

GCr15钢轴承圈压开断口检测与分析

■ 金林奎, 付斌

摘要: 阐述了GCr15钢轴承圈产品, 经压断机压开的断口表现形态。宏观观察, 有些断口呈平直的细瓷状, 有些呈凹凸不平的脆性沿晶断口。呈现脆性断口的原因, 是由于工件在热加工锻造过程中加热温度过高, 材料中低熔点夹杂物熔融为孔洞的晶间熔洞组织。该缺陷组织显著降低材料的强度, 增加组织脆性。轴承圈内壁处较严重的表面脱碳层, 进一步降低工件强度及耐磨性。

1. 状态说明

GCr15钢轴承圈经过热加工锻造后球化退火处理, 最终热处理为淬火回火处理, 以便提高工件强度和表面耐磨性。外圆及内孔经过磨削加工, 然后在63kN的压断机上压成两半后使用。正常加工的产品, 压开后应该为较为平整的断口。图1上部为轴承厂家提供的轴承圈样品, 压开断口为

平直边缘。图1下部为公司自行处理的轴承圈产品, 压开处为凹凸不平的断口。左下角轴承圈内壁表层为开裂的起始部位, 裂纹源明显可见多源台阶, 并呈脆性放射状向右上角扩展至外表层处断裂。外表层处有倾斜的细瓷状终断区剪切唇。

距轴承圈高度中心, 垂直于断面线切割截取样块。镶嵌件的

上部为轴承厂家的压断件, 右侧为压开的断口, 断口较为平整,



图1 压开断口件(实物)

硬度值偏差较大, 硬度值最高为64HRC, 最低为44.5HRC, 套圈局部硬度低为磨削烧伤造成。此外, 表3中的回火稳定性检测结果说明, 热处理后的大部分残余应力已经消除, 不足以造成后工序磨削过程产生大量的变形。

3. 结论及改进措施

(1) 该轴承零件的变形是由于磨加工时严重的磨削烧伤(高温回火烧伤+二次淬火烧伤)引起的。

(2) 磨削加工时要避免磨削烧伤, 可从以下方面进行考虑: 砂轮的合理选用和修整; 确保切削液喷到磨削区, 加大切削液流量, 提高切削液压力; 适当减小磨削深度, 降低进给量; 尽可能减少磨削余量等^[3]。

参考文献

- [1] 顾立. 轴承的材料及热处理对套圈磨削裂纹的影响[J]. 热处理, 2003, 18 (3): 51-52.
- [2] 顾立. 残余应力对轴承套圈

磨削变形的影响[J]. 理化检验-物理分册, 2006, 42 (9): 447-449.

- [3] 彭瑜华, 张敏, 王伟晓. 滚轮磨削裂纹的产生机理及改进措施[J]. 金属热处理, 2014 (4): 145-147.

作者简介: 尤蕾蕾、赵丹、端木培兰, 洛阳LYC轴承有限公司、航空精密轴承国家重点实验室。

MW 20160219

该样块编号为1#样件。镶嵌件下部为公司自行处理的压断件，右侧同样为压开的断口，呈圆弧状凹凸不平的断口，样块的内壁表层可见明显的白亮层，该样块编号为2#样件（见图2）。

2. 化学分析

分别从1#、2#样件的轴承圈上截取样块，尺寸为长25mm×宽25mm×厚15mm，进行化学成分检测，检测设备为Labspark5000精密直读火花光谱仪。检查结果（见附表）表明，化学成分符合材料标准要求^[1]。

3. 金相检测

(1) 1#样件检测 压开的断口处表面为平直的穿晶特征形貌，表层未见氧化脱碳现象，次表层为隐针马氏体+颗粒状碳化物+少量残留奥氏体（见图3）。心部组织同样为隐针马氏体、颗粒状碳化物及少量残留奥氏体，黑白区分布相当明显，这是轴承钢较低温度加热淬火的特征组织，应该属于正常的轴承钢

淬回火组织^[2]（见图4）。

断面的局部区域为沿圆弧坑开裂的细晶状断口，断续分布的圆弧坑属于非金属夹杂物的脱落坑。在颗粒状夹杂物较多的部位，由于夹杂物与基体组织的结合力较弱，裂纹沿夹杂物边缘扩展。次表层及心部组织仍然为隐针马氏体+颗粒状碳化物+少量残留奥氏体，心部存在少量的带状碳化物（见图5、图6）。

(2) 2#样件检测 轴承圈内

壁表层处白亮层较为严重，白亮层为近似等轴状分布的铁素体组织，属于高温高氧化气氛形成的全脱碳层，经测量全脱碳层深度达0.15mm，该组织的强度非常低^[3]（见图7）。白亮层以下色泽较深的为贫碳层，贫碳层深度为0.10mm，组织为隐针马氏体及少量残留奥氏体。由于贫碳层的碳势较低，白色颗粒状碳化物析出较少（见图8）。

轴承圈内壁左侧为开裂起始

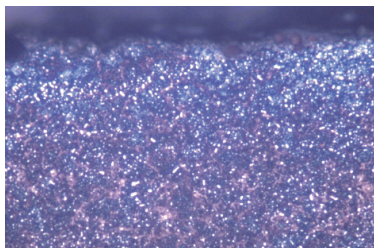


图3 断口处组织（400×）

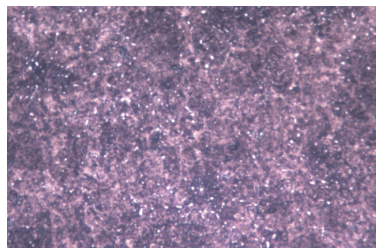


图4 断口附近组织（400×）

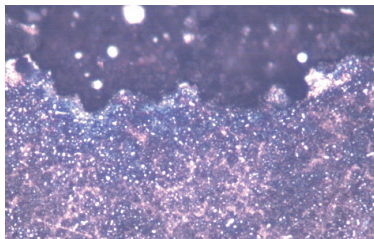


图5 断口处组织（400×）

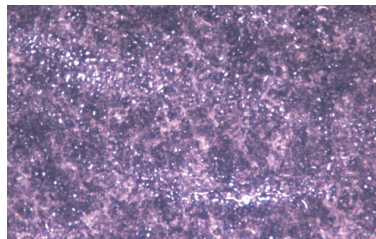


图6 断口附近组织（400×）

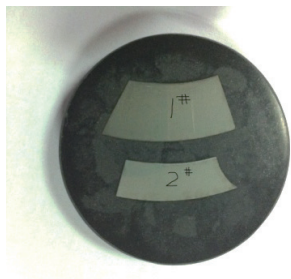


图2 试样镶嵌件（实物）

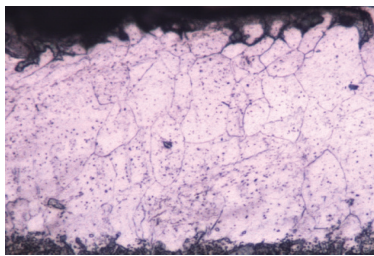


图7 全脱碳层组织（400×）

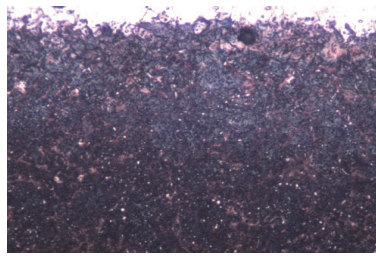


图8 贫碳层组织（400×）

原材料化学成分（质量分数）的检查结果

(%)

GCr15	C	Si	Mn	Cr	S	P	Mo	Ni	Cu
标准值	0.95~1.05	0.15~0.35	0.25~0.45	1.40~1.65	≤0.025	≤0.025	≤0.100	≤0.300	≤0.250
1#样	0.992	0.261	0.366	1.522	0.012	0.009	0.021	0.030	0.028
2#样	0.988	0.250	0.371	1.508	0.015	0.011	0.024	0.028	0.025

部位，表面脱碳层较为明显，裂纹的开口处将全脱碳层劈开，断口的起始部位有晶粒脱落的脆性开裂现象（见图9）。断口扩展呈沿晶开裂的特征形貌，有些区域晶粒已经大量脱落，断口二次裂纹的沿晶开裂特征更为明显（见图10）。

断口附近存在大量的晶间熔洞，这是低熔点非金属夹杂物熔融的特征组织。同时伴有晶粒脱落的孔洞以及氧化物浸润的沿晶二次裂纹。表明热加工锻造过程中，加热温度较高，晶界弱化，晶间结合力显著降低，在锻造应力作用下局部已经形成锻造热裂纹^[4]（见图11）。试样的心部同样存在较明显的晶间熔洞组织，颗粒状碳化物分布也不太均匀（见图12）。

4. 结论与分析

夹杂元素硫以化合物的形态存在于钢铁材料的基体中，它首先与锰结合形成1600℃高熔点硫化锰，剩下的硫与铁结合形成1200℃左右低熔点硫化铁以及980℃共晶硫化铁，硫化铁以及共晶硫化铁才是形成晶间熔洞的低熔点夹杂物^[5]。

硫化物夹杂虽然没有氧化铝夹杂的危害性大，但较多量的硫化物也对基体组织造成损伤，降低材料强度，增加材料脆性，极易形成锻造热裂纹。带状碳化物的存在，同样降低材料强度和韧性，严重的带状碳化物更加能够割断基体的连续性^[6]。

1#样件的断口较为平整，以穿晶断裂特征为主，局部呈现沿颗粒状夹杂物开裂的圆弧坑，这

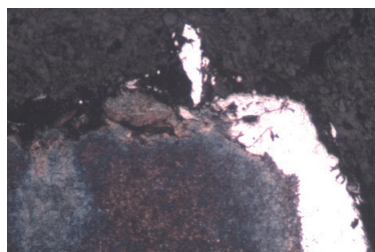


图9 裂纹开口处 (100×)

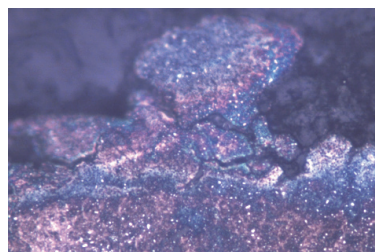


图10 沿晶开裂断口 (400×)

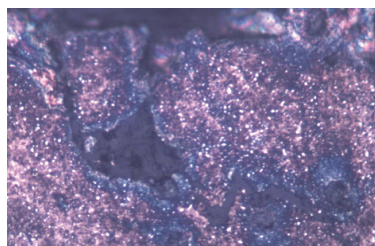


图11 断口附近组织 (400×)

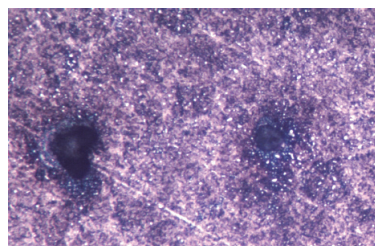


图12 基体组织 (400×)

是低熔点硫化物夹杂分布不均匀造成的。

2#样件锻造加热温度过高，晶界宽化，晶间弱化，甚至形成低熔点夹杂物熔融的晶间熔洞，材料强度显著降低，在锻造应力作用下，局部区域产生沿晶开裂的微裂纹。也正是由于锻造的高温加热，使裂纹内充满高温氧化物^[7]。锻件既存热锻开裂的沿晶微裂纹，以及内壁表层较严重的脱碳层，进一步降低材料的抗拉强度，使工件在压断过程中形成多台阶的应力集中裂纹源，然后形成放射状扩展的脆性断裂特征。

参考文献

- [1] 李春胜，黄德彬. 金属材料手册[M]. 北京：化学工业出版社，2005：262-268.
- [2] 马九荣，王明贤，姚培新. 轴承热处理[M]. 北京：机械工业出版社，1995：85-89.
- [3] 马鹏飞，李美兰，戈晓岚.

热处理技术[M]. 北京：机械工业出版社，2013：211-214.

- [4] 张菊水. 钢的过热过烧[M]. 上海：上海科学技术出版社，1984：138-145.
- [5] 赵德寅，王大伦. 汽车零部件金相分析[M]. 北京：机械工业出版社，1983：14-19.
- [5] 樊东黎，徐跃明，佟晓辉. 热处理工程师手册[M]. 北京：机械工业出版社，2004：596-598.
- [6] 吕炎，张国庆，单德彬. 锻件缺陷分析与对策[M]. 北京：机械工业出版社，1990：33-38.

作者简介：金林奎、付斌，东莞市星仁杰金属材料科技有限公司。

MW 20160419