

Evolution Analysis of Inclusions in H13 Die Steel Produced by 100t EAF-LF-VD-CC Process

Huishu Zhang¹, Ren Chen¹, Lina Sun¹, Dongping Zhan²

¹School of Metallurgy, Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi Liaoning

²School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang Liaoning

Email: huishu_zhang@163.com

Received: Mar. 5th, 2019; accepted: Mar. 19th, 2019; published: Mar. 27th, 2019

Abstract

In this paper, the H13 die steel produced by 100t EAF→LF→VD→continuous casting process is studied. The distribution, size, quantity and microstructure of inclusions in steel are produced by metallographic microscope and scanning electron microscope. After inspection and analysis, it can be seen that the distribution of inclusions is changed from a large amount to a small amount, and the particles are small; the percentage of inclusions is decreasing; in terms of inclusion size, and it is changed from small to large, then small; in terms of the composition of inclusions, it begins with a large number of single-particle Al₂O₃ and cluster-like Al₂O₃. As the process proceeds, the composition is mainly composed of composite inclusions, typically CaO-Al₂O₃-MgO-SiO₂, MgO-CaO-Al₂O₃, and Al₂O₃-CaO-MgO-SiO₂.

Keywords

H13 Die Steel, EAF, Inclusions, Micromorphology

100t EAF-LF-VD-CC流程中H13模具钢夹杂物的演变行为

张慧书¹, 陈 韧¹, 孙丽娜¹, 战东平²

¹辽宁科技学院冶金工程学院, 辽宁 本溪

²东北大学冶金学院, 辽宁 沈阳

Email: huishu_zhang@163.com

收稿日期: 2019年3月5日; 录用日期: 2019年3月19日; 发布日期: 2019年3月27日

摘要

本文针对100t EAF→LF精炼→VD处理→连铸流程生产的H13模具钢为研究对象,应用金相显微镜和扫描电镜分别对生产各环节钢中夹杂物的分布、尺寸、数量、微观形貌及成分进行检验分析。结果表明,钢中夹杂物由数量多、颗粒大逐渐转变为数量少、颗粒小;夹杂物面积百分比呈下降趋势;在夹杂物尺寸方面,呈现先由小变大再变小;在夹杂物的成分方面,开始由大量的单颗粒的 Al_2O_3 、团簇状 Al_2O_3 组成,随着工艺的进行成分以复合类的夹杂物为主,典型代表有 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-SiO}_2$ 、 $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-SiO}_2$ 等夹杂。

关键词

H13模具钢, 电炉, 夹杂物, 微观形态

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

H13 钢具有较高的淬透性和韧性、优秀的抗热裂能力、较好的耐磨和切削能力,是国际上使用量最大的热作模具钢之一[1][2][3]。国内某厂新建 100 t EAF-LF-VD-CC (大圆坯)生产线,对该产品及其工艺处于开发阶段,特别是钢中夹杂物的水平还未展开研究。为了解该工艺下 H13 模具钢的夹杂物控制水平及其主要影响因素,弄清钢中夹杂物的主要组成及演变规律,本文通过在现场冶炼过程中取得的不同阶段的样品,经过金相显微镜、扫描电镜和能谱仪对其中的夹杂物面积、大小、成分等演变进行分析研究[4][5][6],为企业提高钢中夹杂物控制水平、提高钢锭质量,开发生产高附加值产品提供依据,为未来生产提供指导。

2. 研究方法

某厂生产模具钢 H13 工艺流程为:100t EAF→LF 精炼→VD 处理→连铸→热送/入坑缓冷→精整→入库,GB1299 标准 H13 的化学成分见表 1 所示,其 GB1299 标准中的化学成分见表 1。生产中分别在 LF 精炼第一次通电 10 min 后(LF 通电)、LF 精炼结束后(LF 结束)、VD 精炼结束后(VD 结束)、软吹结束(软吹过程时间为 8 分钟)后分别取样,作为平衡样,取两组为 A 组与 B 组试样,每组 4 个,共 8 个试样。将取来样品用线切割机将钢样切割成 $10 \times 10 \times 10$ mm 的小试样,用金相镶样机分别镶样。镶样后经过研磨、抛光等一系列过程制样,用金相显微镜在放大 500 倍条件下进行观察,每个试样观察 16 个视场,分析夹杂物的分布、大小、数量情况[7][8][9]。进一步用带有能谱仪的扫描电镜,在 4000~8000 倍下,观察和分析典型夹杂物的微观形貌及化学成分。

Table 1. Chemical composition of H13 die steel

表 1. H13 模具钢化学成分

成分	C	Si	Mn	Cr	P	S	Mo	V
质量百分比/%	0.32~0.45	0.80~1.20	0.20~0.50	4.75~5.50	≤0.030	≤0.030	1.10~1.75	0.80~1.20

3. 检验结果与分析

3.1. 金相结果与分析

经过金相显微镜的观察及统计计算,从图1中可以看出,夹杂物在经过不同工艺过程后的分布情况。在LF通电试样的视场内夹杂物较多且有一定大型夹杂存在,主要形成原因是进LF工位后进行喂铝深脱氧,会在钢中生成大量的氧化物夹杂,而且钢中不免会存在卷渣现象,因此钢中会出现大型夹杂;因LF结束的试样是经过钙处理后的取样,夹杂物进行了变性及结合,在视场中可以看到有明显有大型夹杂物,数量上相对LF通电有减少趋势;经过VD和软吹后视场中的大型夹杂减少,夹杂物整体数量有明显减少。

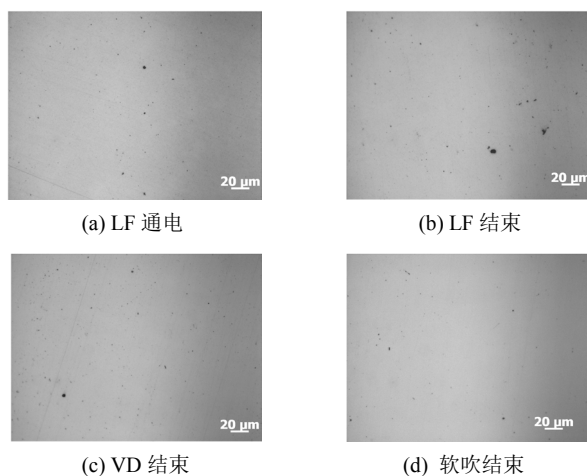


Figure 1. Distribution of inclusions at different stations
图1. 不同工位夹杂物分布

表2中为夹杂物的数量变化情况。可以看出,随着冶炼过程的进行,夹杂物面积百分比呈逐渐下降趋势,可以看到A炉由0.16%下降到0.10%,下降了37.5%,B炉由0.15%下降到0.11%,下降了26.7%。在夹杂物尺寸方面,由图2看出,夹杂物平均长径大致呈由小到大再到小的过程,在LF精炼结束后有明显的由小聚集变大趋势。软吹后,可以看到夹杂物长径平均尺寸变小,可见大型夹杂去除较多。

Table 2. The percentage area of inclusions (%)

表2. 夹杂物面积百分比(%)

	LF 通电	LF 结束	VD 结束	软吹结束
A 炉	0.16	0.13	0.11	0.10
B 炉	0.15	0.14	0.13	0.11

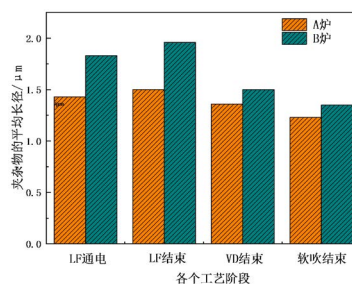


Figure 2. Average length of inclusions at different stations
图2. 不同工位夹杂物平均长径

3.2. 扫描电镜结果与分析

进一步应用扫描电镜和能谱仪对夹杂物的微观形貌及成分进行观察和测定,不同工位的典型夹杂物微观形貌及成分如图 3~图 6 所示。

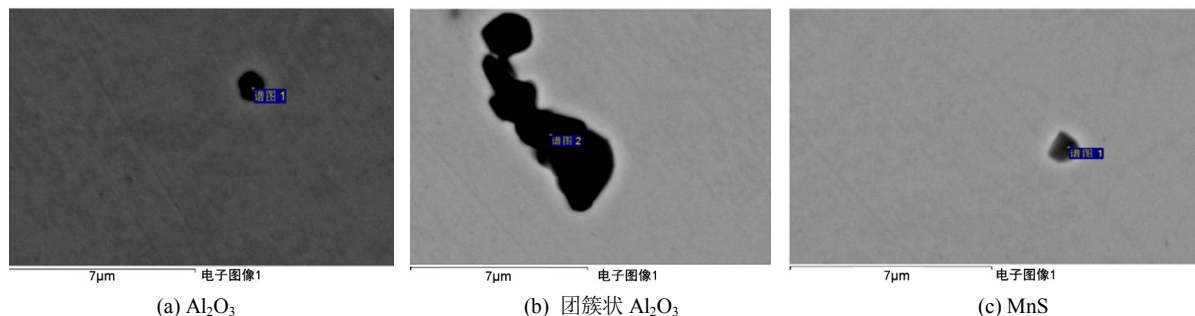


Figure 3. Morphology and composition of typical inclusions in the beginning of LF
图 3. LF 通电典型夹杂物微观形貌

LF 精炼通电 10 min 后夹杂物主要以大量的单颗粒的 Al_2O_3 、团簇状 Al_2O_3 及少量的 MnS 形式存在。分析其形成原因, 主要由于出钢过程加入钢芯铝脱氧生成大量 Al_2O_3 并开始聚集成团簇状。

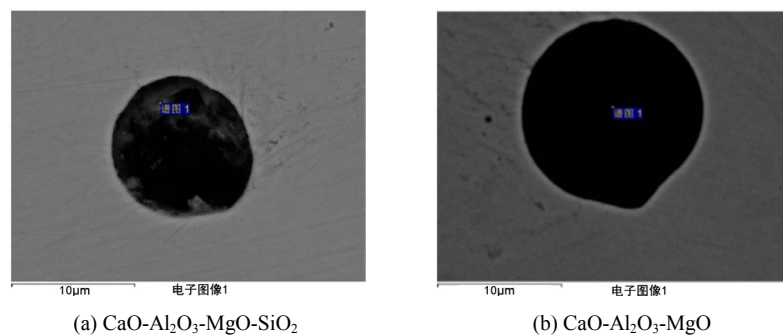


Figure 4. Morphology and composition of typical inclusions in the end of LF
图 4. LF 结束典型夹杂物微观形貌

LF 精炼结束后, 由图 4 可以看出, 夹杂物主要以复合类的夹杂物为主, 如大型球化的 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-SiO}_2$ 、 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ 复合夹杂。可以看出经过 LF 精炼后, 夹杂物经过相互结合与反应, 尺寸较小的夹杂逐渐被球化成大型夹杂, 使钢中的大型夹杂增多, 单个夹杂尺寸变大。

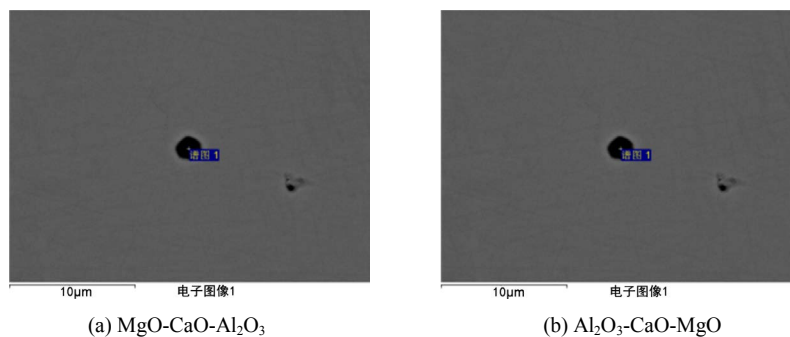


Figure 5. Morphology and composition of typical inclusions in the end of VD
图 5. VD 结束典型夹杂物微观形貌

VD 精炼结束后, 由图 5 可以看出, 夹杂物仍以复合夹杂物 $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ 复合夹杂为主, 其单纯的氧化铝夹杂物随着聚集长大在经此工艺后已经去除比较干净, 夹杂物成分虽以复合夹杂为主, 但尺寸明显较 LF 结束要小。

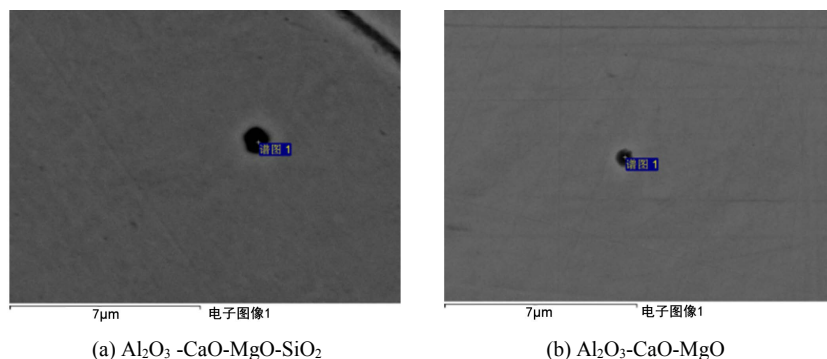


Figure 6. Morphology and composition of typical inclusions in the end of VD refining
图 6. 软吹结束后典型夹杂物微观形貌

软吹结束后, 从图 6 可以看出, 夹杂物以复合夹杂 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ 为主, 钢中大型夹杂已基本去除, 尺寸明显变小, 夹杂物数量也明显减少, 可见软吹对钢中夹杂物的去除非常有效。

通过金相和扫描电镜观察统计和检测分析, 可以看出 LF 通电的夹杂物主要以铝脱氧产生的氧化铝夹杂物为主, 此时未被钙处理, 而存在单独的氧化铝; 随着 LF 工艺及钙处理进行, 夹杂物随之被变性和球化, 产生了大量球化的复合夹杂物。进一步的 VD 和软吹工艺没有出现新型夹杂物, 而是将球化的大颗粒夹杂逐步去除, 最后钢中的夹杂物仅由小型夹杂为主。由此可以看出该厂生产 H13 模具钢的工艺中夹杂物的成分、数量及大小变化符合冶炼工艺预期的效果, 总体夹杂物控制水平控制较好。

4. 结论

1) 以 H13 模具钢 100t EAF→LF 精炼→VD 处理→连铸生产流程为依据, 在四个主要工艺步骤进行取样, 应用金相显微镜和带能谱的扫描电镜进行夹杂物的分布、尺寸、数量、微观形貌及成分进行检验分析。

2) 通过金相显微镜观察统计分析, 经过四个工艺后夹杂物的分布情况由数量多、颗粒大逐渐转变为数量少、颗粒小; 夹杂物面积百分比呈下降趋势; 在夹杂物尺寸方面, 呈现先由小变大再变小。

3) 通过扫描电镜观察后, 在 LF 通电后以大量的单颗粒的 Al_2O_3 、团簇状 Al_2O_3 ; LF 精炼、VD 结束、软吹结束后以复合类的夹杂物为主, 典型代表有 $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-SiO}_2$ 、 $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-SiO}_2$ 等夹杂, 经过三工艺后, 钢中的夹杂物尺寸变小, 大型夹杂几乎全部去除。

基金项目

辽宁省博士科研启动基金(20170520079); 国家自然科学基金面上项目(51574063); 国家自然科学基金面上项目(51874081); 辽宁省本溪低品位非伴生铁矿优化应用重点实验室。

参考文献

- [1] 崔崑. 国内外模具用钢发展概况[J]. 金属热处理, 2007, 32(1): 1-4.
- [2] 庞永刚, 侯明山, 胡建成, 等. 40t EBT-LF-VD-铸锭工艺冶炼模具钢 H13 的洁净度分析[J]. 特殊钢, 2013, 34(5): 61-63.

- [3] 刘少友, 何建武. 热作模具钢 H13 圆棒生产实践[J]. 武钢技术, 2015, 53(6): 24-27.
- [4] Ma, W.J., Bao, Y.P., Wang, M., *et al.* (2014) Effect of Mg and Ca Treatment on Behavior and Particle Size of Inclusions in Bearing Steels. *ISIJ International*, **54**, 536-542. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.54.536>
- [5] Dogan, N., Longbottom, R.J., Reid, M.H., *et al.* (2014) Morphology and Composition Changes of Spinel MgAl₂O₄ Inclusions in Steel. *Ironmaking & Steelmaking*, **42**, 185-193. <https://doi.org/10.1179/1743281214Y.0000000219>
- [6] 王淑华, 丛玉伟, 李雪峰. 高品质 H13 模具钢质量研究与分析[J]. 河南冶金, 2010, 18(2): 29-30.
- [7] 阳燕, 刘建华, 包燕平等. 热作模具钢 H13 的非金属夹杂物研究[J]. 钢铁, 2011, 46(9): 45-49.
- [8] 王亮亮. 镁对 H13 热作模具钢夹杂物及性能影响的研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2014.
- [9] 刘建华, 阳燕, 庄昌凌, 等. H13 模铸钢锭中夹杂物的分布解剖[J]. 北京科技大学学报, 2011, 33(31): 179-183.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2373-1478, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: meng@hanspub.org