# 12Cr1MoVG 圆管坯优化开发*

宋 超,马俊强,邵 亮,付 岳,刘佳旭

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 高压锅炉管的使用环境恶劣,对于圆管坯夹杂物的要求非常苛刻。实际生产12Cr1MoVG的过程中,时常出现夹杂物超标问题。通过改进转炉终点碳含量控制目标、优化精炼渣系及窄成分控制等措施,解决了夹杂物超标问题。

**关键词:** 高压锅炉管; 12Cr1MoVG; 圆管坯

**中图分类号:** TF723 TF777 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)04-0026-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.04.007

## Optimization and Development of 12Cr1MoVG Tube Bloom

*Song Chao, Ma Jun-qiang, Shao Liang, Fu Yue, Liu Jia-xu*

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

**Abstract:** The service environment of high-pressure boiler tube is harsh, so the requirements for inclusions of tube bloom are very strict. In the actual production process of 12Cr1MoVG, the inclusions are often over proof, which is solved by such measures as improving the control target of end-point carbon content in converter, optimizing refining slag system and narrow component control.

**Key words:** high-pressure boiler tube; 12Cr1MoVG; tube bloom

12Cr1MoVG钢管是广泛用于电站锅炉过热器、集箱及主蒸汽导管等部件的一种低合金耐热钢,最高使用温度可达580 ℃。包钢股份钢管公司采用铁水预处理→顶底复吹转炉冶炼→LF炉精炼→VD真空脱气→圆坯连铸工艺开发研制圆管坯,钢的各项性能完全符合有关标准要求。

## 1 化学成分及管坯质量要求

### 1.1 化学成分

通常锅炉厂高压锅炉管的采购规范要求比标准要求高,如东方锅炉厂的12Cr1MoVG(DG)钢,其化学成分在12Cr1MoVG钢化学成分按YB/T 5137—1998《高压用无缝钢管圆管坯》标准上执行内部控制成分。为确保管坯质量,生产按内控标准执行。并规定成分适于壁厚大于30 mm的无缝管。见表1、表2、表3。

* 收稿日期: 2019-06-05

作者简介: 宋 超(1987-),男,内蒙古包头市人,助理工程师,现从事炼钢技术管理工作。

表 1　12Cr1MoVG(DG) 化学成分(质量分数)　%

| 项目 | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 上限 | 0.15 | 0.37 | 0.65 | ≤0.018 | ≤0.008 | 1.15 | 0.35 | 0.24 |
| 下限 | 0.11 | 0.20 | 0.50 | | | 0.95 | 0.25 | 0.20 |
| 目标值 | 0.13 | 0.27 | 0.53 | ≤0.018 | ≤0.008 | 1.01 | 0.28 | 0.23 |

表 2　12Cr1MoVG(DG) 残留元素限量要求(质量分数)　%

| Cu | Ni | [N] | [O] total | [H] |
|---|---|---|---|---|
| ≤0.20 | ≤0.30 | ≤0.010 | ≤0.003 | ≤0.000 25 |

表 3　12Cr1MoVG(DG) 有害元素限量要求(质量分数)　%

| As | Sb | Bi | Sn | Pb | As + Sb + Bi + Sn + Pb |
|---|---|---|---|---|---|
| ≤0.025 | ≤0.010 | ≤0.010 | ≤0.025 | ≤0.025 | ≤0.050 |

### 1.2　管坯质量要求

12Cr1MoVG 管坯应进行热酸检验。其中低倍组织缺陷中心裂纹、中间裂纹、皮下裂纹和皮下气泡的级别应分别不大于 1.0 级。应达到中间裂纹、中心裂纹≤1.0 级，疏松、偏析、缩孔残余≤2.0 级，管坯表面不得有肉眼可见的纵向裂纹、夹杂、气孔、结疤，折皱、纵向压痕和划痕深度应不大于 1.0 mm。

## 2　试制工艺

工艺路线为：转炉冶炼→LF→VD→弧形连铸→铸坯检验。主要设备：2 座 100 t 顶底复吹转炉，出钢量(98 ±2) t；2 座 100 t LF 精炼炉，钢水全程吹氩搅拌；2 座 100 t VD；两台 5 机 5 流弧形连铸机，铸坯规格 Φ180 ~ Φ300 mm。

### 2.1　原试制工艺

来铁情况见表 4，不理想。铁水 P、S 负荷较重。

表 4　铁水成分(质量分数)　%

| Si | Mn | P | S |
|---|---|---|---|
| 0.5 | 0.46 | 0.133 | 0.031 |

转炉冶炼情况：钢水配碳至 0.8% ~ 1.0%，以保证一定的脱碳量。合金材料烘烤 10 h 以上，防止钢水吸气和降温。主要措施是将氧化末期钢水 $w([P])$ ≤0.013%，转炉终点控制见表 5。

表 5　转炉终点控制成分

| C/% | Mn/% | P/% | S/% | 温度/℃ |
|---|---|---|---|---|
| 0.08 | 0.09 | 0.011 | 0.022 | 1 638 |

精炼冶炼情况：精炼炉造好白渣，调整钢水成分确保浇注钢水 $w([S])$ ≤0.010%；调整渣碱度，注意软吹时间，控制夹杂物的形态的大小，上铸机成分见表 6。

表 6　12Cr1MoVG(DG) 精炼上铸机成分(质量分数)　%

| C | Si | Mn | P | S | Al |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.14 | 0.23 | 0.56 | 0.012 | 0.008 | 0.001 |

大包钢水浇注时间在 60 min 左右，钢水过热度应保证钢水拉完，浇注温度控制在 1 620 ~ 1 640 ℃。确保结晶器状况良好，铸坯冷却均匀，出水温度不大于 75 ℃。采用以上工艺试生产了一炉钢，钢坯化学成分符合内控要求，铸坯低倍组织情况一般。

### 2.2　试制工艺

12Cr1MoVG 管坯和钢管质量要求，认为采用转炉冶炼→LF→VD→弧形连铸工艺生产该钢种是完全可行的，但需进一步采取技术措施提高钢的纯净度。为此，在生产试制时，从炼钢原材料开始至连铸整个工艺过程采取了以下改进措施。

(1) 12Cr1MoVG 钢在低碳、低铝条件下，提高其纯净度，就必须降低钢中的氧含量[1]，实现低氧控制。而实现低氧控制，必须降低初始钢中的氧含量。由碳氧平衡曲线可以看出，提高转炉终点碳的控制水平，可以有效降低钢的初始氧含量，为精炼操作及钢材氧的降低打下基础。在试炼 12Cr1MoVG 钢时，采用了特殊的终点控制技术——控制终点碳含量。但转炉终点碳控制得高时，易出现终点磷高、终点温度低和成品碳含量超标等质量问题。为此，从废钢配比、造渣制度、供氧制度和终点吹炼控制技术等方面进行优化，初步实现了终点碳含量的控制目标，满足了转炉试炼 12Cr1MoVG 高压锅炉管钢的生产需要。

(2) 12Cr1MoVG 钢因受转炉节奏快的限制，必须实现精炼炉的快速成渣、高效精炼[1]。为了达到快速成渣、高效精炼的目的，进行了精炼渣系的优化，改 $CaO-SiO_2-CaF_2$ 渣系为 $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 渣系，并通过调整工艺，实现了快速成渣和脱氧。由于化学成分波动对耐热钢的热强性和抗氧化性十分敏感，因此必须进行窄成分控制。通过采用铝灰造渣、低碳覆盖剂和低碳保护渣等措施，控制精炼过程增碳及连铸过程增碳，实现了钢中碳的稳定控制，其它化学成分通过准确取过程样、过程成分调整，达到了稳定控制和窄成分控制的要求，从而满足耐热钢在高温高压下的热强性和抗氧化性要求；采用合适的软吹时间，有利于钢中的夹杂物上浮，转炉试炼 12Cr1MoVG 高压锅炉管钢软吹时间(目标值 15 min)控制。转炉试炼该钢的软吹时间全部大于 20 min，全部达到了工艺要求，为降低钢中的夹杂物创造了条件，为提高耐热钢的高温性能提供了保证。

## 3 试制结果

工艺改进后 12Cr1MoVG 钢坯质量有了一定的提高，603283 炉钢化学成分见表 7。钢中气体含量较低。钢坯低倍组织情况良好，603283 炉共做了 8 个试样，除一个试样中心裂纹为 1.0 级外，其余项目均为 0～0.5 级，特别是铸坯没有出现中间裂纹，标志着铸坯内部质量达到了很高的水平[2]。钢坯进行了高倍夹杂物检验见表 8，其中点状氧化物夹杂为 1.0 级，硫化物夹杂、氧化物夹杂、硅酸盐类夹杂均不大于 0.5 级，而 603283 炉各类夹杂物级别为 0～1.5级，说明工艺改进后钢中夹杂物控制良好，主要为内生细小夹杂。

表 7 熔炼号 603283 钢管化学成分(质量分数) %

| 熔炼号 | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cu | Cr | Mo | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 603283A | 0.14 | 0.32 | 0.49 | 0.008 | 0.007 | 0.008 | 0.013 | 0.93 | 0.25 | 0.17 |
| 603283B | 0.14 | 0.32 | 0.49 | 0.008 | 0.008 | 0.010 | 0.015 | 0.95 | 0.26 | 0.17 |

表 8 非金属夹杂物评级情况

| 熔炼号 | 非金属夹杂物/级 | | | | | | | | | 晶粒度/级 | 显微组织 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A 类 | | B 类 | | C 类 | | D 类 | | DS 类 | | |
| | 粗 | 细 | 粗 | 细 | 粗 | 细 | 粗 | 细 | | | |
| 603283A | 0 | 0.5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 7.5 | F+P |
| 603283B | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 | 1.5 | 0 | 0.5 | 0 | 7.5 | F+P |

## 4 讨论

### 4.1 夹杂物控制

不同夹杂物对钢韧性的影响程度不一，$Al_2O_3$ 类夹杂为尖锐棱角形，对韧性负面影响较大，而采用 Ca 处理后夹杂物得到球化，较少造成韧性的降低。减少夹杂物含量、提高钢的纯净度可大幅度提高钢材的韧性。在 12Cr1MoVG 钢生产过程中，夹杂物控制是关键所在，无论是 LF 炉工艺还是保护浇注及中间包液面控制措施都是为此目的。根据选分结晶原理，钢中夹杂物在结晶过程逐渐向晶界积聚，从而影响钢的表面质量和力学性能。为此，尽量降低钢水 P、S 及 O 含量，减少钢中夹杂物，并采用 Ca 处理技术。

在出钢和精炼过程中，脱氧剂使用最多的是 Al 会生成大量 $Al_2O_3$ 小颗粒夹杂，由于吹氩气泡尺寸较大(10～20 mm)，30～40 μm 以下的小颗粒夹杂不易依附气泡上浮而滞留在钢液中。优化转炉吹氧脱 C 操作工艺，防止钢液过氧化情况发生。精炼过程控制好氩气流量，为去除夹杂创造一定的动力学条件。

采取这些措施后钢纯净度有了较大提高，钢的冲击韧性大幅度提高。

### 4.2 气体控制

在低碳钢中氮对钢性能有不利影响，主要表现为屈服极限、强度极限提高，塑性及冲击韧性下降，应尽量降低钢中氮含量。12Cr1MoVG 钢中含有 V、

(下转第 33 页)

幅提升。已经生产的 838 t 1Cr5Mo 合金钢管，成材率由 82.58% 提高到 86.43%，一次合格率由原来的 76.8% 提高到 89.96%（具体见图 3），同时 1Cr5Mo 合金钢的顺利生产为今后其他合金钢无缝管的生产积累了经验。

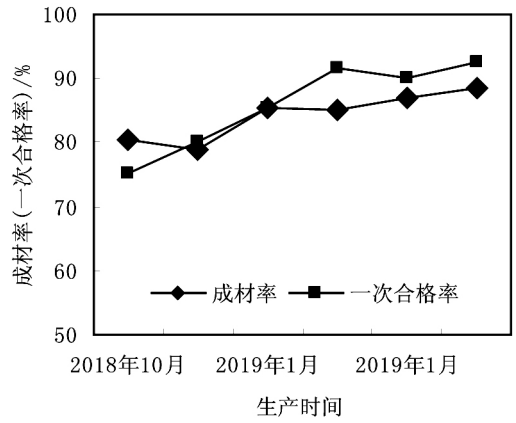



图 3　1Cr5Mo 合金钢管质量指标

## 5　结语

根据现场生产实际，分析内折产生的原因，优化工艺制度，规范热工具使用，提出了相应的预防措施，取得了良好的效果，为更高级别合金钢生产提供参考。

### 参　考　文　献

[1] 滕尧. P92 高压无缝钢管端部缺陷分析 [J]. 科技创新与应用，2013，(05)：99.
[2] 王婀娜，尹人洁，陈谨，等. 34CrMo4 气瓶用无缝钢管内表面缺陷分析及预防措施 [J]. 四川化工，2014，(04)：43－46.
[3] 严琴，李东风. 低膨胀固体材料线膨胀系数的干涉测量方法 [J]. 激光技术，2004，28(2)：202.
[4] 蔡开科，党紫久. 连铸钢的高温力学性能研究 [J]. 北京科技大学学报，1993，15(s1)：30.

(上接第 28 页)

Cr、Mn 元素，它们对氮有较强的亲和力，其中钒的亲和力最大，起到固氮作用。因此 12Cr1MoVG 钢中 N 含量比同类的低碳钢、15CrMoG 钢 N 含量要高。为控制 N 含量，FeV 合金在 LF 中期调加，减少 V 吸收空气中的 $N_2$。另外采取保护浇注，减少浇注过程吸气。采取这些措施后，钢中 N 可控制在不大于 $90\times10^{-6}$，其对钢的时效性能影响较小。

## 5　结论

(1) 采用 EAF－LF－HCC 工艺生产 12Cr1MoVG 高压锅炉管坯是可行的，铸坯的化学成分、低倍组织、表面质量、夹杂物控制良好。

(2) 在现场实际生产控制中，调整与对应成分、对应工艺特点相适应的渣系，通过渣系的调整达到快速成渣和脱氧的目的，为后续的夹杂物吸收与上浮提供充分时间，有利于夹杂物的去除。

### 参　考　文　献

[1] 彭自胜，周雍茂，钟春生. 高压锅炉管用 12Cr1MoVG 钢水平连铸圆管坯的试制 [J]. 特殊钢，2004，25(4)：47.
[2] 李华德. 水平连铸圆管坯中间裂纹的形成分析 [J]. 特殊钢，2000，21(2)：52.