

轴承钢套圈断裂缺陷分析

Fracture Defect Analysis of Bearing Steel Ring

供稿|张劲光¹, 董学涛² / ZHANG Jinguang¹, DONG Xuetao²

内容导读

用户在加工使用 GCr15 轴承钢时, 发现存在批量断裂缺陷。针对此问题, 对生产过程进行自查, 并对缺陷样品进行化学成分、非金属夹杂物、金相组织等检测。结果表明钢材本身并无问题, 用户的加工及热处理方式是引起断裂缺陷的主要原因。针对产生原因制定了具体的解决措施, 使断裂缺陷得到了有效控制。

轴承钢又称高碳铬轴承钢, 是特殊钢著名的代表钢种之一, 在国内外是公认衡量企业技术和产品质量的重要标志。其含碳质量分数为 1% 左右, 铬质量分数为 1.5% 左右。由于轴承钢的工作环境恶劣, 承受极大的压力和摩擦力, 所以要求轴承钢有较高的均匀性、硬度和耐磨性, 以及较高的弹性极限, 也因此对轴承钢的化学成分均匀性、非金属夹杂物的含量和分布以及碳化物分布等都提出十分严格的要求, 是所有钢铁产品中对各项指标要求最严格的钢种之一, 也是在加工、使用中出现质量问题比较多、分析难度比较大的钢种。

缺陷描述

用户采购 $\phi 65$ mm 规格的 GCr15 轴承钢, 采用穿管工艺生产套圈。生产轴承套圈工艺流程为: 下料—加热 (1100 °C)—穿管—矫直—热处理—粗加工—精加工。在加热、穿管及矫直过程中均未见异常。当在精加工过程发现有部分套圈出现开裂缺陷, 图 1 为套圈断裂后的全貌及剖面图。观察套圈

断口: 平齐, 无细小裂纹。除断口外, 套圈其余部分表面未见任何缺陷。

缺陷分析与讨论

化学成分分析

用户的断裂套圈所涉及的炉号为 18C2560, 将该炉的出厂检验结果与本次检验结果作对比。对 GCr15 缺陷试样进行了光谱及气体含量分析, 表 1 中列出标准要求、原料出厂时检验的冶炼成分及用户断裂的套圈实测成分, 通过成分对比发现, 断裂钢材成分接近出厂检验值, 满足异议判定真实性的要求。各成分符合 GB/T18254—2016 标准要求, 钢水 P、S 控制较好, 氧、氢气体含量较低, 脱氧充分, 另外残余元素 Cu、Ni、Mo 及有害元素含量也较低, 该钢纯净度较好, 因此可以排除钢材因成分不合产生断裂的可能性。

非金属夹杂物

从用户断裂套圈断口上取试样, 进行非金属夹

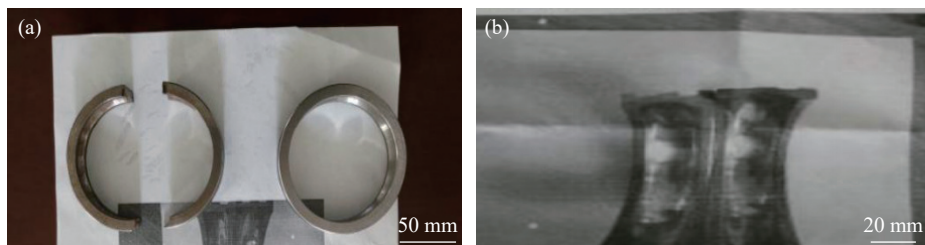


图1 轴承钢套圈: (a) 断裂全貌; (b) 断口剖面

表1 化学成分检验结果 (质量分数)

项目	C	Si	Mn	Cr	P	S	Ni	Cu	Ca
标准	0.95~1.05	0.15~0.35	0.25~0.45	1.40~1.65	≤0.025	≤0.025	≤0.20	≤0.20	≤0.0010
出厂	1.00	0.25	0.29	1.47	0.010	0.006	0.02	0.01	0.0008
实测	1.01	0.23	0.31	1.45	0.009	0.005	0.02	0.01	0.0007

项目	Mo	Ti	Al	As	Sn	Sb	Pb	O	H
标准	≤0.10	≤0.0050	≤0.05	≤0.04	≤0.03	≤0.005	≤0.002	≤0.0010	
出厂	0.01	0.0023	0.020	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0006	0.00008
实测	0.01	0.0025	0.024	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0009	0.00008

杂检验, 检验结果如表2, 根据表中结果可以看出, 无论原料出厂检验, 还是从用户断裂套圈上取料检验的结果, 均符合 GB/T 18254—2016 的标准。

表2 非金属夹杂物级别

项目	A		B		C		D		DS
	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细	
标准	≤1.5	≤2.5	≤1.0	≤2.0	0	0	≤0.5	≤1.0	≤1.5
出厂	1.0	0.5	0.5	0.5	0	0	0.5	0	0.5
实测	1.0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0

该炉钢 18C2560 经钢包精炼 (LF) 和真空精炼 (VD) 处理, 非金属夹杂物级别较低, 从成分分析也可以看出氧、硫等控制均较好, 钢质的纯净度控制在较高水平。据相关文献介绍, 若非金属夹杂物

含量过高, 尤其当 B 粗和 D 粗夹杂物含量较高时, 容易从非金属夹杂物处产生微裂纹, 并互相交叉连接以致扩展, 在后续热处理时将导致严重开裂^[1-5]。从检验结果来看, 排除了因为非金属夹杂物超标造成套圈加工后断裂的可能性。

显微组织

经对出厂钢材检验结果进行调取, 原始钢材的组织为珠光体+碳化物, 轧后带状组织 1.0 级, 网状碳化物级别 1.0 级, 原始钢材碳化物检验满足标准, 也无影响用户使用的异常金相组织。

取用户断裂套圈断口上的试样进行显微组织检验, 如图2所示。可以看出: 试样在断裂套圈断口处附近及基体部位, 全部为回火马氏体+少量碳化物

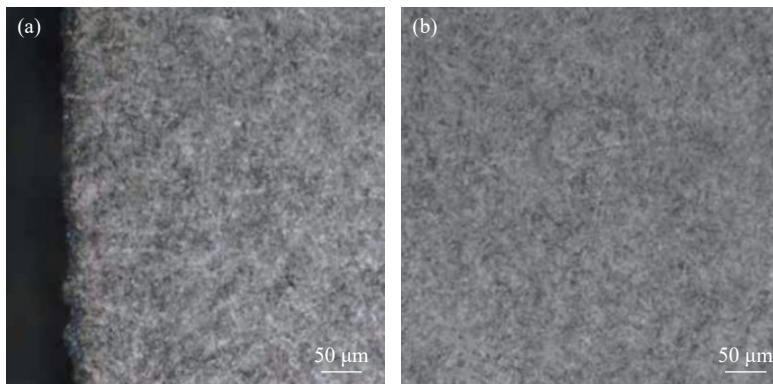


图2 断裂试样金相组织: (a) 断口部位; (b) 基体

组织，为正常的热处理后的组织。

断口附近边缘未见明显脱碳，组织细小均匀，无过热倾向，可见原材及用户加热、穿管过程均不存在造成裂纹的可能性。因此异常组织及脱碳层超标导致套圈断裂的可能性可予以排除。

裂纹断裂面扫描电镜观察

把用户断裂套圈断口进行无水切割后，经超声波清洗后，在扫描电镜下观察断裂面形貌。如图3所示，套圈断裂面上有明显的放射状条纹，裂纹起源于套圈的内弧面，此处为淬火及机加应力集中部位。瞬断开始区域断口平直，呈灰色瓷状脆性断口。在瞬断区与撕裂区交界处，可见短的径向裂纹与套圈内表面粗车刀痕相连。这表明裂纹是在粗车刀痕根部起裂并朝径向扩展而形成，在应力作用下进一步加深^[6]。

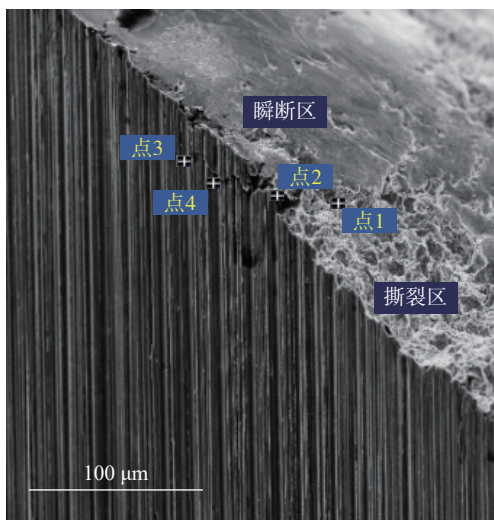


图3 断裂试样断口处的裂纹形貌

对断口电镜分析未发现夹杂等缺陷。断口裂纹开始部位的机械加工相对于其他部位比较粗糙，开裂起始区域断口存在一定程度的疲劳磨损。

对试样2裂纹起始处、裂纹根部、中间位置随

表3 试样裂纹处的元素成分（质量分数） %

位置	Si	Cr	Mn	Fe
点1	4.81	3.93	9.89	81.37
点2			4.94	95.06
点3	0.94	3.19	8.24	87.63
点4		7.65	0.82	91.53

机选取四点进行能谱分析，结果表明，裂纹处除钢中正常的基体元素外，并无明显的非金属夹杂物存在，排除因个别大尺寸夹杂物导致开裂的可能性。

缺陷产生原因分析及解决措施

缺陷产生原因分析

原始钢材及断裂套圈化学成分、非金属夹杂物均满足标准要求，显微组织正常，断口电镜分析未发现夹杂缺陷，因此套圈出现开裂缺陷并不是钢材本身原因造成的。

断裂套圈显微组织为回火马氏体组织，断口部位未见明显脱碳，排除原材及用户加热穿管因素所致。断裂套圈内壁断口裂纹开始部位的机械加工相对于其他部位比较粗糙，分析认为套圈加工过程中存在某种工艺或操作缺陷，使套圈磨损受力不均，造成局部磨损较其他部位严重，在该部位产生应力集中甚至过热。裂纹起源于套圈的内弧面，在瞬断区与撕裂区交界处，可见短的径向裂纹与套圈内表面粗车刀痕相连。以上结果分析认为套圈裂纹的产生是用户淬火过程产生的应力与不合理的机加工工艺叠加所致。

解决措施

根据以上分析的情况，可以从用户的机加工及热处理工艺入手。

（1）提高车削加工质量，严格控制车削进刀量及夹紧力，不允许表面有过深的车削痕迹及过大的车削应力^[7]。

（2）热处理的加热及冷却过程中，套圈表面与内部热胀冷缩不均及组织转变不同时均会产生较大的热应力和组织应力。薄壁轴承套圈由于自身刚度差，热处理时因为应力的存在易导致裂纹加速扩展。因此必须制定合适的热处理工艺，控制热应力和组织应力。

（3）内壁开裂往往与原始钢材芯部孔隙性缺陷也存在一定关联，若存在缩孔以及严重的中心疏松，在穿管及后续热处理过程中可导致开裂。虽然本文分析未出现此情况，但从提升实物质量角度，也要加强低倍质量控制。

经以上措施的实施并辅以用户的工艺改进，该

用户在以后的生产中未再出现批量断裂缺陷。

结论

(1) 轴承钢套圈断裂缺陷的产生与材质本身无关。

(2) 不合理的机加方式及内应力的存在是造成开裂的诱发原因, 通过调整机加工及热处理工艺, 可以有效避免断裂缺陷的产生。

参考文献

- [1] 镇凡, 刘静, 黄峰, 等. 夹杂物对 X120 管线钢氢致开裂的影响. 中国腐蚀与防护学报, 2010, 30(2): 145
- [2] 谈正军, 胡楠楠, 夏金魁, 等. 夹杂物对 Q195b 拉丝材断裂行

为的影响. 金属世界, 2022(3): 47

- [3] 李肖, 邓建军, 林明新, 等. 16MnDR 复合板开裂原因浅析. 金属世界, 2019(5): 48
- [4] 董学涛, 汪海涛, 冯崇伟. GCr15 轴承钢表面裂纹缺陷分析. 金属世界, 2017(3): 57
- [5] 刘红祎, 李锡峰. 轴承钢管内部裂口成因. 金属世界, 2015(1): 56
- [6] 盛国裕, 叶纲, 沈绅华. 轴承套圈的断裂失效分析及裂纹形貌特征. 机械工程师, 2001(5): 25
- [7] 廖卫. GCr15 钢制轴承典型裂纹原因分析. 国外金属热处理, 2004(6): 42

作者简介: 张劲光 (1971—), 男, 高级工程师, 从事特殊钢生产工艺技术研究和新产品开发研制工作。通信地址: 辽宁省本溪市平山区人民路 16 号, 邮编 117000; E-mail: 18804147855@163.com。