

文章编号: 1005-8893 (2004) 01-0005-04

活塞压缩机曲轴断裂原因分析

赵会军, 王树立

(江苏工业学院 机械工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 某厂活塞压缩机曲轴突然断裂, 经过应力分析与计算、材质分析与材料性能试验、断口分析和金相组织分析, 结果表明, 原始缺陷是该曲轴断裂的主要原因, 而沿轴向和环向晶间裂纹源是裂纹的起因。并提出曲轴除强度设计外, 还应注意材料的选择、材料检查和考虑共振等几点建议。

关键词: 压缩机; 曲轴; 断裂分析

中图分类号: TQ 052.504; TE 966.04

文献标识码: A

1 问题的提出

某炼厂芳烃车间 K302 压缩机曲轴于 2000 年 12 月 27 日发生断裂, 断裂发生在距转轮端部 200 mm 处。为查清断裂原因, 以防此类事件再次发生, 减少经济损失和影响生产, 并对曲轴重新制造提出建议, 受厂方委托, 对该曲轴进行了全面分析。

压缩机曲轴是压缩机主要的传动部件, 压缩机曲轴受力状态比较复杂: 受到弯矩、剪力、扭矩等的综合作用。从制造材质来看, 压缩机曲轴大多由铸铁(如球墨铸铁)、铸钢(如铬钢)等经热处理工艺后制造。受力大小、结构的合理性, 热处理的工艺以及处理效果的好坏都直接影响曲轴的使用寿命^[1]。一般曲轴的荷载不是很高, 因它长期旋转, 在一定的周期载荷作用下, 又是一个旋转疲劳问题。因此要查清曲轴断裂原因, 必须从材料性能、受力状态、金相组织等多方面做工作。通过对断裂后曲轴的综合分析, 查清了该压缩机曲轴断裂原因, 并提出了用于此类工况下曲轴的材料选取、制造工艺以及安装使用过程中应注意的主要问题。

2 宏观检查及分析

2.1 压缩机曲轴基本数据

曲轴直径 100 mm; 曲轴飞轮直径 1 600 mm; 压缩机功率 50 kW; 压缩机转速 210 r/min; 键槽深 6 mm; 键槽宽 30 mm; 初步提供曲轴材料: 球墨铸铁; 曲轴结构形式: II 型。

2.2 测量数据

曲轴直径 100 mm; 断口断面距轴头端面(平均)约 150 mm; 断口断面最低点在键槽 2/3 处, 距轴头端面 135 mm; 断口断面最高点与键槽成 80°角, 距轴头端面 170 mm; 断口断面另一高点距轴头端面 166 mm; 断口表面凹凸不平, 中心部分略有倾斜。如图 1 所示。

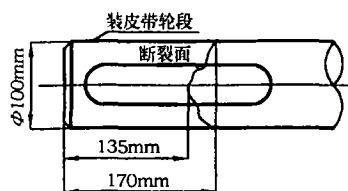


图1 断口位置示意图

断口宏观观察, 有明显的疲劳断裂扩展纹, 可以断定在疲劳断裂前裂纹扩展特别迅速。见图 2。

断口边界有较明显的多处裂纹源。断口中心部

收稿日期: 2003-10-16

作者简介: 赵会军 (1965-), 男, 河北保定人, 高级工程师, 现从事油气管输技术及流体过程机械方面研究。

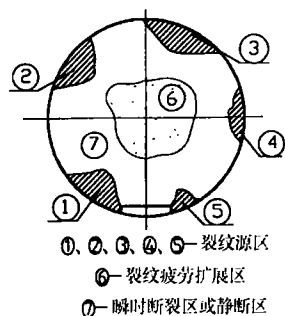


图2 曲轴断裂断面示意图

分约占轴横断面面积 1/4~1/3 的瞬时断裂区或静断面。瞬时断裂区或静断面为脆性断口。

3 材料性能及金相组织分析

为查清断裂原因，查清曲轴材料性能是一个必不可少的条件。

3.1 材料硬度测试及分析

经打磨后，在材料表面进行硬度测试，结果如表 1 所示。

表 1 硬度测试结果

硬度类别	测试点				平均值
	1	2	3	4	
LD	529	557	565	566	554
HB	234	276	284	—	263
HV	250	286	282	281	274

按 LD=554 硬度值计算可得 $\sigma_b = 928 \text{ MPa}$ ；按 HV=274 硬度值查表可得 $\sigma_b = 920 \text{ MPa}$ ；按 HB=263 硬度值查表可得 $\sigma_b = 898 \text{ MPa}$ ；由 CV-DA-1984 附录 E： $\sigma_s = 3.28 \text{ HV} - 221$ （用于母材）， σ_s —屈服限，MPa；计算得 $\sigma_s = 677 \text{ MPa}$ ；按 HV=274，由机械手册可以查得碳钢 $\sigma_b = 961 \text{ MPa}$ ；铬钢 $\sigma_b = 920 \text{ MPa}$ ；铬钒钢 $\sigma_b = 909 \text{ MPa}$ ；不分钢种 $\sigma_b = 917 \text{ MPa}$ 。

3.2 光谱分析

目的：充分确定曲轴材料。

手段：在打磨后的曲轴段上，进行光谱分析。

光谱分析认定，该曲轴金属材料含铬、锰等金属元素，经与标准试样对比并查《结构钢手册》（河北科学出版社），初步认定该曲轴材料为铬钢^[2]。

3.3 金相组织分析

曲轴经打磨、抛光、电化学腐蚀，进行金相组织观察拍片，如图 3 所示。

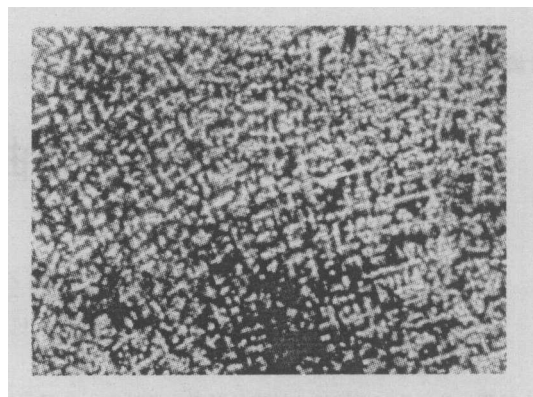


图3 金相组织 (×100)

从金相组织来看，为铸造组织，典型胞状等轴晶体。其组织为 δ 铁素体+珠光体，组织正常，但有沿晶间走向的裂纹。

由上述 3.1、3.2、3.3 认定该曲轴材料为铬钢。由《结构钢手册》和《石油化工常用国内外金属材料手册》各种铬钢的化学成分和机械性能如表 2、表 3 所示^[2,3]。

表 2 几种铬钢化学组成

钢号	30Cr	20Cr	34Cr4
C	0.27~0.34	0.17~0.24	0.30~0.37
Si	0.20~0.40	0.20~0.40	≤0.04
Mn	0.50~0.80	0.50~0.80	0.60~0.90
P	≤0.04	≤0.04	≤0.035
S	≤0.04	≤0.04	≤0.035
Cu	≤0.30	≤0.30	0
Cr	0.80~1.10	0.70~1.00	0.27~0.34

从化学成分看，我国铬钢除铬、锰外，尚有少量铜元素。

表 3 几种铬钢机械性能

钢号	σ_b/MPa	σ_s/MPa	8%	41%	α_k	回火温度
30Cr	882	686	≥11	45	≥6	淬火 860℃ 回火 500℃
	833	539	≥12	52	≥6	淬火 855℃ 回火 400℃
	891.8	529.2	≥11	52	≥6	淬火 855℃ 回火 300℃
	833	539	≥10	40	≥6	热处理后
20Cr	833	539	≥10	40	≥6	热处理后
34Cr4	690~830	460	15	50	DVM48	—

铬钢中铬能增强钢的淬透性，提高强度和耐磨性。其缺点是有回火脆倾向，表层碳浓度较高、较脆^[4~7]。

20Cr 具有较好冷变形塑性、焊接性能中等和切削加工性能较好。奥氏体晶粒易长大，渗碳需加热、淬火，油淬。一般用于制作工作速度较高、截面积大、强度高、耐磨损的部件，如套管、联轴节、齿轮、凸轮、轴和轴承套等。

30Cr 一般也用于制作轴、连杆、螺栓、齿轮等。

从以上分析, 我们认为该曲轴材料并非球墨铸铁, 而是铬钢, 其性能指标为 $\sigma_s = 677 \text{ MPa}$, $\sigma_b = 900 \text{ MPa}$ 。

4 曲轴断裂面强度计算分析

曲轴断面受有转动形成的扭矩、曲轴自重引起的断面剪力、曲轴自重引起的断面弯矩, 考虑键槽应力集中等因素, 三者综合作用, 按照最大剪应力理论 (第三强度理论) 断裂面上的最大应力值为 $\sigma_{\max} = 133.41 \text{ MPa}$, 若取 $\sigma_s = 677 \text{ MPa}$, 断面上的最大应力也仅为 $19.71\% \sigma_s$ 。由计算可见, 曲轴的应力水平不高, 按疲劳强度完全可在无限寿命以下, 即在设计寿命中, 曲轴是不会单单因为疲劳而断裂的^[8]。

5 曲轴断口分析

断口分析是疲劳断裂破坏分析研究的一个重点环节。通过断口分析可确定裂纹源出现的部位、裂纹的扩展, 从而结合应力分析及材料性能, 确定曲轴是脆性断裂、弹塑性断裂还是疲劳到一定程度的断口。

断面分: ①裂纹源区。裂纹源一般出现在断面的高应力区或原始缺陷区。②裂纹扩展区。经过多次周期载荷作用下扩展的部位, 裂纹扩展区表面可见分层的疲劳纹。③瞬时断裂区或静断区。静断区是裂纹扩展到一定程度, 在同样动静载荷作用下的拉断或剪断的区域。

该曲轴断口有明显的裂纹源、疲劳扩展纹和静断面, 断口为多源疲劳脆性断口。

断口有多处裂纹源, 见图 2。①为平滑较大的裂纹源。③为与①基本对称的平滑裂纹源。②、④、⑤为尖角型裂纹源。

裂纹源区显微镜下观察如图 4 所示。

裂纹扩展区, 见图 5。

疲劳纹清楚, 特别在后期扩展层较明显, 说明疲劳断裂后期扩展迅速。

瞬时断裂区或静断区在轴中部, 见图 6。

断裂面平坦略有倾斜, 静断区面积约占截面总面积的 $1/4 \sim 1/3$ 左右。

可见在最后断裂前, 受载面是小到一定程度, 而且不对称, 又有裂纹形成应力集中, 应力已超过材料强度极限而断裂的。

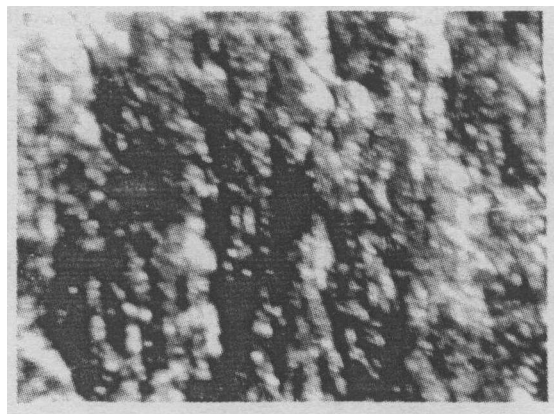


图 4 裂纹源区 ($\times 20$)

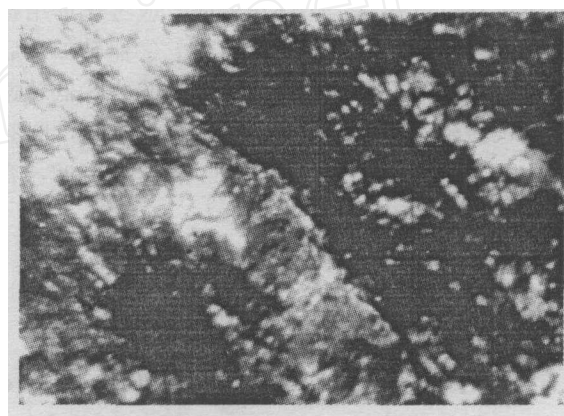


图 5 裂纹扩展区 ($\times 20$)

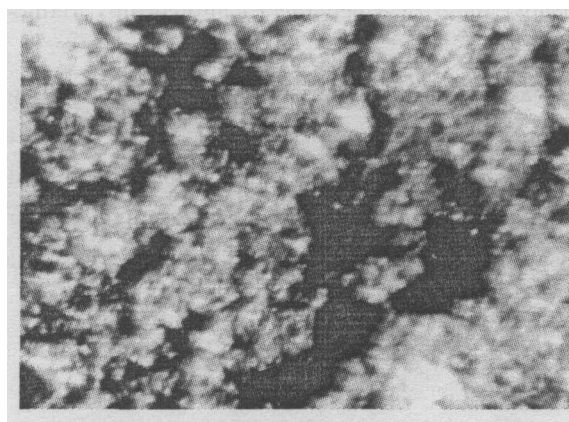


图 6 瞬时断裂区或静断区 ($\times 20$)

断裂面有两处以上较大的尖角, 此处为轴向晶间裂纹源所致。

如图 2 中, 裂纹源区①、③两处, 面积相当大、平滑, 为环向晶间裂纹源和原始表面缺陷所致。

6 曲轴断裂原因结论

根据以上分析, 曲轴断裂原因可分为材料缺陷等多种因素: ①曲轴金相组织分析 (图 3) 可见,

曲轴有沿轴向和环向晶间裂纹源,这是裂纹的起因。断口多处尖角、多裂纹源可以证明此点。②断口分析可见,在断面上有明显的原始材料缺陷,这是造成该曲轴断裂的主要原因。③曲轴转动过程中的偏心和转动中的振动使裂纹扩展加速,致使裂纹扩大。曲轴断面的凹凸不平及断面的倾斜就说明后期断面应力不对称性。④材料强度偏高,断裂韧性不好,冲击值低,热处理效果不好,也是造成其断裂的因素之一。

7 几点建议

从该曲轴断裂分析可以看到,曲轴除强度设计外,应注意以下几点:①在选材时,应考虑选用材料的热处理性能、韧性和抗疲劳性。②曲轴加工后应做全面的缺陷检查,确保无原始缺陷。③低转速的压缩机曲轴,如本压缩机转速 210 r/min,圆频率约为 3.5 Hz,它往往与结构自振频率接近,容易引起共振,应引起注意。

参考文献:

- [1] 郁永章. 活塞压缩机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [2] 王洪明. 结构钢手册 [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1985.
- [3] 中国石油化工总公司设备技术中心站. 石油化工常用国内外金属材料手册 [M]. 北京: 中国石油化工总公司北京设计院出版社, 1992.
- [4] 丁国钧. 钢材规格性能和用途 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1980.
- [5] 陈胜颐. 钢结构设计手册 [M]. 北京: 中国石化出版社, 1990.
- [6] 胡光立, 谢希文. 钢的热处理 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1996.
- [7] 赵世臣. 常用金属材料手册 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.
- [8] 徐延海, 贾丽萍, 张建武. 曲轴的疲劳断裂分析 [J]. 机械强度, 2002, 24 (4): 594—598.

Analysis of Fracture of Compressor Crank Shaft

ZHAO Hui-jun, WANG Shu-li

(Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: A crank shaft broke suddenly. By means of stress caculating, composition analyzing, performance testing, fracture analysis, etc, we obtained the result showed that the initial defect is the main cause, and the lattice crackle in axial and tangential is the original cause. Finally, we proposed that the material selection, checking, and resonance must be considered besides strength designing.

Key words: compressor; crank shaft; fracture analyzing