

## 冷作模具钢 Cr12MoV 40 t EAF-LF-VD-模铸冶炼工艺优化实践

梁新腾<sup>1,2</sup> 谢珍勇<sup>3</sup> 孙彦辉<sup>1</sup> 王建<sup>2</sup> 蔡武<sup>3</sup>

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083;2 攀钢集团研究院有限公司,成都 611731;

3 攀钢集团江油长城特殊钢有限公司,江油 621701)

**摘要** 通过将低碱度(2.6)CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>渣系优化成(≥5.0)高碱度CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub>渣系,LF前钢中[Als]由0.02%~0.03%提高至≥0.06%,将原大气浇铸改进为箱式Ar保护浇铸,3t锭身浇铸时间由6~8min优化成4~5min等工艺措施,使Cr12MoV冷作模具钢[O]≤18×10<sup>-6</sup>,[S]≤0.005%,综合成材率由74.35%提高至80.12%。

**关键词** Cr12MoV冷作模具钢 40tEAF-LF-VD-3t锭模铸流程 精炼工艺 优化

### Process Optimization Practice of 40 t EAF-LF-VD-Mould Casting Steelmaking for Cold-Working Die Steel Cr12MoV

Liang Xinteng<sup>1,2</sup>, Xie Zhenyong<sup>3</sup>, Sun Yanhui<sup>1</sup>, Wang Jian<sup>2</sup> and Cai Wu<sup>3</sup>

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;

2 Pangang Group Research Institute Co Ltd, Chengdu 611731;

3 Changcheng Special Steel Co Ltd, Pangang Group, Jiangyou 621701)

**Abstract** With using the process measures including modifying the low basicity (2.6) CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> slag series to high basicity (≥5.0) CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> slag series, increasing the [Als] in steel before LF refining from 0.02%~0.03% to ≥0.06%, improving the atmosphere casting to box type Ar shielding casting and improving the 3t ingot body casting time from 6~8min to 4~5min, the [O] and [S] in cold-working die steel Cr12MoV are respectively ≤18×10<sup>-6</sup> and ≤0.005%, and the comprehensive products yield increases from 74.35% to 80.12%.

**Material Index** Cold-Working Die Steel Cr12MoV, 40tEAF-LF-VD-3t Ingot Casting Flowsheet, Refining Process, Optimization

模具钢大致可分为热作模具钢、冷作模具钢和塑料模具钢3个类别,由于各种模具钢的用途不同,工作条件复杂,对模具钢使用性能和工艺性能的要求也不同<sup>[1-2]</sup>。Cr12MoV模具钢是典型的冷作模具钢,占模具钢总量的17%,占合金模具钢总量的34%<sup>[3]</sup>,一般要求具有良好的淬透性、淬回火硬度、耐磨性、强度等,用于制造截面较大、形状复杂、工作条件繁重的各种冷冲模具和工具。为了适应其工作条件,必须有效控制模具钢的纯净度、碳化物的数量、大小、形状及其分布形态等。

国际先进水平的进口冷作模具钢氧含量普遍在20×10<sup>-6</sup>以下,[S]≤0.005%,夹杂物按ASTM E45-2005 A法标准评级均在2.0级以下,共晶碳化物不均匀度≤4级<sup>[4]</sup>。与国外进口模具钢相比,国内生产的这类钢主要质量差距在于杂质元素含量高、共晶碳化物不均匀度级别偏高,最终导致模具钢冲击值低<sup>[5]</sup>。攀钢集团长城特殊钢有限公司(攀长特钢)40t电弧炉采用“EAF+LF+VD+模铸+轧制”工艺生产的Cr12MoV钢,研究之前,氧化物细系夹

杂物在2.5~3.5级水平,氧含量在15×10<sup>-6</sup>~40×10<sup>-6</sup>波动,[S]≤0.010%;同时,随着材型变化共晶碳化物不均匀度在1.5~6.5级波动。

为进一步提高Cr12MoV钢的冶金质量,提高钢的纯净度和改进碳化物的大小及分布状态,本文根据攀长特钢公司目前的工装情况,对冶炼过程的纯净度控制、浇铸等主要工艺要点进行研究,提出了改善Cr12MoV模具钢质量的工艺措施,在实践中得到了很好的应用。

#### 1 工艺改进措施

##### 1.1 精炼工艺分析及优化

攀长特钢公司Cr12MoV冷作模具钢原来采用CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>渣系进行精炼,精炼渣成分在相图中的A区域(图1),精炼渣熔点高,流动性差,渣中SiO<sub>2</sub>含量偏高且波动大,取Cr12MoV钢生产过程渣样,发现LF渣成分中SiO<sub>2</sub>含量最高可达30%,炉渣碱度(CaO)/(SiO<sub>2</sub>)仅为1.7左右,脱氧脱硫效果差,不能满足高纯度的质量要求。国外普遍采用高

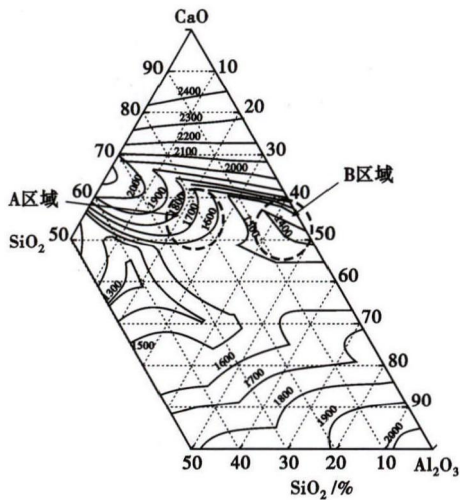


图 1 Factsage 热力学软件绘制的 CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 渣系等温线图:A- 优化前渣系;B- 优化后渣系

Fig.1 Isothermal diagram of CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slag series by Factsage thermodynamic software: A- slag series before optimization; B- slag series after optimization

碱度渣系(碱度 $\geq 4$ )来达到降低钢中氧和硫含量的目的,高碱度渣应控制碱度 $(CaO)/(SiO_2) \geq 4.0$ ,  $TFe \leq 1.0\%$  [6]。

其次,由于担心铝脱氧生成的 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 不变形夹杂物对特殊钢性能损害,LF 精炼开始仅仅将钢中 Al 含量控制在 0.02% ~ 0.03%,又由于 LF 过程中 Al 烧损严重,LF 精炼结束,钢中酸溶 Al 含量平均很难达到 0.010%,这样钢中 Al 含量很难在 VD 结束达到终脱氧将氧控制在  $20 \times 10^{-6}$  以下的目的。

为此,在理论计算的基础上,对现有 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> 渣系进行优化,选择了相图下方 SiO<sub>2</sub> 含量低于 10% 的 1400 °C 相区附近作为 LF 精炼终渣控制目标,这样一方面可以保证炉渣碱度 $(CaO)/(SiO_2)$  在 5.0 以上,有利于深度脱氧脱硫;另一方面,炉渣熔点控制在 1400 °C 左右,在熔点较低的高碳高合金冷作模具钢精炼中保证足够的熔渣过热度,并有利于对 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 夹杂的捕获去除。具体措施是通过加入预先配制的预熔渣料,准确控制精炼渣成分达到预定 B 区域(图 1),在高碱度低熔点强还原性精炼渣的作用下,利用 LF 底吹 Ar 搅拌,实现最佳的高温脱氧精炼,能够把 O、S 杂质含量降到极低。

同时增加 LF 进站钢中酸溶 Al 含量 $\geq 0.06\%$ , 保证 VD 进站钢中酸溶 Al 含量 $\geq 0.02\%$ ,过程取消有可能增硅的含有 Si 元素的 Ca-Si 线。在 LF 精炼结束,添加一定量 CaF<sub>2</sub> 对渣系进一步优化,降低 VD 液态渣粘度,提高 VD 精炼渣的去夹杂能力。最终形成了在高铝条件下的 CaO- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> 精炼

表 1 优化后的精炼终渣成分 / %

Table 1 Ingredient of end refining slag after optimization / %				
CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	其他组分
47	4.5	37	5	6.5

渣系,主要成分如表 1 所示。

### 1.2 创新的箱式 Ar 气保护浇铸

攀长特钢公司模铸一直以来采用多孔环型式的 Ar 气保护浇铸装置,在通入 Ar 气对钢液起到保护作用的同时,难以避免多孔环上方空气卷入带来二次氧化,监控检测表明引起的二次氧化增氧高达  $8 \times 10^{-6} \sim 15 \times 10^{-6}$ 。

为此,创新设计了箱式 Ar 气保护浇铸装置,如图 2 所示。

采用箱式 Ar 气保护浇铸方法后,二次氧化增氧量从  $4 \times 10^{-6} \sim 11 \times 10^{-6}$  降低到  $2 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ 。

### 1.3 提高钢锭浇铸速度

原 Cr12MoV 钢冶炼工艺在浇铸 3 t 锭时,为防止卷渣,采用相对较慢的浇铸速度,规定锭身浇铸时间 6 ~ 8 min,帽口填充时间 $\geq 5$  min。为此,在过热度一定的情况下,采取加快锭身充型速度,优化后锭身浇铸时间调整为 4 ~ 5 min。提高了钢液浇铸速度相当于加快了钢液的凝固速度,根据热力学和相变动力学,冷却速度越快,结晶核越多,则枝晶臂间距越小,局部凝固时间越短,共晶莱氏体网就越细,即钢液的凝固速度对铸态共晶碳化物粗细的主要影响是快则细,慢则粗。通过加快浇铸速度,缩短了凝固时间,铸态下共晶网络得到细化(图 3)。在浇铸速度提高到 4 ~ 5 min 后,相同变形工艺条件下的成品共晶碳化物分布不均匀度降低 0.5 ~ 1.0 级。同时,浇铸速度提高到 4 ~ 5 min 后,在实践中,钢锭中心截面夹杂物的分布有显著的降低,有利减少二次钢液

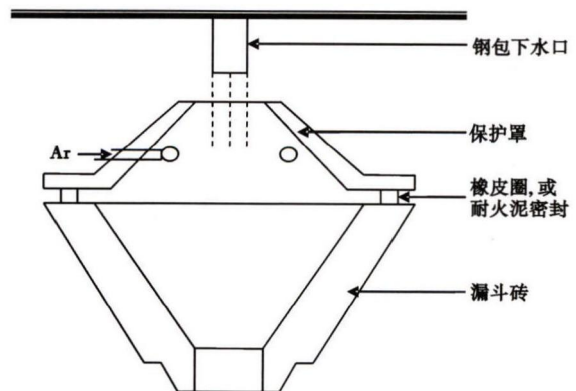


图 2 箱式 Ar 气保护浇铸装置示意图

Fig.2 Schematics of box type Ar protective casting device

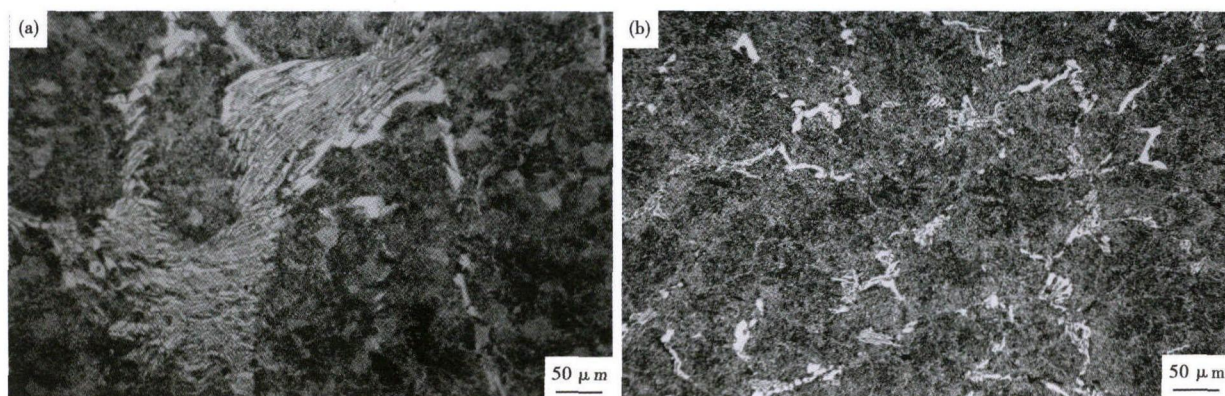


图 3 Cr12MoV 冷作模具钢 3 t 锭铸态共晶组织形貌:(a)原工艺,锭身浇铸时间 6~8 min;  
Fig. 3 Morphology of 3 t ingot eutectic structure of cold-working die steel Cr12MoV; (a) original process, ingot body casting time 6~8 min;  
(b) optimized process, ingot body casting time 4~5 min

表 2 Cr12MoV 钢优化前和优化后的工艺参数  
Table 2 Process parameters for steel Cr12MoV before and after optimization

工艺	精炼工序		3 t 浇铸工序	
	精炼渣系	LF 进站钢中酸溶 Al 含量/%	方式	锭身浇铸时间/min
优化前	低铝、低碱度的 CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> 渣系, 碱度平均 2.6	0.02~0.03	大气下浇铸	6~8
优化后	高铝、高碱度的 CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> 渣系, 碱度 ≥5.0	≥0.06	箱式 Ar 气保护浇铸	4~5

氧化和钢液中夹杂物的上浮。

## 2 工艺优化的效果

工艺优化具体措施对比如表 2。

通过工艺优化, Cr12MoV 冷作模具钢实现了“[O] ≤ 18 × 10<sup>-6</sup>, [S] ≤ 0.005%”, 非金属夹杂物按 ASTM E45-2005 A 法标准评级小于 2.0 级合格率由优化前的 70% 提高至优化后的 93.74%, 共晶碳化物不均匀度级别满足 ≤ 4.0 级的合格率由之前的 65.36% 提高至 95% 以上, 综合成材率由之前的 74.35% 提高至优化后的 80.12%, 为企业创造了显著的经济和社会效益。

## 3 结论

(1) 通过加入预先配制的预熔渣料, 过程尽量降低渣中 SiO<sub>2</sub> 含量, 增加钢中酸溶铝含量, 配加部分萤石, 最终形成高碱度、低熔点的 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> 精炼渣系在精炼过程起到了良好的效果。

(2) 采用箱式 Ar 气保护浇铸方法后, 二次氧化增氧量从 4 × 10<sup>-6</sup> ~ 11 × 10<sup>-6</sup> 降低到 2 × 10<sup>-6</sup> ~ 5 × 10<sup>-6</sup>。

(3) 提高 3 t 钢锭浇铸速度, 有利于减少钢水二次氧化及夹杂物的去除, 同时有助于实现共晶网络

细化, 减小铸态下碳化物的尺寸。

(4) 采取工艺优化后, Cr12MoV 冷作模具钢质量有显著提高, 综合成材率由优化前的 74.35% 提高至优化后的 80.12%。

## 参考文献

- [1] 于波, 王震. 模具用钢及其展望[J]. 模具技术, 2008, 34(5): 58-61.
- [2] 潘金芝, 任瑞铭, 戚正风. 国内外模具钢发展现状[J]. 金属热处理, 2008, 33(8): 10-15.
- [3] 吴晓春, 谢尘. 国内外冷作模具钢发展动态[J]. 模具工业, 2013, 39(12): 1-11.
- [4] 李晨辉, 谢尘, 吴晓春, 等. 国内外 Cr12 型模具钢组织和性能对比[J]. 材料热处理学报, 2012, 33(增刊 6): 47-50.
- [5] 蔡芳, 杜光华, 邱德卿. 冷作模具钢 D2 的显微组织和冶金质量分析[J]. 金属热处理, 2000(4): 11-14.
- [6] Parker M L. EAF Slag Conditioning Using Calcium Carbide: a Cost Benefit Approach[C]. AIS Technology Proceedings, Jeju Island, Korea, 2004: 1085-1096.

梁新腾(1978-), 男, 博士研究生(北京科技大学), 2007 年内蒙古科技大学(本科)毕业, 铁水预处理、转炉炼钢、电炉炼钢等相关研究。E-mail: liangxt666@126.com

收稿日期: 2017-02-10