



论汽车驱动半轴 螺纹端接头

装配与其断裂 失效的关系

文 / 朱建明

摘要：某汽车车型驱动半轴发生多起0公里断裂事故，为了判断该半轴断裂性质及原因，对驱动半轴承受其螺纹接头端的载荷进行了理论计算校核；断口进行了宏微观分析；材料进行了金相组织检查、硬度检测及化学分析，综合所有检测结果表明：导致驱动半轴的断裂的原因是驱动半轴在加工过程中，存在过热现象，加工内应力未得到有效消除，在离散较大的螺纹接头轴向载荷作用时，导致了驱动半轴发生延迟断裂。

关键字：驱动半轴、延迟断裂、沿晶断裂、脆性断口、螺纹接头

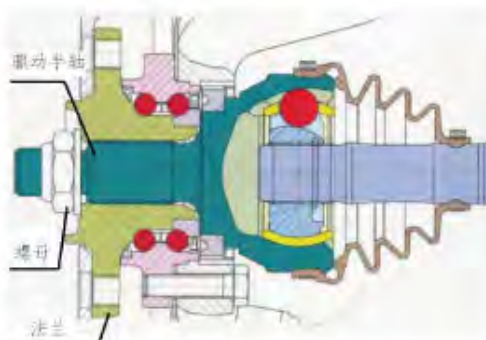


图1 驱动半轴装配关系图



BEIJING JINZHAOBO

CONNECTING THE WORLD WITH QUALITY!!

STRUCTURAL BOLT

B7 STUD BOLT

NORMAL BOLT, NUT WASHER ELECTRO TOWER BOLT

JINZHAOBO 金兆博® THE MOST PROFESSIONAL SUPPLIER FOR STEEL STRUCTURAL BOLT IN CHINA.

BEIJING JINZHAOBO HIGH STRENGTH FASTENER CO.,LTD

ADD:NO.46-12, South road of Beiyuan, Tongzhou Dist, Beijing, 101100, China

Tel:0086-10-60553140

Fax:0086-10-60553141

Mob:0086-15833010002

E-mail:info@jzbolts.com

Web:www.goodbolts.com

http://jzbolts.en.alibaba.com/

1 引言

某车型驱动半轴发生多起0公里断裂,半轴总成装配后静置阶段,发生延迟断裂,断裂部位为花键处。半轴材料为45#,半轴的主要生产制造工艺过程为:温镦→调质处理→机加工→表面中频淬火→低温回火(180℃~200℃,3h)。由于驱动半轴是汽车传动结构中起到动力传输的至关重要的作用,运转中的受力情况非常复杂,承受着弯曲、扭转和压缩等载荷的作用,易产生扭转和弯曲变形甚至产生裂纹或发生断裂,且一旦发生失效,往往会造成严重的后果,引起其他重要机件的毁损。因此,本文通过对该延迟断裂半轴的失效分析研究,提出该质量事故的有效整改方案,以杜绝类似事故发生。

2 驱动半轴螺纹端装配后的强度校核

驱动半轴装配关系见图1,结合半轴图纸技术要求,半轴强度校核计算条件如下:a、半轴的屈服强度最小为500MPa(181KN);b、螺母的装配扭矩

表1 驱动半轴总成装配工艺下轴力计算

螺纹大径	24	24	24
螺距	1.5	1.5	1.5
螺栓最小有效截面积直径(d0/Ds)	22.59	22.59	22.59
中径d2(max)	23.026	23.026	23.026
摩擦系数			
min	0.12	0.08	0.06
max	0.18	0.16	0.14
螺栓强度等级			
最小屈服载荷	207.5	207.5	207.5
允许的最大预紧力	172.1	178.9	181.7
预紧力(KN)			
min	60.1	67.2	76.3
max	93.3	135.9	176

- 根据表1驱动半轴总成装配工艺下轴力计算,可知:
- **螺纹部分**:在安装扭矩下是安全的,当摩擦系数为0.06时,安装扭矩在360Nm时,轴的预紧力是在螺纹允许的范围;
- **半轴的轴颈部分**:在安装扭矩下是安全的,当摩擦系数为0.06时,最大拉应力为498MPa,也是安全的;
- **花键部分**:理论上不是受拉应力最大的部位,所以不应该是拉伸破坏最薄弱的地方,但随着拉伸载荷的增大,将增加脆性延迟断裂的风险。



A LEADING MANUFACTURER FOR FASTENERS FOR MORE THAN 15 YEARS

FASTENING SOLUTION



Standard & Non-Standard Fasteners

JINGLE FASTENERS CO.,LTD.

PROFESSIONAL ON FASTENERS

ADD:Rm 807,No 535 Qingshuiqiao Road,Xincheng
International center,Ningbo,China
TEL:0086-574-877 000 72 FAX:0086-574-877 071 55
E-mail:sales@jinglecorp.com Website:www.jinglecorp.com

表2 测试结果

序号 No.	试验专案 Test item	额定值 Requirement	试验结果 Test result
1	化学成分/45#按GB/T 699		
	C	0.42-0.50	0.46
	Si	0.17-0.37	0.23
	Mn	0.5-0.8	0.62
	P	≤0.030	0.008
	S	≤0.030	0.021
	Cr	≤0.25	0.04
	Ni	≤0.30	0.01
	Cu	≤0.25	0.02
2	表面硬度 (HRC)	58-64HRC	59, 59, 58.5
3	心部硬度 (HRC)	24-30HRC	22, 23.5, 23
4	有效硬化层深度 (表面测量至HV550外)	>2.5mm	3.92mm
5	感应淬火区金相组织		回火马氏体
6	心部金相组织		珠光体+铁素体

K/C

钻尾模具

专业制造
涵盖一般碳钢、不锈钢、复合螺丝

配合客户需求
欢迎共同开发

国镇模具有限公司
台湾 高雄市路竹区中山路2巷61号
TEL: 886-7-697 7214 FAX: 886-7-696 0043

为：360Nm (实测屈服、抗拉载荷分别为：303KN、334KN，屈服、抗拉强度为837MPa、920MPa，屈服点在轴颈)；c、花键部分的小径为24.6mm，螺纹的有效截面积直径为：22.6mm，轴颈的直径为：21.5mm。根据此位置相关零件状态，其相应的摩擦系数大于0.08，通常控制在0.12，现取摩擦系数分别为：0.06、0.08、0.12进行理论计算，见表1。

3 试验结果与分析

3.1 半轴材质检验

对半轴表面、心部的进行检测及其材料分析结果见表2，硬化层检测结果见图2。国家汽车行业标准QC/T 294要求半轴的表面淬硬层硬度≥HRC52，心部硬度HRC 24- HRC 30，淬硬层厚度为轴径的10%-15%。

从检测结果表明：驱动半轴化学成分符合GB/T 699所规定的45#，心部硬度低于QC/T 294标准要求24-30HRC。

3.2 宏观断口分析

半轴断裂处硬化层无明显塑性变形特征，断口平整，断口宏观特征如图3，I区为裂纹起始区，II区为裂纹扩展区，III区为瞬断区。

经扫描电镜 (SEM) 分析，断裂起始区 (I区) 低倍特征显示断口表面无异常加工缺陷，见图4。硬化区主要断裂特征为沿晶断裂，见图5、6。图7为



图3 断口宏观特征



图4 断裂起始侧低倍特征 ×5.5



图5 硬化层断裂特征 ×550

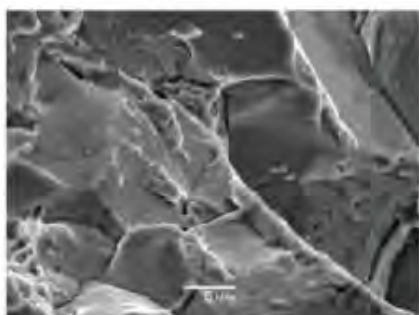


图6 硬化层断裂特征 ×1650

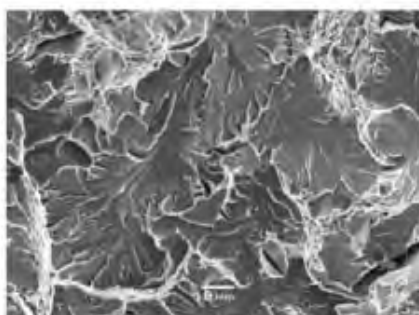


图7 心部断裂特征 ×550

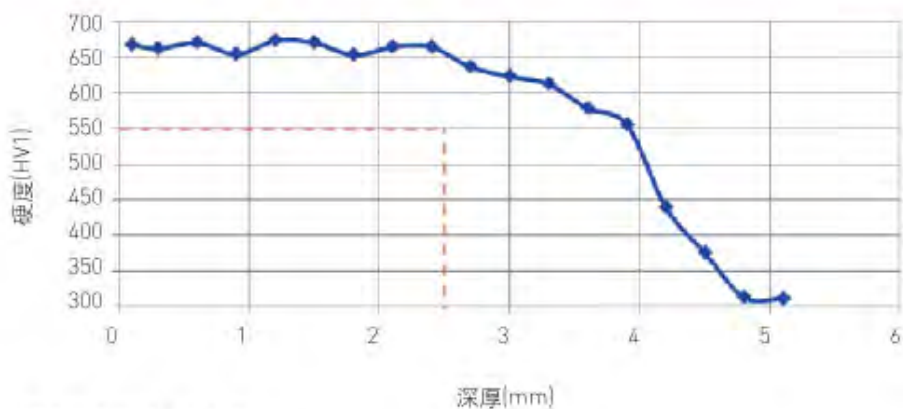


图2 硬化层硬度分布图

Bolts

Nuts

Wing Nuts

Threaded Rod

5r

5.RICH HARDWARE

www.fuxinfast.com

5.RICH HARDWARE CO., LTD.

NO.45#, HAIYU NORTH ROAD, CHANGSHU215500, JIANGSU, P.R. CHINA
 Tel: 86-512-52991128 / 86-512-52090028 Fax: 86-512-52090056
 E-mail: feng@fuxinfast.com
www.fastener-world.com.tw/5rich



心部断裂特征。图8为花键硬化层金相组织，图9为心部金相组织。

通过SEM扫描断口可见：裂纹起始区主要以沿晶断裂为主，具有85%沿晶断裂；10%穿晶断裂；5%韧窝，在晶界间出现的大量二次裂纹，充分说明该零件在加工过程中残留有非常大的加工内应力，此应力未得到有效回火消除，在晶界处有黑色碳化物析出；表明半轴在加工过程中，可能有过热现象，轴心部断口呈韧窝特征，以解理特征为主。

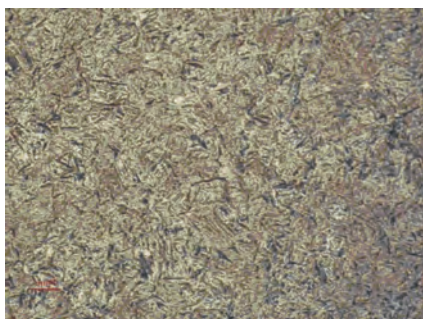


图8 硬化层：马氏体

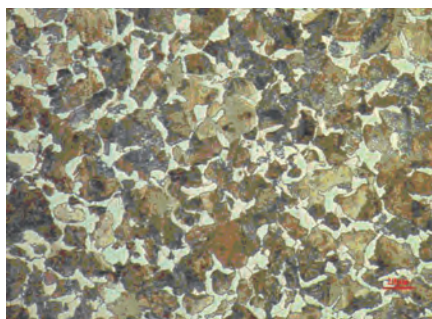


图9 心部：珠光体+网状铁素体

从金相图谱可见：表面硬化层金相组织为较粗马氏体；半轴心部为珠光体+网状铁素体。半轴硬化层、心部金相组织与晶界处有黑色碳化物析出这一现象共同表明了：半轴加工过程具有过热、回火不充分等缺陷。此缺陷在受到静外载时，极易发生延迟断裂。

4 总结

导致驱动半轴失效的主要原因有：驱动半轴采用的45#在加工过程中具有过热现象，且在热加工后该材料内应力未得到有效消除，在离散较大的螺纹接头轴向载荷作用下，容易使得硬化层内外应力结合，导致晶界发生位元错，裂纹产生并扩展，从而爆发延迟断裂事故。

对于此类事故建议采取以下有效措施：

- 控制通过接头试验，锁定相关零件的摩擦系数，并采用弹性区扭矩转角法安装工艺，控制的轴向力的大小及其离散度。将驱动半轴使用的普通防锈油，更改为具有摩擦系数稳定的快干防锈油。
- 采用优质合金结构钢，尤其是含Mo元素的合金结构钢，有助于晶粒度的细化，提高淬透性和热强性，抑制淬火脆性，同时，要求控制O含量小于等于20PPm。
- 控制钢材中碳偏析及低倍组织，并要求半轴材料进行热顶锻试验，要求试验后无裂纹。

参考文献：

- 冯继军，郭文芳·汽车发动机曲轴常见的失效形式及原因分析[J]，失效分析与预防，2006，1(2)：7~12。
- 张栋，钟培道，陶春虎等·失效分析[M]·北京：国防工业出版社，2005·87-173。
- 夏国华，杨树容·现代热处理技术【M】，北京：兵器工业出版社，1997。
- 王笑天·金属材料学[M]·北京：机械工业出版社，1987：61—65。
- 洛津斯基，感应加热的机械应用【M】，王东升译，上海：科学技术出版社，1962。