

文章编号:1673-2812(2008)04-0650-04

## 水力发电机导水机构偏心销断裂失效分析

孙学鹏, 姚继蓬, 郦 剑

(浙江大学材料与化工学院, 浙江 杭州 310027)

**【摘 要】** 根据设计技术条件要求和材料力学性能标准规范, 用金相检验、扫描电镜技术和 EDX 对偏心销断裂原因进行失效分析。结果表明, 高温热锻时晶界发生局部过烧现象导致晶界弱化是断裂的主要原因; 另外夹杂物等级偏高、淬火组织中存在网状铁素体和螺纹退刀槽圆弧过渡半径过小也是造成断裂的原因。

**【关键词】** 断裂; 失效; 局部过烧

中图分类号: TG162.7

文献标识码: A

## Fracture Analysis of the Eccentric Pin on the Inlet Structure from a Hydraylic Generator

SUN Xue-peng, YAO Ji-peng, LI Jian

(College of Material and Chemical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**【Abstract】** According to design parameters and mechanical properties, the fracture of the eccentric pin has been analyzed by metallographic microscope, SEM and EDX. The result shows that the main cause of the rupture is the weakened crystal boundary formed when forging in a high temperature i. e. partly over-burning; the high grade of the inclusions, the network of the primary ferrite in the quenching structure and the small transition radius of the screw thread slot are also the reasons for the rupture.

**【Key words】** rupture; fracture; partly over-burning

## 1 引 言

某水力发电机偏心销在安装过程中出现断裂, 如图 1 所示。偏心销是该机组的重要组成部分, 本文对偏心销残体进行了失效分析, 提出偏心销断裂的原因。



图 1 偏心销断裂残体照片 1

Fig. 1 Hoto 1 of the ruptured eccentric pin

## 2 偏心销设计参数

偏心销采用 45 # 圆钢材料制作, 尺寸为  $\Phi 110 \times 265$ 。粗加工后进行调质处理, 工艺规范为  $840^\circ\text{C} \times 165\text{min}$  后水淬,  $570^\circ\text{C} \times 200\text{min}$  回火空冷, 然后精加工到图纸规定的尺寸及精度要求, 如图 2 所示。而偏心销螺纹的退刀槽半径过小, 形成应力集中区域, 裂纹正是由此区域形核扩展, 最终造成偏心销断裂。

## 3 偏心销成分和力学性能

对偏心销残体进行化学成分分析, 结果如表 1 所示。对偏心销断裂残体部分进行力学性能试验, 对其屈服强度、抗拉强度、延伸率、断面收缩率和冲击功进行分析, 其结果如表 2 所示。成分和性能均符合 GB/T 699-999 标准规定。这说明在未断裂的部分, 偏心销材料成分和力学性能是符合标准规范的, 偏心销只是在退刀槽附近发生局部过烧。

收稿日期: 2007-09-05; 修订日期: 2007-11-12

作者简介: 孙学鹏 (1983—), 男, 硕士研究生, 从事铝表面陶瓷化及 CVD 研究。E-mail: metal@zju.edu.cn.



表 1 偏心销钢材化学成分/%  
Table 1 Chemical composition of the eccentric pin steel

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
Standard Value	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.035	≤0.035	≤0.25	≤0.30	≤0.25
Actual Value	0.44	0.24	0.67	0.022	0.023	0.03	0.03	0.05

表 2 偏心销钢材力学性能  
Table 2 Mechanical performance of the eccentric pin steel

Test Factor	ReL /N·mm <sup>-2</sup>	Rm /N·mm <sup>-2</sup>	A /%	Z /%	Impact toughness(23℃) Aku/J
Standard Value	355	600	16	40	39
Actual Value	530	795	19.0	47.5	42/49

ReL 为屈服强度, Rm 为抗拉强度, A 为延伸率, Z 为断面收缩率。

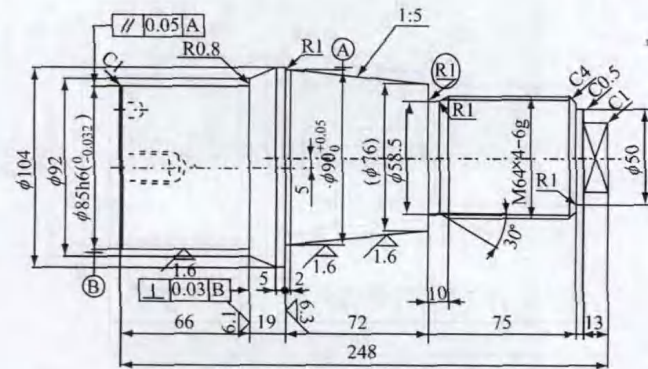


图 2 偏心销设计图纸尺寸  
Fig. 2 Blueprint of the eccentric pin

4 断口宏观分析

断口经肉眼观察及体视显微镜观察,低倍宏观形貌如图 3 所示,断面分为三个断裂区:断裂起始点,裂纹扩展区和最终断裂区;断裂的起始点在图 3 的正上方。断面的组织纤维粗大;断面无光泽,呈银灰色,无氧化和油污现象。在体视显微镜下观测到众多闪亮小晶面,如图 4 表示,表明断裂是沿晶界断裂,具有脆性断裂特征,与钢材在过热情况下产生的石状断口特征吻合,断口上的晶状断面(又称过热小平面或棱面)尺寸,同钢在高温加热时奥氏体晶粒大小相

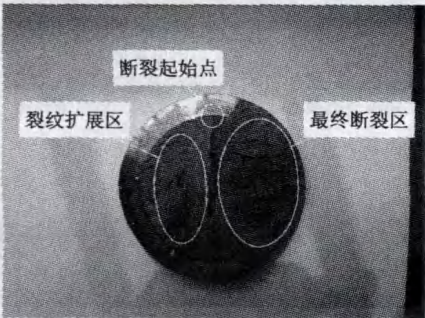


图 3 偏心销宏观断口照片  
Fig. 3 Fracture morphology of the eccentric pin

吻合,发生断裂时裂纹通常沿晶界优先形成和扩展<sup>[1]</sup>。在该断口的初生断裂区可以看到灰色的夹杂,位置恰好在退刀槽附近,如图 4 所示,该夹杂物尺寸巨大,是裂纹的起始点。由于该夹杂物的折叠作用,导致偏心销在热处理过程中发生局部过热。

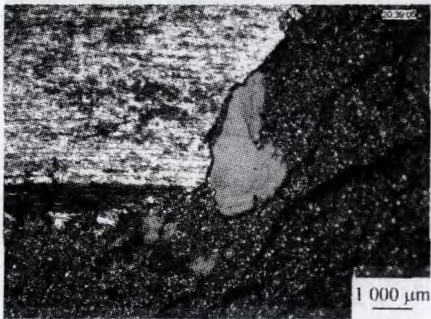


图 4 体视显微镜照片(50×)  
Fig. 4 Macroscopy photography (50×)

5 金相分析结果

在偏心销残体的初生断裂区按照纵向截面和横向截面切取样品,经磨制抛光腐蚀后进行金相观察,见图 5 和图 6。样品横向抛光断面上可见多处点状或群集夹杂物,级别 3 级或以上;抛光样品纵向断面上见条带状夹杂物,沿钢材轧



图 5 横向抛光表面(100×)  
Fig. 5 Across section surface (100×)



制的方向分布,级别 3 级或以上。夹杂物的存在降低了钢材的冲击韧性,容易形成裂纹。从图 7 可见显微组织为回火索氏体加网状铁素体,并伴生有少量魏氏组织;晶粒度 7 级左右。图 8 为 200 倍下金相照片,可以看到照片中白色部分为网状铁素体,呈带状分布,降低了钢材的冲击韧性,其中的灰色条纹为硫化锰夹杂物,说明样品中夹杂物过多,与图 6 相符。

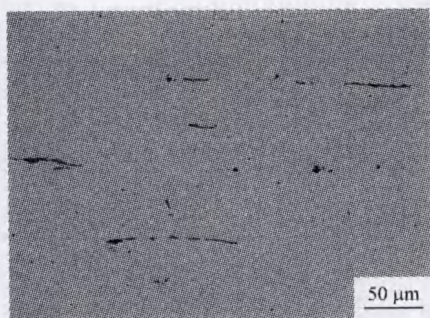


图 6 纵向抛光表面(100×)

Fig. 6 Vertical section surface (100×)

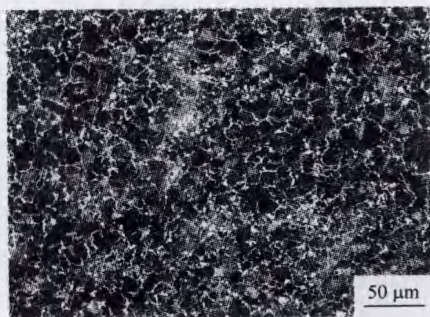


图 7 金相照片(100×)

Fig. 7 Metallographic photograph (100×)

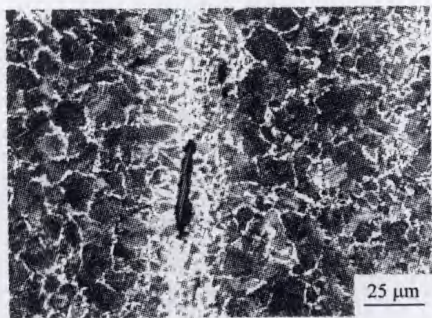


图 8 金相照片(200×)

Fig. 8 Metallographic photograph (200×)

## 6 扫描电子显微镜断口观察

对断口进行扫描电镜分析,可以看到该断口组织粗大,具有明显的脆性解理面,表现石状断口特征,见图 9,并存在多处点状夹杂物留下的凹坑,如图 10 所示;还有的区域存在大的夹杂物脱落后留下的大孔洞,见图 11。在断口上,用扫描电子显微镜可观察到许多局部熔化的晶界——以聚集大量冷却后结晶的球状物为特征,见图 12。

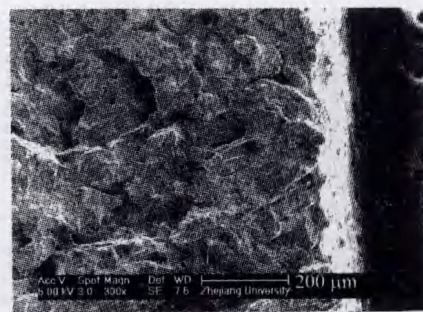


图 9 断口低倍扫描电镜照片

Fig. 9 SEM photograph of the fracture morphology

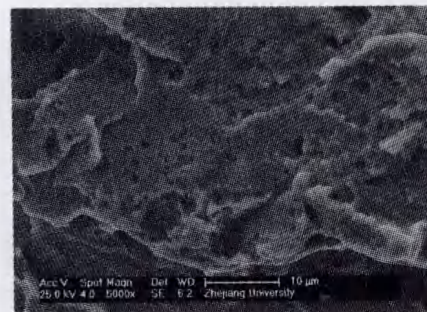


图 10 断口凹坑扫描电镜照片

Fig. 10 SEM morphology of pits on the fracture

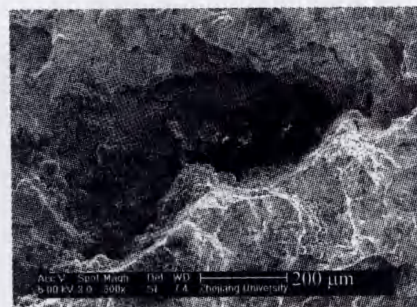


图 11 断口孔洞扫描电镜照片

Fig. 11 SEM photograph of fracture hole

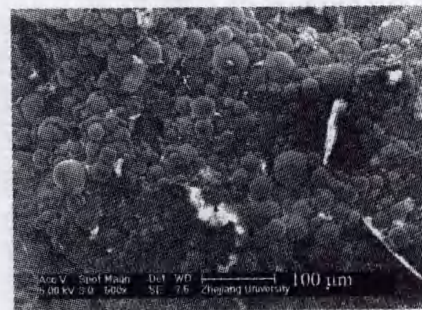


图 12 熔融晶界冷却结晶的凝珠

Fig. 12 Crystal sphere in the melted boundary

对这些聚集球形物进行 X 射线能谱分析(EDX),图 13 为图 12 中球形物的成分促使硫、磷和其他杂质元素向晶界扩散偏聚,生成低熔点的共晶化合物,富硫、磷的晶界薄层开始烧熔,冷却后形成晶间熔融球状小岛或疏松的晶界薄膜;在三角晶界处出现烧熔孔洞;在表面张力的作用下熔融

晶界收缩形成表面光滑的球状颗粒,大量微空隙或微孔洞。这些夹杂物严重降低钢的强度,使钢材严重脆化,冲击韧性几乎等于零。

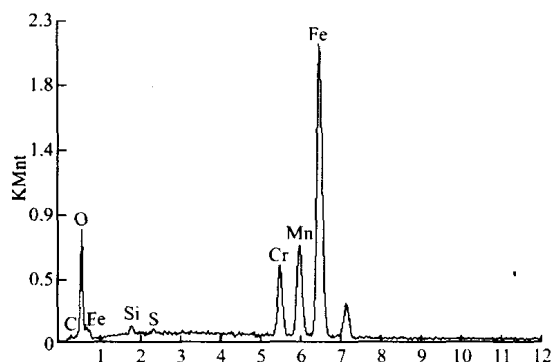


图 13 球形物 EDX 分析

Fig. 13 EDX analysis of the sphere

## 7 结 论

通过以上分析,得出该偏心销断裂的主要原因是其使用的钢材存在局部过烧导致晶界弱化。另外夹杂物等级偏高、螺纹退刀槽半径过小、在其附近存在大的夹渣是导致偏心销在装配过程中发生断裂的直接原因。淬火组织中存在网状的铁素体也是发生断裂的原因。

## 参 考 文 献

- [1] 张菊水. 钢的过热与过烧[M]. 上海科学技术出版社, 1984, 9.
- [2] 上海交通大学. 金相分析[M]. 国防工业出版社, 1982, 4.
- [3] 金荣植. 重型载货汽车后桥主动锥齿轮断裂原因分析及改进措施[J]. 金属热处理, 2007, 2.
- [4] 包雪鹏, 刘善德, 夏有付. 一种新发动机活塞销的失效分析[J]. 金属热处理, 2007, 3.

(上接第 649 页)

## 参 考 文 献

- [1] 魏寿昆. 活度在冶金物理化学中的应用[M]. 北京: 中国工业出版社, 1964.
- [2] Jose Tomiska. Thermodynamic activities of alloys [J]. Thermo- chimica Acta, 1998, 314:145~153.
- [3] 陈福义, 介万奇. 液态结构对 Al-Cu 熔体过剩自由能的影响[J]. 金属学报, 2003, 39(3):259~262.
- [4] 张震斌. 电脉冲对铝铜熔体作用机理研究[D]. 北京科技大学, 北京, 博士学位论文, 2007.
- [5] 班春燕. 电磁场作用下铝合金凝固理论基础研究[D]. 东北大学, 博士学位论文, 2002.
- [6] 李文超. 冶金与材料物理化学[M]. 北京: 冶金工业出版社.
- [7] Takeshi Yoshikawa, Kazuki Morita. Activity measurements of Al and Cu in Si-Al-Cu melt at 1273 and 1373K by the equilibration with molten Pb [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2006, 420: 136~144.
- [8] 长崎诚三, 平林真. 二元合金状态图集[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.
- [9] 王建中, 苍大强. 金属液的脉冲孕育处理[P]. 中国专利: CN98100543.8, 1998.
- [10] Miedema A R. Heat of formation and change transfer in alloys[J]. J Less-Common Met, 1973, 32(1):117~136.
- [11] Miedema A R. On the Heat of formation of solid alloys( II ) [J]. J Less-Common Met, 1976, 46(1):67~69.
- [12] Phillips J C. Theory of alloy phase formation, edited by L H Bennet[M]. Met Sec AIME, 1980.
- [13] 丁学勇, 王文忠. 二元系熔体中组元活度的计算式[J]. 金属学报, 1994, 30(10):444~447.
- [14] 陈星秋, 孙海兰, 丁学勇, Rogl P. 固态二元合金超额热力学函数的计算方法[J]. 东北大学学报, 2001, 22(3):299~302.
- [15] 姚允斌. 物理化学手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.