

提高镶环铝活塞奥氏体铸铁镶环与铝合金基体的黏结强度

■ 孟现长, 范吉超, 俎训龙, 王磊

摘要: 通过采用喷丸处理、有效控制渗铝料的成分、控制镶环储存环境、对镶环进行微氧化处理等方法, 通过理论机理探讨, 试验验证, 有效提高了铸铁镶环与铝合金基体的粘结强度, 从而提高内燃机活塞的使用寿命。

关键词: 铸铁镶环; 喷丸处理; 渗铝; 微氧化

1. 概述

活塞是内燃机的核心零件, 对发动机性能和寿命影响非常大。为了提高活塞的寿命, 一般采用在活塞第一环槽镶铸造高镍奥氏体铸铁材料来进行增强。目前镶环铝活塞为保持镶环与铝基体合金的化学结合主要使用Al-fin法镶入, 具体过程是先镶环浸入铝液进行渗铝^[1], 然后把渗好的镶环放入模具中, 再倒入铝液进行铸造, 最后通过机加工形成活塞环槽。为了保证铁环槽与铝基体结合的完整, 需要在活塞完成机加工后进行超声波检测^[2]排除铝铁结合部位存在铸造缺陷的活塞。

但是, 目前随着内燃机排放标准的不断提高, 活塞头部工作温度升高了30~40℃, 承受的交变载荷升高了10%, 这样就要求镶铸的铁环与铝基体的结合强度进一步提高。但是由于活塞镶环的材料与基体铝合金材料的膨胀系数有差异, 并且两者的结合层是脆性材料, 所以温度升高、受

到载荷变大后, 活塞镶环与铝基体结合处非常容易断裂^[3], 而一旦出现断裂, 发动机会受到严重损伤, 其使用寿命也就会变短。

为了适应高功率发动机对活塞的要求, 必须在镶环铸造过程中采取有效的措施进行控制, 才能保证活塞产品的质量。

2. 提高镶环与铝基黏结强度的措施

(1) 采用喷丸处理的方法 采用抛丸处理可有效去除镶圈表面的氧化杂质及残余油污等影响渗铝结合的杂质^[4], 同时提高了镶环与铝基体的接触面积, 使渗铝层结合强度更高, 但是需要关注不锈钢喷丸的洁净度, 由于镶环表面在加工过程中材料中的石墨被挤压破损后, 在喷丸过程中会粘在镶环表面, 如果钢丸长期使用, 就会造成镶环表面粘上大量石墨, 最早这些石墨渗入铝铁结合层中, 导致铸铁镶环与铝基体黏结强度下降^[5] (见图1、图2), 一般来说, 钢丸的使用一般寿命在20万~30万件之间。

(2) 控制渗铝料的成分 活塞镶环铸造Al-fin使用的渗铝材料主要成分为铝硅合金 (见附表), 渗铝合金中Mg、Fe含量是影响镶环与铝基结合强度的重要元素, 其中Mg含量过高会造成渗铝层氧化物含量过高, 从而导致结合层强度下降 (对结合层抗拉强度影响曲线及照片见图3、图4); Fe元素含量过高会造成渗铝层针状铁相过

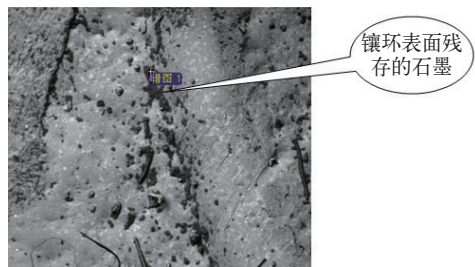


图1 镶环与铝基体断裂面SEM照片

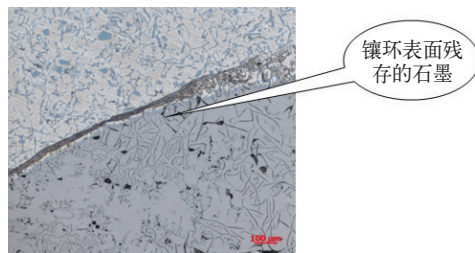


图2 镶环与铝基体结合部位金相

多, 从而导致结合层强度过低 (对结合层抗拉强度影响曲线及照片见图5、图6)。

(3) 控制镶环储存环境 生产镶环铝活塞的厂家, 一般都是采用外购方式, 因此镶环的储存非常重要, 由于镶环的表面在加工和喷丸过程中, 奥氏体铸铁材料中的石墨成分会碎裂, 一部分石墨会残留在镶环表面, 在镶环储存过程中, 这些石墨会吸收空气中的水分子, 造成镶环吸潮现象。一旦镶环吸潮后, 在渗铝过程中, 吸收的水分就会与液态的铝发生反应, 形成氢气, 最终会聚集在镶环与铝基体的界面上, 导致结合层强度下降。

(4) 使用前对镶环进行微氧化处理 镶环铝活塞Al-Fe结合区由合金扩散层与铝浸润层组合而成, 其中扩散层不是铸造组织, 而是在渗铝过程中由固态铁与液态铝的界面上发生扩散反应而生成的金属间化合物^[6]。由于扩散层的均匀程度和洁净程度直接影响了其抗拉强度, 经试验证实镶环成品在250℃保温1h随炉冷却的条件下, 可以使镶环与铝基体黏结强度提高5%以上, 其机理是: 镶环喷丸后的表面粗糙不平, 在凹陷的部位粘着喷丸产生的铁屑和石墨粉末, 在加热时镶环表面产生微氧化作用, 这些石墨和铁屑被氧化后, 脱离镶环表面, 使镶环表面得到了净化^[7]; 同时由于氧化的作用, 镶环表面获得1~3 μm多孔的氧化层, 这样在渗铝过程中镶环与渗铝料反应得更加均匀, 扩散层更加洁净 (见图7), 活塞镶环与铝基体的结合强度更高。

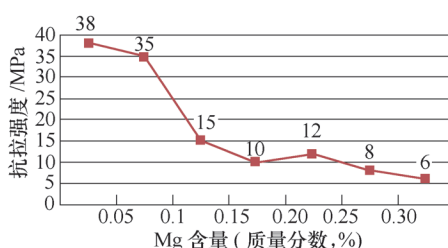


图3 Mg元素对结合层抗拉强度影响

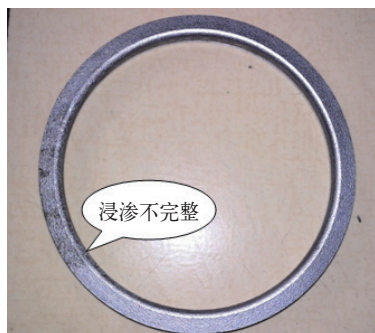


图4 w_{Mg} 为0.2%时结合层断面宏观照片

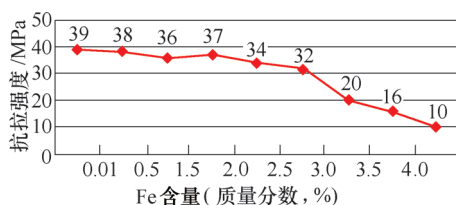


图5 Fe元素对结合层抗拉强度影响

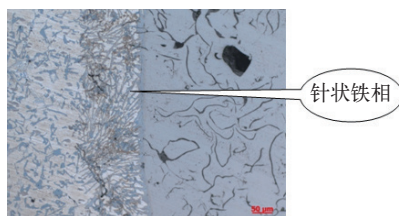


图6 w_{Fe} 为3%时结合层金相照片

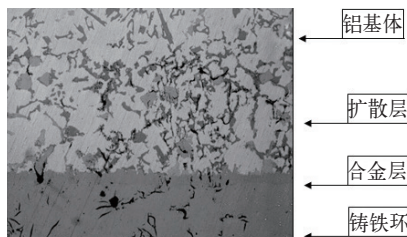


图7 预热后的渗铝层金相

渗铝材料化学成分 (质量分数) (%)

Si	Mg	Fe	Cu	Mn
10~13	<0.05	<2.5	<0.6	<0.6

3. 结语

通过采用喷丸处理、有效控制渗铝料的成分、控制镶环储存环境、对镶环进行微氧化处理等方法可以有效提高镶环与铝合金基体的黏结强度, 从而提高内燃机活塞的使用寿命。

参考文献

- [1] 许畅, 彭明诚, 卢正欣, 等. 耐磨镶圈与铝活塞基体粘强度问题研究[J]. 内燃机与配件, 2013, (2): 19-21.
- [2] 齐子诚, 张国斌, 唐盛明, 等. 活塞镶圈结合面质量的快速无损检测系统[J]. 无损检测, 2015, (8): 71-75.
- [3] 田鲁栋, 秦有志, 王志强, 等. 柴油机活塞铸铁镶圈粘接分离问题研究[J]. 内燃机配件, 2007, (2): 1-7.
- [4] 冯士活. 镶嵌铸铁圈预渗工艺及组织结构的对比研究[J]. 热加工工艺, 2010, 39(13): 48-50.
- [5] 王景智, 吴坚. 大功率中速柴油机活塞镶圈断裂的有限元分析[J]. 内燃机工程, 2005, 26(4): 43-46.
- [6] 潘周光. 基于Al-fine法的镶嵌圈渗铝质量影响因素分析[J]. 热加工工艺, 2009, 38(11): 68-71.
- [7] 章迪康. 镶嵌活塞Al-fin粘强度失效机理及质量提高研究[J]. 热加工工艺, 2008, 37(23): 127-129.

作者简介: 孟现长、范吉超、俎训龙、王磊, 山东滨州渤海活塞股份有限公司。

MW 20170518