大于标准值，成分控制准确。产品成分全部合格，满足英标 BS4449:2005 中规定的螺纹钢成分要求。负差稳定，达到客户规定的螺纹钢尺寸允许偏差要求，负差富余量控制在 34% ~ 73%。500B 高强钢筋整体力学性能良好，平均屈服强度 525 ~ 600 MPa，抗拉强度 650 ~ 740 MPa，强屈比在 1.21 ~ 1.31 之间。采用的成分设计及工艺更好地保证了 500B 高强钢筋的可焊性。

### 参考文献：

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中华人民共和国黑色冶金行业标准 连续铸钢方坯和矩形坯[S]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.
- [2] 李强, 杨国伟. 钢筋分项工程的质量控制要点及方法[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2011(35).

(下转第 26 页)

## 参考文献:

- [1] 黄步明, 许忠斌. 高速超精密注塑机的技术进展及发展动向[J]. 工程塑料应用, 2002, 30(12): 47-49.

- [2] 许伟阳. 连铸齿轮钢矩形坯碳“锭型”偏析的形成与控制[D]. 北京: 钢铁研究总院, 2012: 95.

## Development and Production Practice of CL.516D Steel for Injection Molding Machine

WANG Chao, ZHANG Tao, MA Yuchao

(Shandong Shouguang Juneng Special Steel Co., Ltd., Shouguang 262711, China)

**Abstract:** According to technology agreement requirements, combining the service conditions of the product, internal control requirements for chemical composition of steel were designed and the corresponding smelting, rolling and annealing processes were worked out. Shandong Shouguang Juneng Special Steel Co., Ltd. successfully developed and produced the steel CL.516D for injection molding machine. The quality statistics showed that the yield strength is 846-985 MPa, the tensile strength is 989-1 127 MPa, percentage elongation after fracture is 16.5%-20%, the impact energy at 20 °C is 66-95 J. The macrostructure is good, general porosis is grade 0-1.0, center porosis is grade 1.0-1.5, the pattern segregation is grade 0-1.0. The purity of steel is better and the grain fineness grade 7-8.5. Each performance index of the product meets the technical agreement requirements.

**Key words:** steel for injection molding machine; CL.516D steel; mechanical properties; porosity; square segregation

(上接第 21 页)

### 5 结论

莱钢采用配料→100 t 电炉冶炼→LF 精炼 +VD 真空脱气处理→连铸→热送 / 入坑缓冷→轧制→精整工艺生产 AISI4137H 钻杆接头用钢工艺路线正确可行。通过优化设计化学成分, 合理制定炼钢、连铸、

轧制各项工艺参数, 生产的钢材组织致密、晶粒细小、洁净度高、淬透性好、力学性能稳定, 较好地满足了作为钻杆接头用钢的技术要求。

## 参考文献:

- [1] 赵金凤, 余世杰, 袁鹏斌, 等. 加重钻杆接头刺漏原因分析[J]. 石油矿场机械, 2014, 43(8): 47-51.  
[2] 杨志宁. 天铁 26CrMo4 圆管坯生产实践 [J]. 天津冶金, 2015 (6): 9-11.

## Development and Production Practice of AISI4137H Steel for Drill Pipe Joint

YUAN Shujun

(Laiwu Branch of Shandong Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, China)

**Abstract:** By optimizing the chemical composition, rationally formulating the key control parameters of smelting, continuous casting and rolling process, AISI4137H steel for drill pipe joint was successfully developed. The product quality testing show that: the steel is compact in structure, the central porosis is grade 0.5-1.0, the grain size is fine between grade 7-8, the cleanliness is higher, hardenability is better and the mechanical properties is stable, the minimum strength value is higher than the standard requirement of 30 MPa or more, and the low temperature impact energy at -20 °C is 84-108 J, which meets the steel standard and application requirement of the drill pipe joint.

**Key words:** drill pipe joint steel; AISI4137H steel; hardenability; high cleanliness

(上接第 23 页)

## Development and Production of Weldable High Strength Steel Bar 500B

HAN Xiaoyu

(HBIS International Xuanhua Branch, HBIS Group, Xuanhua 075100, China)

**Abstract:** The production technology of weldable high strength steel bar 500B is slag-converter-LF refining furnace-12 machine 12 stream continuous casting machine (165 square electromagnetic stirring) - bar rolling in Xuan steel. The detailed key points of process control in the steelmaking, refining, continuous casting, rolling process were made. The actual production situation showed that the overall performance is better and stable. After welding, the product has good weldability. Such as the yield strength (549 MPa) is decreased by 2 MPa, the tensile strength (697 MPa) is increased by 1 MPa, the tensile fracture is ductile, and the fracture process occurs in the base metal.

**Key words:** high-strength bar 500B; welding performance; mechanical property; development

