

## 磨损曲轴的金相分析

常柴股份有限公司 (常州 213000) 韩志良 丁燕君

**摘 要** 经金相分析发现, 磨损曲轴之轴颈表层和次表层的贝氏体组织均转变成回火组织, 磨损的主要原因是曲轴在高温下服役, 降低了表面硬度, 使曲轴发生了磨损。

**关键词** 贝氏体 磨损 回火

ZS 1110 柴油机曲轴(热处理状态—等温淬火)发生一定量的磨损失效。两主轴颈与滚动轴承配合, 连杆轴颈采用连杆轴瓦与连杆配合。磨损失效发生在连杆轴颈, 主轴颈不磨损, 至少不与连杆轴颈同时发生磨损。连杆轴颈上肉眼可见磨损痕迹, 如轴颈表面凹凸不平, 有磨损沟槽等。

柴油机使用时间已无法考证, 但从曲轴生产到磨损失效, 曲轴返回至曲轴生产厂, 其间一般 3~6 个月, 扣除曲轴加工, 柴油机装配、运输、销售等环节的滞留时间, 实际运转时间不超过一千小时。

为分析磨损原因, 从使用单位返回生产厂的磨损失效曲轴中抽样 20 支, 进行了硬度测试和金相分析。为保证取样过程中不发生组织变化, 取样加工采取线切割机床和锯床(加冷却液)。

### 1 曲轴技术条件

曲轴牌号 QT 700-2, 要求等温淬火。表面硬度 35~48 HRC。等温淬火金相组织: 贝氏体 1~3 级, 游离铁素体 1 级, 白区数量 1~2 级。评定标准: JB 3021-81《稀土镁球墨铸铁等温淬火金相检验》。铸态金相组织: 石墨球化级别 1~3 级, 石墨大小 5~8 级, 渗碳体不大于 2%, 磷共晶不大于 1.5%, 但渗碳体和磷共晶之和不大于 3%。评定标准 GB 9441-88《球墨铸铁金相检验》。

### 2 硬度测试

20 支曲轴均未断裂, 对主轴颈和连杆轴颈进行了硬度测试, 结果硬度值以及硬度分布可分 3 类, 具体见表 1

第 1 类: 主轴颈与连杆轴颈硬度一致且均偏低;

第 2 类: 主轴颈与连杆轴颈硬度一致且明显高于第 1 类;

第 3 类: 主轴颈硬度较高, 连杆轴颈硬度很低, 两者相差很大。

表 1 早期磨损曲轴硬度

类别	主轴颈硬度	连杆轴颈硬度	数量	占百分比	金相组织
	/HRC	/HRC	/支	/%	
1	28~34	28~34	2	10	图 1
2	33~38	33~40	3	15	图 2
3	41~45	25~31	15	75	图 3、4、5

正常情况下, 等温淬火曲轴之硬度检测结果, 无论是淬火后的硬度检测还是精磨后成品曲轴的硬度检测, 应该是主轴颈硬度低于连杆轴颈硬度, 这与连杆轴颈存在油塞孔, 截面尺寸减小, 等温淬火时冷却速度快有关。磨损曲轴中的第 3 类硬度分布极其反常, 连杆轴颈硬度明显低于主轴颈, 而且比例很高。

### 3 金相分析

对上述曲轴进行金相分析, 铸态组织均合格, 等温淬火金相组织如下:

第 1 类: 两轴颈组织相同, 均为贝氏体 + 未溶铁

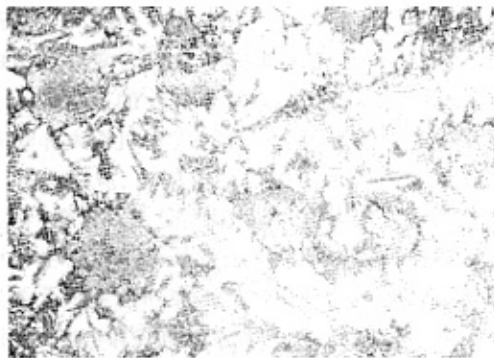


图 1 贝氏体 + 未溶铁素体 (500×)

素体,见图 1。原因是淬火加热温度不足,未完全奥氏体化,等温转变时奥氏体转变成贝氏体,铁素体被保留下来。铁素体的存在,降低了表面硬度,影响了耐磨性。

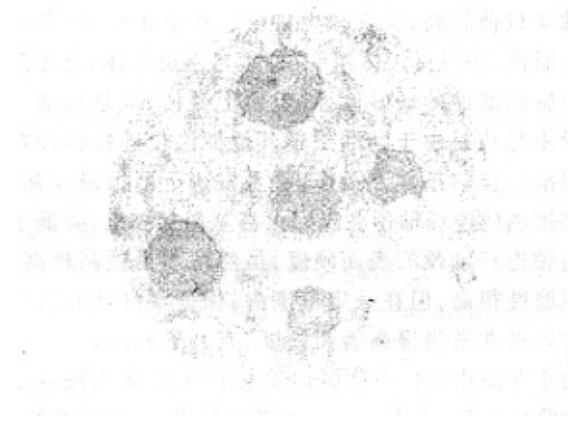


图 2 “上贝氏体”铁素体条较宽(500×)

第 2 类:两轴颈组织相同,见图 2,均为“上贝氏体”,但贝氏体中铁素体条较宽(类似低碳贝氏体或粒状贝氏体)。原因是等温温度偏高。这样的“上贝氏体”硬度偏低,影响耐磨性。

第 3 类:主轴颈组织为正常上贝氏体和下贝氏体。而连杆轴颈组织比较复杂,由表及里组织不同,表层均出现回火贝氏体组织,见图 3、4。明显可见贝氏体基体上分布着析出碳化物(图 3),石墨周围明显可见析出铁素体(图 4)。个别连杆轴颈的最表层,局部表层出现了淬火马氏体组织,图 6。应是轴颈受高温作用后自身淬火形成的摩擦马氏体。里层组织均为正常贝氏体组织,且无游离铁素体。见图 5。也说明图 4 中铁素体是析出铁素体,而非未溶铁素体。因为,假如表层有未溶铁素体,那么,里层一定有未溶铁素体,而且数量不会低于表层。里层没有未溶铁素体,则表层也没有铁素体。而表层存在回火贝氏体,说明由于某种原因,使曲轴连杆轴颈在较高温度下服役,如咬瓦,断油,供油不足等。咬瓦和断油,直

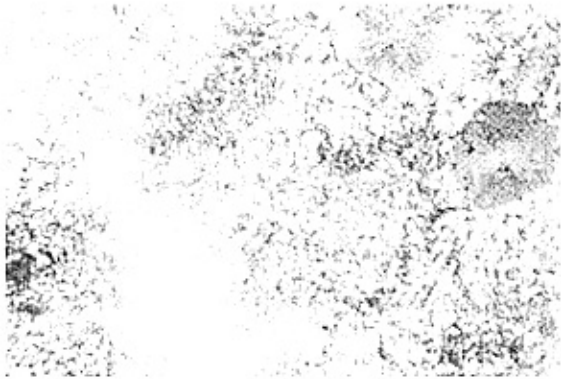


图 3 表层:回火贝氏体组织,可见析出碳化物(400×)

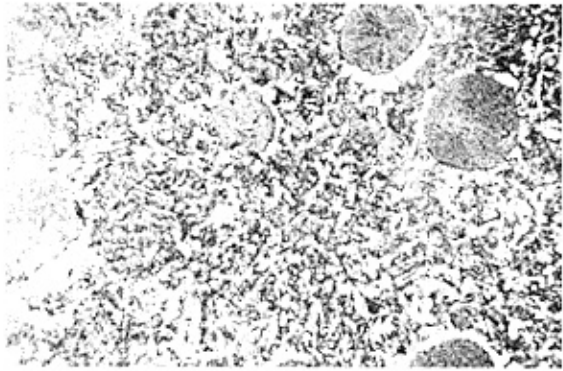


图 4 表层:回火贝氏体组织,可见析出铁素体(500×)

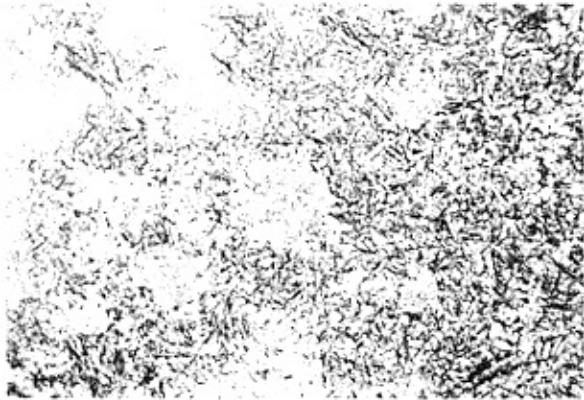


图 5 里层:正常贝氏体组织(500×)

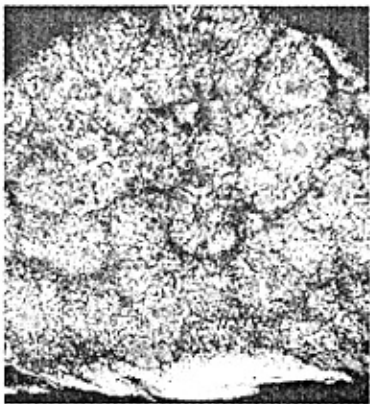


图 6 表层:淬火马氏体 次表层:回火组织(100×)

接造成连杆轴颈在干摩擦条件下服役,摩擦热使轴颈温度升高。而供油不足,同样使轴颈在较高温度下服役,只是程度不同。

#### 4 讨论与分析

由于三包服务部门只拿回了磨损失效曲轴,对每根曲轴及与曲轴配合的轴瓦的使用状况已无法了解,用户是否在无机油条件下使用柴油机也无法调查。只能进行一定程度的推测。

曲轴轴颈均经过砂带抛光,表面粗糙度应符合技术要求,因表面粗糙造成咬瓦的可能性不大。从另一方面可以认为连杆轴瓦质量造成咬瓦的可能性也不大,轴瓦材料为 AlSn20Cu,某单位定点供应,从每月轴瓦的质量检测结果看,检测项目包括定材料牌号,金相分析,外形尺寸,表面粗糙度等,检测结果均合格。以上分析可基本排除因轴颈粗糙度和轴瓦质量造成的咬瓦问题。

表层局部淬火马氏体的出现,说明该处温度最高,已奥氏体化。表层回火组织中存在析出铁素体,该处温度次之,在亚温区,这两处温度应在 700 °C 以上。表层组织中存在析出碳化物,该处温度一般应高于曲轴等温淬火温度,而曲轴等温淬火温度 260 ~ 300 °C。轴瓦材料为 AlSn20Cu,依据铝 - 锡合金相图,228 °C 时发生共晶转变,接近 660 °C 时合金层完全熔化。轴瓦在如此温度下服役,其合金层逐渐被熔化,可能依附于轴颈,可能流失,在失效曲轴上难以发现。熔化的合金层一层旦得以冷却或被氧化,可能成为磨粒。没有了合金层,摩擦系数增加,

散热条件恶化,轴颈工作温度升高,钢背(08 钢)不可能熔化,与曲轴一起运转或变形。钢背变形后,局部的弯曲叠加可能阻碍曲轴运转,直至可能发生咬瓦。在磨损的轴颈上,留下较光滑的沟槽。

贝氏体组织既有较高硬度又有良好的韧性,曲轴受载荷较高,又在较大冲击载荷下工作。该条件下服役,获得贝氏体组织(特别是下贝氏体)是提高曲轴耐磨性的最好途径。但由上分析,或是机油润滑不足或是由于断油或是其他原因使连杆轴颈在润滑欠佳的条件下运作,甚至发生干摩擦或咬瓦,摩擦热使连杆轴颈高温回火甚至局部淬火,降低了曲轴连杆轴颈的表面硬度,虽然并不是硬越高,耐磨性很高,但在一定范围内,保证零件具有较高的硬度并适当提高表面硬度,有利于提高耐磨性。由于在使用过程中连杆轴颈发生回火,表面硬度逐渐降低,直至大大低于技术条件要求,影响耐磨性,发生了磨损失效。而局部自身淬火发生的摩擦马氏体只存在于轴颈表面几处,容易崩落,对提高耐磨性无益。

#### 5 结论

1) 柴油机机油润滑不足或断油,连杆轴颈在较高温度下服役,贝氏体组织受回火而降低硬度,影响了耐磨性。是造成磨损失效的主要原因;

2) 等温淬火曲轴除了硬度要求外,还应有组织要求,等温淬火加热温度不足和等温温度偏高,形成未溶铁素体或较宽“上贝氏体”,使轴颈表面硬度偏低,影响耐磨性。

(上接第 2 页) 表面平行的、新的开裂面。如果十字轴端面能参考十字轴圆柱侧面的磨削工艺,端面的磨削开裂还是可以避免的。

#### 3 结论

1) 十字轴端面磨削工艺不合理。其中主要是磨削过热,工件端面磨削进给量大、砂轮过钝、冷却不均匀而造成十字轴端面剥落及磨削开裂;

2) 十字轴渗碳后渗层表面存在封闭网络状碳化物,淬火时未能消除,增加了磨削开裂的敏感性。

#### 4 措施

1) 加强磨削工艺管理,严格控制磨削进给量,选用磨削自锐性好的砂轮;

2) 加强热处理各道工序质量检查,及时发现组织隐患,采用正火处理,消除网络状碳化物。

#### 参 考 文 献

- [1] 张佳蓉等. 柴油机油泵阀磨削裂纹分析. 理化检查 - 物理分册, 1999(5): 222.
- [2] 孙盛玉. 渗碳层中的开裂的产生原因和预防措施方法. 物理化检验 - 物理分册, 1993(3): 52.