

试验研究

# 轴承钢针孔状疏松成因分析及应对措施

王超,孙建设,张同方

(山东寿光巨能特钢有限公司,山东 寿光 262711)

**摘要:**针对GCr15轴承钢在酸浸低倍组织试样上出现的形如针孔、大小不一的深色凹坑缺陷,对凹坑进行SEM观察及EDS分析,确认该缺陷是钢中存在的大型夹杂物导致。大型夹杂物的来源之一是结晶器卷渣,二是钢渣反应形成的内生夹杂以及底吹氩气搅拌强度过大导致的卷渣夹杂。采用优质铁水、调整精炼脱氧工艺及氩气搅拌强度,优化结晶器保护渣黏度指数等措施,该类缺陷得到了有效控制。

**关键词:**GCr15轴承钢;针孔状疏松;夹杂物;卷渣

中图分类号: TG142.1+1

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2018)03-0036-03

## 1 前言

山东寿光巨能特钢有限公司前期生产的GCr15轴承钢经轧制成圆钢后,酸浸低倍组织检验时发现材料横截面存在形如针孔、大小不一的暗色孔洞。为分析该缺陷成因,取直径63 mm圆轴承钢制备金相试样,用光学显微镜和扫描电镜观察组织和组织间的夹杂物形貌,并进行能谱分析。通过分析找出缺陷形成原因,并提出了工艺改进措施,取得了良好的效果。

## 2 缺陷形成原因分析

### 2.1 工艺流程

轴承钢的生产工艺流程:80 t顶底复吹转炉冶炼(铁水80%+优质废钢)→80 t LF炉外精炼→VD真空脱气→R12 m五机五流连铸机连铸生产180 mm×220 mm连铸坯→热送(冷送)→二轧线推钢式加热炉加热5 h→高压水除鳞→Φ650轧机粗轧→Φ550×4/Φ450×2机架轧机连轧→热锯锯切→冷床收集→入坑缓冷→出坑表面检查。

### 2.2 缺陷宏观形貌

钢材成分见表1,钢材针孔状一般疏松形貌见图1。由图可见,一般疏松如果按照缺陷密集程度评级并不严重,但是低倍样表面散布明显(直径大)的黑点。

表1 GCr15钢化学成分控制范围

C/%	Si/%	Mn/%	P/%	S/%	Cr/%	Ti×10 <sup>-6</sup>	O×10 <sup>-6</sup>
0.99	0.26	0.37	0.017	0.008	1.49	26	9.1

首先在孔洞处沿轧制方向剖开后进行非金属夹杂物检验,夹杂物宏观形貌见图2,缺陷近表面位



图1 Φ63 mm轴承钢疏松宏观形貌(1.5级)

置因盐酸腐蚀呈现较深的孔洞,孔洞根部沿轧制方向见大量夹杂物,延伸长度约27 mm。



图2 GCr15钢针孔疏松处剖开后夹杂物全貌(多图拼接)

### 2.3 扫描电镜及能谱分析

在扫描电镜下,对低倍组织上出现的针孔状疏松逐一进行观察并进行能谱分析,电镜下的典型形貌特征及能谱分析结果见图3、表2。电镜下,疏松缺陷为呈圆形或类似圆形的深浅不一的凹坑,孔洞直径最大超过0.2 mm,这些孔洞有的较深以至于无法用能谱分析其内部洞底的组成,有的看不到夹杂物(可能是酸浸低倍时或者制样时脱落了),有的孔洞内部存在夹杂物;另外,浅凹坑底部有的也可以看到夹杂物。

图3a孔洞洞口为椭圆形,长轴约0.15 mm,短轴约0.10 mm,洞底部夹杂物为块状,直径约50 μm;能谱分析表明,夹杂物含C、SiO<sub>2</sub>、FeO和硫化物,微量的Na、Mg、Al、Ca。

图3b为聚合在一起的两块夹杂物,长轴约110 μm,短轴约65 μm;能谱分析表明,夹杂物含C、CaS、SiO<sub>2</sub>、CaO、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO和Na、Cr。

图3c孔洞表面为较大的浅坑,长轴约0.26 mm,短轴约0.15 mm,在浅坑一侧有深的圆形孔洞,直径约0.075 mm;洞底部夹杂物为块状,长轴约45

收稿日期:2018-03-15

作者简介:王超,男,1984年生,2007年毕业于山东理工大学材料科学与工程专业。现为山东寿光巨能特钢有限公司市场开发部工程师,从事新产品开发工作。

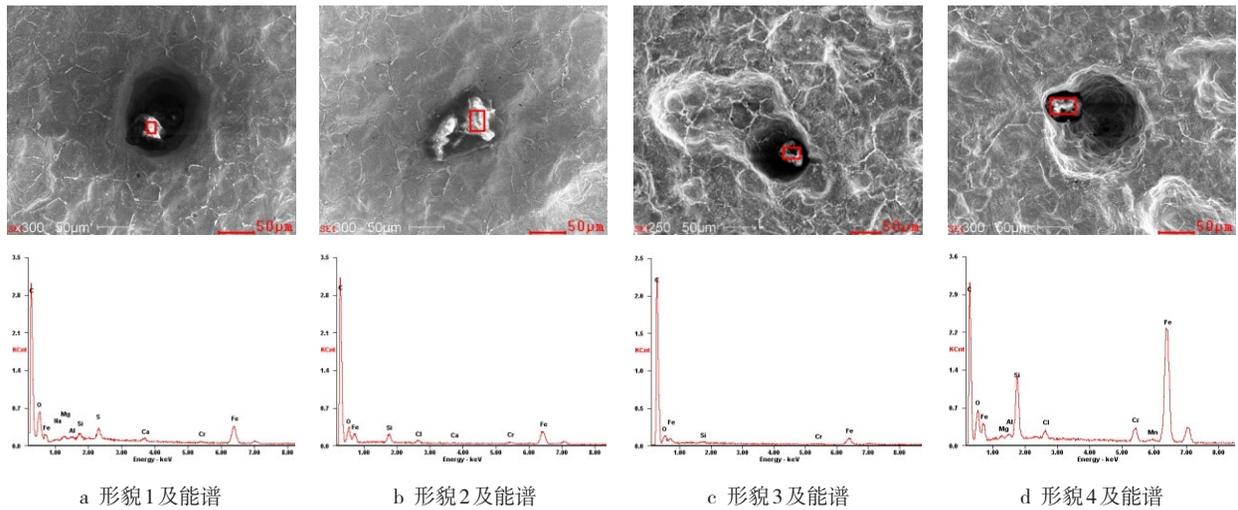


图3 GCr15钢夹杂物典型电镜形貌及能谱分析

表2 图3各形貌夹杂物能谱分析结果 %

谱图	项目	CK	OK	NaK	MgK	AlK	SiK	SK	KK	CaK	CrK	MnK	FeK
图3a	质量分数	59.25	9.38			1.71	21.38		0.80	0.83			6.66
	原子分数	75.85	9.01			0.97	11.71		0.31	0.32			1.83
图3b	质量分数	58.54	22.36	0.29	0.61	0.30		2.16		0.96	0.6		13.26
	原子分数	72.82	20.88	0.19	0.38	0.17		1.00		0.36	0.17		3.55
图3c	质量分数	12.61	10.09	1.64	1.57	1.12	2.86				5.59		64.54
	原子分数	32.58	19.57	2.21	2.00	1.28	3.16				3.34		35.87
图3d	质量分数	39.64	12.25		1.52	2.26	6.64	0.79		0.56	2.63	0.81	32.9
	原子分数	64.19	14.89		1.22	1.63	4.60	0.48		0.27	0.98	0.29	11.46

μm,短轴约30 μm。能谱分析表明,孔洞内夹杂物含C、Na、Mg、Al、SiO<sub>2</sub>、FeO、Fe和Cr的碳化物。

图3d孔洞直径约0.15 mm,孔洞底部没有发现夹杂物,在洞口边部有块状夹杂物,长约50 μm,宽约25 μm,能谱分析表明夹杂物含C、SiO<sub>2</sub>、Mg、Al、CaS、FeO、Fe和Cr的碳化物,Cl为低倍酸浸残留。

扫描电镜及能谱分析表明:夹杂物C含量都很

高,分析认为应是受到金刚石抛光膏的影响。另外由于孔洞深,研磨抛光后不容易吹干,少量水分引起了孔洞内壁及周围氧化。为此,将该低倍试样表面磨去一层,重新研磨抛光以后,再次用SEM观察缺陷和夹杂物形貌,并进行相应的EDS分析,结果如图4所示,其中形貌2各位置氧化物组成比例如表3所示。

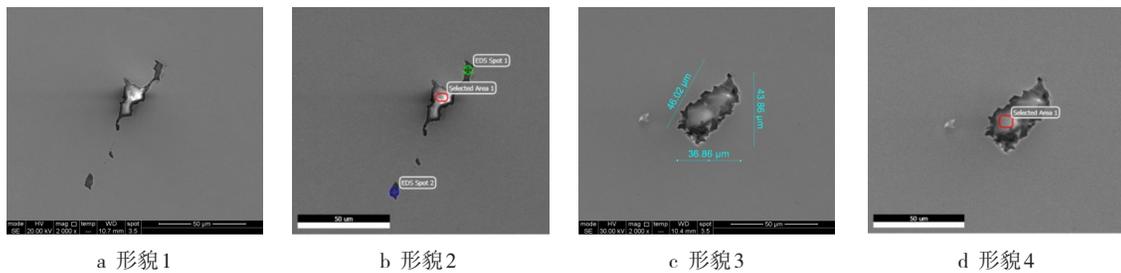


图4 研磨抛光后GCr15钢试样SEM形貌和EDS分析

表3 图4b各位置Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>·CaO·Na<sub>2</sub>O比例

项目	原子比	质量比
点1	28.5:21.3:24.4:25.8	40.7:17.9:19.1:22.3
点2	27.9:16.9:41.7:13.5	40.5:14.4:33.2:11.9
区1	41.0:13.8:36.2:9.0	55.1:10.9:26.7:7.3

研磨抛光后GCr15钢试样夹杂物断续分布,在钢材横截面上,夹杂物总长度75 μm,宽度约13 μm(见图4a),成分包含CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>和Na。在光学显微镜下观察,该类夹杂物沿晶界分布,在纵截面,

由于轧制变形的拉长作用,会在轧制方向延伸。出现明显的Na元素,表明该夹杂物来源于结晶器保护渣卷渣。

图4d区1 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和CaO分子比1:2,还有SiO<sub>2</sub>的夹杂物,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>·CaO分子比例接近25.7:20.6:53.7;质量比接近38.2:18.0:43.8。

图4c为另一个视场的大夹杂物,长宽比接近2,等效直径30 μm,轧向延伸尺寸不小于该数值。EDS分析由CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和SiO<sub>2</sub>组成。这样大的夹杂

物应属于外来夹杂。

分析可见,大型夹杂物在横截面上分布较多,沿轧制方向尺寸至少不小于横向观察到的尺寸,甚至会形成点链状沿轧向分布。在纵向截面,这些点链状夹杂物,当点间距  $> 40 \mu\text{m}$  时,即视为单个 Ds 类夹杂(GB/T 10561—2005),而且是超宽的。这些呈点链状分布的夹杂物,在酸浸时,会形成较深的孔洞。另外由于沿轧向夹杂物分布的随机性,在某些视场中出现的小尺寸夹杂物可能是大型夹杂物的头部或尾部。这些大型夹杂物不是内生夹杂,而是外来夹杂,夹杂物中出现的 Na 元素可以确定,该夹杂物来源于结晶器保护渣卷渣。

#### 2.4 缺陷形成原因

由分析结果得出,大型夹杂物的存在是轴承钢酸浸低倍组织试样上出现肉眼可见的大尺寸孔洞的原因,大型夹杂物的来源有两个,其一是结晶器卷渣;其二是钢渣反应形成的内生夹杂以及搅拌强度过大导致的卷渣夹杂<sup>[1]</sup>。

### 3 解决措施

1) 进一步提高供应炼钢厂的铁水质量,严控铁水中的 S、P 含量,同时提高转炉出钢碳含量,减少钢水氧化程度,最大限度减轻炉外精炼负荷。

2) 初炼炉出钢时足量加入钢芯铝进行沉淀脱氧,精炼全程不向钢水中喂入铝线,同时合理调整氩气搅拌强度,促进微细夹杂物的聚合上浮,并避

免发生严重卷渣及生成大量内生夹杂。

3) 通过与行业相关单位进行对标以及与保护渣供应厂商进行讨论,对该坯型结晶器保护渣黏度指数进行了调整,由原先的  $0.65 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  更改为  $0.50 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,保证连铸过程结晶器液面的稳定;同时尽可能保证中包钢水在最大容量下浇铸,以及适当提高钢水过热度、降低拉坯速度,增加钢水在中间包及结晶器内的停留时间,为夹杂物上浮提供充足的时间保证。

### 4 结语

钢中大型夹杂物的存在是轴承钢酸浸低倍组织试样上出现肉眼可见的大尺寸孔洞的原因。钢中大型夹杂物来源之一是结晶器卷渣,二是钢渣反映形成的内生夹杂以及搅拌强度过大导致的卷渣夹杂。为控制钢中的大型夹杂物,一是需严控精炼过程的内生夹杂及卷渣夹杂,保证钢水中夹杂物尽量多的聚合上浮,二是需控制结晶器液面的稳定,加强连铸过程夹杂物的上浮去除。

工艺改进后, GCr15 轴承热轧圆钢酸浸低倍组织试样上的大尺寸孔洞得到了有效控制,该类缺陷得以根除,极大改善了轴承钢的低倍质量,促进了轴承钢的上档升级。

#### 参考文献:

- [1] 刘浏. 特殊钢发展新趋势与工艺创新[J]. 炼钢, 2017, 33(4): 1-11.

## Formation Reasons and Preventive Measures of the Pinhole General Looseness in Ball Bearing Steel

WANG Chao, SUN Jianshe, ZHANG Tongfang

(Shandong Shouguang Juneng Special Steel Co., Ltd., Shouguang 262711, China)

**Abstract:** There are some pinhole and different sizes of pits in the GCr15 bearing steel macrostructure sample in my company's production. By the SEM and EDS analysis to the pits, it can be confirmed that the defects were induced by the large inclusion. One of the sources to the large inclusion is mold slag and the other is internal inclusion in the slag-steel reaction, as well as the excessive argon intensity causes the slag inclusion. By using high quality molten iron, adjusting the deoxidization process and agitation intensity of argon, and optimizing the viscosity of mould powder and so on, the defects have been effectively controlled.

**Key words:** GCr15 bearing steel; pinhole porosity; inclusion; macrostructure; slag entrainment

### 常见单位符号大小写混淆示例

单位名称	标准符号	错误符号	单位名称	标准符号	错误符号
米	m	M	帕[斯卡]	Pa	pa
秒	s	S	瓦[特]	W	w
吨	t	T	电子伏	eV	ev
千克	kg	Kg	赫兹	Hz	HZ, Hz
摩尔]	mol	Mol	升	L	l