

## 高纯净 GCr15 轴承钢脆性夹杂物的控制

耿克 吴明 翁韶华 黄煌  
(江阴兴澄特种钢铁有限公司, 江阴 214429)

**摘要** 分析了铁水+废钢-100 t EAF-LF(VD)-CC 生产的高纯净 GCr15 轴承钢 D 类和 B 类夹杂物的组成, 试验了精炼渣成分和 VD 吹氩搅拌对钢中脆性夹杂物含量的影响。结果表明, 兴澄特钢 GCr15 钢中大尺寸 D 类夹杂物组成为 O-Al-Ca-S、O-Al-Mg-Ca-(S) 和 Ti-N-Cr; B 类夹杂物组成为 O-Al-Ca、O-Al-Mg-Ca; 采用(%)40~60CaO、20~40Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、5~12MgO、4~10SiO<sub>2</sub> 精炼渣系, 延长 VD 吹氩搅拌时间, 控制耐火材料质量, 使钢中总氧含量  $\leq 8 \times 10^{-6}$ , 可有效地控制钢中大颗粒脆性夹杂物, 达到高纯净度技术要求。

**关键词** 高纯净轴承钢 LF(VD)精炼 脆性夹杂物

## Control of Brittle Inclusions in High Cleanliness Bearing Steel GCr15

Geng Ke, Wu Ming, Weng Shaohua and Huang Huang  
(Jiangyin Xingcheng Special Steel Co Ltd, Jiangyin 214429)

**Abstract** The ingredients of D type and B type inclusions in high cleanliness bearing steel GCr15 produced by hot metal + scrap - 100 t EAF - LF(VD) - CC flow sheet were analyzed and the effect of refining slag ingredient and VD argon stirring process on brittle inclusions in steel were tested. Results showed that in GCr15 steel produced at Xingcheng Special Steel, the ingredients of large scale D type inclusions were O-Al-Ca-S, O-Al-Mg-Ca-(S) and Ti-N-Cr and the ingredients of B type inclusions were O-Al-Ca and O-Al-Mg-Ca; it was available to control large scale inclusions in steel to meet the technical requirement for high cleanliness of steel by using 40~60CaO, 20~40Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5~12MgO, 4~10SiO<sub>2</sub> refining slag series, prolonging VD argon stirring time, controlling refractory quality and total oxygen content in steel  $\leq 8 \times 10^{-6}$ .

**Material Index** High Cleanliness Bearing Steel, LF(VD) Refining, Brittle Inclusions

### 1 生产工艺流程和微观大级别脆性夹杂物分析

铁水+废钢→100 t EAF→100 t LF→100 t VD  
→CC(300 mm×340 mm)→加热+轧制成材。

在大生产的 GCr15 轴承钢(%:0.95~1.00C、0.30~0.40Mn、0.18~0.28Si、0.002~0.010S、0.005~0.015P、1.35~1.50Cr、0.0006~0.0020Ti、0.0001~0.0005Ca、0.0006~0.0250Al、0.0004~0.0008T[O])Φ50~80 mm 的成品钢材上取样, 制备成电镜试样, 采用扫描电镜观察夹杂

物形态, 并经能谱分析鉴定, 发现大级别 D 类夹杂物组成为 O-Al-Ca-S、O-Al-Mg-Ca-(S) 和 Ti-N-Cr; 大级别 B 类夹杂物组成为 O-Al-Ca 和 O-Al-Mg-Ca (图 1)。

### 2 微观大级别脆性夹杂物的控制

#### 2.1 精炼炉渣

CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-MgO 三种渣系较为流行<sup>[1]</sup>, 本试验采用的是 CaO-

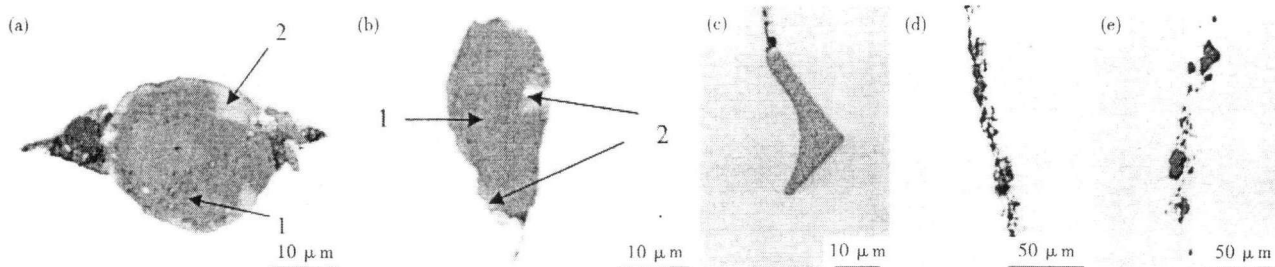


图 1 GCr15 轴承钢中脆性夹杂物的形貌和成分(%): (a) (1) 21.19Ca-33.73Al-41.09O, (2) 42.09S-56.28Ca; (b) (1) 16.38Mg-38.31Al-44.96O, (2) 36.43S-6.84Mg-56.28Ca; (c) 15.79N-70.86Ti-12.98Cr; (d) 41.94Al-14.67Ca-43.27O; (e) 12.25Mg-41.04Al-1.54Ca-45.18O

Fig. 1 Morphology and ingredient of brittle inclusions in bearing steel GCr15: (a) (1) 21.19Ca-33.73Al-41.09O, (2) 42.09S-56.28Ca; (b) (1) 16.38Mg-38.31Al-44.96O, (2) 36.43S-6.84Mg-56.28Ca; (c) 15.79N-70.86Ti-12.98Cr; (d) 41.94Al-14.67Ca-43.27O; (e) 12.25Mg-41.04Al-1.54Ca-45.18O

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-MgO 渣系,质量分数为 40% ~ 60% CaO、20% ~ 40% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、5% ~ 12% MgO 和 4% ~ 10% SiO<sub>2</sub>。

对 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-MgO 渣系选用 1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 三种配方分别生产 5 炉(30 片)进一步优化试验,在 GCr15 轴承钢 Φ50 ~ 80 mm 成品钢材上取样,按 TSO4967-1998 检验,结果表明,3<sup>#</sup> 配方生产的钢材总体脆性夹杂物的级别最低且更稳定(表 1)。

表 1 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-MgO 精炼渣系生产的 GCr15 钢脆性夹杂物检验结果

Table 1 Examination results of brittle inclusions in bearing steel GCr15 produced with CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-MgO slag series

BT	BH	DT	DH	DS
0.5~1.0	0	0.5~1.0	0.5	0~1.0

### 2.2 耐火材料

冶炼高纯净 GCr15 轴承钢,除应严格控制铁合金和脱氧剂中有害元素外,同时由于轴承钢冶炼时钢水温度高达 1 600 ℃ 以上,真空度达 60 Pa 以下,全程吹氩搅拌下的高温摩擦,对与钢液直接接触的钢包、中间包、长水口、浸入水口和塞棒等所用的耐火材料要求很高,其组成及质量会直接影响钢水的纯净度,应使用耐火度高、抗氧化性强的耐火材料。低碱度渣精炼时,钢包应使用含氧化铬、高氧化铝材料,高碱度渣精炼时,钢包应使用高氧化镁材料,中间包涂层为高氧化镁材料<sup>[2]</sup>。连铸水口为含氧化锆的材料等。

### 2.3 VD 真空脱气吹氩搅拌

在 VD 真空脱气条件下,吹氩搅拌对炉渣与钢液之间的反应,对非金属夹杂物的碰撞、长大及上浮去除的影响更为显著<sup>[3]</sup>。

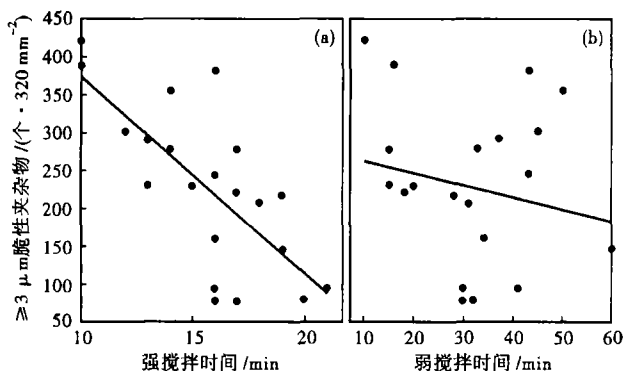


图 2 VD Ar 搅拌时间(a-强搅拌和 b-弱搅拌)对钢中 ≥ 3 μm 脆性夹杂物的个数的影响

Fig. 2 Effect of VD Ar stirring time (a- strong stirring; b- weak stirring) on number of ≥ 3 μm brittle inclusions in steel

搅拌强度的确定原则是不使钢包耐火材料因过度冲刷而剥落污染钢液,不使钢液暴露于空气中发生再氧化,不使炉渣卷入钢液中而来不及上浮去除。图 2 是在一定的吹氩搅拌强度条件下,在每炉钢材上取样,金相检验面积为 320 mm<sup>2</sup>,统计了粒径 ≥ 3 μm 以上氧化类脆性夹杂物的个数与 VD 真空脱气吹氩搅拌时间的相关性,可见,适当延长强搅拌和弱搅拌时间可显著减少夹杂物的数量。

### 3 高纯净 GCr15 轴承钢实物质量水平

2007 年下半年兴澄特钢生产的 418 炉(2508 片)高纯净 GCr15 轴承钢微观大级别脆性夹杂物控制水平见表 2,由表 2 可见,其微观大级别脆性夹杂物达到了较好的水平,基本满足了有关标准要求。

表 2 高纯净 GCr15 轴承钢夹杂物检验结果

Table 2 Examination results of rating of inclusions in high cleanliness bearing steel GCr15

标准或 钢材实物	AT	AH	BT	BH	CT	CH	DT	DH	DS
高纯净 轴承钢 技术要求	2.0	1.5	1.5	0.5	0	0	1.0	0.5	1.0
兴澄高纯净 GCr15 钢, 平均值/ 最大值	0.67/ 2.0	0.23/ 1.5	0.51/ 2.0	0/ 1.0	0	0	0.48/ 1.0	0.18/ 0.5	0.17/ 1.5

### 4 结论

(1) 江阴兴澄特种钢铁有限公司生产的 GCr15 轴承钢微观大级别脆性夹杂物: D 类组成为 O-Al-Ca-S、O-Al-Mg-Ca-(S) 和 Ti-N-Cr; B 类组成为 O-Al-Ca 和 O-Al-Mg-Ca。

(2) 通过对影响微观大级别脆性夹杂物的精炼炉渣、铁合金和脱氧剂、耐火材料、VD 真空脱气吹氩搅拌等炼钢重要因素的优化和控制,使生产的高纯净 GCr15 轴承钢的微观大级别脆性夹杂物质量水平满足高纯净轴承钢技术要求。

#### 参考文献

- 徐曾敬. 炉外精炼. 北京:冶金工业出版社,1998
- 杉田清. 钢铁用耐火材料. 北京:冶金工业出版社,2004
- 钟顺思,王昌生. 轴承钢. 北京:冶金工业出版社,2000

耿克(1967-),男,硕士,高级工程师,东北大学毕业,从事特殊钢新材料、新工艺开发。

收稿日期:2008-04-03