

高温水蒸气氧化 在硅钼球墨铸铁排气歧管上的应用研究

李义然, 苏永盛, 张银生, 王金双, 符晓

西峡县内燃机进排气管有限责任公司 河南南阳 474550

摘要: 排气歧管是汽车发动机重要零部件, 商用汽车发动机排气歧管材质多为硅钼球墨铸铁。在发动机热机试验中, 排气管处于约 700℃ 高温环境, 试验后内腔常出现红锈, 且锈斑易脱落可能导致增压器叶片损坏, 引发客户抱怨, 因此在实际生产供需中解决排气管内腔生锈问题至关重要。针对商用汽车发动机排气管硅钼球墨铸铁件 (QTRSi4Mo1) 在热机试验后内腔生锈的问题, 提出了一种高温水蒸气氧化生成 Fe_3O_4 保护膜解决方案。通过对比试验, 验证了该方案能有效提高排气管铸件的抗氧化性, 解决内腔生锈问题。

关键词: 排气管热机内腔生锈; 高温水蒸气氧化; 硅钼球墨铸铁件

Application research of high-temperature steam oxidation on the exhaust pipe of silicon-molybdenum nodular cast iron casting

LI Yiran, SU Yongsheng, ZHANG Yinsheng, WANG Jinshuang, FU Xiao

Xixia County Internal Combustion Engine Exhaust Pipe Co., Ltd., Nanyang 474550, Henan, China

Abstract: The exhaust manifold is an important component of a car engine, and the material of the exhaust pipes for commercial vehicle engines is mostly made of silicon-molybdenum ductile iron castings. During engine hot running tests, the exhaust pipes are exposed to a high-temperature environment of about 700℃. After the tests, the inner cavity often shows red rust, and the rust spots can easily fall off, which may cause damage to the turbocharger blades, leading to customer complaints. Therefore, solving the problem of rust inside the exhaust pipes is crucial in actual production and supply. In order to solve the problem of rust in the inner cavity of QTRSi4Mo1 in the exhaust pipe of commercial automobile engine, a solution has been proposed for generating Fe_3O_4 protective film through high-temperature steam oxidation. Through comparative experiments, it is verified that the scheme can effectively improve the oxidation resistance of exhaust pipe castings and solve the problem of rust in the inner cavity.

Keywords: rusting of the exhaust pipe hot engine chamber; oxidation by high temperature water vapor; silicon molybdenum nodular cast iron

1 序言

排气歧管是汽车发动机上的重要零部件, 使用环境恶劣, 结构复杂, 生产难度较大。商用汽车

发动机排气歧管材质多为硅钼球墨铸铁, 在发动机出厂前的热机试验中, 排气管会经历约700℃的高温工作环境。试验结束后, 排气管内腔常出现红锈

现象,这些锈斑在高压气流冲刷下易脱落,进而可能导致增压器叶片损坏等问题,引发客户抱怨。因此,解决排气管内腔生锈问题至关重要。

2 问题描述

故障件材质为QTRSi4Mo1硅钼球墨铸铁,其化

学成分见表1^[1]。对经过发动机热机试验后的排气管外观进行检查,发现红锈主要出现在内腔流道口位置(见图1),而排气管外壁无锈。同批次未经过装机的排气管外壁无锈蚀(见图2),铸件防锈油膜尚存,可以确定生锈是试验过程造成的。

表1 QTRSi4Mo1硅钼球墨铸铁化学成分(质量分数) (%)

C	Si	Mn	Mo	P	S	Mg
2.7~3.5	4.0~4.5	≤0.3	1.0~1.5	≤0.05	≤0.015	0.01~0.05



图1 红锈出现位置



图2 排气歧管外壁外观

3 问题分析

1) 排气管材质是硅钼球墨铸铁,铸铁件如果没有防锈措施,在自然环境中会快速与空气中的水、氧气发生氧化,并在表层形成氧化铁(Fe_2O_3)红锈。

2) 一般铸铁件的防锈措施是在喷涂防锈油、喷漆或其他表面处理,主要是隔绝铸铁件与水、氧气接触,从而提升铸铁件的抗氧化性,延长寿命。

3) 上述问题的排气管在流道口产生红锈,主要是因为排气管在装到发动机后,发动机进行了热机试验,发动机的高温气体不断地冲击排气管流道,使氧化层被破坏,高温气体加剧了氧化反应,造成红锈的产生^[2]。

4) 如果想解决上述问题,关键是避免高温气体

对铸件防锈层的破坏。

4 改善方案

鉴于常规防锈油防锈工艺已不能满足高温工作环境的需求^[3],本文提出采用高温水蒸气氧化炉对排气管铸件表面及内腔氧化处理的方式来提高排气管铸件的抗氧化性。 Fe_3O_4 在高温下可形成一层致密的氧化膜,有防腐蚀的效果,即在钢铁零件表面利用碱性氧化的方法生成一层黑色或蓝色的致密氧化物薄膜,从而起到防腐作用的一种处理工艺,用于增加铸件表面耐蚀性,且光泽更好,也更美观,可更好地阻止铸件表面被继续氧化^[4],具体实施步骤如下。

- 1) 将铸铁排气歧管清洗干净。
- 2) 将排气歧管装在夹具内,并在室温下将夹具放入蒸汽氧化处理炉内。
- 3) 设置炉温仪表在 $300\sim 420^\circ\text{C}$ 之间,升温同时通入 N_2 ,充气速度为 $16\sim 20\text{m}^3/\text{h}$ 。
- 4) 炉温达到设定温度后保温 1.5h ,继续通入 N_2 。
- 5) 将炉温设置在 $630\sim 690^\circ\text{C}$ 之间,关闭 N_2 ,通入水蒸气,速度为 $(5\pm 1)\text{m}^3/\text{h}$ 。
- 6) 炉温保持在设定温度 2.5h ,持续通入水蒸气,保证炉内蒸气压力为 $14.57\sim 21.46\text{kPa}$ 。
- 7) 炉温降至 $530\sim 610^\circ\text{C}$ 时,关闭水蒸气,打开炉盖,吊出工件。

高温水蒸气氧化曲线如图3所示^[5]。经过多轮验证,将氧化膜厚度控制在 $15\sim 25\mu\text{m}$,检测结果如图4所示。高温水蒸气氧化炉在生产现场应用如图5所示。

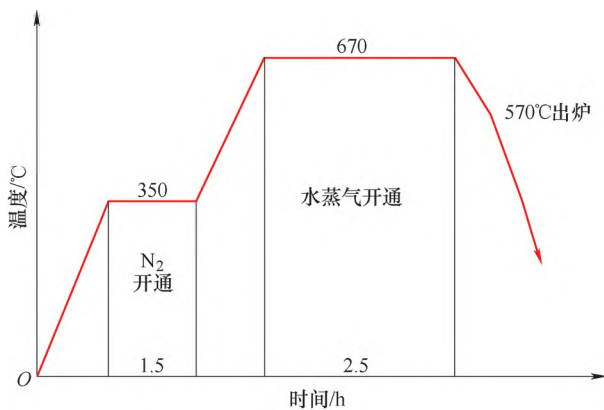


图3 高温水蒸气氧化曲线

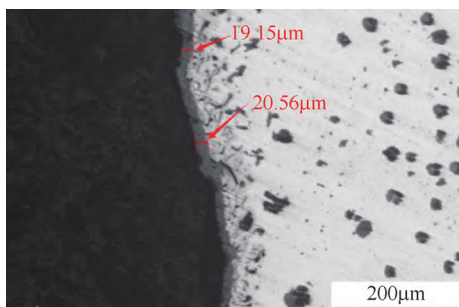


图4 高温水蒸气氧化层厚度检测结果



图5 高温水蒸气氧化炉应用现场

5 改善方案验证

为验证高温水蒸气氧化层对铸件抗氧化性的提升效果,以及发动机热试验对高温水蒸气氧化层的影响,分别设置了以下对照组进行盐雾试验^[6, 7]。

(1) 对照组一 盐雾试验依据GB/T 10125—2012《人造气氛腐蚀试验盐雾试验》进行,盐雾试验时间设置为2h、24h、48h,未经过高温水蒸气氧化的排气管与经过高温水蒸气氧化的排气管氧化状态分别如图6、图7所示。从图6可看出,未经过高温水蒸气氧化的排气管铸件表面,在盐雾试验2h时,出现点状红锈;在盐雾试验24h时,铸件表面已全部出现红锈;在盐雾试验48h时,铸件表面出现严重红



a) 盐雾试验2h



b) 盐雾试验24h



c) 盐雾试验48h

图6 未经过高温水蒸气氧化的铸件状况



a) 盐雾试验2h



b) 盐雾试验24h



c) 盐雾试验48h

图7 经过高温水蒸气氧化的铸件状况

锈。从图7可看出,经过高温水蒸气氧化的排气管铸件表面,在盐雾试验2h时,未出现红锈;在盐雾试验24h时,铸件表面出现点状红锈;在盐雾试验48h时,铸件表面出现区域红锈。

(2) 对照组二 将经过高温水蒸气氧化但不经过发动机热机试验的排气管与经过高温水蒸气氧化且经过发动机热机试验的排气管进行盐雾试验,试验时间设置及试验标准同上,试验结果分别如图8、图9所示。



a) 盐雾试验2h



b) 盐雾试验24h



c) 盐雾试验48h

图8 高温水蒸气氧化试验



a) 盐雾试验2h



b) 盐雾试验24h



c) 盐雾试验48h

图9 高温水蒸气氧化+热机试验

通过两组对比试验,可得出如下结论。

1) 由对照组一试验结果可知,经过高温水蒸气氧化后的排气管铸件在盐雾试验中的48h后才出现明显的氧化现象,但未经过高温水蒸气氧化的排气管在2h后就已经开始出现表面氧化,24h时已产生大面积锈蚀,证明经过高温水蒸气氧化后铸件抗氧化能力得到明显的提升。

2) 由对照组二试验结果可知,经过24h和48h的盐雾试验后,对照组的锈蚀情况基本一致,由此

可见发动机的热机试验对高温水蒸气氧化层没有影响,氧化层没有被破坏。

6 结束语

1) 排气管铸件经过高温水蒸气氧化后,表面形成的0.015~0.025mm厚度 Fe_3O_4 氧化层,提高了铸件的抗氧化性。

2) 发动机的热机试验不会对高温水蒸气氧化层产生影响,可以有效解决发动机热机试验后的排气管铸件内腔生锈。

3) 排气管铸件经高温水蒸气氧化后,可以有效延长排气管的使用寿命,保证发动机的正常运行。

4) 通过实施上述工艺,提高了排气管前后段配合的密封性、耐磨性、可靠性,产品外观色差一致性较好,提高了产品的外观质量。

5) 该工艺取代了传统的防锈油防锈工艺,可延长防锈时间,使防锈有效期增加至15年左右。

参考文献:

- [1] 杨淑欣,许景峰,郝志俊. QTRSi4Mo耐热铸铁的工艺研究[J]. 铸造设备与工艺, 2020 (4): 3-4, 7.
- [2] 孟宪明. 排气管锈蚀的探究[J]. 统计与管理, 2014 (6): 167-168.
- [3] 施帅. 金属腐蚀防护有机涂料的研究进展[J]. 化工管理, 2015 (27): 124.
- [4] 赵新武,白春瑞. 铸件出口与标准化[J]. 铸造, 2009, 58 (7): 752-755.
- [5] 谭胜,付洪瑞. 防锈油发展现状[J]. 河北化工, 2003, 26 (5): 16-19.
- [6] 周红. 钢铁常温发黑研究[D]. 济南: 山东大学, 2009.
- [7] 戚正风. 金属热处理原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.

MW 20241210