



GCr15 钢工件淬回火金相检验的实践

北京工业大学材料学院 (100022) 宗 斌 王国红 魏建忠 李惠娥

GCr15 钢是铬轴承钢中最具有代表性的, 使用量占轴承钢的绝大部分。滚动轴承一般由内圈套、外圈套、滚动体(滚珠、滚柱、滚锥或滚针)和保持器等部分组成。轴承钢主要用来制造轴承的内外圈套及滚动体。其工件淬回火金相检验的依据是《JB/T1255—2001, 高碳铬轴承钢滚动轴承零件热处理技术条件》(以下简称: 标准)。

实践中如何在标准的指导下分析、检验样品的质量, 在帮助企业进行检验小型轴承淬回火工件的工作中我们积累了一些经验。同时, 结合理论知识的收集、整理, 又对 GCr15 钢轴承零件的马氏体淬回火金相检验项目进行了一些总结、分析, 在此与同行进行交流。

1. 淬回火马氏体级别的鉴定

GCr15 属于过共析钢, 预先热处理是球化退火。GCr15 正常的淬火温度为: $830 \sim 860^{\circ}\text{C}$, 奥氏体中溶解有 $w_{\text{C}} = 0.5\% \sim 0.6\%$, 以及 $w_{\text{Cr}} = 0.8\%$ (尚有 $7\% \sim 9\%$ 的未溶碳化物)。为了获得高硬度以及较好的强度、冲击韧度和使用寿命, 通常采用 $160 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的低温回火。

正常淬火后的金相组织应为隐晶马氏体, 在其上分布着未溶解的碳化物, 它能保证综合力学性能的要求。其光学显微组织通常由黑、白相间的两种马氏体区域所组成, 在黑色马氏体区域中存在较多的碳化物颗粒, 白色区域中比较少。

标准中对 GCr15 淬回火马氏体级别设定有 5 个级别, 分别有图片参照, 但是, 并没有文字说明如何准确判别样品的级别, 即不同级别判定的具体操作方式及简单的理论说明。同时, 标准中的图片印刷质量不佳, 分辨不清显微组织的准确形貌。配合洛阳轴承研究所提供的《高碳铬轴承钢滚动轴承零件热处理技术条件》标准评级图虽然可以清晰辨认显微组织, 但也是没有具体的文字说明。

通过理论分析及查阅相关资料可知, 判定 GCr15 钢淬回火马氏体级别是否合格的鉴定形式, 实际上可以认为是分析显微组织中黑、白马氏体区域在整体组织中所占的体积比例及辨别淬回火马氏体形貌的问题。

具体检验时, 首先应当利用光学显微镜在 500 倍的条件下检查制备好的金相样品的显微组织中是否出现明显的粗针状马氏体及明显残余奥氏体。这样做的原因是由于对于绝大多数轴承零件讲, 淬、回火马氏体的最高合格级别是 5 级, 即, 马氏体基体中的任何区域中不允许出现粗针状马氏体, 应当保证基体的黑、白区域均是属于隐晶马氏体的范畴。

如果没有粗针状马氏体, 随后需再根据实际技术要求, 具体判定淬回火马氏体中黑白区域的比例, 以确定淬回火马氏体的级别。

根据其他资料可知, 在淬回火马氏体级别为 3 级时, 黑、白区域的比例是均等的; 5 级时, 白亮区域的马氏体的视场份额在 70% 左右。根据现行标准, 只有 5 级的照片。在实际工作中, 经常会遇到白色马氏体区域所占的视场比例在 80% ~ 90% 的情况, 此时, 应当如何归类?

根据其他资料可知, 当淬回火马氏体的级别为 6 级时, 在白亮的马氏体区域中, 出现了明显的零星分布的局部粗针状马氏体及残余奥氏体的岛状区域, 这实际上是一个实践中非常明确的判定标准。据此, 我们可以在实践中根据粗针状马氏体出现与否的条件, 判定组织是归于 5 级, 还是属缺陷次品。这样, 在判定合格与否时, 是否能观察到明显的局部粗针状马氏体及残余奥氏体是关键, 需要说明的是, 只要有一个小区域存在粗针状马氏体, 就应当判定为不合格。

根据标准, 检测需在工件的纵截面上进行。淬



回火马氏体级别鉴定时样品的腐蚀要恰当,最好在制样过程中反复抛光、腐蚀几次为佳。

如果出现强烈的过热 ($> 1000^{\circ}\text{C}$) 情况,在 GCr15 钢中会出现明暗相间的“带状组织”,整个基体组织的马氏体均是属于粗针状,残余奥氏体很多,此时,组织当然是属于疵病。

2. 关于非金属夹杂的鉴别

标准中没有关于非金属夹杂的检验部分。这是因为在 GCr15 原材料生产的部颁标准 YB9—1968 中对钢中的非金属夹杂物的级别已经提出了严格的要求,合格产品应当是避免了非金属夹杂的出现或影响,所以在轴承零件的检验标准中不再涉及非金属夹杂的检测。

实际工作中发现,氧化物、硅酸盐夹杂比较罕见,硫化物夹杂的出现比较频繁。当然,根据资料,近年的研究认为硫化物对轴承钢寿命并无有害影响。从切削加工角度讲,适当放宽对硫的严格控制是可行的。

但是,有两个因素使对于硫化物的控制还是有其必要性的。首先,实际检验过程中,硫化物的视场检测级别过高,即,总的观测长度过大是常见的缺陷情况。

其次,硫化物的分布与碳化物带状形貌有着共生的现象。如果有碳化物带状形貌,必然可以观察到带状分布区域存在大量的条状硫化物夹杂沿碳化物带状分布方向的分布。这种情况尤其在轴、圈套、滚针零件中容易出现。

所以,即使硫化物本身对材料性能的影响可以忽略不计,但是,其间接对组织碳化物分布的影响必须予以考虑。同时,硫化物级别过高,就不得不考虑材料的基本素质要求是否合格。一些文献中也对于硫化物夹杂在失效过程中的有害作用进行了分析。因此,还是需要在检测过程中关注非金属夹杂的情况,对于经常出现的硫化物的情况给予必要的关注,以避免影响使用效果。

由于标准中对硫化物的检测没有标注,对于硫化物夹杂类型、级别判定的标准暂时根据 YB9—1968 或《高碳铬轴承钢》国家标准 (GB/T18254—2000) 来进行控制,以确保产品质量。

实际检测时,非金属夹杂的鉴别可以作为第一检验项目,在试样抛光未腐蚀的情况下进行,放大倍数为 100 倍,取最严重处进行测定。检测样品的

纵截面。

表 1 非金属夹杂物的合格级别

规格及状态	脆性夹杂物	塑性夹杂物	点状不变形夹杂物
	级别不大于		
$\leq 30\text{mm}$ 的冷拉及退火材	2	2.5	2.5
$> 30 \sim 60\text{mm}$ 的退火材及 $\leq 60\text{mm}$ 的不退火材	3	3	3
$> 60\text{mm}$ 退火及不退火材	3.5	3.5	3.5

3. 碳化物带状分布及碳化物液析组织

为了提高轴承钢的疲劳寿命,不仅需要严格控制钢中非金属夹杂物,而且需要认真改善钢的碳化物不均匀性。带状碳化物是一个不均匀的组织因素,对退火、淬火后的组织转变有相当大的影响。严重的碳化物带状组织使获得均匀的淬火组织发生困难。在淬火加热时原来贫碳的区域容易发生过热,奥氏体晶粒比较粗大而且不均匀,马氏体是针状而不是隐晶状的。在原来的富碳区域则容易出现托氏体组织。由于碳化物带状组织引起的淬火组织的不均匀性,使得零件中的内应力增大,托氏体的出现也使零件表面硬度不均匀。此外,严重的碳化物带状组织使工件在淬火时产生较大的变形,增加热变形后钢的各向异性,带状组织还会成为形成淬火裂纹的根源。

钢锭在冷凝过程中如果产生严重结晶偏析,会在枝晶间形成共晶碳化物。在热压力加工时,这种碳化物晶体的薄层顺沿金属的变形方向延伸而形成长条状或断续条状的碳化物液析。

带状组织及液析组织都是钢材材质的一种缺陷,在 YB9—1968 中有明确规定,所在标准中对此也没有涉及,应当参照夹杂物检测方式,在实际生产检验中,根据其他标准进行材质的控制。

在实际检验过程中,碳化物的带状组织检验需要在工件的纵截面上进行。检验时,样品需要深蚀,可以在淬回火马氏体鉴别后进行,在 100 倍或 500 倍下取最严重处进行检查。在 100 倍下可以检查碳化物的聚集程度,带状组织的宽度。在 500 倍下可以检查碳化物颗粒的大小分布情况、碳化物颗粒的形状。



表 2 碳化物带状组织和液析组织的合格级别

类 别	碳化物带状组织	碳化物液析组织
≤30mm 退火材	2.5	1
>30~60mm 退火材	3	2
≤60mm 不退火材	3.5	2.5
>60mm 退火及不退火材	3.5	3

在许多失效分析的场所，碳化物带状组织及液析组织的危害是被大家所认同的。

非金属夹杂、碳化物带状组织及碳化物液析组织的更详细的说明、照片，都可以参考 YB9—1968 及有关文献。

4. 淬回火托氏体组织及网状碳化物的鉴别

淬回火托氏体组织的出现，在实际工作中比较罕见，对此没有多少经验提出。

网状碳化物的鉴别是标准中涉及的一个检测项目，其要点在于检测时应当在工件的横截面进行，同时，样品腐蚀时需要深些。检测可以放在淬回火马氏体检测完毕后直接加深腐蚀进行，与碳化物带状分布及液析的检查同时进行。

检测时，根据标准中的第四级别图（碳化物网状组织）及球化退火技术要求中的级别要求进行。

5. 金相样品制备过程中的事项

由于不同的检测项目需要在工件的不同截面上

进行，实际工作中应当在轴、圈套样品制备的取样、镶嵌阶段提前准备，根据检测的要求制备不同截面的试样。

对于滚动体，例如滚珠检测时，应当保证一定的数量，随机取样、检测 3~6 个，以保证检测的准确性、代表性。

不仅是显微组织检查在 GCr15 钢的金相组织检查中非常重要，利用眼睛的宏观观察在样品检验中也具有重要的作用。当整个观察腐蚀面，如深浅不均匀，通常有问题；均匀而偏浅，也需要关注（很可能整体过热）；均匀而偏深，一般是合格的。样品表面如果出现细丝状的感觉，通常伴随着碳化物的带状形貌。

通过宏观观察，可选出特别需要关注的样品，为后续进一步的显微组织观察指出关注的方向。

6. 总结

（1）根据国内原材料生产的现状问题，非金属夹杂物分布以及碳化物的带状分布、液析的控制标准都应当在实际工作中有所体现，以保证产品质量。

（2）如何判定马氏体的级别，单纯依靠标准上的图谱是不够的，必须对理论有一定的了解、分析，再结合详细的图谱才能有效地鉴定。

(20030908)

（上接第 40 页）

4. 数控理论的应用

从温度闭环模型分析，“温度”、“节拍”、“工件规格”都有精确的数字表述，因此要实现精确温度闭环控制，必须引入“数控电源”概念，即实现电源数字化精确控制、数字化功率设定。以发动机连杆生产为例，可以得出以下工艺表格。现场温度测量数据如图 4 所示。

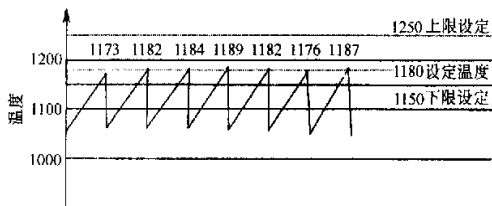


图 4 现场温度测量数据

工件直径/mm	工件长度/mm	加热温度/℃	加热节拍/s	电源功率/kW
65	188	1180	15	458

5. 结语

（1）通过对中频温控技术的攻关取得的成果，已成功应用在汽车连杆、核电管道加热热处理生产中，并收到了良好的效果，在连杆生产中控温精度可以达到 $\pm 15^\circ\text{C}$ 。

（2）HDX—XX 系列中频温度控制柜的问世，标志着我国中频产品正在向高精度方面发展，标志着国内设备完全可以达到温度闭环控制成套化。

（3）温度闭环控制的人工智能化是我们攻关的下一课题，相信，随着研究的深入会进一步缩小与进口设备的差距。

(20031008)