火花塞衬套开裂失效分析

关慧欢，张怀青，徐继东

潍柴动力股份有限公司　山东潍坊　261000

摘要：通过对产生漏水的火花塞衬套进行金相分析、扫描电镜分析、化学成分分析，结果表明：衬套产生裂纹漏水的原因主要为衬套加工过程中产生较大残余应力，在密封胶中氨盐的作用下，产生应力腐蚀开裂。

关键词：H62黄铜；应力腐蚀；火花塞衬套；残余应力；扫描电镜

1　序言

某气体机进行缸盖密封性水压试验时，出现漏水问题，拆检后发现火花塞衬套开裂。衬套材料是铸造黄铜ZCuZn38（H62），为工业上广泛使用的有色金属合金[1]。工艺流程是：铸造铜棒→热压力加工→机械加工→装试。

2　试验方法

采用OBLF直读光谱仪对产生裂纹的衬套进行化学成分分析；采用Zeiss Axio金相显微镜进行金相检验，用线切割的方法截取样品。采用配备有X射线能谱仪的Zeiss EVO18扫描电子显微镜对裂纹进行显微观察和微区成分分析。

3　试验结果

3.1 化学成分测试

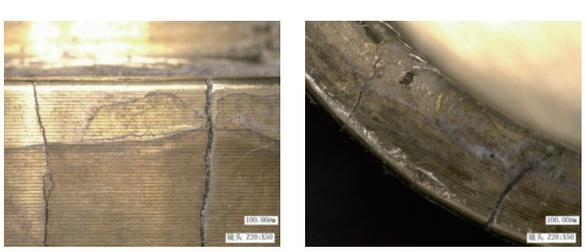
用直读光谱检测衬套化学成分，结果见表1。符合GB/T 1176—2013《铸造铜及铜合金》要求。

表1 衬套的化学成分（质量分数）　（%）

元素	Cu	Zn	Al	P	Sn	Sb	Fe	结论
样件	61.5	38.15	0.078	<0.001	0.036	<0.001	0.124	合格
GB/T 1176—2013	60.0～63.0	其余	—	—	—	—	<0.15	—

3.2 宏观观察

衬套有两条裂纹，从衬套台肩沿轴向向下延伸，裂纹较平直，近乎平行，台肩倒角部位残留有绿色密封胶。裂纹向台肩内侧延伸并逐渐变窄，如图1所示，说明裂纹起源于台肩外壁处，并向下和向内扩展。



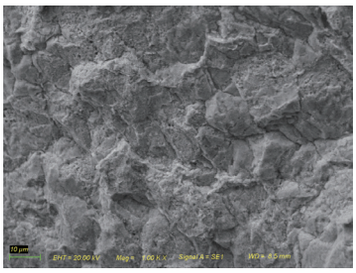
a)　　b)

图1 衬套裂纹的宏观形貌

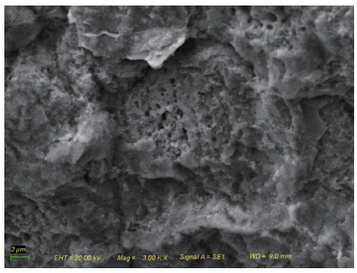
3.3 微观观察

通过电镜扫描，可以看到靠近衬套外表面有一层絮状物，如图2a、图2b所示。并且可以看出整个裂纹断口显示为脆性断裂：冰糖状沿晶断裂，少量部分穿晶，且晶界有腐蚀产物及细小腐蚀坑，腐蚀产物主要含O、Cu、Zn、Al，如图2c、图2d所示。人为撕裂的新鲜断口抛物线型韧窝断裂，且韧窝清晰、洁净，断裂形貌正常，如图2e、图2f所示。原始断口可见沿轴向的层片状条带。

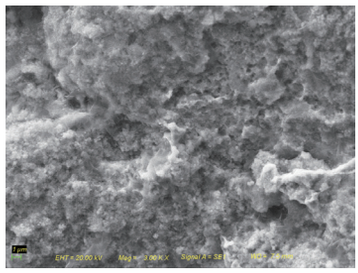
沿轴向研磨、抛光、腐蚀，观察裂纹及金相组织情况，如图3所示。裂纹呈不规则连续状，有分叉、尾部较尖锐呈树枝状，与应力腐蚀裂纹的典型特征相吻合，因而我们初步判定该裂纹是应力腐蚀裂纹[2]。金相组织为α相+极少量点状β相，且组织



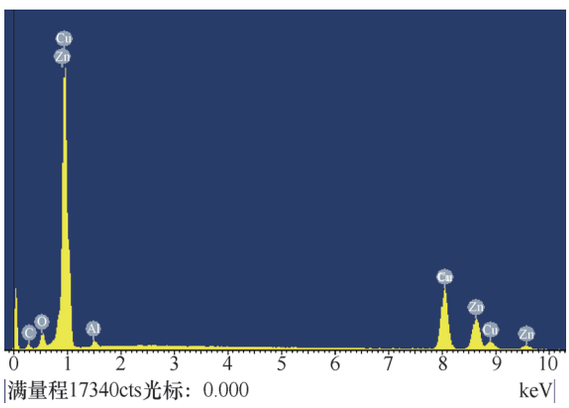
a）脆性断裂



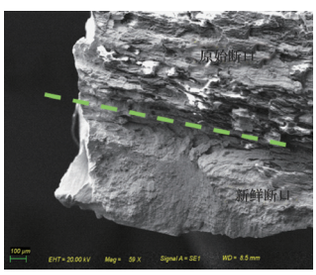
b）脆性断裂



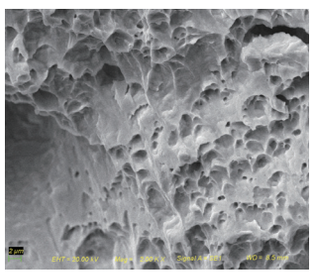
c）外表面腐蚀形貌



d）腐蚀产物



e）韧窝断裂



f）韧窝断裂

图2　衬套断口扫描电镜

中有明显的滑移线，裂纹衬套带状组织明显。

a）金相

b）裂纹

图3　裂纹处金相组织

3.4 有限元分析

衬套为过盈配合，过盈量：0.069~0.100mm，有限元分析衬套装配应力（未安装火花塞），图4为衬套装配态的第一主应力云图，亮色区域为拉应力区。可见在衬套台肩上方外壁与倒角外壁处和细颈内表面的拉应力较大，与实际裂纹起源位置一致。衬套细颈内表面拉应力虽然较大，但无密封胶，无应力腐蚀条件。

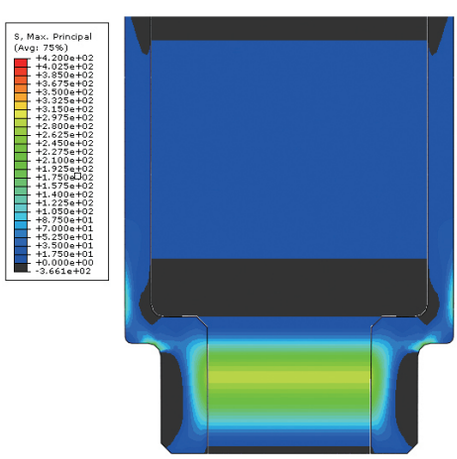


图4 衬套装配态的第一主应力云图

4　结论与分析

衬套毛坯在工艺温度650~800℃热压力加工成形后，放置在空气中，自然冷却至室温。资料中介

（下转第60页）

量略高于常规渗碳淬火试件。

3.2 两种渗碳工艺差异分析

（1）碳浓度的影响　由于17CrNiMo6材料本身富含有碳化物形成元素，其中碳化物形成元素将增大钢表面吸收碳原子的能力，阻碍碳在奥氏体中的扩散，提高渗碳层表面碳浓度。此种材料采用变碳势渗碳，可以获得更加均匀的渗碳层，有效防止网状或块状碳化物的产生。

（2）温度的影响　试件采用改进后的渗碳工艺，增加600℃保温阶段，然后再升温至840℃进行淬火，相当于增加了一次对试件进行晶粒细化的过程，使试件表面获得弥散分布的颗粒状碳化物的组织，提高了试件的表面硬度，进一步提高了试件的接触疲劳强度和耐磨性，与此同时细化了心部组织，提高了试件的屈服强度和冲击吸收能量。

4　结束语

1）改进后的工艺，使试件的表面硬度提高。

2）改进后的工艺，使试件的表面组织更加均匀细化，表面获得弥散分布的颗粒状碳化物的组织，有效提高了试件的接触疲劳强度和耐磨性。

3）改进后的工艺，细化了心部组织，提高了晶粒度级别，进一步提高了试件的屈服强度和冲击吸收能量。

通过热处理工艺技术的改进，对用于重型汽车及重型汽车起重机变速箱齿轮、风力发电机组齿轮等承受着突然变载的冲击载荷及周期性变动的弯曲载荷和复杂应力的齿轮，进一步改善了其组织，提高了综合力学性能，更好地满足了产品的需要。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会材料学会.齿轮的失效分析[M].北京：机械工业出版社，1992：63-70.

[2] 王爱香，高金柱，顾敏.新型高合金齿轮渗碳钢17CrNiMo6的热处理[J]. 金属热处理，2010，35（10）：82-86.

[3] 封珂，朱百智，郭祺龙，等.18CrNiMo7-6和20CrNi2Mo钢渗碳工艺参数优化与应用[J]. 金属热处理，2010，35（6）：63-66.

[4] 樊东黎.热处理技术数据手册[M].北京：机械工业出版社，2000：563-564.

MW 20200201

（上接第53页）

绍：所有黄铜在200~700℃[3]之间均有一个脆性区，热压力加工温度应不低于700℃。下限温度偏低，材料容易产生开裂倾向；毛坯成形难度增加，残余应力较大[4]。

衬套在机械加工过程中，与刀具频繁接触、受力，尺寸发生变化，必然产生一定数量的残余应力；数控机床精加工使用的切削液含有S、卤族元素等添加剂，使得衬套在一定时间内处在潮湿、腐蚀环境中[3]。

衬套与缸盖之间是过盈配合，压力装配后，在衬套台肩上方外壁与倒角外壁处产生了较大的拉应力；装配时涂在衬套台肩处的密封胶基料为甲基丙烯酸酯，含有氨基催化剂，为衬套提供了弱腐蚀工作环境。缸盖进行水压密封试验时，衬套台肩外壁处受力，产生裂纹并迅速扩展；衬套细颈内表面拉应力虽然较大，但未接触密封胶，应力腐蚀条件差。

5　结束语

1）衬套裂纹机制为应力腐蚀沿晶脆性开裂。

2）衬套裂纹集中出现在某月份，之前未出现批量裂纹故障，通过以上分析，确定衬套存在批次质量问题，衬套加工过程中残余应力过大，导致衬套在装配后附加拉应力及密封胶（或加工过程中切削液）弱腐蚀环境下发生应力腐蚀开裂。

参考文献：

[1] 谭数松，等.有色金属材料工程[M].北京：冶金工业出版社，1993：31-33.

[2] 郭凯旋，李晓冰，张行.铜和铜合金牌号与金相图谱速用速查及金相技术创新应用指导手册[M].北京：中国知识出版社，2005：277-279.

[3] 李炯辉，林德成，等.金属材料金相图谱（下）[M].北京：机械工业出版社，2006：1485-1487.

[4] 陈秀琴.化学成分及退火工艺对H62黄铜组织与性能的影响[J].热加工工艺，2007，36（16）：58-60.

MW 20200114