

高碳铬轴承钢碳化物带状评定方法探究

张林¹, 刘海¹, 官跃辉¹, 蒋楠², 陆长河¹, 张剑锋¹

(1 江阴兴澄合金材料有限公司线材研究所, 江阴 214429; 2 江阴兴澄特种钢铁有限公司研究院办公室, 江阴 214429)

摘要:随着高碳铬轴承钢高温扩散时间的延长,碳化物带状的宽度会随之增加,碳化物颗粒变得细小。但按现有的 SEP 1520-1998、GB/T 18254-2016 及 ISO 5949-1983 标准图谱进行评级时,存在高温扩散时间越长,带状评级越高的情况,与改善工艺执行的效果相悖。本文采用一种新的碳化物带状评定方法,以带状内碳化物颗粒的尺寸为依据,完成碳化物带状评级,评定结果显示,高温扩散时间越长,所对应的碳化物带状级别越低,说明该方法可更清晰、直观及科学的回归反馈高温扩散改善带来的碳化物颗粒细化及分布均匀性的改善。

关键词:高碳铬轴承钢;碳化物带状;碳化物颗粒;评级标准

Research on Evaluation Method of Carbide Band in High Carbon Chromium Bearing Steel

Zhang Lin¹, Liu Hai¹, Guan Yuehui¹, Jiang Nan², Lu Changhe¹, Zhang Jianfeng¹

(1 Jiangyin Xingcheng Alloy Material Co., Ltd., Institute of Wire Rod, Jiangyin 214429;

2 Jiangyin Xingcheng Special Steel Works Co., Ltd., Research Institute Office, Jiangyin 214429)

Abstract: With the extension of high temperature diffusion time, the width of the carbide strip increases and the carbide particles become fine. According to the existing SEP 1520-1998, GB/T 18254-2016 and ISO 5949-1983 standard charts, the longer the diffusion time, the higher the band rating, which is contrary to the effect of improving process execution. In this paper a new carbide band evaluation method is used to complete the carbide band rating based on the size of the carbide particles in the band, the evaluation results show that the longer high temperature diffusion time, the lower the corresponding carbide band rating. This method can more clearly, intuitively and scientifically prove the improvement of carbide particle refinement and distribution uniformity brought about by the improvement of high temperature diffusion.

Key Words: High Carbon Chromium Bearing Steel; Carbide Band; Carbide Particle; Rating Standard

高端高碳铬轴承钢要求化学成分均匀,非金属夹杂物细小弥散,钢中碳化物分布均匀^[1]。高碳铬轴承钢中碳化物不均匀性分为碳化物液析、碳化物带状及碳化物网状。碳化物液析评定通过碳化物颗粒大小、长度,对照评定标准进行级别判定。碳化物网状评定通过碳化物沿晶界析出的分布,连续性、成角的网封闭程度与数量,对照评定标准图谱进行级别判定^[2-4]。碳化物带状评定国际、国内有相应的标准,按 SEP 1520-1998 与 ISO 5949-1983 标准,主要是按带状的宽度判定,按 GB/T 18254-2016 标准,是通过碳化物聚集程度、大小和形状综合评定^[5]。按照图谱比对评定而没有量化评级标准,造成评定时经常会出现评级争议。

大颗粒的共晶碳化物,可成为疲劳的裂纹源,严重地影响钢的接触疲劳寿命。因此在高洁净度冶炼的条件下,碳化物的均质化与细质化成为提高轴承

钢性能需要解决的问题^[6]。本文以高温扩散工艺对碳化物带状的改善为依据,提出全新的碳化物带状评定方法,量化评级参数,相较现有的评级方法,更为科学的反馈改善工艺对碳化物带状的影响。以上标准评定方法中 SEP 1520-1998 与 ISO 5949-1983 标准采用的图谱相同,评级标准可以按图谱一一对应,GB/T 18254-2016 与其有明显的不同,本文主要以 SEP 1520-1998 与 GB/T 18254-2016 进行说明分析。

1 工艺概况

采用兴澄特钢生产的 100Cr6 与 GCr15 高碳铬轴承钢产品进行验证分析,针对不同碳化物不均匀性的方案制定以下生产工艺流程。

生产工艺流程 1: KR→BOF(100 t)→LF(100 t)→RH(100 t)→连铸(390 mm × 510 mm)→加热 +

高温扩散→开坯(200 mm × 200 mm)→坯料精整→高线加热→轧制→控制冷却→集卷→打包→称重→入库。

生产工艺流程 2:KR→BOF(100 t)→LF(100 t)→RH(100 t)→连铸(200 mm × 200 mm)→坯料精整→高线加热→轧制→控制冷却→集卷→打包→称重→入库。

炼钢采用相同的生产工艺,连铸选用不同坯型,通过不同高温扩散工艺与小方坯直接加热的轧制工艺,进行碳化物带状级别对比。工艺执行方案见表 1。

其中工艺 1 与工艺 2 在完成高温扩散后开中间坯,中间坯规格与工艺 3 连铸坯相同,为 200 mm × 200 mm。工艺 3 高温扩散在高线加热过程中完成,

扩散温度与工艺 1、工艺 2 相同。三种工艺均采用轻压下工艺,改善坯料原始偏析以改善碳化物带状。三种工艺轧制相同规格盘条,轧制工艺完全相同,排除轧制规格的影响因素。

采用以上工艺生产的材料的主要化学成分见表 2。

表 1 工艺执行方案
Table 1 Process execution plan

工艺	工艺流程	连铸坯型/mm	轻压下	高温扩散温度/℃	高温扩散时间/h
1	1	390 × 510	是	1 235 ± 15	5
2	1	390 × 510	是	1 235 ± 15	10
3	2	200 × 200	是	1 235 ± 15	1.2

表 2 试验钢的化学成分/%
Table 2 Chemical composition of experimental steel/%

试验钢	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	O
GCr15/100Cr6	0.95 ~ 1.05	0.15 ~ 0.35	0.25 ~ 0.45	≤0.020	≤0.020	1.40 ~ 1.65	≤0.003 0	≤0.000 9

2 检验结果

每种验证工艺中随机取碳化物带状样品各 5 块,在试验室进行球化退火处理后,按 GB/T 18254-2016 标准热处理要求进行制样,试样检验面经过芯部,按现有碳化物带状检验评级标准方法进行评级,评级结果见表 3。

各工艺检验样品中,典型碳化物带状形态如图

表 3 碳化物带状评级结果/级
Table 3 Results of carbide strip/rating

工艺	检验标准	试样 1	试样 2	试样 3	试样 4	试样 5	平均
1	SEP 1520-1998	7.3	7.4	7.3	7.4	7.3	7.34
	GB/T 18254-2016	2.0	2.5	2.0	2.5	2.0	2.20
2	SEP 1520-1998	7.4	7.6	7.5	7.4	7.4	7.46
	GB/T 18254-2016	2.5	3.0	2.5	2.5	2.5	2.60
3	SEP 1520-1998	7.3	7.3	7.2	7.2	7.3	7.26
	GB/T 18254-2016	2.0	2.0	1.5	1.5	2.0	1.80

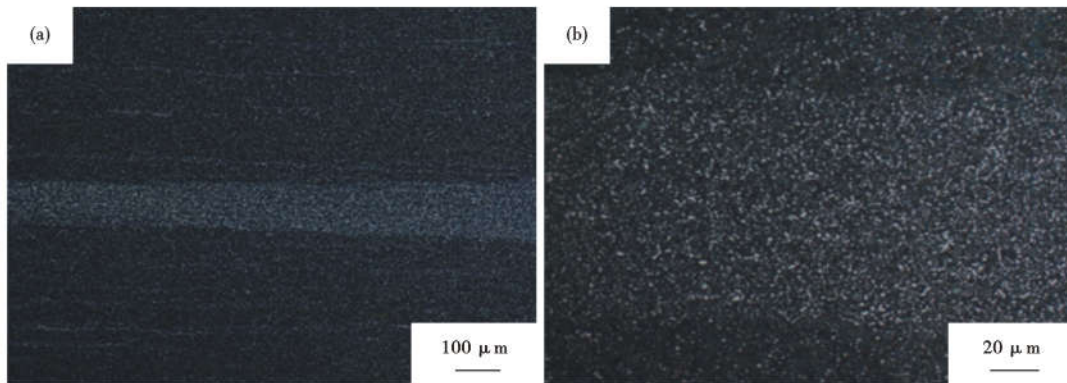


图 1 工艺 1 碳化物带状(直径 Φ12 mm)
Fig. 1 Process 1 Carbide ribbon(Φ12 mm)

1 ~ 图 3 所示,样品规格为 Φ12 mm。

通过各评级图片可以看出,工艺 1 与工艺 2 经过长时间高温扩散后,碳化物带状中颗粒细小弥散,但带宽增加,按现有的评级标准完成评级后,其级别高于工艺 3 的带状评级,并且扩散时间最长的工艺

2 带状评级最高。在通过高温扩散工艺的改进后,碳化物带状的评级更为严重。而工艺 3 中碳化物带状中颗粒部分处于未完全扩散的状态,颗粒为非球形不规则状态,评级结果却最优。以上结果表明现有的评级方法存在不合理性,需要研究制定新的

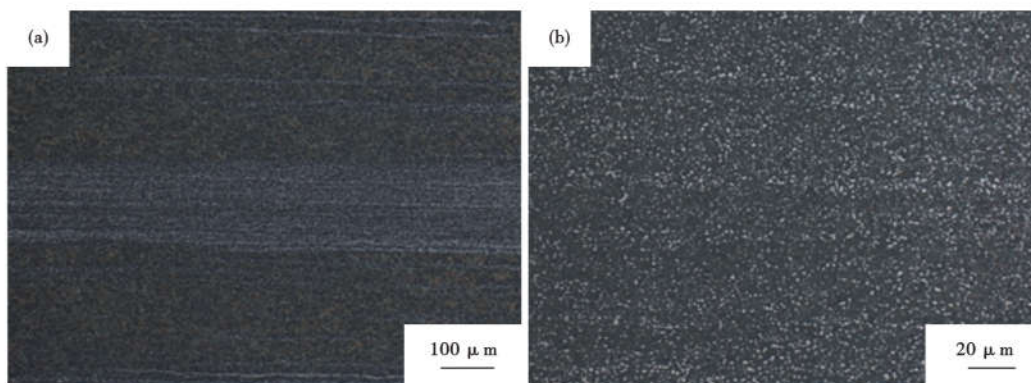


图 2 工艺 2 碳化物带状(直径 Φ12 mm)
Fig.2 Process 2 Carbide ribbon(Φ12 mm)

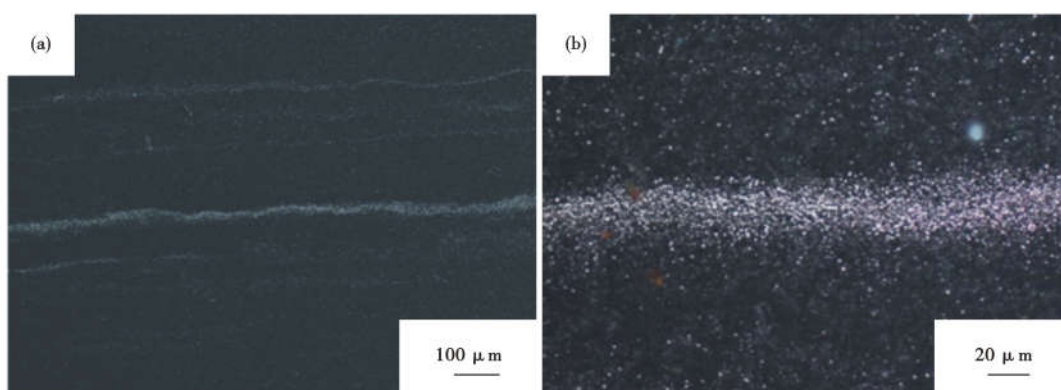


图 3 工艺 3 碳化物带状(直径 Φ12 mm)
Fig.3 Process 3 Carbide ribbon(Φ12 mm)

评级标准来改善这种不合理的评级现象。

现有的评级标准中,对于碳化物带状样品制备的工艺已经非常成熟,可以有效的反馈出碳化物带状的具体形态。在该样品制备基础上只需要针对碳化物带状的特征,结合高温扩散工艺的改善特点形成新的评级标准,同时针对现有标准仅通过图谱对比的方式完成评级的方法,排除模糊的不确定因素:如碳化物聚集程度及碳化物带状宽度(多条或非连续带状)等,量化具体的评级指标,建立新的评级标准。

新标准的样品制备方法与 GB/T 18254-2016 的样品制备方式相同,热处理制度为:(a) 淬火加热温度:820 ~ 850 ℃;(b) 淬火加热时间:按试样直径或厚度每 1 mm 保温 1.5 min;(c) 冷却剂:油;(d) 回火温度 150 ℃左右;(e) 回火时间:1 ~ 2 h。检验数量 3 ~ 5 个 [(1) 取样数量达不到规定时,应逐支取样;(2) 公称直径不大于 60 mm,取 5 个,公称直径大于 60 mm 时取 3 个]。热轧态样品应先进行球化退火后再按照以上标准进行热处理,因偏析沿轧制方向

拉长,最终形成盘条的带状组织^[7],所以检验视场采用 100 倍显微镜确认碳化物带状最严重视场,再采用 500 倍视场测量碳化物带状中颗粒尺寸进行评级^[2]。

根据高温扩散后碳化物带状内颗粒的状态,统计分析了兴澄特钢历年所生产批次碳化物带状的颗粒尺寸,制定出的量化评级新标准,规定见表 4。

将表 3 试样按照表 4 评定标准进行评级,结果见表 5,从表 5 可以看出,按照碳化物带状颗粒的大小尺寸进行评级,高温扩散时间越长,所对应的碳化物带状级别越低^[8]。工艺 2 高温扩散时间最长,碳化物带状评级最低。

表 4 碳化物带状级别
Table 4 Grade of carbide streak

序号	级别/级	碳化物颗粒尺寸/μm	备注
1	1	≤2	尺寸每增加
2	1.5 ~ 2.5	>2 ~ 5	1 μm 计 0.5 级,
3	3 ~ 3.5	>5 ~ 7	起评级为 0.5 级
4	4 ~ 4.5	>7 ~ 9	
5	5	>9	同碳化物液析区分

表5 碳化物带状评级结果/级
Table 5 Results of carbide strip/rating

工艺	检验标准	试样1	试样2	试样3	试样4	试样5
1	新评级标准	2.0	2.0	2.0	2.0	1.5
2	新评级标准	1.0	1.5	1.0	1.5	1.5
3	新评级标准	2.5	2.0	2.5	2.5	2.0

3 分析讨论

高质量高碳铬轴承钢碳化物颗粒比较细小,分布均匀是重要要求之一^[7]。严重的碳化物带状,对钢的组织、力学性能和接触疲劳寿命均有较大的影响。为了降低碳化物带状的影响,主要的措施是对钢锭或钢坯进行高温扩散处理^[9]。坯料在高温下保温时间越长,扩散效果越好,钢中碳化物偏析程度也就越低。用在高温长时间保温后的连铸坯生产出来的钢材,碳化物均匀性更好^[10]。

通过以上生产流程进行取样后样品检验结果,按常规 SEP 1520-1998 与 GB/T 18254-2016 标准进行碳化物带状评级,存在高温扩散时间越长,所对应的碳化物带状级别越高的情况,即使碳化物颗粒弥散分布,且细小均匀^[11-14]。该结果与高温扩散改善方案的执行相悖。而按照高温扩散改进工艺对碳化物颗粒的影响,采用碳化物颗粒的尺寸进行评级,新

标准中碳化物带状评级结果与扩散工艺的改善效果有较好的对应关系,因此,现有的评级标准可以更科学的反馈改善效果,同时区别于 SEP 1520-1998 与 GB/T 18254-2016 的评级结果。按新评级标准评定方式简单直观,评级方案清晰,排除不可量化的模糊因素,类似于非金属夹杂物的评定,证明了该方法较现行的评级方法更为清晰,评级结果更为科学。

4 结论

(1)按现有 SEP 1520-1998 与 GB/T 18254-2016 的碳化物带状评级标准,存在高温扩散时间越长,评级越严重的情况。

(2)根据高碳铬轴承钢碳化物带状改善工艺,带入高温扩散工艺改善的效果,新方法评定结果显示高温扩散时间越长,所对应的碳化物带状级别越低,证明新方法检测采用碳化物带状中颗粒尺寸进行评级更为科学。

(3)区别于碳化物液析,碳化物带状中颗粒尺寸按 1 μm 为一个等级单位,将碳化物带状以 0.5 级为起评级别,区分为 10 个等级,对应到 SEP 1520-1998 与 ISO 5949-1983 标准的分级情况。

参考文献

- [1]宗男夫,黄健,刘军,等. 轴承钢质量提升的关键冶金技术现状及展望[J]. 轴承,2020(12):60-66. DOI:10.19533/j.issn1000-3762.2020.12.013.
- [2]GB/T 18254-2016, 高碳铬轴承钢[S].
- [3]SEP 1520-1998, Microscopic examination of carbide structure in steels by means of diagram series[S].
- [4]ISO 5949-1983, Tool steels and bearing steels-Micrographic method for assessing the distribution of carbides using referencephotomicrographs[S].
- [5]徐尚呈,李博鹏,李德胜,等. 高碳铬轴承钢中带状碳化物评定的标准讨论[J]. 金属热处理,2019,44(12):252-255.
- [6]王燕,俞峰,曹文全,等. 热变形对高温轴承钢中碳化物的均质化与细质化影响规律研究[J]. 热加工工艺,2015,44(13):35-37+41. DOI:10.14158/j.cnki.1001-3814.2015.13.010.
- [7]宋振平,王伟. 轴承钢不同连铸工艺偏析程度对比研究[J]. 热加工工艺,2016,45(17):97-99. DOI:10.14158/j.cnki.1001-3814.2016.17.027.
- [8]魏果能,许达,俞峰. 高质量轴承钢的需求、生产和发展[C]//. 中国特殊钢年会2005论文集. 2005:110-116.
- [9]薄鑫涛. 有关 GCr15 轴承钢的液析、带状和网状碳化物问题[J]. 热处理,2021,36(5):60.
- [10]马丙涛,刘超群,林洁,等. GCr15 钢加热工艺与液析、带状的关系[J]. 中国冶金,2012,22(7):24-27+33. DOI:10.13228/j.boyuan.issn1006-9356.2012.07.006.
- [11]王伟,董庆,魏丽华,等. 高温扩散对轴承钢盘条带状组织的影响[J]. 热加工工艺,2020,49(17):112-114. DOI:10.14158/j.cnki.1001-3814.20200926.
- [12]刘靖,韩静涛,席军良,等. GCr15 轴承钢加热温度与碳化物的溶解扩散[J]. 金属热处理,2008(10):87-90. DOI:10.13251/j.issn.0254-6051.2008.10.027.
- [13]翟蛟龙,陈敏,陶佳伟. 改善 GCr15 轴承钢碳化物带状组织的研究[J]. 特钢技术,2016,22(2):50-51+56. DOI:10.16683/J.CNKI.ISSN1674-0971.2016.2025.
- [14]李文兴,刘振民. GCr15 轴承钢碳化物高温扩散的研究[J]. 河北冶金,2012(3):23-25+22.