

减震器托架断裂失效分析

刘艳琳, 梅华生, 彭颀

(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: **目的** 解决减震器托架断裂失效的问题。**方法** 通过化学成分分析、力学性能分析、断口扫描分析、金相组织分析、氢含量测试等手段, 确定了减震器托架断裂性质及原因。**结果** 减震器托架发生氢脆断裂。**结论** 由于酸洗过程中材料渗入过量氢, 导致氢脆并发生断裂。为防止类似的失效事故再次发生, 提供了一些指导性建议。

关键词: 减震器托架; 失效分析; 断裂

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2014.04.013

中图分类号: TG115

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2014)04-0069-05

Fracture Failure Analysis of the Shock Absorber Bracket

LIU Yan-lin, MEI Hua-sheng, PENG Ting

(Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the cause for fracture failure of the shock absorber bracket. **Methods** The properties and cause of the fracture failure of the shock absorber bracket were determined by means of chemical composition analysis, mechanical performance analysis, SEM analysis, metallographic examination and hydrogen content test. **Results** The fracture failure of shock absorber bracket belonged to hydrogen embrittlement. **Conclusion** The permeation of excessive hydrogen during the acid washing process of the material induced hydrogen embrittlement and fracture failure. In order to prevent similar failure accidents, this paper provided some guiding advice.

KEY WORDS: shock absorber bracket; failure analysis; fracture

产品质量是企业的生命线, 提高产品质量、延长零部件的使用寿命, 是企业的立足之本, 关键、重要零部件失效会对产品质量和寿命带来决定性影响, 从而造成重大经济损失^[1-2]。因此, 产品零部件失效分析, 可以减少和预防同类机械零件的失效现象重复发生, 保障产品质量, 提高产品竞争力, 同时为事故责任认定、裁定赔偿责任、修改产品质量标准等提供科学依据^[3-4]。

某汽车公司送检的3件减震器托架在服役5000

km后出现批量失效, 检查后发现减震器托架整个底面盘部发生断裂并脱落, 在断裂位置周围存在较多长裂纹。减震器托架材料为B210P1无间隙原子高强冷轧钢。为了评定减震器托架产品质量, 找到其开裂的原因, 文中从宏观到微观进行系统的实验与分析。

1 实验方法

样品材质为B210P1无间隙原子高强冷轧钢,

料厚 3 mm,冷轧钢制备工艺包括:原料→酸洗→轧制→脱脂→退火(热处理)→精整等工序。冷轧以热轧产品为原料,冷轧前原料要先除鳞,以保证冷轧产品的表面洁净;酸洗的目的在于用除锈剂去除材料表面氧化皮;脱脂的目的在于用去除轧制时附在轧材上的润滑油脂,以免退火时污染钢材表面。退火是通过再结晶消除冷变形时产生的加工硬化,以恢复材料的塑性及降低金属的变形抗力,还在于根据产品的技术要求以获得所需要的组织和性能。

本实验采用对比分析的方法,对断裂失效件及其他批次未断裂件进行分析,包括化学成分、力学性能、断口扫描、金相组织、氢含量方面的分析测试,其中断口扫描针对的是失效件和未失效件拉伸断口、失效件原始断口。

2 实验结果

2.1 宏观分析

取 1 件失效减震器托架进行分析,宏观外貌如图 1 所示。样品表面呈灰白色,料厚 3 mm,其上有 3 个螺栓孔,底面盘部发生断裂,断裂位置位于变形 R 处,在断裂位置周围存在较长裂纹,宏观断口无明显塑性变形,断口处有一定程度的腐蚀。

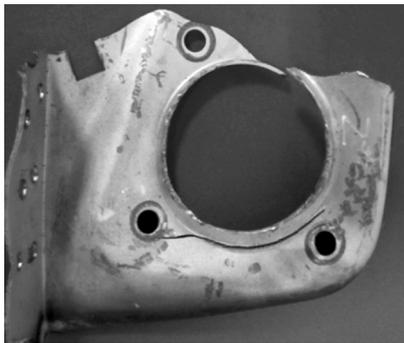


图 1 样品断裂宏观形貌

Fig. 1 Macro-appearance of the sample with fracture

2.2 化学成分

在失效件及未失效减震器托架上截取试样进行化学成分分析,结果见表 1。结果表明失效减震器托架碳元素含量远高于 B210P1 冷轧钢标准要求,未失效件化学成分均符合 B210P1 冷轧钢标准要求。

表 1 减震器托架化学成分(质量分数,%)

Table 1 Chemical composition (wt,%) of the shock absorber bracket

样品名称	C	Si	Mn	P	S
失效件	0.020	0.15	0.57	0.058	0.006
未失效件	0.006	0.15	0.56	0.054	0.009
B210P1 标准	≤0.008	≤0.35	≤1.20	≤0.10	≤0.025
要求成分					

2.3 力学性能分析

失效件及未失效件拉伸实验结果见表 2 所示。2 件样品抗拉强度(R_m)均达到技术要求,失效件抗拉强度高于未失效件 14 MPa,未失效件延伸率(A)和屈服强度($R_{0.5}$)均满足技术要求,而失效件延伸率低于技术要求,屈服强度高于技术要求上限值 19 MPa,说明失效件塑性相对较差,脆性高于未失效件。

表 2 减震器托架拉伸实验结果

Table 2 Tensile tests of the shock absorber bracket

样品名称	R_m /MPa	A /%	$R_{0.5}$ /MPa
失效件	438	29.0	329
未失效件	424	39.0	301
技术要求	$R_m \geq 390$	$A \geq 34\%$	$R_{0.2} = 210 \sim 310$

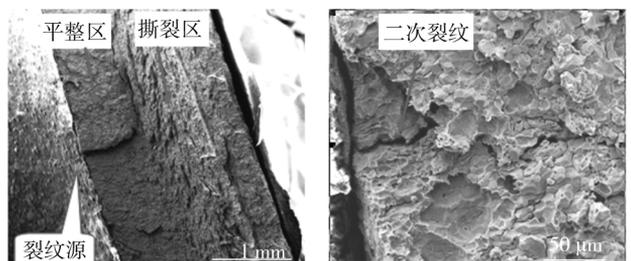
2.4 断口分析

由断口分析可知,失效件原始断口无明显塑性变形,断口明显分为两层:平整区和撕裂区,裂纹源处存在较多二次裂纹,如图 2a,b 所示;断口平整区和撕裂区微观断口均为冰糖状沿晶脆性特征,晶粒轮廓清晰完整,晶粒上分布明显细小微孔及沿晶二次裂纹,如图 2c,d 所示。

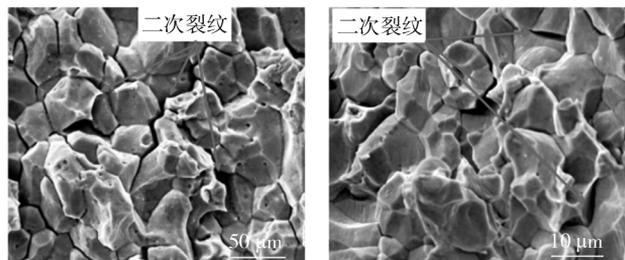
对未失效件及失效件标准拉伸试样断口进行分析,如图 3 所示。由图 3a 可见,未失效件拉伸断口微观形貌为韧窝的韧性断裂,为低碳钢正常拉伸断口特征;由图 3b 可见,失效件拉伸断口为冰糖状沿晶脆性断裂,断面存在较多沿晶二次裂纹。

2.5 金相组织分析

对失效件及未失效件进行金相组织分析,两件样品金相组织基本一致,均为铁素体,按照《GB/T 6394—2007》评定晶粒度级别均为 8 级,均能满足技术要求,如图 4 所示。



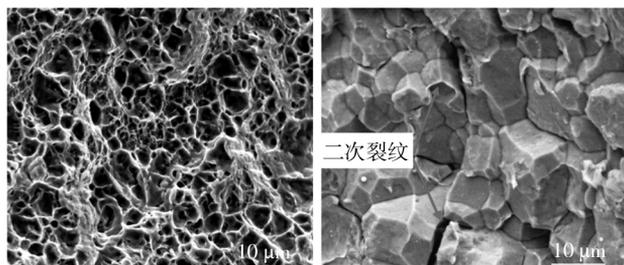
a 失效件原始断口形貌(×40) b 失效件断口裂纹源形貌(×600)



c 失效件断口平整区域形貌 d 失效件断口撕裂区域形貌

图2 失效件断口形貌

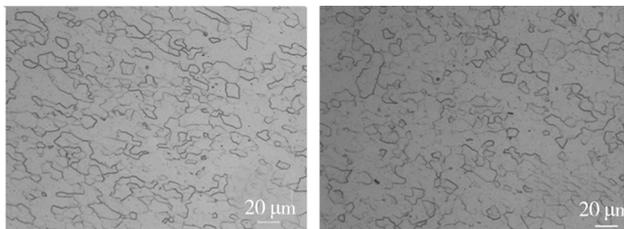
Fig. 2 Fracture morphology of failure pieces



a 未失效件拉伸断口形貌(×3000) b 失效件拉伸断口形貌(×2500)

图3 拉伸断口形貌分析

Fig. 3 Tensile fracture morphology of failure pieces(×2500)



a 失效件 b 未失效件金相组织

图4 金相组织分析结果

Fig. 4 Metallographic analysis of failure pieces(×500)

2.6 氢含量测定

对失效件及未失效件进行氢含量测定,失效件

结果为 8.5×10^{-6} , 未失效件为 2.8×10^{-6} , 可见, 失效件中的氢含量约是未失效件氢含量的 4 倍。

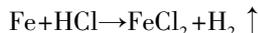
3 分析与讨论

通过失效件及未失效件在化学成分、力学性能、断口分析、金相分析及氢含量测定几个方面的对比分析可知, 失效件碳含量高于标准要求, 氢含量明显高于未失效件, 力学性能及断口分析可知, 失效件发生沿晶脆性断裂, 塑性较差。通过以上检验结果可以断定, 减震器托架失效为氢致脆性断裂。下面对氢脆导致的零件失效原因展开分析。

3.1 氢气来源

一般, 钢中的氢主要有 3 个来源^[5-7]: 冶炼、焊接和热处理过程中渗入氢; 零件制造过程中的酸洗、电镀等工艺过程渗入氢, 此时如不及时有效地进行除氢处理, 氢便会残留在钢中, 经过一段时间后, 氢扩散到金属内部, 进入金属内部缺陷处的氢就很难扩散出去; 零件在使用过程中, 渗入来自腐蚀环境或高温氢气氛中的氢。结合减震器托架加工制造工艺及使用环境可知, 失效件中氢气应该是在酸洗过程中产生的, 之后未能充分去氢。

零件酸洗采用的盐酸溶液, 反应产物为可溶性盐及大量氢气, 化学反应主要为:



以上反应所产生的氢除以气体 (H_2) 形式逸出外, 有一部分氢以原子 (H) 的形式进入金属内部, 致使材料基体氢含量增大。

3.2 氢对氢脆断裂的影响

氢脆是由于氢的作用而产生的延滞断裂现象^[8-9]。零件酸洗后, 部分氢以原子的形式进入金属内部, 当氢含量并未超过氢的溶解度极限, 即氢处于固溶状态时, 在较低的静载荷作用下, 钢将发生低速应变, 经过一段孕育期后, 在材料内部产生裂纹, 这种裂纹在应力作用下进行亚临界扩展, 当到达临界裂纹长度时, 发生脆性断裂^[10-11]。

氢原子具有最小的原子半径, 会在晶格缺陷处偏聚, 如晶界、相界, 降低晶界的表面能, 脆化晶界, 甚至在晶界上形成微裂纹, 并提供裂缝通道。因此,

一般认为氢脆是由于氢优先渗入晶界而削弱了晶界,或者渗入钢中的氢在晶界聚集造成巨大的内应力而削弱了晶界的结果,当氢大量吸附于晶界时则可造成沿晶氢脆断裂,并显著降低金属材料的断后伸长率^[12-13]。

氢脆断裂与样品内应力及残余应力有关。失效减震器托架裂纹源位于冷冲变形 R 处,在外力作用下,零件在 R 处易产生应力集中现象,应力集中部位的金属缺陷多(如原子点阵错位、空穴等),这些缺陷成为氢陷阱,零件内部的氢会向应力集中的部位扩散聚集。氢扩散到这些缺陷处,氢原子变成氢分子,产生巨大的压力,这个压力与材料内部的残留应力及材料受的外加应力,组成一个合力,当这合力超过材料的屈服强度,便会脆性断裂^[14]。因此,对于对拉伸、冷弯、冷扎弯形等内部残留应力大的零件,不仅酸洗后要加强去氢,而且酸洗前要减小内应力及残余应力。

氢脆断裂往往又受到材料内氢含量、材料强度、成分等因素的影响。失效减震器托架氢含量为 8.5×10^{-6} ,而且材料屈服强度明显高于技术要求,对一般钢来说,含氢量在 5×10^{-6} 以上时便会产生氢致裂纹;同时,材料的强度越高,氢脆敏感性越大,氢脆断裂的临界应力极限随着材料强度的升高而急剧下降。而且,钢的含碳量越高,在相同的温度和压力条件下,氢脆的倾向越严重^[15]。

4 结语

样品由于在酸洗后未能及时进行去氢处理或去氢不充分,使得材料中含氢量过高;同时,零件材料含碳量偏高,屈服强度也高于技术要求,零件成形后存在内应力及残余应力,在变形较大的 R 处产生应力集中现象,以上因素均使得材料的氢脆敏感性增大;最终,减震器托架在使用过程中,在循环载荷的作用下发生延迟氢脆断裂。

针对检测过程中出现的问题,对本产品的制造工艺进行了改进。首先,对原材料化学成分、力学性能及组织进行严格检验,确保了原材料能完全满足技术要求;其次,对酸洗过程进行改进,以碱洗(洗涤剂)+喷砂(软磨料)清理代替酸洗过程,有效防止氢的产生及渗入材料;同时,在不影响组织及机械性能的基础上,适当延长成形后去应力退火时间,消

除内应力及残余应力。通过工艺改进之后,氢脆问题得到了有效解决,在后序批量生产中,未发现类似失效事故。

参考文献:

- [1] 刘昌奎,臧金鑫,张兵,等. 30CrMnSiA 螺栓断裂原因分析[J]. 失效分析与防护, 2008, 10(2): 42—46.
LIU Chang-kui, ZANG Jin-xin, ZHANG Bing, et al. 30CrMnSiA Bolt Fracture Analysis[J]. Failure Analysis and Prevention, 2008, 10(2): 42—46.
- [2] 高霞,邝献仁,王丽丽,等. 油条钻铤断裂原因分析[J]. 失效分析与防护, 2008, 10(2): 53—57.
GAO Xia, KUANG Xian-ren, WANG Li-li, et al. Such as Fracture Cause Analysis Oilfield Drill Collar[J]. Failure Analysis and Prevention, 2008, 10(2): 53—57.
- [3] 吕凤军,傅国如. 某型发动机滑油供油导管裂纹分析[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 114—117.
LYU Feng-jun, FU Guo-ru. Crack Analysis of Aero-engine Oil-providing Pipe[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(6): 114—117.
- [4] 朱晓英,庄明辉,姜春茂,等. 50CrMnVB 壳体裂纹原因分析[J]. 精密成形工程, 2014, 6(2): 51—54.
ZHU Xiao-ying, ZHUANG Ming-hui, JIANG Chun-mao, et al. Cause Analysis for Crack in the 50CrMnVB Shell[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2014, 6(2): 51—54.
- [5] 张栋,钟培道,陶春虎,等. 失效分析[M]. 北京:国防工业出版社, 2004.
ZHANG Dong, ZHONG Pei-dao, TAO Chun-hu, et al. Fracture Analysis[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2004.
- [6] 赵兵兵,张慧霞,贾瑞灵,等. 低合金钢焊接接头腐蚀性能研究进展[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 60—64.
ZHAO Bing-bing, ZHANG Hui-xia, JIA Rui-ling, et al. Research Progress on the Corrosion Behavior of Low Alloy Steel Weldments[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(6): 60—64.
- [7] 黄世忠,王越峰. 高强度螺钉在低速柴油机上氢脆失效带来的影响[J]. 柴油机, 2013, 35(4): 35—37.
HUANG Shi-zhong, WANG Yue-feng. The Influence of Hydrogen Embrittlement Failure of High Strength Screw on Low-speed Diesel Engine[J]. Diesel Engine, 2013, 35(4): 35—37.

- [8] 邱文鹏,常序华,王仁智. 圆柱螺旋弹簧氢脆断裂失效分析[J]. 金属制品,2007,33(1):24—27.
QIU Wen-peng, CHANG Xu-hua, WANG Ren-zhi. Hydrogen Brittle Fracture Analysis of Column Spiral Spring [J]. Steel Wire Products,2007,33(1):24—27.
- [9] 刘白. 30CrMnSiA 高强度钢氢脆断裂机理研究[J]. 机械工程材料,2001,25(9):18—21.
LIU Bai. The Fracture Mechanism of Hydrogen Embrittlement in 30CrMnSiA High Strength Steel [J]. Materials for Mechanical Engineering,2001,25(9):18—21.
- [10] 舒畅,张帷,苏艳,等. 海洋大气环境对钛合金 TA15 断裂韧度的影响[J]. 表面技术,2012,41(6):54—57.
SHU Chang, ZHANG Wei, SU Yan, et al. Effect of Marine Atmosphere Environment on Fracture Toughness for TA15 Titanium Alloy [J]. Surface Technology, 2012, 41(6): 54—57.
- [11] 秦会常,杨守杰,彭颀,等. 某型火炮击针失效分析[J]. 精密成形工程,2014,6(2):45—50.
QIN Hui-chang, YANG Shou-jie, PENG Ting, et al. Failure Analysis for the Artillery Pin [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2014, 6(2): 45—50.
- [12] 吴恒,侯晓薇,李超,等. 316L 不锈钢在淡化海水中的耐腐蚀性能研究[J]. 装备环境工程,2013,10(6):14—18.
WU Heng, HOU Xiao-wei, LI Chao, et al. Corrosion Behavior of 316L Stainless Steel in Desalinate Seawater [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(6): 14—18.
- [13] 秦会常,贾波,王传政,等. 某药型模底座失效分析[J]. 精密成形工程,2013,5(1):54—57.
QIN Hui-chang, JIA Bo, WANG Chuan-zheng, et al. Fracture Analysis of Punch for Pressing Powder Block [J]. Failure Analysis and Prevention, 2013, 5(1): 54—57.
- [14] 刘成臣,王浩伟,杨晓华. 不同材料在海洋大气环境下的加速环境谱研究[J]. 装备环境工程,2013,10(2):18—24.
LIU Cheng-chen, WANG Hao-wei, YANG Xiao-hua. Study of Accelerated Corrosion Test Environment Spectrum of Different Materials in Marine Atmospheric Environment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(2): 18—24.
- [15] 曹丽琴,孙丽娜,轩福贞,等. 激光辅助氮化工艺中的开裂行为研究[J]. 表面技术,2013,42(6):1—5.
CAO Li-qing, SUN Li-na, XUAN Fu-zhen, et al. Experimental Study on the Cracking Behavior in Laser-assisted Nitriding Process [J]. Surface Technology, 2013, 42(6): 1—5.

(上接第 68 页)

- SU Xiao-feng. Control of Pipeline Inclusions [J]. Henan Metallurgical, 2009, 17(1): 14—17.
- [11] 陈爱梅. 硅钙钡合金脱氧钢中夹杂物组成与形态[J]. 包钢科技, 2008, 34(5): 33—35.
CHEN Ai-mei. Composition and Form of Silicon-Calcium-Barium Deoxidized Steel Magnesium Alloy Inclusions [J]. Baotou Steel Technology, 2008, 34(5): 33—35.
- [12] 周守则. 铝高速工具钢中的夹杂物的研究[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 1995, 18(1): 118—124.
ZHOU Shou-ze. Research of Aluminum High-speed Tool Steel Inclusions [J]. Chongqing University Journal (Natural Science), 1995, 18(1): 118—124.
- [13] 申少华,刘国林,方克明,等. 硅酸盐夹杂对冷弯性能的影响[J]. 钢铁研究, 2005(5): 49—51.
SHEN Shao-hua, LIU Guo-lin, FANG Ke-ming, et al. Silicate Inclusions on the Performance of Cold-formed Plate [J]. Steel Research, 2005(5): 49—51.
- [14] 张莉萍. 浅谈钢中夹杂物的控制对钢质量的影响[J]. 包钢科技, 2002, 28(4): 84—88.
ZHANG Li-ping. Introduction to Inclusions in Steel's Control on the Quality of the Steel [J]. Baotou Steel Technology, 2002, 28(4): 84—88.
- [15] 黄其昆. 非金属夹杂物对热轧带钢横向冷弯性能的影响[J]. 钢铁研究学报, 1995, 18(1): 84—86.
HUANG Qi-kun. The Impact of Non-metallic Inclusions on the Cold-formed Performance of Hot Rolled Strip Transverse [J]. Iron and Steel Research Journal, 1995, 18(1): 84—86.
- [16] 胡赓祥,钱苗根. 金属学[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1980.
HU Geng-xiang, QIAN Miao-gen. Metallography [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1982.