

不同材质的排气歧管失效原因分析

赵新武

(西峡县内燃机进排气管有限责任公司, 河南西峡 474500)

摘要: 排气歧管在使用过程中的失效主要表现为变形和断裂, 首先是变形, 其次在极限状态下发生断裂。本文通过对不同材质的排气歧管的失效原因进行分析, 得出失效主要由以下原因造成: 产品局部设计不合理、铸造熔炼和工艺设计不当等。

关键词: 排气歧管; 变形; 漏气和断裂; 产品设计; 铸造; 使用状态

1 产品设计

排气歧管在设计过程中由于缺乏经验使产品结构存在不合理的现象, 导致在使用过程中的变形、漏气和开裂。现举几例来阐述这个问题。

案例(1): 如图1, 内腔流道存在凸起, 导致台架试验时凸起部位开裂^[1]。

产品设计时为了让开螺栓的位置, 在排气歧管外壁设计一个半圆的凹槽, 在排气歧管内壁存在一个半圆形凸起, 高温气体在流经凸起时受阻, 导致该部位温度较高, 最高温度达653℃, 如图2所示。在冷热交变的温度下, 该处受交变的应力, 在疲劳应力达到极限状态, 凸台处就开裂了。

针对这个问题, 对凸起处的结构做了改进, 增大了突起处的曲率半径, 圆滑过渡, 如图3所示。图2和图4是更改前后温度分布对比, 可以看到, 温度由653℃下降到616℃、646℃下降到627℃, 因此顺利地通过了台架试验, 达到了量产的要求。

案例(2): 如图5, 内腔流道成方形, 拐角处成直角形, 高温气体流动时, 四角产生紊流, 气流受阻, 该部位温度变高, 导致汽车高速行驶时, 排气歧管变形、漏气或断裂^[2]。

将内腔流道改成圆形或椭圆形的, 气体流动通畅, 如图6所示。图7是两种设计方案比较, 显然更改后的方案设计合理。

案例(3): 由于排气歧管装机后, 总是把护罩安装在排气歧管上, 汽车在行驶过程中, 护罩相当一个帆, 不断变换的风力, 使排气歧管该部位不断受到拉压的影响, 产生疲劳应力, 导致断裂, 如图8所示。图9是排气歧管上安装的护罩。

为了增加断裂部位刚度, 在此处增加了加强筋(图10), 断裂得到控制。

从以上的案例中可以看出排气歧管的变形、漏气和断裂与设计有关。特别是排气歧管上安装增压器后, 如果下面没有支撑, 在高温条件下, 材料的强度很低, 在高速路况下行驶, 涡轮增压器的上下振动都会导致变形、漏气和断裂的产生。甚至支撑杆、压紧螺栓的材质选用, 膨胀系数的大小都会产生不良影响。膨胀系数较大的螺栓高温下变形大, 会使压紧力不够导致漏气, 严重时甚至断裂。因此在排气歧管设计的时候要考虑高温、高速下的震动对排气歧管强度的影响。在分型面加筋, 在法兰盘上加筋都会有效地防止变形、漏气和断裂的发生。图11是典型的设计。

2 铸造

由于化学成分、力学性能、金相组织不达标, 冶金质量差, 模具设计不合理, 模具制作与打磨不到位, 铸件清理不到位, 都有可能引起排气歧管的变形、漏气

作者简介:

赵新武(1950-), 男, 高级工程师, 主要从事铸造工艺研究。电话: 0377-60108851, E-mail: xpzxw2006@souhu.com

中图分类号: TG250.6

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2019)08-0926-06

收稿日期:

2018-09-13 收到初稿,
2019-04-30 收到修订稿。

和断裂。首先化学成分不合格毋庸置疑造成产品不合格，化学成分直接影响到排气歧管的常温和高温性能，因此在生产高端排气歧管的时候使用高纯生铁，优质低碳钢，适宜的辅料以及预处理技术的应用都是保证优质产品的前提。

2.1 熔炼

要求快速熔炼快速浇注，对浇注包和合金都要预热，防止铁液在高温下长时间停留。铁液长时间高温在炉内停留，俗称死铁液。死铁液结晶核心减少，石墨球稀少，晶粒粗大。死铁液浇注的铸件力学性能和

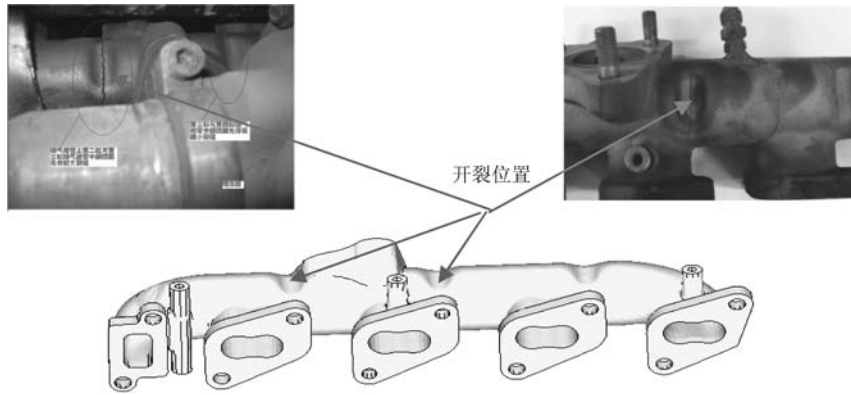


图1 排气歧管开裂位置
Fig. 1 Cracking position

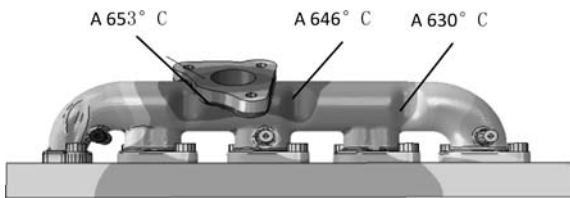
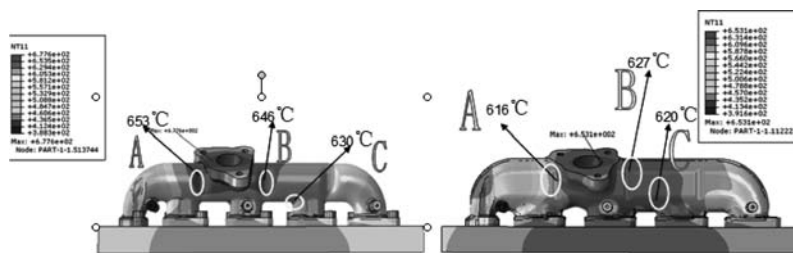


图2 温度分布
Fig. 2 Temperature distribution



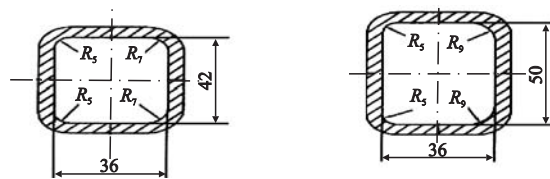
图3 优化后结构
Fig. 3 Optimized structure



(a) 更改前 (b) 更改后

图4 温度场分布

Fig. 4 Temperature field distribution after structure being optimized



(a) (b)

图5 流道设计矩形，四角易产生紊流

Fig. 5 Rectangular runner design, turbulence is more likely to occur in the four corners

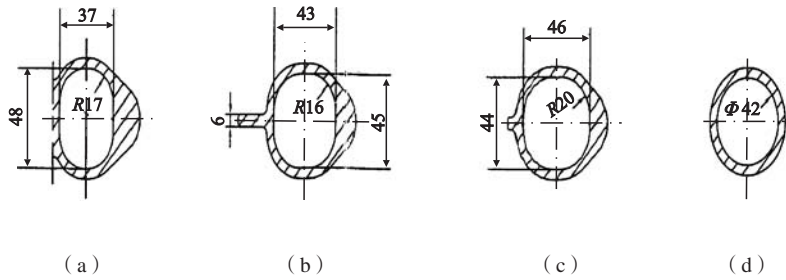
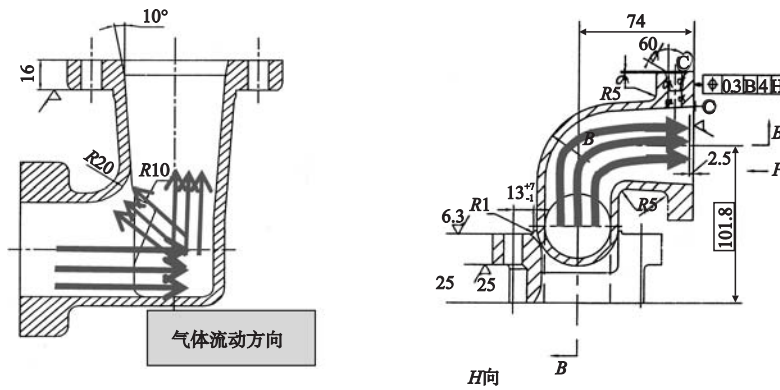


图6 圆形或椭圆形的流道，气体流动通畅

Fig. 6 Circular runner or oval runner design, air flow is unblocked



(a) 更改前

(b) 更改后

图7 法兰气流汇集处流道设计图片

Fig. 7 Design drawing of runner at the air flow collection location on the flange

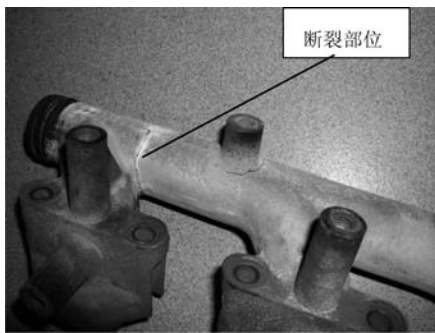


图8 断裂部位

Fig. 8 Failure position

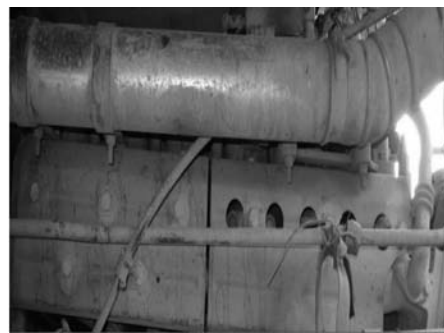


图9 排气歧管上安装护罩

Fig. 9 The installation site of the shield on the exhaust manifold

金相组织都有可能不合格，特别是冷热交变下的高温环境下疲劳性能差，是造成排气歧管的变形、漏气和断裂原因之一。

对球墨铸铁和硅钼球墨铸铁的珠光体含量有一定的要求，过高的珠光体在高温下分解会产生相变应力^[3]。

对蠕墨铸铁和硅钼蠕墨铸铁的蠕化率要求在30%~50%之间较好^[4]。

对高镍奥氏体球墨铸铁的碳化物形态为珠粒状，

条块状碳化物要经过热处理，高温退火时达到规定的温度快速出炉，一部分碳化物来不及析出而达到固溶强化的效果，析出的碳化物呈弥散分布。需要指出高镍奥氏体的线膨胀系数较大，高温变形是主要矛盾^[5]。

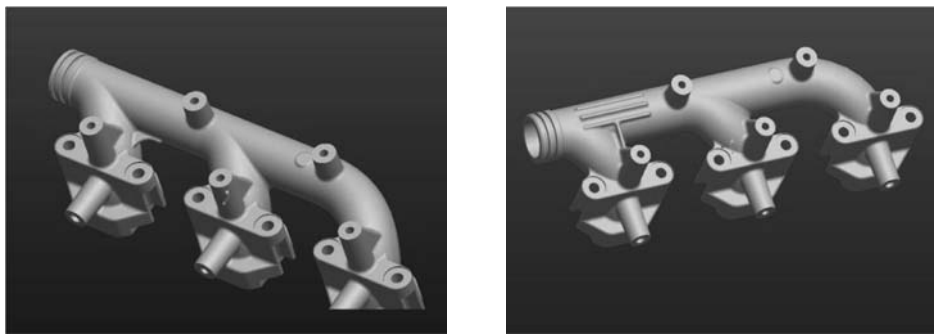
耐热钢在浇注凝固后要快速扒箱，防止凝固时的应力造成裂纹，快速扒箱也会产生固溶强化效果，或使碳化物成珠粒状析出，提高了力学性能。

从图12、13可以看出，不同材料随着温度的升高，力学性能下降。在排气歧管铸件件（GB/T

26653 - 2011) [6]中对各种材料的耐高温范围都作了明确的规定。材料在做高温性能试验时必须达到这一要求,以减少排气歧管的变形、漏气和断裂的风险。图14是耐热钢在不同温度下的抗拉强度。在耐热钢排气歧管铸件(JB/T13044 - 2017) [7]中对耐热钢的耐高温范围也作了明确的规定。在1 050 °C的温度下耐热钢的抗拉强度略大于50 MPa。因此任何把排气歧管作为承载件的设计都有可能导致排气歧管的变形、漏气和断裂的风险。任何超出材料允许温度下使用,都会导致

排气歧管的变形、漏气和断裂。

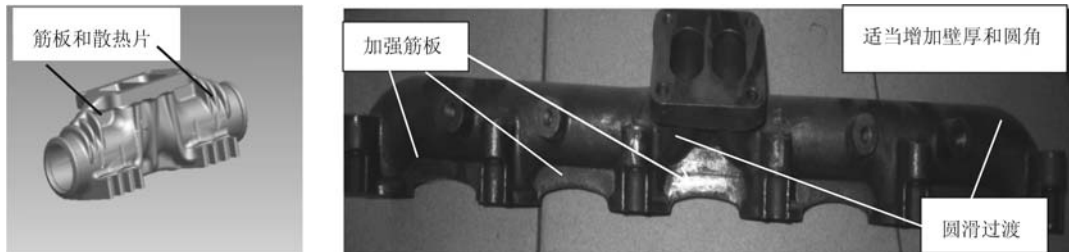
图14是耐热钢在做950 °C高温疲劳性能试验时,经过反复的冷热交变试验,试块断裂[8]。经检查,铸件晶间有杂质缺陷,在高温试验时形成了微裂纹,热疲劳裂纹的不断萌生最终导致断裂。因此铁液、钢液在熔炼过程的冶金质量和后续的浇注工艺尤为重要。图15是对晶界上的黑色物质进行能谱分析得到的结果,是排气歧管的微裂纹源[9]。在排气歧管铸件件(GB/T26653 - 2011)选用温度的规定中缺少800 °C左右的材



(a) 更改前排气歧管 (b) 更改后排气歧管

图10 加强筋加入到失效位置前后的排气歧管

Fig. 10 Exhaust manifolds before and after the strengthening ribs being added at the failure position



(a) (b)

图11 加筋和筋板, 圆滑过渡

Fig. 11 Reinforcing ribs (a) and reinforcing plates, smooth transition (b)

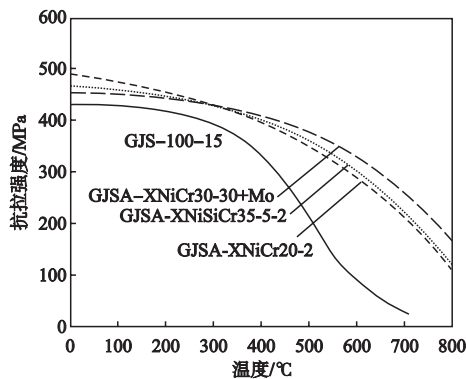


图12 材料在不同温度下的力学性能

Fig. 12 Mechanical properties of materials at different temperatures

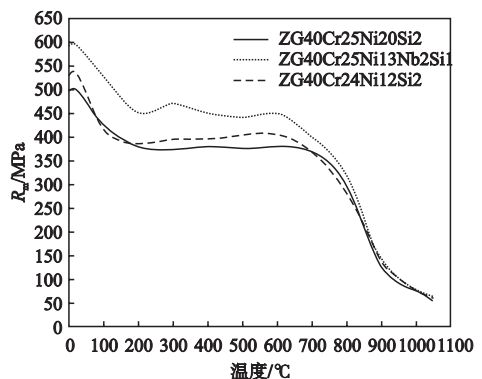


图13 耐热钢在不同温度下的抗拉强度

Fig. 13 Tensile strength of heat resistant steels at different temperatures

料,李传斌教授在“排气歧管材质更新换代的概况”一文中讲到了耐800℃左右的材料,见表1。加钒的硅钼球墨铸铁应该引起大家的关注。柴油机改为汽油机后,排气温度升高到800℃左右,再选用硅钼球墨铸铁,也有可能满足不了工况要求。

2.2 模具设计与制造

模具设计是一个复杂的工艺过程,既要考虑到产品三维图形的转化,确定收缩量、分型面、浇注系统的设计、冒口的摆放位置,又要考虑浇冒口对铸件局

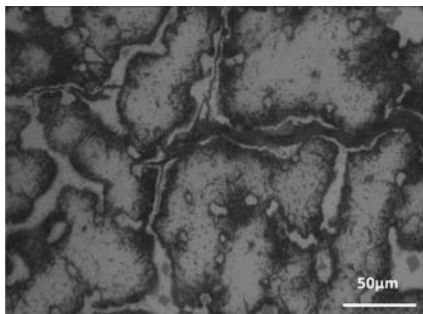


图14 950℃高温疲劳试验热疲劳裂纹的萌生
Fig. 14 Thermal fatigue crack initiation after fatigue testing at elevated temperature of 950 °C

另外模具浇注系统的避渣效果对铸件的质量有重要的影响。宏观上进浆(熔渣以液态形式进入型腔,俗称进浆)、夹渣目视能检查出来,但是紊流造成的晶界夹渣缺陷就是排气歧管在高温下的热裂源。优质的铁液,合理的预处理工艺,良好的模具都能够减少排气歧管铸件的微观组织缺陷。特别是微小的气孔和显微缩松。

模具的制造主要体现在模具的寿命,模具型腔、型芯表面的粗糙度,模具的脱模好坏。一个模具的寿命影响到排气歧管内外观尺寸的稳定性,也同样影响到产品的使用效果。模具形成的型腔、型芯表面的粗糙度直接影响到产品的内外观质量。特别是内腔粗糙度过高,会增大气体流动的阻力,会使排气歧管局部温度升高,具有开裂的风险。

2.3 排气歧管的清理

排气歧管的清理对产品质量的影响不易引起人们的重视。清理的好,铸件内、外表面就光洁美观,给人以赏心悦目的感觉,但是其中也存在不容忽视的地方:①修磨的质量:修磨好的排气歧管分型面光洁整齐,修磨不好的排气歧管局部有锯齿状的磨痕,这些

部位置基体组织的影响。如果浇冒口位置在排气歧管的热作用区,热作用区的铁液温度高,凝固时间长,球化率就低,晶粒粗大。当多股内浇道的流头铁液汇交在热作用区附近时,流头铁液温度低,易于氧化;并有可能伴随有浇道带入的杂质。综合上述因素,热作用区的材质理化性能就差。在台架试验和跑车过程中这个部位的耐疲劳性能下降,易于开裂,应引起设计者的高度关注,如图16所示。鉴于上述情况,在热作用区尽可能的不放冒口,流头铁液尽可能不在热作用区汇交。

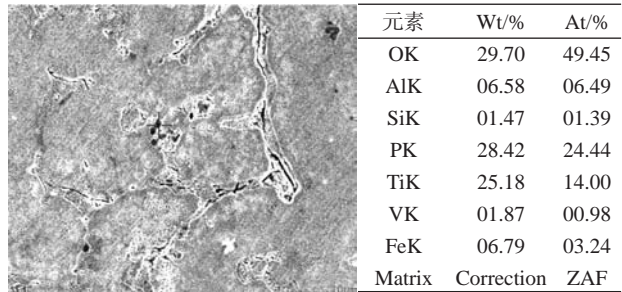


图15 晶界上黑色物质化学成分
Fig. 15 Chemical composition of black particles at the grain boundary

表1 不同材质排气歧管的寿命比较
Table 1 Comparison of service life of exhaust manifolds made of different materials

发动机的 排气温度/℃	不同材质排气歧管的寿命指数		
	硅钼球墨铸铁	奥氏体球墨铸铁	加钒的硅钼球墨铸铁
200 ~ 890	1	1.35	1.7
472 ~ 891	1	2	2.7

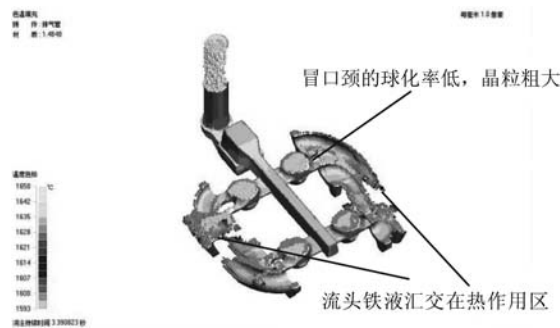


图16 流头铁液汇交在热作用区附近
Fig. 16 Head of iron liquid concurrent near the heat effect zone

锯齿状的磨痕恰恰是高温下的热裂源；②搬运：排气歧管在搬运过程中，虽然在工艺文件中规定轻搬轻放，但在实际生产过程中总有磕碰现象，磕碰影响外观，更重要的是有些排气歧管含硅量较高，属脆性铸件，轻微的磕碰就有可能产生微观裂纹，一旦装机后果可想而知。

3 结束语

排气歧管在使用过程中的失效原因有许多种，本文只列举了一些常见的案例，要生产出合格的排气歧管需要从多方面把关，如产品结构设计、材质选定、铸造工艺、试验参数的选定等。供需双方如果能够联合开发，优势互补，就会少走许多弯路，合作共赢。

参考文献：

- [1] 田书涛, 曾斌, 赵新武. 依据温度场分布合理改变排气歧管结构 [J]. 铸造, 2013 (9): 915-917.
- [2] 袁小娟, 黄海武. 6缸排气歧管断裂与结构分析 [J]. 铸造技术, 2011 (12): 1661-1664.
- [3] 程武超, 赵新武, 党波涛. 球化合金和孕育方法对GhMoRct (QTRS14Mo1) 球墨铸铁组织及性能的影响 [J]. 铸造, 2010 (2): 149-156.
- [4] 赵新武, 杨枚. 论含50%~30%蠕虫状石墨的铸铁 [J]. 现代铸铁, 2012 (1): 19-24.
- [5] 赵新武, 张居卿. 高Ni奥氏体球墨铸铁的生产 [J]. 现代铸铁 (增刊——汽车铸造业), 2011 (2): 28-35.
- [6] 赵新武, 程武超, 靖永茂, 等. GB/T46653-2012 排气歧管铸铁件 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [7] 赵新武, 乔永涛, 袁小娟, 等. JB/T13044-2017 耐热钢排气歧管铸件 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [8] 惠瑞拓, 徐锦锋. Cr26Ni14Nb2耐热不锈钢热疲劳性能研究 [C] //沈阳: 中国铸造活动周, 2013.
- [9] 张永福, 贾晓伟, 柴西成. 奥氏体耐热钢排气歧管开裂分析 [C] //沈阳: 中国铸造活动周, 2016.

Failure Analysis of Exhaust Manifolds from Different Materials

ZHAO Xin-wu

(Xixia Intake & Exhaust Manifold Co., Ltd., Xixia 474500, Henan, China)

Abstract:

During the service of exhaust manifolds, the major failure forms are deformation and failure. The first is deformation, and the second is failure under the extreme state. Through the analysis of failure causes of exhaust manifolds from the different materials, it is concluded that the failure is mainly caused by the following reasons: local unreasonable structure of products, improper smelting and casting process design, etc.

Key words:

exhaust manifold; deformation; leakage and crack; product design; casting; using state