

# 铁路货车制动梁用微合金化钢 15Mn2CrVNbE 的试制

杨卫中<sup>1</sup> 周德光<sup>1</sup> 唐建国<sup>2</sup> 张 娜<sup>2</sup> 肖 静<sup>2</sup>

(1 首钢第三炼钢厂 北京 100043; 2 首钢特殊钢股份有限公司 北京 100043)

**摘要** 首钢三炼钢厂采用铁水脱硫-80 t LD 冶炼-LF(喂丝)精炼-4 流方坯连铸工艺生产制动梁用微合金化钢 15Mn2CrVNbE(0.13~0.17C、1.44~1.59Mn、0.30~0.60Cr、0.02~0.10V、0.02~0.05Nb、0.02~0.05Al)。通过控制钢中 Al 含量、吹氩、喂硅钙线和全程保护浇铸等工艺措施,149 炉生产结果表明,铸坯中氧含量为( $7\sim26$ ) $\times10^{-6}$ ,氮含量为( $29\sim79$ ) $\times10^{-6}$ 。制动梁成品的力学性能为 $\sigma_s$  465~575 MPa,  $\sigma_b$  630~720 MPa,  $\delta_s$  25%~34%, -40℃ 纵向冲击功 36~183 J, 满足使用要求。

**关键词** 微合金化钢 15Mn2CrVNbE 制动梁 LD-LF 工艺

## Research and Production of Microalloying Steel 15Mn2CrVNbE for Trigging Girder of Railway Wagon

Yang Weizhong<sup>1</sup>, Zhou Deguang<sup>1</sup>, Tang Jianguo<sup>2</sup>, Zhang Na<sup>2</sup> and Xiao Jing<sup>2</sup>

(1 No3 Steelmaking Plant, Shougang, Beijing 100043; 2 Special Steel Corp Ltd, Shougang, Beijing 100043)

**Abstract** The microalloying steel 15Mn2CrVNbE (0.13~0.17C, 1.44~1.59Mn, 0.30~0.60Cr, 0.02~0.10V, 0.02~0.05Nb, 0.02~0.05Al) for triggering girder has been produced by hot metal desulphurizing - 80 t LD melting - LF (feeding wire) refining - 4 strand billet concasting process at No3 steelmaking plant, Shougang. The production results (149 heats) showed that with control of Al content in steel, argon stirring, feeding silicon-calcium wire, whole course shielding casting technology, the oxygen content in billet was ( $7\sim26$ ) $\times10^{-6}$ , nitrogen content was ( $29\sim79$ ) $\times10^{-6}$ , and the mechanical properties of triggering girder products were  $\sigma_s$  465~575 MPa,  $\sigma_b$  630~720 MPa,  $\delta_s$  25%~34% and -40℃ longitudinal impact energy 36~183 J, which met the requirement of service.

**Material Index** Microalloying Steel 15Mn2CrVNbE, Triggering Girder, LD-LF Process

新型货车组合式制动梁用 15Mn2CrVNbE 钢, 性能相当于 GB/T1591-1994 中低合金高强度钢 Q460E, 要求具有优良的综合力学性能( $\sigma_s \geq 460$  MPa, -40℃  $A_{kv} \geq 27$  J), 耐候性和较长的使用寿命。

### 1 制动梁用钢 15Mn2CrVNbE 的工艺特点

首钢三炼钢厂的生产工艺流程为:铁水脱硫-80 t LD 冶炼-LF 精炼-2 号连铸机矩形坯连铸-铸坯出厂。

#### 1.1 转炉冶炼

80 t 氧气顶吹转炉(LD)4 孔氧枪, 出钢用渣锥挡渣。以脱硫后的低硫铁水为原料, 采用氧气顶吹、早化渣去磷、双渣法操作、控制终点成分、包中脱氧及合金化、挡渣出钢等操作, 终点目标成分按(%) : 0.05~0.08C、≤0.015P、≤0.030S 控制。

#### 1.2 LF 精炼

2 台达涅利 LF(表 1)最大电极工作电流 46 kA, 电极直径Φ400 mm, 电弧长度 60~90 mm。每台 LF 配有 3 台双孔喂丝机, 钢包底部有 2 块弥散型直通狭缝式透气砖。

根据低碳用 Al 脱氧的特点, 经过 LF 精炼, 合成

表 1 LF 主要技术参数  
Table 1 Main technical parameters of LF

项目	参数
额定处理量/t	80
钢包直径/mm	2702(内衬上口)
自由空间/mm	600~900
变压器容量/MVA	14
升温速度/(°C·min⁻¹)	3~5

渣加入量 12~15 kg/t, 埋弧渣加入量 3~4 kg/t, 终渣碱度控制在 3.6~4.5, 加入粉状脱氧剂, 造白渣, 微调成分至内控要求, C 按目标中下限控制, 并喂 Al 线调整 Al 含量至 0.020%~0.050%, 全程吹氩, 并喂硅钙包芯线进行钙处理, 净吹氩时间 ≥ 10 min, 以不露钢液面为宜, 保证钢水的纯净度和可浇性<sup>[1]</sup>。LF 终渣成分(%)为: 45~55CaO、8~12SiO<sub>2</sub>、20~28Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、5~10MgO、≤1(FeO+MnO)。

#### 1.3 2 号机矩形坯连铸

达涅利 4 流全自动矩形连铸机(表 2)连铸时, 采用碱性干式料中间包, 钢包到中间包用氩封长水口, 中间包到结晶器用浸入式水口或整体水口全保

表 2 连铸机主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of concaster

项目	参数			
中间包容量/t	22			
中间包过热度/℃	20~40			
铸坯断面/mm × mm	160 × 200	160 × 245	160 × 160	
弧形半径/m	10.28			
流数	4			
流间距/mm	1 300			
拉坯速度/(m · min <sup>-1</sup> )	1.2~2.5			
铸坯定尺长度/m	8.4~10.8			
冶金长度/m	21			
出坯温度/℃	700			
矫直方式	连续矫直			
二次冷却方式	自动配水, 气雾冷却			
M-EMS	有			
铸流保护	有			
连铸机平均作业率/%	75			
连铸机连浇铸炉数	15~18			
平均浇铸时间/min	36~50			
生产能力/(万t · a <sup>-1</sup> )	68			

护浇铸。中间包用低碳专用碱性覆盖剂, 结晶器用低碳保护渣。采用结晶器电磁搅拌、二冷弱冷自动配水选 2D 组、气雾冷却及结晶器液面自动控制条件下自动浇钢技术。中间包钢水过热度控制在 30~40 ℃, 断面 160 mm × 245 mm 的铸坯拉速控制在 1.7~1.9 m/min, 铸坯要求在避风垛位堆冷时间 ≥ 8 h。含 Nb 钢在连铸过程中 Nb 的析出在 900 ℃ 达到峰值, 这是该钢种高温塑性降低的主要原因<sup>[2]</sup>。因此采用了较高过热度、较高拉速、二冷弱冷等措施。

## 2 制动梁用钢 15Mn2CrVNbE 的冶金质量

首钢三炼钢厂试制生产制动梁用新钢种 15Mn2CrVNbE 铸坯共 2 个规格(160 mm × 200 mm、160 mm × 245 mm), 累计产量约 26 360 t, 铸坯合格率达 99.78%。

钢的化学成分均符合技术协议的要求, 其中

表 3 15Mn2CrVNbE 钢化学成分和氧、氮含量控制结果

Table 3 Control results of chemical composition and oxygen, nitrogen content in steel 15Mn2CrVNbE

项目	化学成分/%								[O]V 10 <sup>-6</sup>	[N]V 10 <sup>-6</sup>	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Nb	Al		
协议要求	≤0.18	≤0.55	1.00~1.70	≤0.025	≤0.025	≤0.70	0.02~0.20	≥0.020	≥0.015	≤35	≤120
分析值	0.13~0.17	0.22~0.42	1.44~1.59	0.007~0.020	0.003~0.017	0.30~0.60	0.02~0.10	0.02~0.05	0.02~0.05	7~26	29~79

149 炉钢的化学成分(熔炼分析)控制情况分析统计结果见表 3。

取 160 mm × 245 mm 铸坯进行连铸坯酸浸横向低倍检验( N = 75 ), 结果为: 中心偏析 0 级, 中心疏松 0.5~2.0 级, 缩孔 0~2.0 级, 非金属夹杂物、皮下裂纹、角部裂纹均为 0.5 级。

取试制炉次( N = 81 )铸坯试样, 其中 [O] 含量 (7~26) × 10<sup>-6</sup>( 平均 14.7 × 10<sup>-6</sup> ), [N] 含量 (29~79) × 10<sup>-6</sup>( 平均 56.4 × 10<sup>-6</sup> ), 大部分试样 [O] 在 (10~20) × 10<sup>-6</sup>, [N] 在 (50~70) × 10<sup>-6</sup>。15Mn2CrVNbE 钢铸坯开成 113 mm × 113 mm 方坯( N = 92 ), 低倍检验结果见表 4。

## 3 制动梁成品的力学性能

新钢种制动梁生产工艺流程为轧制方坯-加热-轧(锻)成“十”字型钢-冷却。“十”字型钢-加热-切分-拉拔-整形-冷却-回火-检查-成品。制动梁成品的

表 5 15Mn2CrVNbE 钢制动梁成品的力学性能

Table 5 Mechanical properties of triggering girder products of steel 15Mn2CrVNbE

项目	σ <sub>s</sub> /MPa	σ <sub>b</sub> /MPa	δ <sub>5</sub> /%	A <sub>KV</sub> /J ( 纵向 -40 ℃ )
标准要求	≥460	≥550	≥17	≥27
实测范围	465~575	630~720	25~34	36~183

力学性能按 GB/T1591-1994 标准检验, 结果见表 5。

## 4 结论

(1) 制动梁用钢 15Mn2CrVNbE 采用 LD 冶炼-LF 精炼-连铸工艺生产的铸坯合格率达 99.78%。铸坯 [O] 含量为 (7~26) × 10<sup>-6</sup>。

(2) 由铁道部委托铁道科学技术研究院从各车辆厂抽样 8 辆运装货车, 进行 7 个月寿命考核行车试验, 证明新型货车制动梁用新钢种完全能满足 GB/T1591-1994 标准和用户轧制加工及各项性能要求, 符合铁道部制动梁用钢标准规定。

## 参考文献

- 1 章洪涛, 王瑞珍. 锰钢和铌合金. 北京: 冶金工业出版社, 2000
- 2 殷瑞钰. 钢的质量现代进展. 北京: 冶金工业出版社, 1995

杨卫中(1969-)男, 工程师, 北京科技大学毕业, 从事特钢的技术管理与产品研究、开发。

表 4 15Mn2CrVNbE 钢 113 mm × 113 mm 的低倍检验/级  
Table 4 Macrostructure examination results of 113 mm × 113 mm cast billet of steel 15Mn2CrVNbE / rating

项目	一般疏松	中心疏松	偏析
协议要求	≤3	≤3	≤3
检验结果	方数据 ~1.0	0.5~1.5	0~0.5