

等速驱动轴中间轴淬火后崩裂原因分析

崔小毅

慈溪宏康汽车零部件有限公司, 浙江 慈溪 315300

[摘要] 公司某批次中间轴在中频淬火后发生表层崩裂现象。通过宏观观察、化学成分分析、淬火结果金相检查等方法分析了崩裂产生的原因。结果表明, 中间轴崩裂的主要原因为, 原材料表层裂纹的存在导致中频淬火时在裂纹处应力集中, 产生崩裂。而崩裂的次要原因为, 碳含量偏上限, 低温段淬火液冷速又较快, 产生了较大的组织拉应力, 诱发崩裂。

[关键词] 中间轴; 崩裂; 表层裂纹; 应力集中; 组织应力

DOI: 10.33142/sca.v3i5.2261

中图分类号: TG156.3

文献标识码: A

Cause Analysis of Cracking of Intermediate Shaft of Constant Speed Drive Shaft after Quenching

CUI Xiaoyi

Cixi HongKang Automobile Spares Co., Ltd., Cixi, Zhejiang 315300, China

Abstract: The surface cracking of a batch of intermediate shafts occurred after medium frequency quenching. The causes of cracking were analyzed by macroscopic observation, chemical composition analysis and metallographic examination of quenching results. The results show that the main reason of the intermediate shaft crack is that the existence of the surface crack of the raw material leads to the stress concentration at the crack during intermediate frequency quenching and the crack. The secondary reason of cracking is that the upper limit of carbon content and the rapid cooling rate of quenching fluid in low temperature section produce large tensile stress and induce cracking.

Keywords: intermediate shaft; crack; surface crack; stress concentration; microstructure stress

引言

等速驱动轴是汽车传动系统的一个重要部件。常见的等速驱动轴主要由移动端(内球笼)、固定端(外球笼)、中间轴以及防尘套等附件组成, 其中移动端与差速器伞齿轮内花键配合, 固定端与轮毂轴承内花键配合, 将变速箱输出的扭矩传递给轮毂, 同时可多角度等速传递, 从而实现汽车的加减速和变向。内外球笼和中间轴都要经过中频感应淬火处理, 以提高静扭强度和疲劳寿命。原材料、锻造和热处理的缺陷都会影响三大件的机械性能, 从而导致失去动力、异响等故障。

其中中间轴的材料为 40Cr, 加工工艺流程为棒料—机加工—中频淬火—回火—校直—探伤—表面处理。本司新进一批材料分别在后续的中频淬火工序、校直工序出现了较多不同程度的崩裂现象。加工约 2 万支中间轴, 最终崩裂数量多达 500 余支, 比例之大给公司带来很大的质量隐患。

本工作针对上述问题做了一系列理化测试和性能测试, 通过分析寻找其崩裂原因, 并对未崩裂产品性能做出评估, 以防类似质量问题的再发生。

1 理化测试

1.1 宏观观察



图 1 崩裂中间轴外观

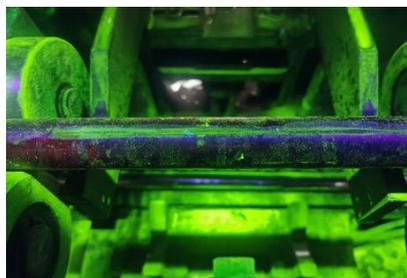


图 2 崩裂中间轴探伤外观

该中间轴崩裂后的外观如图 1 所示，荧光磁粉探伤机下崩裂面如图 2 所示。崩裂后的表面呈现撕裂长片状，崩裂片层厚薄不等，长度不定，位置不定，但多数发生在扎带槽的两侧轴肩直径落差较大处。且大多数崩裂片底部都有一条直线型缺陷，片层两侧锋利。初步分析为中频淬火后，表面组织应力过大，在直线型缺陷处开裂。

1.2 化学成分分析

中间轴的材料为 40Cr 钢，从崩裂件上取样，根据 GB/T3077-1999《合金结构钢》中的要求，对其化学成分进行分析，结果见表 1。由结果可见，材料成分满足 40Cr 材料成分要求，碳含量偏上限，会使提高材料淬硬性和组织应力，同时同等条件下降低材料塑韧性，脆性增大^[1]。当淬火冷速过大时，开裂风险变大。

表 1 中间轴的化学成分分析结果（质量分数）

化学元素	C	Si	Mn	P	S	Cr
标准含量	0.37-0.44	0.17-0.37	0.50-0.80	≤0.035	≤0.035	0.80-1.10
分析结果	0.43	0.23	0.63	0.024	0.006	0.89

1.3 中频淬火工艺检查

此批次中间轴采用与以往批次同一套工艺参数、同一台设备、同一个感应器进行加工，采用的工艺参数见表 2。淬火工艺参数合理，加热温度呈橙红色，淬火冷却结束中间轴表面温度约 50-60℃。经检测，淬火液的在 40℃时的冷却特性如图 3 所示。从图中可以得出，该淬火液最大冷速为 570.06℃/s，降温至 300℃时的冷速为 82.83℃/s，低温段马氏体转变开始时冷速较快，表面组织应力偏大，在和热应力的交互作用下，易造成开裂^[2]。

表 2 中间轴的淬火工艺参数

电压 (V)	电流 (A)	功率 (KW)	频率 (HZ)	扫描速率 (mm/s)	能量值 (KW·s)	淬火液流量 (L/MIN)	淬火液温度 (℃)	淬火液浓度 (%)	感应器间隙 (mm)
403	341	137	6.91	720	3696	70.5	32.5	4.1	2

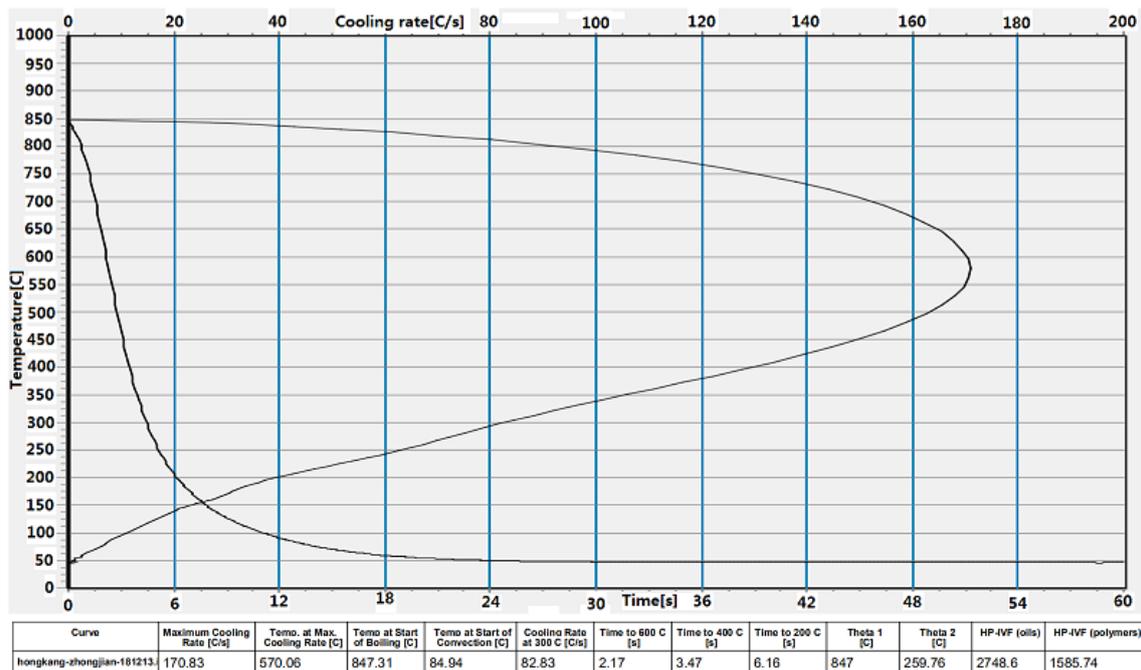


图 3 淬火液冷却曲线（40℃）

1.4 中频淬火检测结果分析

从崩裂件上取样，根据 GB/T 4340.1-2009《金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法》；GB/T 5617-2005《钢的感应淬火或火焰淬火后有效硬化层深度的测定》；JB/T 9204-2008《钢件感应淬火金相检验》中的要求，对该中间轴中频淬火后的各项指标进行检测，结果见表3，崩裂处横截面切片腐蚀形貌如图4，切片表层金相组织见图5，切片心部组织见图6，切片崩裂处金相组织如图7。由结果可见，中频淬火结果满足技术要求，表面硬度偏上限，这与碳含量上限一致，马氏体等级3级，心部为铁素体和珠光体，开裂处有脱碳现象，可以判定为原材料表面裂纹引起的淬火开裂。

表3 中间轴中频淬火技术要求及检测结果

技术要求	表面硬度	硬化层深	心部硬度	金相组织
标准值	56-60HRC	3.5-4.5 (HV500)	≤32HRC	表面 M3-6 级
实测值	60	4.0	21	M3



图4 横截面腐蚀形貌

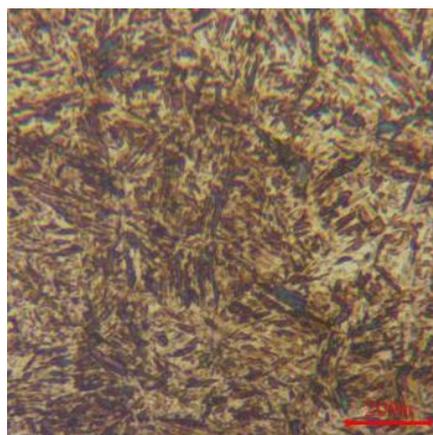


图5 表层金相组织

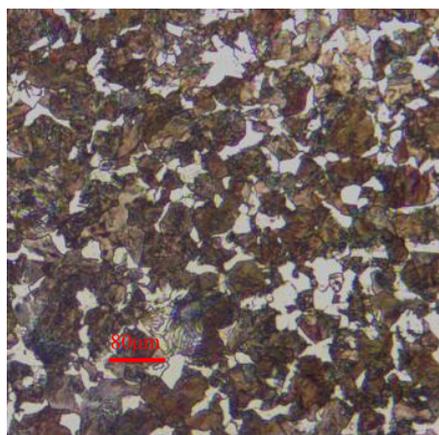


图6 心部金相组织



图7 崩裂处金相组织

2 性能测试

2.1 静扭破坏试验

取同批次同状态崩裂件，根据 JB/T 10189-2010《滚动轴承 汽车用等速万向节及其总成》以及本司技术要求^[3]，做静扭破坏试验，结果如表4，静扭后的断裂形貌如图8。由结果可知，断裂发生在中间轴另一端，表层崩裂并未显著降低中间轴静扭强度，屈服强度也未见明显下降，为排除个别特例，又增加了多批次中频后崩裂件的静扭破坏试验，

试验结果均合格，说明浅表层裂纹造成的崩裂对静扭强度不会产生实质性影响。

表 4 中间轴静扭破坏试验结果

标准扭矩 (N·m)	2800	最大扭矩 (N·m)	4019	屈服扭矩 (N·m)	2681.1
刚度 (N·m/°)	123.96	扭转角度 (°)	202.64	屈服角度 (°)	23.39



图 8 静扭试验断裂形貌

2.2 扭转疲劳强度试验

取同批次同状态崩裂件，根据 JB/T 10189-2010《滚动轴承 汽车用等速万向节及其总成》以及本司技术要求，做扭转疲劳强度试验，结果如表 5，扭矩时间曲线如图 9，疲劳次数达标后未断裂。由表中可知，表层崩裂也并未显著降低中间轴疲劳强度，对异常品处理具有指导意义，同时为行业增加一份经验积累。

表 5 扭转疲劳试验结果

技术要求	加载扭矩 ±900 N·m，加载次数 30 万次				
检测结果					
最大扭矩 (N·m)	900	最大扭转角度 (°)	11.1	已循环次数	300000
最小扭矩 (N·m)	-902	最小扭转角度 (°)	-11.2	样件状态	未断裂

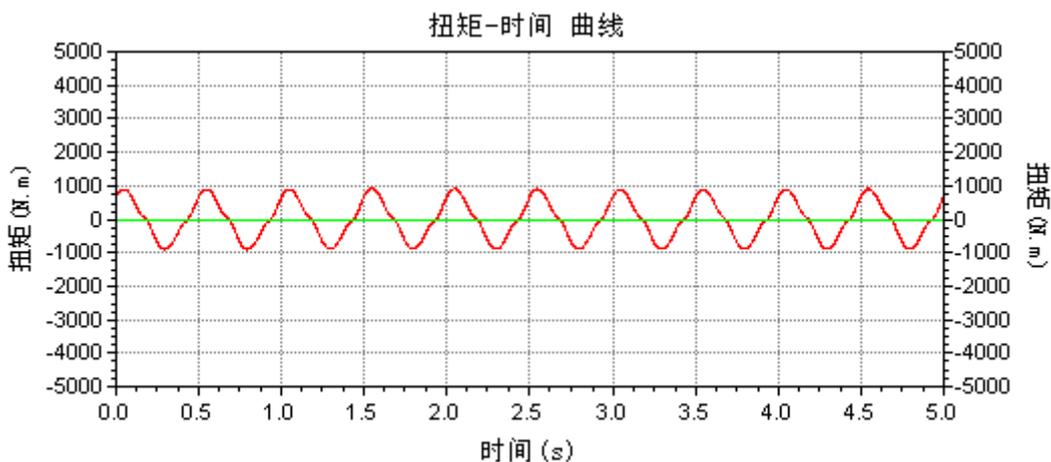


图 9 扭矩-时间曲线

3 分析与讨论

该批次中间轴原材料为 40Cr 圆钢, 存在表层裂纹, 待中频淬火后, 表层氧化皮脱落, 原始裂纹两侧同时淬火引起的热应力和组织应力交互作用, 在原始裂纹处应力集中, 当应力值高于材料抗拉强度时, 造成崩裂^[4]。文中所论述的碳含量偏上限, 表面硬度上限, 低温段淬火液冷速较快都是诱因。在实际生产中, 紧随淬火结束进行外观检查时, 也肉眼目睹了崩裂的过程, 听到了清脆的爆鸣声, 说明在低温马氏体转变过程中组织拉应力超过了热收缩压应力。而在后道校直工序, 压力机对中间轴施加外部压力, 在弯曲变形时, 外部压力和内部应力的共同作用下也产生了崩裂^[5-6]。性能试验合格, 表明材料的表层裂纹对中间轴静扭和扭疲并未产生实质性影响, 但因为试验的局限性, 该结论也只能对本批次中间轴有参考作用, 不能作为一般性结论使用。

4 结论与建议

该批次中间轴崩裂的主要原因为, 原材料表层裂纹的存在导致中频淬火时在裂纹处应力集中, 产生崩裂。而崩裂的次要原因为, 碳含量偏上限, 低温段淬火液冷速又较快, 产生了较大的组织拉应力, 诱发崩裂。

建议对该批次中间轴进行无损探伤全检, 排除可能存在的风险, 降低质量隐患。

[参考文献]

- [1] 孙宇红. 十字万向关节断裂原因分析[J]. 理化检验-物理分册, 2017, 53(11): 822-825.
 - [2] 胡春燕, 刘新灵, 陶春虎, 等. 0Cr17Ni4Cu4Nb 钢制螺钉断裂原因分析[J]. 材料工程, 2012(12): 21-23.
 - [3] JB/T 10189-2010 滚动轴承 汽车用等速万向节及其总成[S].
 - [4] 张玉庭. 热处理手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
 - [5] 郑晓敏, 屠国青. 等速驱动轴断裂失效分析[J]. 物理测试, 2009, 27(01): 52-55.
 - [6] 廖志远, 余建武, 曾辉藩. 硬质合金刀具材料磨削崩裂原因分析[J]. 机械工程师, 2015, 000(9): 188-189.
- 作者简介: 崔小毅 (1986-), 男, 汉, 中级工程师, 研究方向: 精益生产。