DOI:10.20038/j.cnki.mra.2023.000619



C36000注塑模具铜芯失效分析

简思聪,谢咏馨*

(广东省科学院工业分析检测中心,广东广州 510650)

摘要:采用直读光谱仪、场发射扫描电镜、维氏硬度仪、金相显微镜等,对C36000注塑模具铜芯的失效件和 正常件进行试验对比。结果表明:失效件和正常件的Cu、Pb含量均低于标准值,失效件和正常件的金相组 织基本一致,失效件的维氏硬度值高于正常件;EDS微区成分分析发现,晶界部位出现Pb元素偏聚现象, 失效件的断口部位呈现"冰糖状"形貌,为脆性断裂特征。 关键词:C36000;注塑模具;偏聚;脆性断裂 中图分类号:TG146.1 文献标志码:A 文章编号:1673-9981(2023)06-1161-04

引文格式:简思聪,谢咏馨.C36000注塑模具铜芯失效分析[J].材料研究与应用,2023,17(6):1161-1164. JIAN Sicong, XIE Yongxin. C36000 Injection Mold Copper Core Failure Analysis[J]. Materials Research and Application, 2023,17(6):1161-1164.

0 引言

铅加入到铜锌合金中铸造而成的铅黄铜具有良好的力学性能、铸造性能和切削加工性能^[1],但近年来省内外铅黄铜断裂失效的事故时有发生^[2-6]。沈国军^[7]研究了HPb57-3铅黄铜阀门的开裂原因发现,该合金杂质元素含量较多、机械设计不合理等因素导致铅黄铜发生断裂。冯红武^[8]等研究发现,由于大量铅聚集在晶界处而导致材料的塑性降低,断口位置观察到的缩孔和疏松引起的应力集中,从而发生了脆性断裂。由于C36000铅黄铜具有优良的切削加工性能及良好的导热性能、耐磨性、力学性能^[9-12],某厂家使用C36000铅黄铜作为注塑模具铜

芯,但在使用过程中发现铜芯在加工未成形时出现 断裂。为寻找出铜芯失效的原因,提高产品的合格 率,本文采用宏观检查、化学成分、微观形貌、力学性 能等分析手段对铜芯进行了开裂原因分析^[13-16]。

1 试样宏观形貌

试样材质为C36000铅黄铜,铜芯部分经车床加 工制成,表面无处理。。铜芯注塑前预热至100℃, 然后将其放入模具内再注塑PEEK材料包裹,模具 温度为200℃、注塑温度为390—400℃。

图1为某模具厂注塑铜芯样品的宏观形貌。从 图1可见,试样断裂部位为车加工的直角拐弯处。



(a)—失效件宏观照片;(b)—断口失效部位宏观照片。 (a)—macroscopic photo of failed parts;(b)—macroscopic photograph of the failure site of the fracture.

图 1 铜芯样品照片 Figure 1 Copper core sample photos

收稿日期:2023-08-28

作者简介:简思聪,本科,助理工程师,主要从事力学性能研究,E-mail:644354418@qq.com。 通信作者:谢咏馨,硕士,主要从事显微组织研究,E-mail:xieyongxin1995@163.com。

2 结果及分析

2.1 化学成分分析

参考美国ASTM标准对C36000铅黄铜规定的主要元素,采用国标GB/T5121.1-2008、GB/T10046-2018

和GB/T5121.27-2008定义的方法,对失效件A和正常件的铜芯样品进行化学成分分析,结果列于表1。由表1可知,失效件A和正常件中Cu和Pb含量均低于ASTM标准要求的范围值。当合金中的铅含量超过2%时易出现偏析,与董显明等^[17]人的研究结论一致。

		表1	C36000铜芯材料成分分析
Table 1	Analysis of chemical compositions	s of C	36000 copper core

*+ +	含量 w/%				
 试 样	Cu	Zn	Pb	Fe	
失效件A	59.90	36.65	2.17	0.26	
正常件	59.81	36.76	2.27	0.34	
ASTM标准规定值	60.0-63.0	余量	2.5-3.0	0.35	

2.2 金相分析

选取断裂失效件A和正常件铜芯材料相应部位

制备金相试样进行观察,金相组织如图2所示。从图2 可见,失效件A和正常件的金相组织极其相似,晶粒细 小,由 $\alpha+\beta$ '两相组成,其中 α 相呈亮色、 β '相呈暗色。



 (a) - 失效件A,100×;(b) - 失效件A,500×;(c) - 正常件,100×;(d) - 正常件, 500×。
(a) - failed part A,100×;(b) - failed part A,500×;(c) - normal parts,100×;

(a)—failed part A, $100 \times$; (b)—failed part A, $500 \times$; (c)—normal parts, $100 \times$; (d)—normal parts, $500 \times_{\circ}$

图2 失效件A及正常件的光学金相

Figure 2 Optical metallography of failed part A and normal parts

2.3 硬度分析

依据国标 GB/T 4340.1-2009,采用 HXD-100TMC硬度仪对铜芯样品失效件A和正常件进行 维氏硬度测试,其中载荷为100g、加载时间为15s,结果列于表2。由表2可知,失效件A的硬度为115

表 2	铜芯样品硬度 HV _{0.1} 测试值	
Testinal	a st handward LIVO dat stars	

Table 2 Test value of hardness HV0.1 of copper core sample

构件	测量值(HV _{0.1})	平均值
失效件A	116,116,113	115
正常件	104,104,104	104

HV_{0.1}、正常件硬度为104 HV_{0.1},失效件A的硬度高于正常件。

2.4 断口形貌分析

断口失效样品A的断口扫描电镜照片如图3所示。从图3可见:断口呈现典型的冰糖粒状形貌,沿晶界出现裂纹和微裂纹,属于脆性断裂;背散射电子照片中白亮处为元素序数大的Pb相颗粒,表明Pb元素分布欠均匀,某些部位产生Pb元素偏聚;对点1和点2的EDS能谱分析发现,点1处除含有Cu、Zn和少量Pb元素外还存在少量Al元素,而点2处主要含Cu和Zn元素。



子像(BSE1),2000×;(e)—点1的EDS能谱曲线;(f)—点2的EDS能谱曲线。 (a)—secondary electron image (SE2), 500×;(b)—secondary electron image (SE2), 2000×;(c)—backscattered elec-

tron image (BSE1), 500×; (d)—Backscattered electron image (BSE1), 2 000×;(e)—EDS spectral curves at points 1; (f)—EDS spectral curves at points 2.



断口失效样品B的断口扫描电镜照片如图4所示。从图4可见:低倍照片显示断口中间出现一条明显的裂纹,断口呈现典型的冰糖粒状形貌,并且沿晶界出现裂纹和微裂纹,属于脆性断裂;背散射电子照片中白亮处为元素序数大的Pb相颗粒,表明Pb

元素分布欠均匀,晶界部位易出现Pb元素偏聚;对 点1和点2的EDS能谱分析发现,点1处除Cu、Zn 和少量Pb元素外还存在少量Al元素,而点2处除 Cu、Pb外还含有大量的Fe元素。



(a)一断口低倍像;(b)一二次电子像(SE2),500×;(c)一背散射电子像(BSD1),1000×;(d)一背散射电子像(BSD1),2000×;(e)一点1的EDS能谱曲线;(f)一点2的EDS能谱曲线。

(a)—low magnification image of fracture; (b)—secondary electron image (SE2), $500 \times$; (c)—backscattered electron image (BSE1), $1000 \times$; (d)—backscattered electron image (BSE1), $2000 \times$; (e)—EDS spectral curves for points 1; (f)—EDS spectral curves for points 2.

图4 失效样品断口B的扫描电镜照片及EDS能谱曲线

Figure 4 Scanning electron microscopy of fracture A and EDS spectral curves

2.5 结构分析

对铜芯样品的结构进行了改进,在拐弯处设计 了弧度,这样可以减少残余应力集中而不易产生断 裂。图5为结构优化示意图。优化后的结构设计, 减少了残余应力,对材料加工过程中容易出现的因 结构原因导致的断裂情况有一定的帮助。



3 结论

(1)C36000铜芯样品的Cu和Pb含量均低于ASTM标准要求的范围值,扫描电镜EDS微区成分分析表明Pb元素分布不均匀,晶界部位出现Pb元素偏聚,同时含有杂质元素Al。

(2)C36000铜芯样品的金相组织由α+β'两相 组成,β'相比α相硬脆。

(3)由于原材料加工工艺存在问题,导致 Pb 元 素分布不均匀,某些部位产生偏聚,弱化了晶界强 度,再加上铜芯样品车加工拐弯处的残余应力集中 严重,易在此处产生裂纹而发生断裂,断口呈典型的 冰糖粒状形貌,沿晶界出现裂纹和微裂纹,属于脆性 断裂。

通过对铅黄铜的断裂失效分析,找到了断裂的 主要原因,为此类铅黄铜制造技术监督提供参考作 用。对铅黄铜制造进行监督时,应该加强其化学成 分的检测。辅助硬度测试时,发现硬度过高时应重 点排查。对材料的微观组织进行分析,观察是否出 现偏聚的情况,出现裂纹应及时更换。

参考文献:

- [1] 张曦,吴华敏,李华清,等.易切削黄铜研究现状及发展 [J].有色金属加工,2015(2):6-10.
- [2] CuZn39Pb3铅黄铜接头螺纹处开裂失效分析[J].理化 检验(物理分册),2020(3):48-51.
- [3] 王艳,张丽,孟宪阔,等.热锻黄铜阀门开裂原因及热脆 机理分析[J].理化检验(物理分册),2019(8):579-582.
- [4] 张鸣,伍超群,李扬.铅黄铜阀体开裂原因分析[J].材料 研究与应用,2009,3(3):200-203.
- [5] 齐影, 荆卫峰. 铅黄铜轴承保持架断裂失效分析[J]. 金属加工(热加工), 2019(10):73-76.
- [6] 郭亮,金献忠,黄世杰,等.铅黄铜阀芯部件开裂分析 [J].理化检验-物理分册,2013,49(9):625-627.
- [7] 沈国军. HPb57-3铅黄铜阀门开裂原因及解决方案[J]. 工程机械文摘,2021(1):2-6.
- [8] 冯红武,潘星,沈祎侬,等.某500 kV换流站铅黄铜线夹 断裂失效分析[J].湖北电力,2020,44(6):33-38.
- [9] 赵祖德,姚良均,郭鸿运.铜及铜合金材料手册[B].北 京:科学出版社,1993.
- [10] 路俊攀,李湘海.加工铜及铜合金金相图谱[M].长沙:中南大学出版社,2012.
- [11] 李炯辉,林德成.金相图谱下册[M].北京:机械工业 出版社,2015.
- [12] 郑宏晔,陈胤桢,裘吕超,等.变压器铅黄铜线夹开裂 原因分析[J].热处理,2021,36(1):51-53.
- [13] 胡加瑞,谢亿,刘存,等.主变黄铜抱夹失效分析及解 决措施[J].湖南电力,2015(1):39-41.
- [14] 孙增田,陈永瑞,赵金凤,等.浅谈铜合金定位线夹断裂 原因及失效分析[J].电气化铁道,2020,31(3):52-54.
- [15] 王景来.防止铜铝过渡线夹断裂的措施[J].电世界, 2014,55(10):26.
- [16] 吴澎,杨金艳.H62黄铜抱箍自然失效原因分析和对策 [J].材料保护,2019,52(12):162-167.
- [17] 董显明,孟莹.铅黄铜加铝在压铸件上的应用[J].汽车 工艺与材料,1992(7):20-22.

C36000 Injection Mold Copper Core Failure Analysis

JIAN Sicong, XIE Yongxin*

(Center for Industrial Analysis and Testing, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: A comparison test was carried out on the failed and normal parts of the C36000 injection mold copper core using instruments such as a direct-reading spectrometer, field emission scanning electron microscope, Vickers hardness tester, and metallographic microscope, etc. The results show that the Cu and Pb contents in both the failed and normal parts are lower than the standard values. The metallographic structures of the failed and normal parts are basically the same. The Vickers hardness value of the failed parts is higher than that of the normal parts. The EDS micro-area composition analysis found that there is a phenomenon of lead element segregation at the grain boundary of the failed parts. The fracture surface of the failed parts shows a "sugar-like" morphology, which is a characteristic of brittle fracture.

Keywords: C36000; injection molding; segregation; brittle fracture