

汽车用后稳定杆失效分析

刘静^{1,2}, 付扬帆^{1,2}, 周富^{1,2}

(1. 西南技术工程研究所, 重庆 400039; 2. 重庆市环境腐蚀与防护工程技术研究中心, 重庆 400039)

摘要: **目的** 研究汽车用后稳定杆断裂失效原因。**方法** 通过金相组织、力学性能分析、材质分析、电镜扫描分析测试手段, 对汽车用后稳定杆断裂失效原因进行分析。**结果** 断裂的车用后稳定杆裂纹源处表面存在原始轧制折叠缺陷, 在台架试验过程中引起应力集中, 为疲劳裂纹的萌生提供了有利条件, 导致短时间内疲劳断裂。**结论** 通过提高原材料线材入厂采购质量, 加强轧制工艺过程控制, 加大探伤排查力度, 提前控制排除缺陷产品, 有效杜绝了后稳定杆断裂失效情况再次发生。

关键词: 后稳定杆; 失效分析; 折叠; 疲劳开裂

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2019.11.015

中图分类号: TG162.8 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2019)11-0079-05

Failure Analysis of Rear Stabilizer Rod for Automobile

LIU Jing^{1,2}, FU Yang-fan^{1,2}, ZHOU Fu^{1,2}

(1. Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China;

2. Chongqing Engineering Research Center for Environmental Corrosion and Protection, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the fracture failure reasons of rear stabilizer rod for automobile. **Methods** The failure reasons of rear stabilizer rod for automobile were analyzed from metallographic structure, mechanical property and material through SEM. **Results** The folding defect occurred in the rolling process at the crack source of the rear stabilizer rod for automobile, which caused stress concentration during the stand test. The folding defect provided favorable conditions for generation of fatigue crack, resulting in fatigue fracture in a short time. **Conclusion** By improving the quality of the raw material wire purchased by plant, strengthening the rolling process control, increasing the intensity of inspection, as well as controlling and eliminating defective products in advance, the failure of rear stabilizer rod for automobile was effectively eliminated.

KEY WORDS: rears stabilizer rod; failure analysis; folding defect; fatigue fracture

稳定杆又称防横摇稳定杆或防侧倾杆, 是汽车独立悬架系统的重要安全件。在汽车转弯或遇到阻力时, 通过将力从车身一侧传递到另一侧以保持车身的平衡和稳定性, 使用工况主要受剪切、挤压和扭转共同作用^[1-4]。某汽车主机厂生产的后稳定杆在台架试验过程中发生断裂, 后稳定杆设计要求疲劳寿命 30 万次以上, 实际台架试验中出现批量性断裂问题, 其

中疲劳寿命最短的在 8.0 万次时便出现断裂失效, 对产品研发过程造成较大困扰。主机厂委托对失效后稳定杆进行分析, 找到提前断裂失效的根本原因, 并给出合理整改意见。失效的后稳定杆选用材料为 60Si2MnA, 生产工艺为: 下料→加热 (880~900 °C, 40 min)→轧制成形→淬火 (850~870 °C, 25 min)→回火 (500~530 °C, 120 min)→探伤。

1 试验设计及内容

针对失效样件,分别在原材料本身、生产工艺(加工及热处理工艺)使用工况等方面进行分析,判断裂纹出现的根本原因。具体测试分析项目如下:采用 HR-150A 型洛氏硬度计测试样品硬度,参照标准为 GB/T 230.1—2009《金属洛氏硬度试验第1部分:试验方法(A、B、C、D、E、F、G、H、K、N、T标尺)》;采用 KDC-5B 型自动精密碳硫仪检测 C、S 元素含量,参照标准为 GB/T 20123—2006《钢铁总碳硫含量的测定高频感应炉燃烧后红外吸收法(常规方法)》;采用 ICP 分析仪检测 Si、Mn、P 元素含量,参照标准为 GB/T 20125—2006《低合金钢多元素含量的测定电感耦合等离子体原子发射光谱法》;采用 Observer.A1m 型倒置式研究级显微镜进行金相分析及非金属夹杂评定,参照标准为 GB/T 10561—2005《钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法》;采用 Quanta 200 型环境扫描电镜对断口形貌进行观察,分析裂纹源状态及断裂形式。

2 结果及分析

2.1 宏观分析

样件断面干净,无锈蚀和污染现象,裂纹起始于弯曲变形内圆弧表面,断面可见典型的同心圆状疲劳贝纹线,自裂纹源呈放射状向芯部扩展,属于疲劳断裂。疲劳扩展区面积约占整个断口的 40%,裂纹源附近表面有轻微挤压变形现象。样件及断口宏观形貌如图 1 所示。



图 1 样品及断口宏观形貌

2.2 材质测试

在断口附近取样进行材质分析,结果见表 1。由

表 1 可知,样品基体材质符合 GB/T 1222—2007《弹簧钢》中规定的 60Si2MnA 材料要求。

表 1 材质分析结果

元素	C	S	Si	Mn	P	%
标准要求值	0.56~0.64	≤0.025	1.60~2.00	0.70~1.00	≤0.025	
实测值	0.59	0.0076	1.60	0.90	0.010	

2.3 力学性能测试

在样件较平齐区域取拉伸试样进行力学性能试验,标定为 1#、2#拉伸样,测试结果见表 2。由表 2 可知,样件力学性能满足标准 GB/T 1222—2007《弹簧钢》中规定的 60Si2MnA 材料要求。取硬度样块进行基体硬度测试,标定为 1#、2#硬度块,结果见表 3。由表 3 可知,样件硬度值满足技术要求。

表 2 材料性能测试

样品编号	抗拉强度 /MPa	规定塑性延伸强度 /MPa	断后伸长率 /%	断面收缩率 /%
1#拉伸样	1674	1466	9.1	30.3
2#拉伸样	1588	1413	8.6	28.6
标准要求	≥1570	≥1375	≥5	≥20

表 3 硬度测试结果

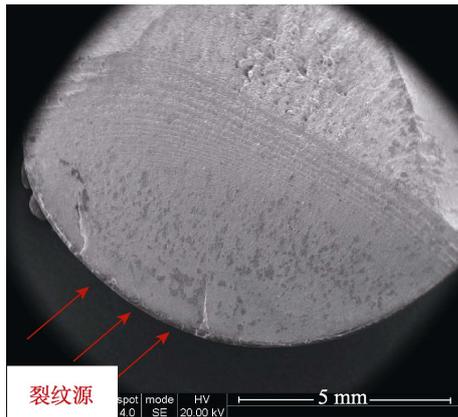
样品编号	硬度 (HRC)		
1#硬度块	42.5	42.5	43.0
2#硬度块	42.0	42.0	41.0
技术要求值	39~44		

2.4 断口扫描

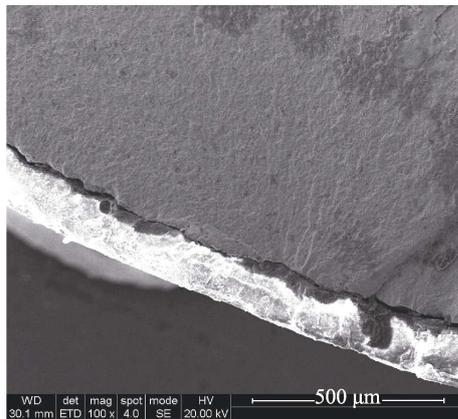
将断口经超声波清洗后,利用 Quanta200 型环境扫描电镜进行微观形貌分析。由图 2 可知,断口裂纹在多个位置萌生,裂纹源有裂纹扩展相遇形成的台阶纹,裂纹源断口为撕裂和准解理的混合断裂,局部区域表面有凹陷现象。由图 3 可知,疲劳裂纹扩展区微观形貌主要为准解理断裂,前期疲劳扩展阶段疲劳贝壳纹不明显,在疲劳扩展区后期可见明显较宽的疲劳贝壳纹。这说明疲劳裂纹扩展区前期扩展速率较慢,后期为失稳快速疲劳扩展阶段,疲劳扩展区占整个断面的 40%左右。由图 4 可知,瞬间断裂区断口为撕裂变形韧窝的韧性断裂,韧窝开口指向裂纹扩展方向。

2.5 非金属夹杂物评定

垂直于断口纵向取样进行非金属夹杂物评定,由表 4 中非金属夹杂物评定结果可知,材料非金属夹杂物符合 60Si2MnA 材料技术要求。

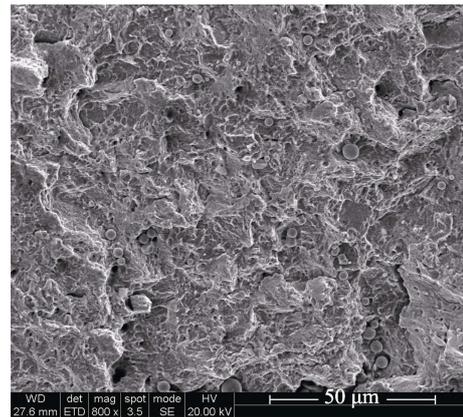


a

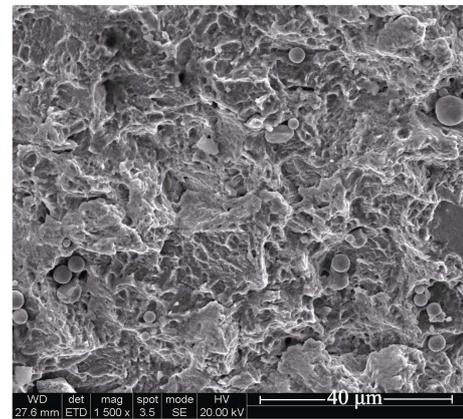


b

图 2 裂纹源微观形貌

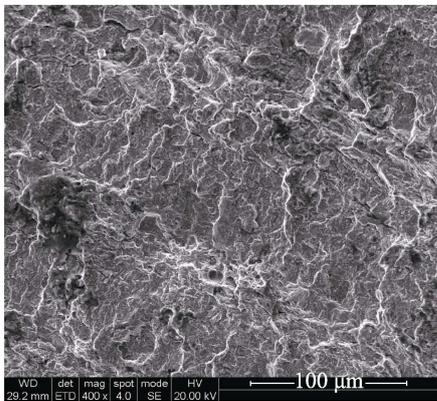


a

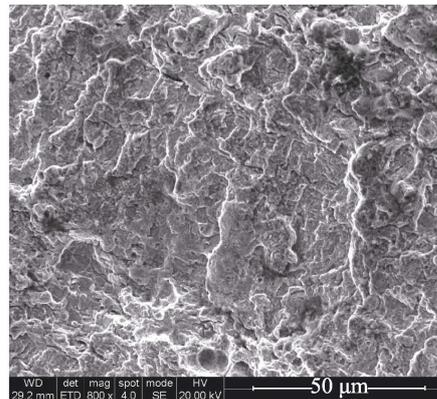


b

图 4 瞬断区微观形貌



a



b

图 3 疲劳裂纹扩展区微观形貌

表 4 非金属夹杂物评定结果

夹杂物类型	A 类 (细系)	B 类 (细系)	C 类 (细系)	D 类 (细系)	DS 类
技术要求	1 级	0.5 级	0.5 级	1 级	1 级
实测等级	0.5 级	0.5 级	0.5 级	0.5 级	1 级

2.6 金相组织观察

垂直于断口纵向取样进行金相组织分析。由图 5 可知, 样品磨抛后可见, 在裂纹源处表面存在明显微裂纹, 微裂纹内填充灰色氧化物, 微裂纹扩展方向并非垂直材料表面纵深发展, 而是在次表层近乎平行表面扩展。微裂纹深度约为 30 μm, 宽度约为 235 μm, 微裂纹呈折线扩展, 内部存在分叉现象, 裂纹扩展纹路并不规则, 判定并非受到应力而产生的应力开裂裂纹。由金相组织分析可知, 在裂纹源附近表面存在大量弧形微裂纹, 微裂纹两侧表面存在脱碳现象, 如图 6 所示。金相组织为屈氏体+少量铁素体, 表层无脱碳现象。

2.7 分析与讨论

疲劳断裂出现在承受波动应变或交变载荷构件中, 当施加交变应力水平处于弹性变形范围内时, 属于低应力高周疲劳断裂。研究表明, 疲劳裂纹扩展时间决定了材料疲劳寿命, 而疲劳裂纹的萌生为裂纹的

扩展提供了条件^[5-8]。疲劳裂纹萌生于零件表面应力集中(尖角、缺陷等)或强度较低部位,零件的表面缺陷对疲劳裂纹的萌生影响较大(如表面折叠、裂纹、凹坑)。表面缺陷一般由于成形工艺、成形磨具缺陷等原因造成。在表面缺陷处易引起应力集中现象,疲劳裂纹在循环载荷作用下容易在缺陷处萌生,特别是高强度材料对于表面缺陷敏感性较高^[9-10]。

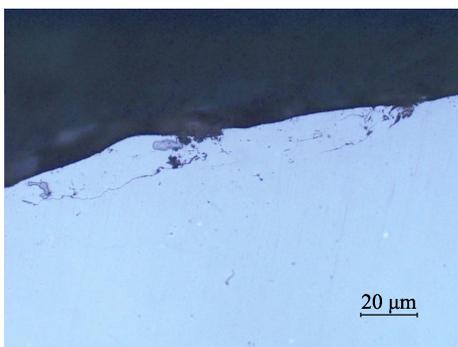


图5 裂纹源处表面形态

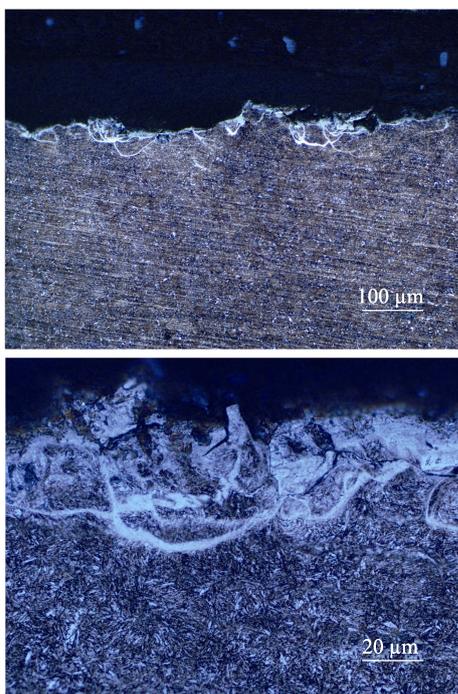


图6 裂纹源处金相组织

文中分析的失效后稳定杆样件化学成分材料符合 60Si2MnA 要求,样件基体金相组织未发现异常,样件拉伸性能和硬度满足技术要求。后稳定杆疲劳裂纹在表面萌生,疲劳断口包括裂纹源区、疲劳裂纹扩展区和快速断裂区。裂纹源区存在多条台阶纹,说明裂纹源处应力集中较大,扩展区约占整个断口面积的40%,疲劳扩展为低周疲劳断裂。裂纹源处的金相组织形态可见,裂纹源处存在较多微裂纹,微裂纹沿表面纵向分布,表面凹凸不平,微裂纹呈圆弧状。与淬火裂纹尾端刚直尖细特征不同,微裂纹两侧存在脱碳现象,裂纹内部填充氧化产物,说明微裂纹在后期热

处理前已经存在。根据后稳定杆样件生产工艺流程可知,该裂纹产生阶段应该在轧制成形过程中,结合轧制折叠特征及金相分析结果可知,该表面微裂纹缺陷应该为轧制折叠缺陷。

轧制折叠缺陷是在变形过程中表面组织与芯部基体组织流动速度不一致引起的,一般有三个特征:轧制折叠分布方向与轧制方向(金属流线方向)一致;轧制折叠裂纹一般较浅,呈圆弧曲线或折线扩展,微裂纹存在分叉现象;折叠裂纹两侧存在明显氧化和脱碳现象^[11-13]。表面折叠产生原因主要有两方面:一是由于轧件本身表面质量问题,可能由于带有缺陷(如表面局部有凸起、凹坑、错位、划伤、褶皱、不平或有尖角以及过充满)的轧件进入下一道次轧制时,缺陷被压平形成折叠;二是由于轧辊表面质量缺陷及安装不当引起。表面折叠缺陷的存在,降低了样件表面的光洁度,且容易引起应力集中现象。在循环载荷作用下,表面折叠缺陷为疲劳裂纹的萌生提供了有利条件^[14-15]。

4 结语

针对缺陷试样可能出现的环节,有针对性地进行预防。具体预防措施为:加强原材料线材采购入厂质量检验,排除存在表面缺陷(凸起、凹坑、锈斑、划伤、褶皱表面)的圆钢线材;加强轧制工艺过程控制,定期检验在线工装件,如导卫、轧辊的安装质量,确保轧制前的对中;定期检查轧辊表面质量,及时发现并清除轧辊表面粘黏异物,必要时更换轧辊;对问题批次样件进行100%超声探伤,加大后续批次探伤排查力度,排除缺陷样件,提前排除安全隐患。

通过对原材料线材质量严格把控及轧制工艺过程严格监管,有效控制不合格产品出现。通过及时排查更换存在安全隐患的在试验样件,杜绝了类似失效事故。

参考文献:

- [1] 曾林. 车用稳定杆及其发展前景[J]. 弹簧工程, 1993, 16(2): 2-8.
- [2] 兰莎, 唐北平, 蒲霞, 等. 汽车稳定杆断裂的失效分析[C]// 中国汽车工程学会年会论文集. 北京: 中国汽车工程学会, 2016.
- [3] 罗贻正, 李基琳, 肖春军. 某车型横向稳定杆路试断裂失效分析[J]. 热加工工艺, 2013, 42(2): 213-215.
- [4] 吕永年, 杜振民, 李绍杰. 55Cr3 钢桥车稳定杆疲劳断裂失效分析[J]. 河北冶金, 2014, (11): 58-62.
- [5] 王国凡. 材料成形与失效[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 18-219.
- [6] 白耀明, 孙洪斌, 杜健. 某车型稳定杆开裂分析[J]. 研究与开发, 2016, 36(10): 50-53.
- [7] 刘永飞, 刘宏亮, 王平怀, 等. 20SiMnMoVA 钢高强度

- 螺栓裂纹成因分析[J]. 理化检验-物理分册, 2019, (55): 348-350.
- [8] 章德发, 付园宁, 虞晓丰, 等. 轿车前稳定杆连杆断裂原因分析与优化[J]. 热加工工艺, 2019, (13): 172-176.
- [9] 王国丽, 黄小海, 刘树辉. 汽车悬架稳定杆连杆支架的疲劳仿真分析及结构优化[J]. 工程设计学报, 2013(1): 18-21.
- [10] 范红丽, 闫志波. 55Cr3 钢稳定杆冷弯断裂原因分析[J]. 河北冶金, 2018(5): 15-17.
- [11] 于学森, 左龙飞, 李阳. 提高汽车稳定杆用钢 60Si2MnA 疲劳寿命的工艺实践[J]. 特殊钢, 2017(2): 30-32.
- [12] 闵永安, 王桢邵, 光杰, 等. 汽车稳定杆组织与疲劳性能研究[J]. 金属热处理, 2002(10): 27-30.
- [13] 陈云霞, 张小荣. 汽车稳定杆断裂分析[J]. 汽车工艺与材料, 2018(10): 61-63.
- [14] 李兴超, 范瑞君, 顾国荣. 汽车前稳定杆断裂失效分析[J]. 汽车工艺与材料, 2016(12): 39-42.
- [15] 顾伟清, 段绪伟, 戴益亮. 空心稳定杆设计及失效分析[J]. 上海汽车, 2014(4): 42-46.