

## 提高 CrMn 系弹簧钢夹杂物合格率的研究

## Research on Improving the Qualified Rate of Inclusions in CrMn Spring Steel

吴明 朱雷 侯世耀

Ming Wu Lei Zhu Shiyao Hou

青岛特殊钢铁有限公司棒材研究所 中国·山东 青岛 266409

Bar Research Institute of Qingdao Special Steel Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266409, China

**摘要:** 钢厂在 CrMn 系弹簧钢生产过程发现部分炉次钢中 B 类或 DS 类夹杂物不合, 检验合格率仅为 98.5%~98.7%。为此, 技术人员对 CrMn 系弹簧钢运用 Aspex 技术、极值法对从转炉→LF→RH→CC→铸坯→成品所取试样对夹杂物进行了分析, 找到了导致 B 类和 DS 类夹杂物超标的原因, 并提出了具体的改进措施。生产表明, 实施改进措施后, CrMn 系弹簧钢夹杂物检验合格率从过去 98.5%~98.7% 提升到 99.8% 以上。

**Abstract:** The inclusion category B or DS of partial heat of CrMn series steel in the production didn't meet the requirements, the inspection percentage of pass was only 98.5%~98.7%. The reasons of the inclusion category B or DS exceeding the requirements of customer was found and the specific improvement measures were put forward after the inclusion was analysed by using the Aspex technique、extremum method for the specimen sampling from BOF→LF→RH→CC→billet→finished product. The production showed the inspection percentage of pass was enhanced to 99.8% above from the past 98.5%~98.7% after adopting the improvement measures.

**关键词:** CrMn 系弹簧钢; 夹杂物; Aspex 技术; 极值法; 检验合格率

**Keywords:** CrMn series steel; inclusion; Aspex technique; extremum method; inspection percentage of pass

**DOI:** 10.12346/etr.v5i5.8079

## 1 引言

CrMn 系弹簧钢主要用于重型汽车等减振部件, 使用条件比较恶劣, 对其强度、疲劳极限及冲击韧性要求较高<sup>[1]</sup>。CrMn 系弹簧钢系合金弹簧钢, 该系列钢克服了 Si-Mn 钢的缺点, 可防止钢的过热和脱碳, 具有良好的工艺性能和综合机械性能<sup>[2]</sup>。据瑞典 SKF 钢厂统计, 发生疲劳断裂的弹簧中, 因表面层下夹杂物引起的断裂约占 40%<sup>[3]</sup>, 因此夹杂物的控制对于原料的质量水平有明显影响。近期钢厂生产的 CrMn 系弹簧钢检验过程发现部分钢中非金属夹杂物超标, 根据统计, CrMn 系弹簧钢夹杂物检验合格率为 98.5%~98.7%, 也就是说 100 炉会有 1~2 炉夹杂物检验不合, 导致该钢夹杂物检验不合的原因主要是 B 类夹杂物检验不合, 其次是 DS 类检验不合。

论文采用目前评估钢洁净度的先进方法 (Aspex 技术、

极值法), 对冶炼过程的取出的铸态样品中的夹杂物及轧制成品取得试样进行了分析, 论述了在中间包和连铸机方面改善钢的洁净度的操作实践。

## 2 CrMn 系弹簧钢夹杂物要求

CrMn 系弹簧钢夹杂物要求见表 1。

表 1 CrMn 系弹簧钢非金属夹杂物要求

A 类 (级)		B 类 (级)		C 类 (级)		D 类 (级)		DS
细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	
≤ 2.0	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 1.0	≤ 1.5

从 CrMn 系弹簧钢夹杂物要求而言, 客户对夹杂物要求很严, 尤其是粗系夹杂物和 DS 类夹杂物, 从生产来看, 导致 CrMn 系弹簧钢夹杂物检验不合的原因也主要是 B 类粗

【作者简介】吴明 (1979-), 男, 中国江苏靖江人, 本科, 高级工程师, 从事特钢弹簧钢产品研发和工艺制定研究。

系夹杂物和 D 类粗系及 DS 类夹杂物检验不合。为此技术人员运用 Aspek 技术、极值法从冶炼到成品整个过程试样对 CrMn 系弹簧钢夹杂物进行了分析。

### 3 CrMn 系弹簧钢夹杂物分析

对 CrMn 系弹簧钢转炉→LF→RH→CC→铸坯→成品整个流程取样进行了 Aspek 夹杂物检验，检验表明，转炉后夹杂物主要以小颗粒夹杂物为主，但含有小比例的大颗粒夹杂物，夹杂物均含有 Al，而且还以含 S、Ca、Mg、Ti 元素居多；LF 初炼和 LF 出钢夹杂物主要以小颗粒夹杂物为主，但相比于转炉后，LF 初炼较大夹杂物比例明显增大，说明夹杂物发生了长大，而相比于 LF 初炼，LF 出钢较大夹杂物比例减少，说明 LF 精炼取得了一定效果，LF 初炼和 LF 出钢夹杂物均含有 Al，而且还以 Ca、Mg、Ti 元素居多；RH 进站和 RH 结束夹杂物主要以小颗粒夹杂物为主，但相比于 LF 出钢，RH 进站较大夹杂物比例增多，说明夹杂物发生了长大，RH 结束较大夹杂物比例明显减少，说明 RH 处理起到去除较大夹杂物的效果，RH 进站和 RH 结束夹杂物均含有 Al，而且还以 Ca、Mg、Ti 元素居多；连铸取样和铸坯取样夹杂物主要以小颗粒夹杂物为主，相比于 RH 结束，连铸较大夹杂物比例明显增加，说明连铸过程夹杂物有所长大，而铸坯取样大颗粒夹杂物明显减少，说明连铸过程较大夹杂物均被中间包覆盖剂和结晶器保护渣所吸收，连铸取样和铸坯取样夹杂物均含有 Al、Ca、S、Mn、Mg、Ti 等元素，说明连铸取样和铸坯里的夹杂物主要是上述元素的夹杂物。此外，夹杂物还含有 Na、K 等元素，说明有可能保护渣被卷入铸坯中；CrMn 系弹簧钢成品夹杂物主要以 TiN、尖晶石类、MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiS、MnS 为主，且几乎都含 Al、S、Mg、Ti，S 为 KR 脱硫不充分造成的，Mg 元素为转炉、钢包、中间包耐材脱落，Ti 元素为铁水带来的，钢中夹杂物 S、Mg、Ti 含量高，说明钢水纯净度不高。成品典型夹杂物 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 类如图 1 所示。

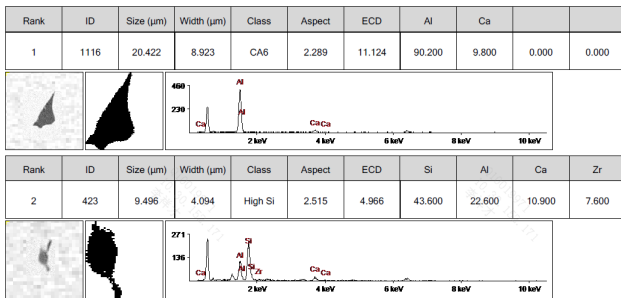


图 1 成品典型夹杂物 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 类

此外，为了研究 CrMn 系弹簧钢内生 B 类和 D 类夹杂物是否有可能超标，根据极值分析原理，对 CrMn 系弹簧钢 B 类和 D/DS 类夹杂物进行了极值分析，分别见表 2 和表 3。

表 2 B 类 24 个抛光面最大夹杂物长度 / 微米

试样	A	B	C	D	备注
1	0	0	0	0	A、B、C、D 面为每次抛光至少磨去 0.3mm 厚度的抛光面
2	0	0	0	0	
3	0	90	94	61	
4	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	
MEAN LENGTH=10.20833		SDEV=28.09608			

根据极值分析原理，经计算预测 B 类最大夹杂物长度 L<sub>max</sub>=71.81 微米，按照 95% 置信区间，L<sub>max</sub> 为 47.7~96.0 微米波动范围，按照 GB/10561 标准，夹杂物评级范围为：(0.5,0.5,1) 级，CrMn 系弹簧钢要求 B 细系 ≤ 2.0，B 粗系 ≤ 1.0，说明内生 B 类细系夹杂物超标可能性不大，但内生粗系夹杂物有可能超标，CrMn 系弹簧钢反馈 B 类夹杂物超标，可能是内生粗系夹杂物超标。

表 3 D 类细系 24 个抛光面最大夹杂物长度 / 微米

试样	A	B	C	D	备注
1	5	5	4	4	A、B、C、D 面为每次抛光至少磨去 0.3mm 厚度的抛光面
2	4	6	5	5	
3	5	5	5	4	
4	6	5	4	5	
5	5	4	4	4	
6	5	4	4	4	
MEAN LENGTH=4.625		SDEV=0.646899			

根据极值分析原理，经计算预测 D 类最大夹杂物长度 L<sub>max</sub>=7.78 微米，按照 95% 置信区间，L<sub>max</sub> 为 6.6~9.0 微米波动范围，按照 GB/10561 标准，夹杂物评级范围为：(0.5,0.5,0.5) 级，CrMn 系弹簧钢要求 D 细系 ≤ 1.5，D 粗系 ≤ 1.0，DS ≤ 1.5，说明内生 D 类细系夹杂物超标可能性不大，生产表明 DS 类夹杂物有超标现象，说明 DS 类夹杂物超标可能是外生夹杂物。

### 4 改进措施

由前面分析得知，从转炉后到铸坯、成品，CrMn 系弹簧钢夹杂物均含有 Al，而且还以 S、Ca、Mg、Ti 元素居多，Mg 元素为转炉、钢包、中间包耐材脱落<sup>[4]</sup>，Ti 元素为铁水带来的，要减少钢中大尺寸夹杂物，首先是减少钢中的 S、Mg、Ti 含量，提高钢水的纯净度。

生产表明，CrMn 系弹簧钢夹杂物检验不合主要为 B 类 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、尖晶石类、TiN 类) 和 D/DS 类 (以 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaS-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiN 居多) 夹杂物超标，说明控制 B 类和 D/DS 类夹杂物主要是控制 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、尖晶石类、MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiN、CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaS-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 类夹杂物。控制 B 类和 D/DS 类夹杂物，一方面是控制钢中的 Al 和 Ca，防止生成大颗粒 B 类 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 类) 和 D/DS 类 (以 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、

CaS-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>居多)夹杂,另一方面是使B类(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、尖晶石类、TiN类)和DS类(以CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaS-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiN居多)夹杂物充分上浮,去除大颗粒夹杂物进入铸坯中。

根据以上分析,提出改进措施如下:

① LF过程:在原工艺精炼渣石灰用量的基础上降低石灰用量,形成低碱度精炼渣,在低碱度精炼工艺下夹杂物成分更趋近分布于磷石英、假硅灰石区域,使钢中夹杂物组成控制在低熔点且有良好变形性的组成范围内,并通过吹氩使液态夹杂物聚集上浮。同时精炼整个过程禁止喂入硅钙线,避免钢水中Ca含量偏高,对部分Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>夹杂物进行变性,生成DS类(以CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaS-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>居多)大颗粒夹杂。

② RH过程:极限真空下保持时间和软吹氩时间在原来的基础上适当增大,通过真空脱气降低钢水O含量,最终达到减少轧材氧化物夹杂含量(尤其是钢中B类和D类、DS类夹杂),同时使B类(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、尖晶石类、TiN类)和DS类(以CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaS-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、TiN居多)夹杂物充分上浮,去除大颗粒夹杂物进入铸坯中,保证B类和DS类夹杂物检验合格,提高检验合格率。

③针对钢包、中间包使用炉次过多,钢包、中间包耐材会侵蚀,钢包、中间包中的Mg元素将进入并污染钢水,生成大颗粒B类尖晶石和D、DS类MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>类夹杂,对于钢包可适当降低钢包使用炉数,对于中间包则可适当降低CrMn系弹簧钢连浇炉数,防止耐材侵蚀,造成钢材夹杂

物超标。

④提高钢水纯净度,钢水中Ti含量最好≤30ppm,N含量最好≤30ppm,通过提高钢水的纯净度,减少或防止生成大颗粒TiN夹杂物,同时钢中O含量也最好做到≤15ppm(客户要求≤20ppm),通过降低钢中O含量,达到降低钢中氧化物夹杂的含量,尤其是B类和D类、DS类夹杂。

## 5 结语

通过以上分析并采取措施后,目前CrMn系弹簧钢夹杂物合格率已经提升到99.8%以上,1000炉偶尔出现1~2炉B类或DS类大颗粒夹杂物超标,产品夹杂物合格率得到明显提升,这大幅降低了产品补产和降级改判,避免大幅经济损失,而且做到了客户产品及时交付。到目前为止钢厂共为客户生产了CrMn系弹簧钢约30万吨,产品质量获得了客户高度认可,取得了良好的经济效益和社会效益。

## 参考文献

- [1] 陈滋顶.旅客列车效果提速研究[J].铁道经济研究,2000(4):21-22.
- [2] 宋风书.铁路提速客车技术发展迅速[J].铁道知识,2002(6):6-7.
- [3] 田健中.原材料对铁路货车疲劳性能的影响[J].机车车辆工艺,2000(5):23-24.
- [4] 宋维锡.金属学[M].北京:冶金工业出版社,1984:421-423.