

汽车十字轴式万向节断裂原因分析

吴冰冰^{1, 2}, 张文彬¹, 刘兴龙¹, 樊申腾¹, 钟世标¹, 万天^{1, 2}

1. 深圳市美信检测技术股份有限公司 广东深圳 518108

2. 深圳市美信咨询有限公司 广东深圳 518108

摘要: 某汽车在路况极差、颠簸不平的道路上行驶时, 出现了传动系统失效问题, 经检查发现万向节的轴承套筒断裂。为查找套筒断裂失效原因, 对其断口形貌、显微组织、化学成分、维氏硬度等进行了检测。结果表明: 渗碳与淬火工艺不良是万向节轴承套筒发生断裂的主要原因。套筒表面组织为粗针马氏体+大量残留奥氏体, 局部可见马氏体间微裂纹, 心部存在魏氏组织, 使套筒冲击性能变差, 因无法承受苛刻路况冲击而发生脆性断裂。

关键词: 万向节轴承套筒; 粗针马氏体; 残留奥氏体; 马氏体间微裂纹; 魏氏组织

Fracture analysis of automobile cross shaft universal joint

WU Bingbing^{1, 2}, ZHANG Wenbin¹, LIU Xinglong¹, FAN Shenteng¹, ZHONG Shibiao¹, WAN Tian^{1, 2}

1. Meixin Testing Technology Co., Ltd., Shenzhen 518108, Guangdong, China

2. Meixin Consulting Co., Ltd., Shenzhen 518108, Guangdong, China

Abstract: A certain car experienced transmission system failure while driving on extremely poor and bumpy roads. Upon inspection, it was found that the universal joint bearing sleeve had fractured. To investigate the cause of sleeve fracture failure, the fracture morphology, microstructure, chemical composition, vickers hardness, etc. were tested. The results show that poor carburizing and quenching processes are the main reasons for the fracture of universal joint bearing sleeve. The surface structure of the sleeve is composed of coarse needle martensite and a large amount of retained austenite, with visible microcracks between martensite in some areas. There is widmannstatten structure in the center. The above structures result in poor impact toughness of the sleeve, making it unable to withstand harsh road conditions and leading to brittle fracture.

Keywords: universal joint bearing sleeve; coarse needle martensite; retained austenite; microcracks between martensite; widmannstatten structure

1 序言

万向节在各种机械传动中都得到了广泛应用, 例如汽车传动系统、拖拉机传动系统及工程机械传动系统等。在汽车传动系统中, 万向节是其核心部件, 承担着在各个方向功率和转矩的传递。因汽车万向节的工作环境比较苛刻, 经常要承受极大的冲

击力, 如路面的颠簸、转速及转向的不断变化等, 故必须具备较高的韧性、强度和耐磨性。

十字轴式万向节的失效主要集中在滚针、十字轴及轴叉间等容易发生异常接触磨损与疲劳断裂部位, 失效原因主要为安装异常、结构应力集中、润滑不良、锻造缺陷、轴承游隙及热处理工艺缺陷等^[1-5]

方面。借助光学显微镜、扫描电镜、碳硫分析仪、电感耦合等离子体光谱仪及维氏硬度计等方法与手段，对失效万向节的化学成分、显微组织、断口形貌、维氏硬度等进行观察和检测，查找失效主要原因，并进行分析与讨论。

2 外观检查

图1所示为万向节结构及失效件拆解后外观图。由图1a、b可知，万向节轴承结构通过卡环固定在万向节叉里，轴承外套筒的底部位置发现开裂裂纹，套筒底部向外凸起，导致裂纹张开，宏观上呈龟裂状。该万向节叉的另一轴承套筒未见断裂等异常。将万向节叉整体沿图1b中虚线用线切割分离，截面如图1c所示。由图1c可知，套筒底部与本体已完全断裂分离。卡环表面存在“竹节式”压痕及变形，表明碎裂套筒承受较大应力作用，并间接挤压卡环与万向节叉。在套筒内部、滚针及十字轴表面未见严重磨损痕迹，但可见因“咬死”而在套筒内壁及十字轴表面残留的滚针挤压变形痕迹。

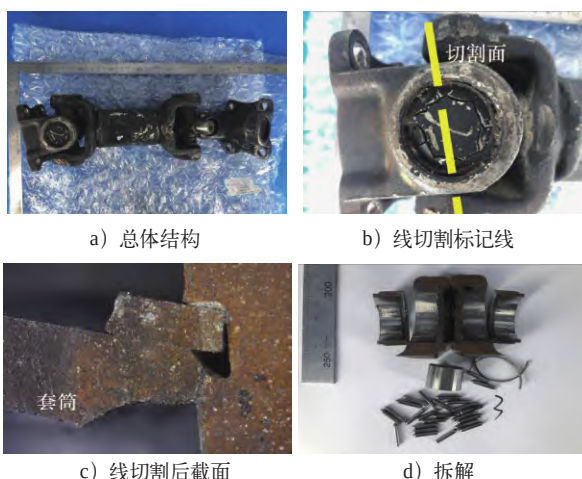


图1 万向节结构及失效件拆解后外观

3 成分分析

取断裂轴套进行化学成分分析。去除轴套表面渗层，用电感耦合等离子体发射光谱仪与碳硫分析仪对其进行化学成分检测，结果见表1。断裂轴套材料的化学成分符合GB/T 3077—2015《合金结构钢》中牌号20Cr标准成分要求。

表1 试验材料的化学成分(质量分数) (%)

元素	C	S	Si	Mn	P	Cr	Ni	Cu	Al	Fe
断裂轴套	0.23	0.0074	0.193	0.58	0.016	0.81	0.011	0.030	0.024	余量
要求值	0.18~0.24	≤0.030	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.030	0.70~1.00	—	—	—	余量

4 断口分析

图2所示为套筒断口扫描电子显微镜形貌。由图2可知，套筒断口靠近边缘的主要为“冰糖状”沿晶形貌，沿晶面较干净，未见析出物及氢脆特征形貌。套筒断口心部主要为韧窝与“河流花样”解理的混合形貌。

5 显微组织

图3所示为断裂套筒显微组织形貌。图3a~d为套筒外表面显微组织，表面组织为粗针马氏体+大量残留奥氏体，马氏体>6级，局部可见马氏体间微裂纹，不符合JB/T 3232—2017《滚动轴承 万向节滚针轴承》要求。表面组织粗大，对应断口表面沿晶形貌。图3e为套筒心部显微组织。由图3e可知，心部组织存在魏氏组织。

图4所示为未断裂套筒显微组织形貌。由图4可知，表面组织为细小均匀的针状马氏体组织，心部

组织为低碳马氏体+少量网状铁素体。

6 硬度分析

对断裂及未断裂套筒厚度方向硬度梯度测试，结果见表2。由表2可知，靠近外表面的硬度和截面心部硬度，渗碳后符合JB/T 3232—2017《滚动轴承 万向节滚针轴承》要求。

表2 断裂轴承套筒截面硬度

位置	维氏硬度HV1				洛氏硬度HRC
	1	2	3	均值	
断裂轴承套筒靠近外表面	748.8	766.1	741.2	752.0	62.4
断裂轴承套筒心部	485.9	512.6	487.4	495.3	48.9
未断裂轴承套筒靠近外表面	748.8	757.1	766.2	757.4	62.5
未断裂轴承套筒心部	466.2	470.0	478.6	471.6	47.3
表面硬度要求	58~64HRC				

注：根据GB/T 1172—1999《黑色金属硬度及强度换算值》，将HV转换为HRC。

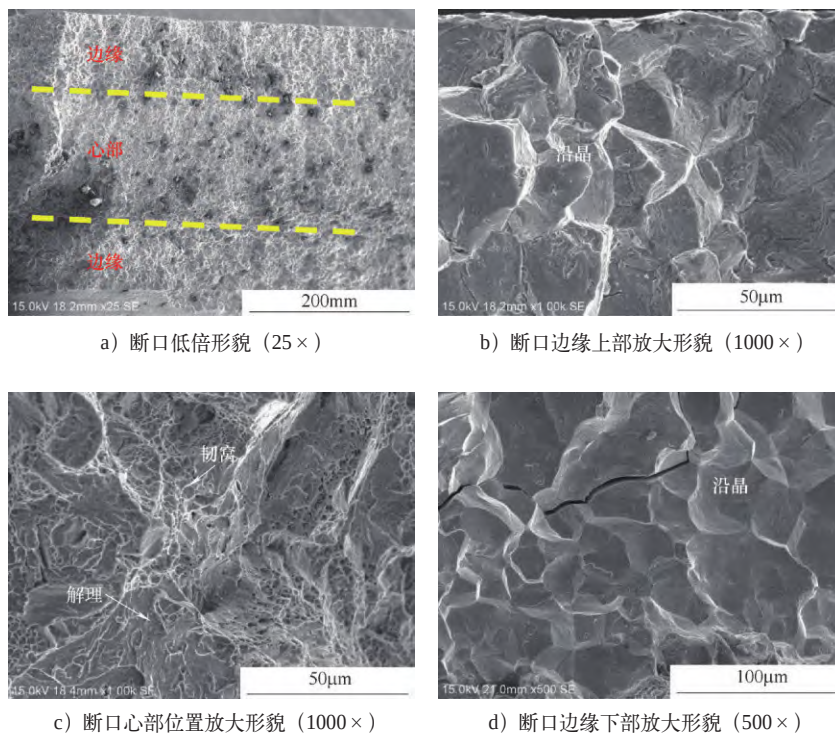


图2 套筒断口扫描电子显微镜形貌

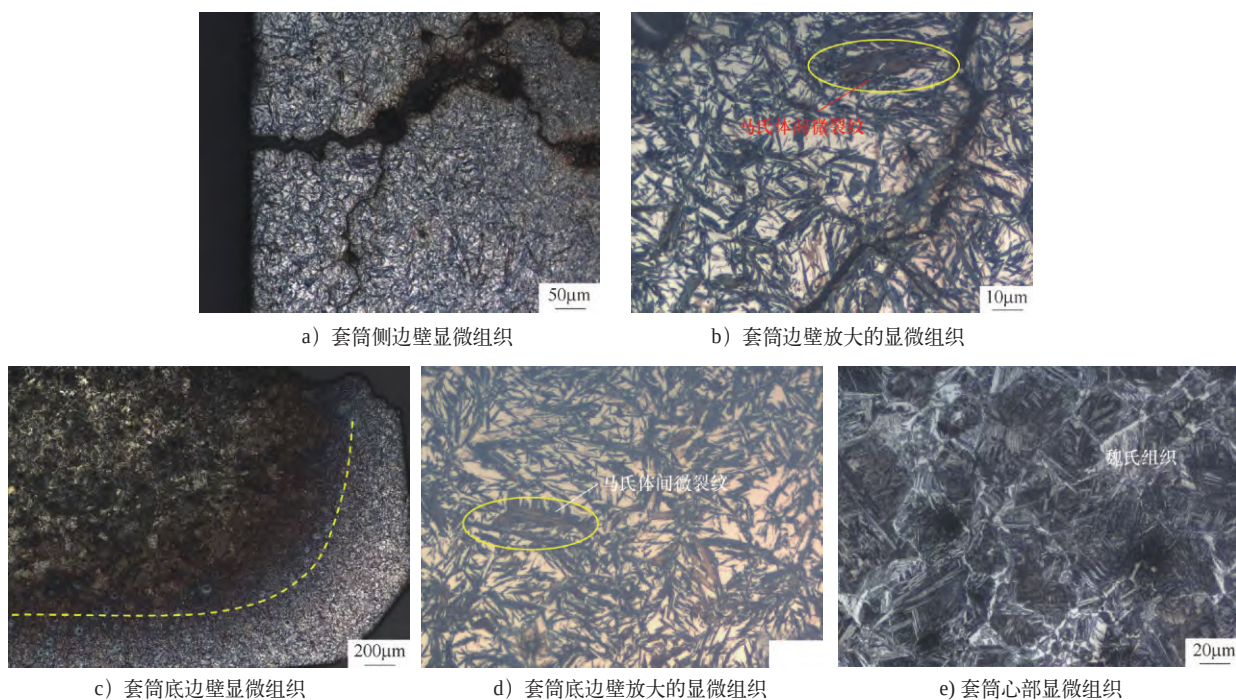
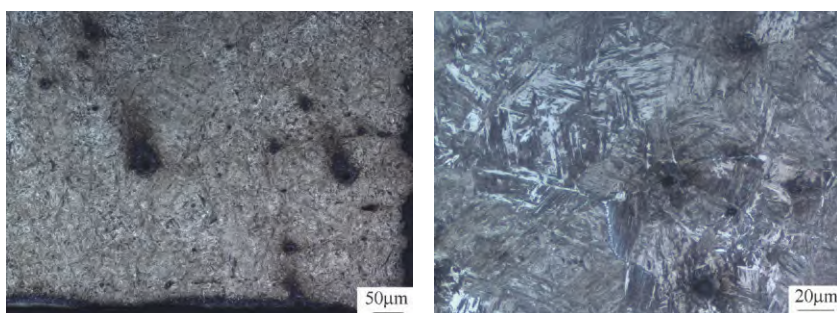


图3 断裂套筒显微组织

7 分析与讨论

- 1) 化学成分检验结果表明, 断裂轴套筒材料的成分符合牌号20Cr标准要求。
- 2) 硬度分析可知, 断裂轴承套筒表面硬度符合

技术要求, 但是表面显微组织是粗针状马氏体+大量残留奥氏体, 局部有马氏体间裂纹, 可能与渗碳和淬火温度偏高, 也有可能与渗碳及淬火碳势偏高有关。



a) 未断裂套筒边壁放大的显微组织

b) 未断裂套筒心部放大的显微组织

图4 未断裂套筒显微组织

3) 断口分析可知, 套筒断口边缘为“冰糖状”沿晶形貌, 呈脆性断裂特征。沿晶断裂机理为组织晶界弱化, 使结合强度降低, 裂纹沿晶界扩展。沿晶断裂原因除环境介质如氢脆、应力腐蚀等外, 还由以下情况引起: ①晶界沉淀相引起的沿晶断裂, 该断裂多是沿晶韧窝断裂。②杂质元素在晶界偏聚, 降低晶界的聚合能引起的沿晶断裂, 如回火脆性中晶界杂质偏聚。③高温沿晶断裂, 如蠕变。④淬火不当, 如过热、过烧引起的沿晶断裂^[6-9]。

4) 由金相分析可知, 断裂套筒表面组织为粗针马氏体+大量残留奥氏体, 心部为魏氏组织, 属于严重的渗碳淬火不合格组织。未断裂套筒表面组织为极细小均匀的针状马氏体组织, 与断裂套筒组织差异较大。断裂件马氏体针粗大, 残留奥氏体较多及淬火组织应力较大, 使马氏体片间形成了微裂纹, 严重降低材料韧性。

综上所述可知, 断裂套筒表面组织存在严重过热, 局部粗针马氏体间存在微裂纹, 在冲击载荷下轴承套筒发生断裂。轴承套筒断裂后发生“咬死”现象, 套筒内壁及十字轴表面的滚针受挤压, 使轴与滚针无法相对滑动, 导致万向节变角度动力传递功能丧失。在车辆持续运转情况下, 万向节其他位置也出现匹配失稳磨损异常, 应力作用下出现滚针及弹性挡圈断裂等现象, 最终导致万向传动装置失效。

8 结束语

1) 渗碳与淬火工艺不良是万向节轴承套筒发生断裂失效的主要原因。轴承套筒热处理工艺不良, 形成的粗针马氏体+大量残留奥氏体, 局部可见马氏体间微裂纹, 在恶劣工况下套筒发生脆性断裂。

2) 优化渗碳淬火工艺, 降低渗碳及扩散碳势, 采用合适的渗碳及淬火温度, 形成合格的渗碳淬火组织。

参考文献:

- [1] 夏仁善, 宗晓明, 张玉铃, 等. 重型万向节十字轴总成失效原因分析[J]. 汽车零部件, 2022 (3): 73-76.
- [2] 范景峰, 梅二召, 董振波. 汽车传动轴轴颈断裂分析与优化[J]. 机械, 2020, 47 (7): 7-14.
- [3] 张浩, 高小清, 周副权, 等. 某纯电动汽车驱动轴异响分析与优化[J]. 应用声学, 2022, 41 (3): 344-350.
- [4] 罗昆, 穆广强. 20CrMnTi万向节断裂失效原因分析[J]. 热加工工艺, 2014, 43 (15): 231-232.
- [5] 刘广来, 杨建玺, 杨晓蔚, 等. 径向游隙对十字轴万向节轴承接触特性的影响[J]. 轴承, 2018 (11): 38-42.
- [6] 吴冰冰, 曾志卫, 邓番林, 等. 某化工厂管道输气用不锈钢法兰漏气裂纹分析[J]. 物理测试, 2021, 39 (4): 42-46.
- [7] 孙智. 失效分析: 基础与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2022.
- [8] 王锡樵. 轴承钢热处理应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2023.
- [9] 葛炎龙, 朱文浩, 柴敬超, 等. 汽车电动尾门弹簧绕制断裂分析[J]. 金属加工(热加工), 2023 (6): 76-79.

MW 20240826