

汽车发动机曲轴断裂失效分析

朱蕾, 宫杰, 梅华生

(中国兵器工业第五九研究所 国防科技工业自然环境试验研究中心, 重庆 400039)

摘要: 采用断口分析、显微组织检验、低倍组织检验、能谱分析和化学成份分析等方法对某汽车发动机曲轴断裂进行了失效分析, 判断断裂失效的主要原因是非金属夹杂和次表面的原始微裂纹, 建议改进热处理工艺, 保证组织的均匀性, 选用非金属夹杂物含量小的钢材。

关键词: 曲轴; 断裂; 失效分析; 断口分析; 显微组织检验; 低倍组织检验; 能谱分析

中图分类号: TG115.21 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2010)05-0071-04

Failure Analysis for Fracture of Crankshaft of Automobile Engine

ZHU Lei, GONG Jie, MEI Hua-sheng

(No. 59 Research Institute of China Ordnance Industry, The Natural Environmental Test and Research Center of Science, Technology and Industry for National Defense, Chongqing 400039, China)

Abstract: The failure analysis for fracture on crankshaft of automobile engine was carried out by inspection of fracture, examination of microstructure and macrostructure, energy spectrum analysis and chemistry component analysis. The main causation of fracture was that there were some nonmetallic inclusions in the source of crack and some microcracks on the sublayer. It is suggested that the technique of heat treatment should be improved to make the microstructure of crankshaft uniform, and the steel with less content of nonmetallic inclusions should be selected.

Key words: crankshaft; fracture; failure analysis; fracture inspection; microstructure examination; macrostructure examination; energy spectrum analysis

某汽车发动机台架试验运行 1 h 时, 材料为 40Cr 中碳合金钢曲轴在第 4 连杆颈处发生断裂。对断裂样品进行了失效分析, 判断断裂的原因, 提出改进措施。

1 分析方法

分别用目测和 QUANTA 200 扫描电镜观察断口形貌、微裂纹形貌和裂纹形态。

按 GB/T 13320-2007《钢质模锻件 金相组织评

级图及评定方法》和 GB/T 6394-2002《金属平均晶粒度测定方法》, 用金相显微镜对断裂处进行金相显微组织分析。

按 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》进行断裂处非金属夹杂物级别评定。

按 GB/T 226-1991《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验方法》对样品断裂处进行低倍组织检验。

用 MS-51 能谱仪对样品断裂处进行能谱分析, 测定非金属夹杂物的化学成分。

分别用 ISO 9556:1989(E)《钢和铁中总碳测定 感应炉燃烧红外线吸收法》、ISO 4935:1989(E)《钢和铁中总硫量测定 感应炉燃烧红外线吸收法》、GB/T223. 5-1997《钢铁及合金化学分析方法 还原型硅酸盐光度法测定酸溶硅含量》、GB/T223. 63-1989《钢铁及合金化学分析方法 高碘酸钾光度法测定锰含量》、GB/T223. 11-1991《钢铁及合金化学分析方法 过硫酸铵氧化容量法测定铬量》和钼蓝分光光度法,测定曲轴材料的碳、硫、硅、锰、铬、磷等化学成分。

2 检测分析结果

2.1 断口分析

目测法观察断口形貌,断口有明显的疲劳贝壳纹,如图1所示。



图1 宏观断口形貌

Fig. 1 Macro-appearance of the fracture of specimen

扫描电镜观察断口形貌,样品裂纹源处有多条台阶纹。在疲劳断口上清晰可见,表明有应力集中存在,如图2、图3所示。在裂纹源处次表面为微裂

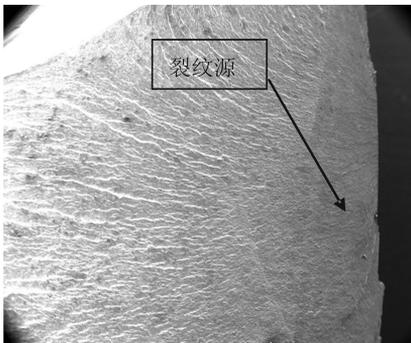


图2 断口形貌(25×)

Fig. 2 Appearance on fracture of specimen(25 times)

纹,如图4、图5所示。疲劳裂纹扩展区断口为准解理断裂,如图6、图7所示。



图3 断口形貌(50×)

Fig. 3 Appearance on fracture of specimen(50 times)

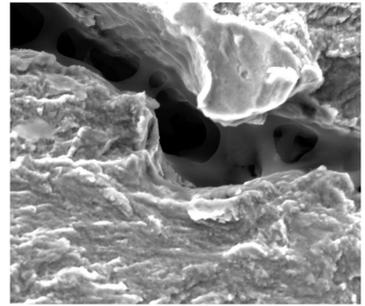


图4 微裂纹形貌(3 000×)

Fig. 4 Appearance of microcrack on fracture (3 000 times)

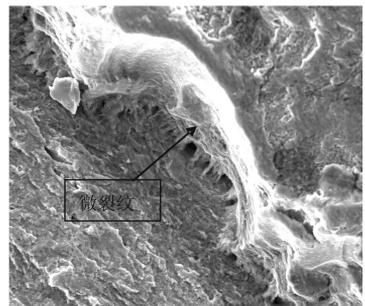


图5 微裂纹形貌(1 500×)

Fig. 5 Appearance of microcrack on fracture(1 500 times)

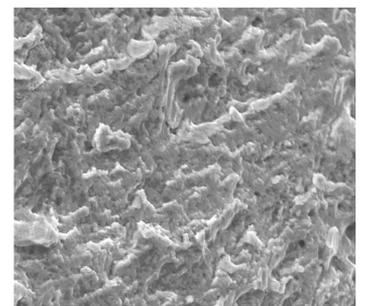


图6 扩展区断口形貌(3 000×)

Fig. 6 Appearance on extended position of fracture(3 000 times)

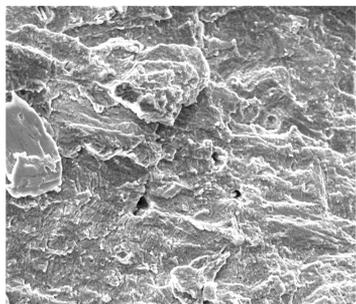


图7 扩展区断口形貌(1 200×)

Fig. 7 Appearance on extended position of fracture(1 200 times)

垂直裂纹扩展方向磨抛后,呈弧线状,如图4所示。靠近表面处为细裂纹,如图8所示。

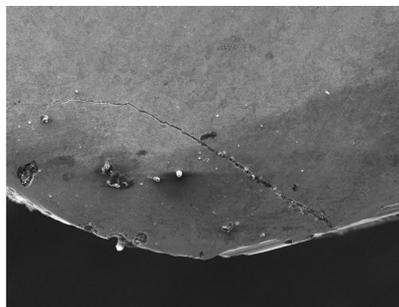


图8 裂纹形态(200×)

Fig. 8 Configuration of crack (200 times)

2.2 显微组织检验

样品横向金相组织为回火索氏体+少量铁素体,组织级别为3级,晶粒度级别为8级,如图9所示。纵向金相组织不均匀,有组织偏析和断续网状铁素体存在,如图10所示。

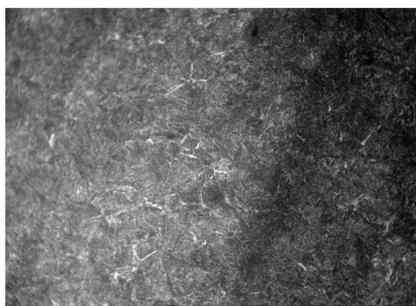


图9 横向金相组织(500×)

Fig. 9 Transverse microstructure of fracture(500 times)

非金属夹杂物评定:硫化物类级别为0.5级(细系);氧化铝类级别为0.5级(细系);硅酸盐类级别

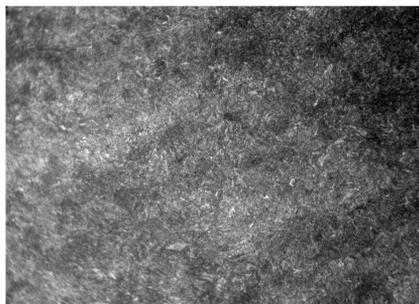


图10 纵向金相组织(500×)

Fig. 10 Vertical microstructure of fracture (500times)

为0.5级(细系);球状氧化物类级别为1.5级(细系);单颗粒球状夹杂为0.5级。

2.3 低倍组织检验

酸蚀后经低倍组织检验,样品表面未发现裂纹,如图11所示。

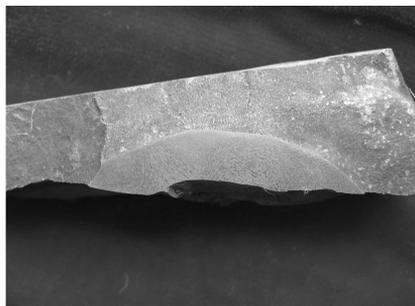


图11 低倍宏观形貌

Fig. 11 Macrostructure on the position of the fracture of specimen

2.4 能谱分析

在裂纹源处有一含硅、铝、硫、钙等元素的非金属夹杂物颗粒,如图12、图13所示。原始裂纹能谱分析如图14、图15所示。

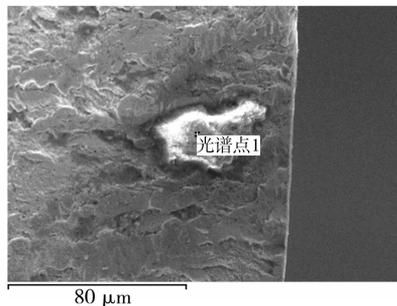


图12 能谱分析位置1

Fig. 12 The position of spectrum 1

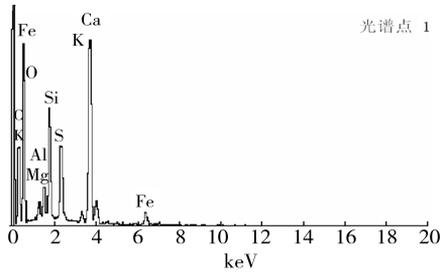


图 13 能谱分析 1

Fig. 13 Spectrograph of energy spectrum analysis of spectrum 1

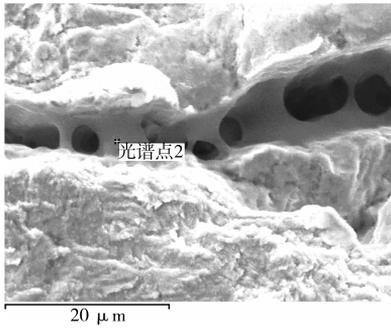


图 14 能谱分析位置 2

Fig. 14 The position of spectrum 2

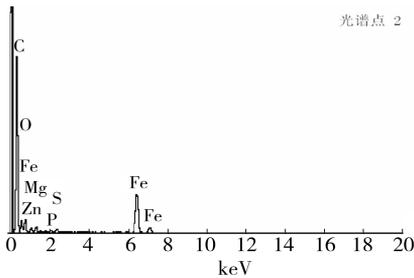


图 15 能谱分析 2

Fig. 15 Spectrograph of energy spectrum analysis of spectrum 2

2.5 化学成分分析

曲轴材料的化学成分分析结果见表 1。

表 1 曲轴材料的化学成分

Table 1 Chemistry component of metal used for crankshaft

元素	C	S	Si	Mn	P	Cr
40Cr	0.37~		0.17~	0.50~		0.80~
标准要求	0.44	≤0.035	0.37	0.80	≤0.035	1.10
实测	0.40	0.014	0.26	0.53	0.012	0.85

3 分析结论

曲轴材料的化学成分分析结果说明,样品的材料符合 40Cr 中碳合金钢的要求,排除了材料对开裂的影响。根据金相分析,材料显微组织存在的纵向偏析和断续网状铁素体在一定程度上降低了曲轴的疲劳性能^[1]。从裂纹的断口分析和能谱分析推断,曲轴的裂纹是原材料裂纹或锻造裂纹^[2]。综合分析,曲轴样品断裂失效的主要原因是裂纹源处的非金属夹杂和次表面的原始微裂纹。

4 结语

建议改进热处理工艺,减少显微组织中的组织偏析和断续网状铁素体的存在,提高组织的均匀性;选用非金属夹杂物含量小的钢材。

参考文献:

- [1] 李松瑞,周善初. 金属热处理[M]. 长沙:中南大学出版社,2003:305-310.
- [2] 王国凡. 材料成形与失效[M]. 北京:化学工业出版社,2002:215-219.

(上接第 26 页)

- [3] 康凤,赵祖德,曹洋,等. 浅底筒件等温精密成形工艺[J]. 现代模具,2007,24(1):76-77.
- [4] 洪深泽. 挤压工艺及模具设计[M]. 北京:机械工业出版社,1995:67-78.
- [5] 张志文. 锻造工艺学[M]. 北京:机械工业出版社,1998:110-157.
- [6] 贾俐俐. 挤压工艺及模具[M]. 北京:机械工业出版社,2004:134-212.
- [7] 吴诗淳. 冷温挤压技术[M]. 北京:国防工业出版社,1995:171-189.

- [8] PENOYER J A, BURNETT G, FAWCETT D J. Knowledge Based Product Life Cycle Systems: Principles of Integration of KBE and C3P [J]. Computer-Aided Design, 2000, 32: 311-320.
- [9] PENG Y H, ZHAO Z, RUAN X Y. KBE Technology in Engineering Design[C]. Proceedings of International Conference on Engineering and Technological Science 2000, Session 1, Beijing: New World Press, 2000: 94-100.