

安钢 Nb 微合金化高强度船体结构钢板的开发

朱红一

(安阳钢铁股份有限公司, 安阳 455004)

摘要 安阳钢铁公司通过 100 t 转炉-100 t LF-200 mm × 1 500 mm 连铸机-2800 mm 中板轧机生产流程开发了 Nb 微合金化高强度船板。生产数据统计结果表明,通过精确控制钢的成分(%: 0.13 ~ 0.16C, 0.33 ~ 0.43Si, 1.31 ~ 1.42Mn, 0.007 ~ 0.014P, 0.005 ~ 0.018S, 0.021 ~ 0.039Al, 0.018 ~ 0.022Nb), 精轧开始温度 950 °C, 精轧累积压下率 ≥ 50%, 终轧温度 780 ~ 850 °C, 使 AH36 牌号 6 ~ 25 mm 钢板的晶粒度为 9 ~ 9.5 级, 屈服强度 360 ~ 475 MPa, 抗拉强度 490 ~ 610 MPa, δ₅ 伸长率 18% ~ 36%, 0 °C 冲击功 110 ~ 221 J。

关键词 Nb 微合金化 高强度钢板 控制轧制

Development of Nb Microalloying High Strength Ship Plate at Anyang Steel

Zhu Hongyi

(Anyang Iron and Steel Co Ltd, Anyang 455004)

Abstract Nb microalloying high strength ship plate was produced by 100 t converter-100 t LF-200 mm × 1 500 mm caster-2800 mm medium plate mill flow sheet at Anyang Steel. Production data statistic results showed that with precisely controlling chemical composition of steel (%: 0.13 ~ 0.16C, 0.33 ~ 0.43Si, 1.31 ~ 1.42Mn, 0.007 ~ 0.014P, 0.005 ~ 0.018S, 0.021 ~ 0.039Al, 0.018 ~ 0.022Nb), beginning finish rolling at 950 °C, total reducing ≥ 50% in finish rolling, and end finish rolling at 780 ~ 850 °C, the grain size rating of 6 ~ 25 mm steel plate of grade AH36 was 9 ~ 9.5, yield strength 360 ~ 475 MPa, tensile strength 490 ~ 610 MPa, δ₅ elongation 18% ~ 36% and impact energy at 0 °C 110 ~ 221 J.

Material Index Nb Microalloying, High Strength Plate, Control Rolling

1 工艺流程和主要设备

开发高强钢板采用的工艺流程是:100 t 转炉冶炼-LF 精炼-连铸-坯料切割-加热-除鳞-2800 mm 轧机粗轧-2800 mm 轧机精轧-矫直-冷却-剪切-收集入库。

100 t 转炉采用顶底复合吹炼,有利于快速成渣,快速除去 P、S。100 t LF 主要技术参数见表 1;连铸机主要技术参数见表 2。

表 1 LF 精炼炉主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of LF

项目	参数
额定处理量/t	110
钢包内径/mm	2 900
电机直径/mm	450
自由空间/mm	900
变压器容量/MVA	18
升温速度/(°C · min ⁻¹)	4

表 2 连铸机主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of caster

项目	参数
中间包容量/t	32
中间包过热度/°C	20 ~ 35
铸坯断面/(mm × mm)	200 × 1 500
弧形半径/m	8
流数	1 机 1 流
流间距/mm	-
铸(拉)速度/(m · min ⁻¹)	1.2 ~ 1.4
铸坯定尺长度/mm	1 600 ~ 2 600
冶金长度/m	24.9
出坏温度/°C	950
矫直方式	连续弯曲,连续矫直
二次冷却方式(水雾)	气雾
电磁搅拌(M-EMS)	无
铸流保护	无氧化保护浇铸
连铸机平均作业率/%	94
连铸机连浇铸炉数	18
平均浇铸时间/min	810
生产能力/(万 t · a ⁻¹)	135

2 高强度船板主要工艺控制

考虑船板焊接性能的需要,对钢中的 C、Mn 含量按中下限控制,在保证强度的同时,降低 S、P 含量,改善低温冲击韧性。

根据安阳钢铁股份有限公司 100 t 转炉的冶炼特点,考虑到目前铸坯质量的现状,加入 Al 合金元素比较经济,同时裂纹敏感系数较低。选择了 Al + Nb 复合微合金化,主要是发挥 Al、Nb 钢在较高温度变形时的细晶强化作用以及小部分析出强化作

表3 安钢 AH32 和 AH36 钢板高强度船板成分/%

Table 3 Chemical composition of steel AH32 and AH36 for high strength plate produced at Anyang Steel /%

项目	C	Si	Mn	P	S	Al _t	Nb
设计成分	0.14~0.18	0.15~0.50	1.20~1.45	≤0.025	≤0.020	≥0.20	0.015~0.025
分析成分	0.13~0.16	0.33~0.43	1.31~1.42	0.007~0.014	0.005~0.018	0.021~0.039	0.018~0.022

注:表中 Al_t 为全铝含量;Nb 含量上限可按 0.045% 判定执行。

用^[1]。安钢高强度船板成分体系设计如表 3 所示。

冶炼和连铸工艺控制的要点为:

(1)严格控制终点碳含量,终点 C 目标控制在 0.07%~0.12%;(2)精炼炉喂入 CaSi 线 2.5~3.5 m/t;LF 冶炼时间≥35 min,同时保证软搅拌时间≥6 min,白渣成分主要为氧化钙和二氧化硅,碱度≥2.0;(3)全程无氧化保护浇铸;矫直温度控制在 950℃以上,拉速稳定在 0.9 m/min 以上,以避免脆性区,防止产生横裂。

制订加热工艺应考虑微合金钢的粗化温度、固溶温度及加热后的变形抗力等特点,由于 Nb 钢粗化温度为 1 150℃,Al 钢粗化温度为 1 100℃;

Nb 钢固溶温度为 1 150~1 170℃,所以设计加热时间≥3 h,加热段温度为 1 050~1 200℃,均热段温度为 1 150~1 250℃,保证微合金元素充分固溶到奥氏体中。另外 3 座加热炉采用交替出钢方式,炉膛压力控制为微正压,以避免炉头钢坯吸冷风,并保证钢坯加热均匀。

安钢高强度船板轧制工艺选用再结晶型和未再结晶型两阶段控制轧制工艺^[2]:(1)粗轧阶段采用再结晶型控制轧制,开轧温度 1 000℃以上完成,道次压下率控制在 15%~22%;(2)精轧阶段采用未再结晶区控制轧制,选择精轧温度≤950℃,第二阶段累积压下率≥50%,终轧温度控制在 780~850℃,然后空冷。

3 试制结果和分析

3.1 成分控制

AH32、AH36 实际成分控制见表 3,对于船用微合金化钢,为保证良好的焊接性能,应控制碳当量 C_{eq} 在 0.38 左右,Mn 含量太高易形成上贝氏体组织,对韧性不利,所以 Mn 含量控制在 1.33% 左右。P、S 含量控制在较低的范围,总之,整体成分控制

稳定,满足高强度船板成分设计要求。

3.2 组织和力学性能

显微组织为铁素体和珠光体,铁素体晶粒度 9~9.5 级,比普通控 Al 的 Q345 钢高 0.5 级以上。

由于采用了 Al+Nb 复合微合金化成分体系,有效地改善了船用钢板的强韧性指标。与普通控 Al 的 Q345 钢相比,平均屈服强度提高 15 MPa 以上,平均抗拉强度提高 20 MPa 以上,满足高强度船

表4 Nb 微合金高强度船板钢的力学性能

Table 4 Mechanical properties of Nb microalloying high strength plate

项目	钢级	炉批	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 /%	冷弯试验 $b =$ 30 mm 180°	V 型试验冲击功/J		
							温度/℃	纵向	横向
标准要求	AH32	-	≥325	440~570	≥22	$d = 3a$	0	≥36	≥27
	AH36	-	≥365	490~620	≥21	$d = 3a$	0	≥39	≥29
实物检验	AH32	345	335~435	485~585	18~35		0	121~198	
	AH36	36	360~475	490~610	18~36		0	110~221	

注: d -冷弯直径/mm; b -试样宽度/mm; a -钢板厚度/mm。

板成分设计要求。表 4 为高强度船板性能实物水平和标准要求。

4 结语

2007 年安阳钢铁股份有限公司共生产高强度船板 25.8 万 t,平均月产在 2 万 t 以上,产品厚度规格为 6~25 mm,钢板的综合力学性能稳定,性能初验合格率达到 99.45%,其中 AH32 力学性能初验合格率达到 99.56%,AH36 性能初验合格率达到 99.31%,组织晶粒度达到 9~9.5 级,满足了市场及用户要求。

参考文献

- 1 王祖滨,东涛.低合金高强度钢.北京:冶金工业出版社,1997
- 2 李曼云,孙木荣.钢的控制轧制和控制冷却技术手册.北京:冶金工业出版社,1998

朱红一(1960-),男,高级工程师,副总机械师,1982 年北京科技大学毕业,中厚板生产技术管理。

收稿日期:2008-11-24