

某发动机缸盖裂纹原因分析

潘 庆

海南海马汽车有限公司 海南 海口 570216

摘 要：通过阐述某发动机缸盖裂纹原因调查过程及原因分析，来说明热加工故障件一般调查步骤及方法。某发动机缸盖裂纹发生在售后市场、故障车行驶里程2415km。通过对裂纹缸盖进行常规检测（宏观断口分析、壁厚、硬度、化学成分、机械性能、金相组织）及缸盖铸件制造过程调查，结果表明：某发动机缸盖裂纹的主要原因是缸盖局部壁厚不均匀，因结构问题冷却不好，造成铸件产生铸造疏松、缩孔缺陷所致。

关键词：缸盖裂纹；铸造疏松；缩孔；铸造铝合金

引言：缸盖是发动机的重要零部件之一，对发动机的性能起到关键的作用。在整车轻量化下，设计上对缸盖提出了较高的要求。缸盖在高温下工作，还要承受热冲击负荷，缸盖产品结构设有水道、进气道、排气道纵横交错。缸盖与缸体之间用高强度螺栓进行连接，需要增强缸盖的刚性和强度，加厚了缸盖与缸体连接部位的壁厚，因此缸盖结构复杂，这些特点带给缸盖铸件铸造较大困难，在铸件生产过程容易产生气孔、冷隔、缩孔、疏松、裂纹、断芯等铸造缺陷。

因此管控缸盖铸造内部质量对保证发动机性能、整车质量是较为关键的工作。

1 铸造铝合金缸盖铸造工艺分析

汽车铝合金缸盖的铸造工艺一般使用压力铸造、低压铸造、重力铸造三种工艺。其中压力铸造适用于没有使用砂芯形成不规则内腔的缸盖产品。有不规则内腔使用砂芯成形的缸盖产品，一般使用低压铸造、重力铸造工艺。

低压铸造的基本原理为（见图1）在一密封容器（坩埚）中通入干燥的压缩空气，使铝液在气体压力的作用下沿升液管上升，通过铸型浇口平稳地进入铸件型腔，保持铝液面上的气体压力一直到铸件完全凝固，然后解除液面上的压力，剩余的铝液回到坩埚中，已凝固的铝液便在铸型内形成所需铸件。^[1]

1.1 此裂纹缸盖使用的是低压铸造工艺，其主要工艺特点有：

（1）填充平稳。铝液从下往上通过吸液管进入到模具型腔，金属液纯净、夹杂少、排气通畅，成品率相对其他铸造工艺高。

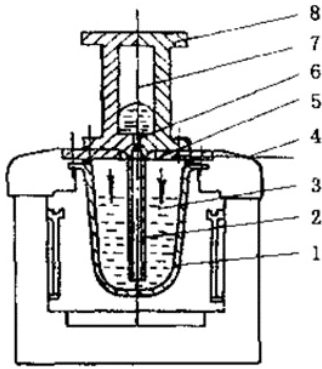
（2）铸件成型性好。充型压力及速度可以调整，压力和速度比压力铸造工艺低，利于排出气体，有利提高充填能力，获得轮廓清晰及组织致密产品。

（3）浇冒口系统简化。相对其他铸造工艺简单、重

量轻、改善后工序作业劳动强度和环境。^[2]

（4）铸件的凝固顺序。自上往下、由外到内的阶梯式顺序凝固。最后凝固部位在浇冒口处，通过铝液升液管传递补缩压力，减少疏松、缩孔等铸造缺陷，达到形成组织致密的产品。

（5）低压铸造主要的浇注工艺参数。浇注温度、模具温度、升液压力及速度、充型压力及速度、增压速度、保压时间、冷却时间、冷却速度等。



1—坩埚；2—升液管；3—铝液；4—进气管；5—密封盖；6—浇口；7—型腔；8—铸型

图1 低压铸造工艺基本原理图

1.2 低压铸造铝合金缸盖的工艺流程

铝材接收→熔解→覆膜砂接收→砂芯造型→模具整備→铸造→落砂→切断→去毛刺→热处理→清砂→粗加工→气密性检测→浸渗→总检、包装、入库。

2 低压铸造铝合金缸盖常见的铸造缺陷及其产生机理

（1）气孔。气孔是缸盖铸件最常见的铸造缺陷之一。缸盖铸件产生气孔的原因，可以从缸盖本身结构及铸造工艺两个方面进行分析。由于缸盖结构复杂，空腔

部位主要靠砂芯成形,有水道砂芯、气道砂芯、油池砂芯,其成形都需和铝液接触,都要产生大量气体。工艺上,缸盖模具的浇注系统、排气系统设计是否合理、砂芯发气量、铝液含气量、铝液的浇注温度都会影响到缸盖铸件气孔。

(2) 疏松、缩孔。由于缸盖结构复杂,存在壁厚不均匀有突变部位,热节很多,内腔由多个砂芯形成,存在局部过热时间较长,补缩不良,容易在热节部位(壁厚较厚处)产生疏松、缩孔。

(3) 裂纹。在发动机使用过程中,要承受交变冲击负荷,缸盖容易产生炸裂和变形,产生裂纹的位置在燃烧室气门处及强度较低部位。缸盖由于结构复杂,壁厚差较大部位在铸造过程易产生铸造内应力,在发动机工作过程中,缸盖进气道和排气道温度相差较大,缸盖产生一定的热应力,容易产生裂纹。

缸盖本身材质问题,铸件质量分数控制不合理,使铸件凝固时间过长,晶粒粗大,造成铸件硬度低,强度低导致裂纹产生。

3 课题来由及分析调查

某4S店反馈搭载在该车型的发动机无法启动,

防冻液全部泄漏至发动机润滑系统内、散热系统内也混合有大量机油。并经拆卸发动机总成解体检查发现为发动机缸盖油池腔裂纹导致泄漏防冻液、油水混合。此故障造成客户严重抱怨,需要更换发动机总成,为此要快速对缸盖裂纹的原因进行调查分析及对策。

3.1 市场裂纹缸盖常规检测及结果

(1) 宏观断口分析。裂纹缸盖的宏观形貌如图2所示,图2中红色线条为用着色探伤出来的裂纹位置,此处为缸盖排气测油池的第二缸燃烧室与第三缸燃烧室之间,裂纹已贯穿水套腔与油池腔。肉眼观察裂纹断口表面没有发现断口有明显的铸造缺陷。

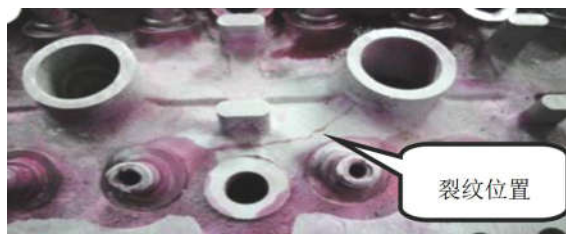


图2 裂纹位置

(2) 裂纹处壁厚检测。对裂纹部位水套与油池之间的壁厚进行检查,结果符合图纸要求,壁厚最小处达到图纸 $\geq 8\text{mm}$ 的壁厚要求。

(3) 裂纹件硬度检测。裂纹缸盖硬度符合图纸标准 $\geq 90\text{HB}$ 要求。

(4) 化学成分检验。化学成分符合图纸材料:AC2B的要求。

(5) 机械性能检测。机械性能符合图纸要求。

(6) 金相组织检验。断口附近有较多的铸造孔洞如图3所示。金相分析得到的显微组织: $\alpha\text{-Al}+\text{共晶硅}+\text{显微孔洞}$ 。

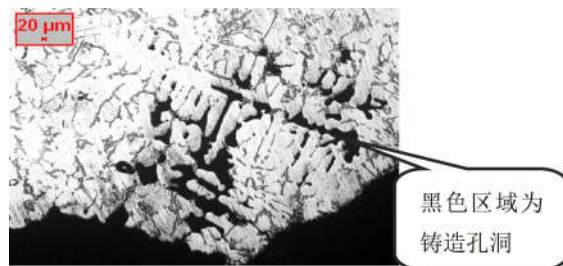


图3 金相组织

通过对裂纹缸盖常规检测的结果分析,缸盖裂纹是在铸件铸造过程产生的,为此对缸盖铸件供应商进行专题工程监察,以确认缸盖裂纹的真正原因。

3.2 缸盖铸件铸造过程调查

缸盖铸件是采用低压铸造工艺方式生产,主要关键工序有熔解工序、铸造工序、热处理工序。本次专题工程监察重点针对可能产生缸盖裂纹工序进行调查验证并抽检缸盖验证,主要涉及到的工序有铸造工序、落砂工序、热处理工序、压检工序。

(1) 铸造工序验证。铸造工序抽检未发现裂纹,铸造工序存在模具温度管理欠缺、模具排气不良两个问题需要改善。

(2) 落砂工序验证。落砂工序抽检探伤发现两件排气侧二、三缸处疑似表面裂纹,将两件疑似裂纹件进行冷热冲击试验后进行着色探伤,裂纹没有穿透,深度最大为 0.39mm 。确认这两件为疑似裂纹件,表面存在铸造缺陷,不是裂纹缺陷。

落砂机的结构不是最佳结构,工件与工作台之间是刚性连接,锤击工件时没有缓冲。对比其它配套缸盖的供应商也是使用刚性连接结构的落砂机,未出现过问题,排除在落砂工序产生缸盖裂纹的可能性。

(3) 热处理工序验证。热处理工序的过程控制均是设备自动监控,热处理炉的均温区也进行了测量及控制,热处理后的产品机械性能符合要求,故可排除裂纹在热处理工序产生。

(4) 压检工序验证。压检工序是对缸盖铸件进行水试测漏的一道检查工序,本次总共压检了370件缸盖,泄漏16件。其中发现两件与市场缸盖裂纹件在相同部位发生泄漏。

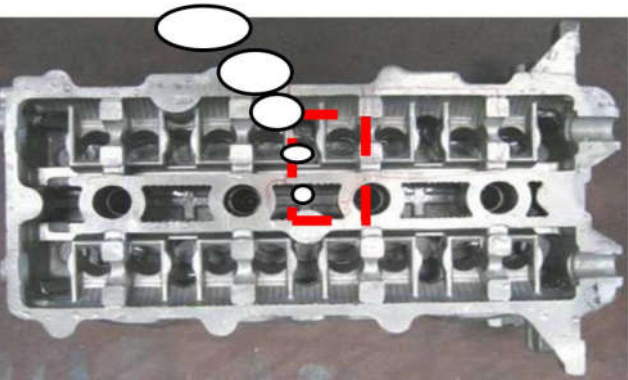


图4 水试泄漏

泄漏件解剖发现在泄漏部位有铸造孔洞贯穿整个壁厚。

4 缸盖裂纹原因分析

对缸盖铸造过程的调查验证结果分析，在压检工序发现的裂纹件与市场缸盖裂纹件的位置、存在相同的铸造缺陷，更进一步确认了市场缸盖裂纹产生原因是在铸件铸造过程铸造工序产生的，裂纹产生的原因是缸盖此部位存在疏松缩孔缺陷。

此部位产生铸造疏松缩孔缺陷的原因主要是（1）此处螺栓座地方壁厚不均匀如图5所示；

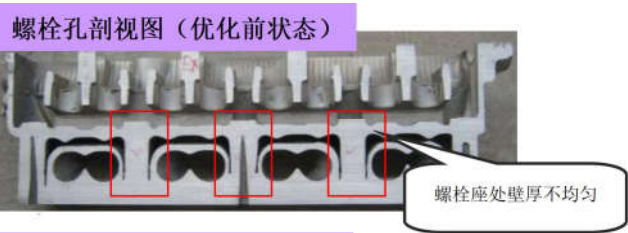


图5

（2）此处壁上下面均是砂芯不易冷却，冷却效果差。

5 缸盖裂纹对策

为解决铸造疏松缩孔缺陷，对缸盖铸件此处结构进

行优化，减少螺栓座地方壁厚差，增加冷却销

改善此处铝液冷却效果，如图6所示红色方框所指示部位为结构优化处。

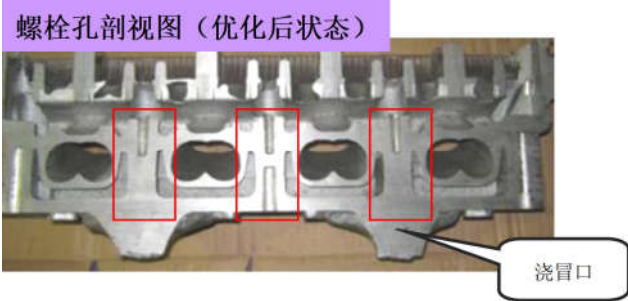


图6

6 缸盖裂纹对策效果验证

缸盖铸件结构优化后，再次进行铸件生产，在对铸造工序、落砂工序（落砂机为刚性连接结构）、铸件成品加大裂纹探伤抽检比例（铸造工序、落砂工序各抽检50件；铸件成品抽检25件）均没有发现裂纹。此次总共压检测漏455件制缸盖铸件，没有发现泄漏问题，结构优化后缸盖铸件的泄漏情况得到彻底的改善（上次泄漏率4.32%）。

整改后的缸盖通过了发动机台架耐久及整车耐久道路试验验证，确认整改是有效的。

结束语

发动机缸盖铸件壁厚的均匀性、及合理的铸件结构可以减少或避免缸盖铸件在铸造过程中产生严重的铸造缺陷。对提升发动机的性能及质量起到关键作用。

参考文献

[1]中国机械工程学会铸造分会.铸造手册:第6卷特种铸造[M].2版.北京:机械工业出版社,2003:232-236,613-649.
[2]赖华清,范宏训.汽车铝缸盖铸造工艺方法[J].中国铸造装备与技术,2003,(5):29-31.