

# 发动机缸盖铸造技术中若干问题的探讨

洪恒发

(东风汽车股份有限公司铸造分公司铸造研究室, 湖北襄阳 441004)

**摘要:** 随着发动机技术的不断发展, 使发动机灰铸铁缸盖成为强度高、壁薄、尺寸精度要求高、内外表面质量要求高、结构复杂的铸件。国内汽车发动机缸盖铸造工艺主要有平浇和立浇两种, 在生产中均取得了成功的经验。立浇工艺一般为整体组芯, 平浇工艺则有散组芯和整体组芯。根据当今国内外铸造行业技术现状及应用成果, 结合本公司康明斯缸盖立浇工艺的生产经验, 分析灰铸铁柴油发动机缸盖生产过程中常见铸造缺陷的产生原因, 提出了解决这些缺陷的措施。重点阐述解决发动机缸盖气孔、夹杂物孔洞、砂眼、渣眼、渗漏等铸造缺陷的关键措施。

**关键词:** 铸造缺陷; 气孔; 砂眼; 渣眼; 渗漏; 关键措施

中图分类号: TG251 文献标识码: B 文章编号: 1001-4977 (2012) 01-0061-08

## Discussion on Several Crucial Issues About Cylinder Head Foundry Technology

HONG Heng-fa

(Foundry Branch, Dongfeng Automobile Co., Ltd., Xiangyang 441004, Hubei, China)

**Abstract:** With the development of engine technology, cylinder head becomes a casting with high intensity, thin wall, high precision of dimension, high quality of external and internal surface, and complex structure. The domestic casting processes of cylinder head mainly include horizontal-pouring and vertical-pouring, and both of which have gotten successful experience in production. Vertical-pouring process is mostly based on the group cores, while horizontal-pouring process normally includes both separate cores and group cores. According to domestic and overseas actuality and achievement of foundry technology, and combined with the production experience of vertically-pouring for Cummins cylinder head, the common casting defects of diesel cylinder head of gray iron were analyzed, and the measures of removing these casting defects were pointed out, especially the key measures for gas hole, sand hole and slag inclusion.

**Key words:** casting defect; gas hole; sand hole; slag inclusion; leakage; key measure

随着发动机缸盖从双气门向四气门的发展, 功率要求越来越大, 压缩比也越来越高, 而体积越来越小, 质量越来越轻, 零件的壁厚越来越薄, 单位质量的功率则越来越大。又由于现代汽车工业是大批量生产的产业, 因此发动机铸件必须具有良好的铸造工艺性和机械加工性, 因而对缸盖铸件的铸造生产工艺技术, 提出了综合的、多方面的、严格的要求。铸造工作者通过不断的理论研究和生产总结, 进一步提高了对复杂零件铸造缺陷形成机理上的认识, 一些关键措施的应用为铸造企业废品攻关拓宽了思路。

### 1 康明斯缸盖铸件及工艺简介

生产的康明斯缸盖满足美国康明斯公司全球同步开发的欧四排放标准, 产品内腔结构复杂, 壁厚不均匀, 最薄处仅为3 mm, 厚大部位达35 mm, 平均壁厚为5 mm, 铸件要求尺寸公差 $\pm 0.5$  mm, 铸件外观结构

复杂, 进气包要求与缸盖主体整体铸造形成, 铸件关键部位不允许焊补, 铸件不允许进行渗补。采用GF多触头高压微震造型线, 砂箱尺寸为1 220 mm $\times$ 950 mm $\times$ 400 mm(上箱)/350 mm(下箱)。2005年, 笔者公司在国内领先进行了探索缸盖生产的立浇工艺(图1), 经过不断的技术攻关和生产总结, 铸件质量得到了稳定的控制, 铸件品质得到了客户的认可。

本文针对发动机缸盖常见铸造缺陷中的气孔、夹杂物孔洞、渗漏等缺陷的形成机理进行系统的分析, 结合实践经验, 总结常见缺陷的对策并提出解决的关键措施。

### 2 气孔缺陷的产生及防止

发动机缸盖铸件大部分形状由数量众多的砂芯所形成, 铸件内腔结构复杂, 砂芯尤其是覆膜砂芯发气量大且集中; 其中立浇工艺使铁液上升路程长, 有效静压头损失较大, 铸件顶部温度低, 铁液粘度大, 铸

收稿日期: 2011-09-07。

作者简介: 洪恒发 (1975-), 男, 工程师, 主要从事铸造工艺与材料的研究工作。E-mail: [enqu\\_dongfeng@163.com](mailto:enqu_dongfeng@163.com)

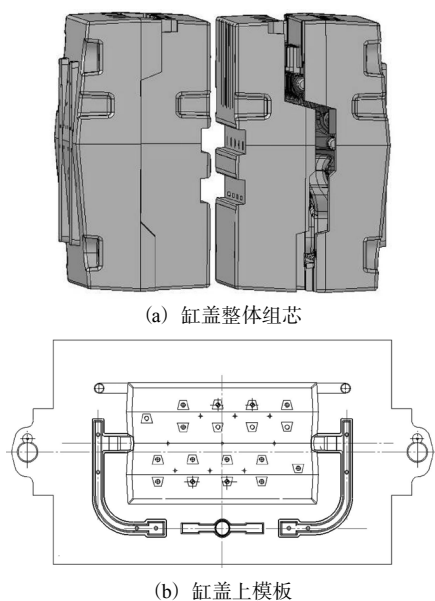


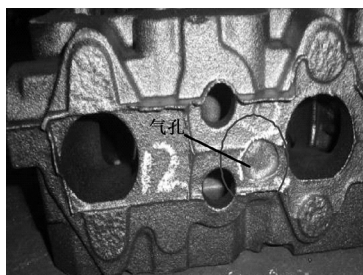
图1 缸盖组芯及模板图

Fig. 1 Group cores of the cylinder head casting and pattern plate

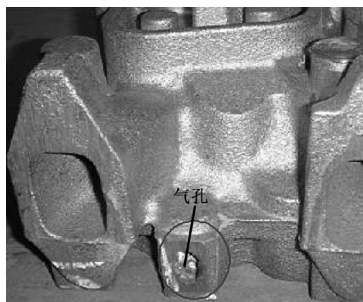
件顶部很容易产生侵入性气孔(图2)。

## 2.1 气孔的形成

在现代生产条件下,反应性气孔与析出性气孔较为少见,较为多见的是侵入性气孔。铁液进入铸型后,铸型、砂芯、涂料、粘结剂等金属液热作用下气化、分解或燃烧生成大量气体,气体的体积随着温度的升高而增大,造成气体的压力不断增大。当界面上某点的气体压力 $P_{气}$ 大于该点金属液表面包括表面张力在内的反压力 $\Sigma P(\Sigma P=P_{静}+P_{阻}+P_{张})$ 时<sup>[1]</sup>,气体就能进入铁液形成气孔。即当 $P_{气} \geq \Sigma P$ 时,就容易形成气孔缺陷。产生侵入性气孔的原因如下。



(a)



(b)

图2 缸盖顶面气孔

Fig. 2 Gas hole on top surface of cylinder head

(1) 原材料发气量大,砂芯尤其是覆膜砂发气量大,或者混砂不均匀造成砂芯局部发气量大,增大 $P_{气}$ 。

(2) 型、芯排气通道受阻,或排气通道密封不严,涂料钻入排气通道,堵塞气体的排出,增大 $P_{气}$ 。

(3) 砂芯烘干不良,水分与铁液反应加剧气孔的产生,以及水分受热蒸发增大 $P_{气}$ ,一方面促进气体侵入型腔,另一方面阻碍气体从型腔中排出。

(4) 浇注温度过低或浇注速度过慢,铸件顶部温度过低、铁液粘度变大,不利于侵入型腔的气体排出。

(5) 浇注系统铁液静压力过小,不利于已经侵入铸件内部气泡的溢出。

## 2.2 防止气孔产生的常见措施

(1) 降低砂芯发气量,因砂芯大部分被铁液包裹,所以砂芯产生气体的多少以及气体能否顺畅排出,就决定了铸件产生气孔概率的大小。在保证砂芯强度的前提下控制树脂加入量,要求冷芯中两种组分总量控制在1.6%~1.8%。

(2)  $P_{气} \geq \Sigma P$ 时,就容易形成侵入性气孔缺陷,防止侵入性气孔的关键措施是尽量降低 $P_{气}$ 。设计砂芯(尤其是水套砂芯)的排气通道(图3a),并确保排气通道畅通;采用粘芯胶、封火泥或封火垫片等材料保护排气通道;防止铁液钻进排气通道,堵塞气体的排出并加大砂芯发气(图3b,图3c);芯头直径较小的封火部位使用专用挤胶嘴挤粘芯胶封火(图3d,图3e);在上模样芯头对应位置安装通气针,使其与大气相通;非自动浇注机浇注时,铸型上箱面排气孔周围有必要采取封火措施防止铁液倒灌(图3f)。

(3) 严格控制砂芯浸涂工艺,防止浸涂时涂料钻入砂芯排气通道(可采用烘干温度下易挥发的材料将排气通道堵住),涂料钻入砂芯排气通道后,降低砂芯的烘干效果,同时涂料具有良好的气密性,使本应排除气体的排气通道受阻,增大砂芯内部的 $P_{气}$ ,促使侵入性气孔的产生。制定合理的烘干工艺,防止砂芯受潮,或上线生产前在砂芯输送链上进行二次烘干。砂芯中水分过高,在高温铁液的热作用下气化,剧烈增大界面上局部的压力 $P_{气}$ ,促使侵入性气孔的产生。浇注时铁液中的Fe与砂芯中 $H_2O$ 反应产生 $H_2\uparrow(Fe+H_2O=FeO+H_2\uparrow)$ ,促使形成反应性气孔,并加大铁液氧化倾向。

(4) 适当提高浇注温度并控制合理的浇注速度可以有效降低气孔发生的概率,常规灰铸铁缸盖初浇温度为 $(1400 \pm 10)^\circ C$ <sup>[2]</sup>。但提高浇注温度会带来能耗的提高及其他一些负面的影响,如粘砂、缩松、渗漏、断芯等,根据康明斯缸盖产品结构特点及质量要求,初浇温度控制在 $1400 \sim 1420^\circ C$ ,末浇温度不低 $1380^\circ C$ 。为避免提高浇注温度带来的负面影响,通过提高浇注速度,减少浇注过程中温度的降低也非常关键。笔者公司四气门缸盖一型铁液重170 kg,浇注时间从27 s降

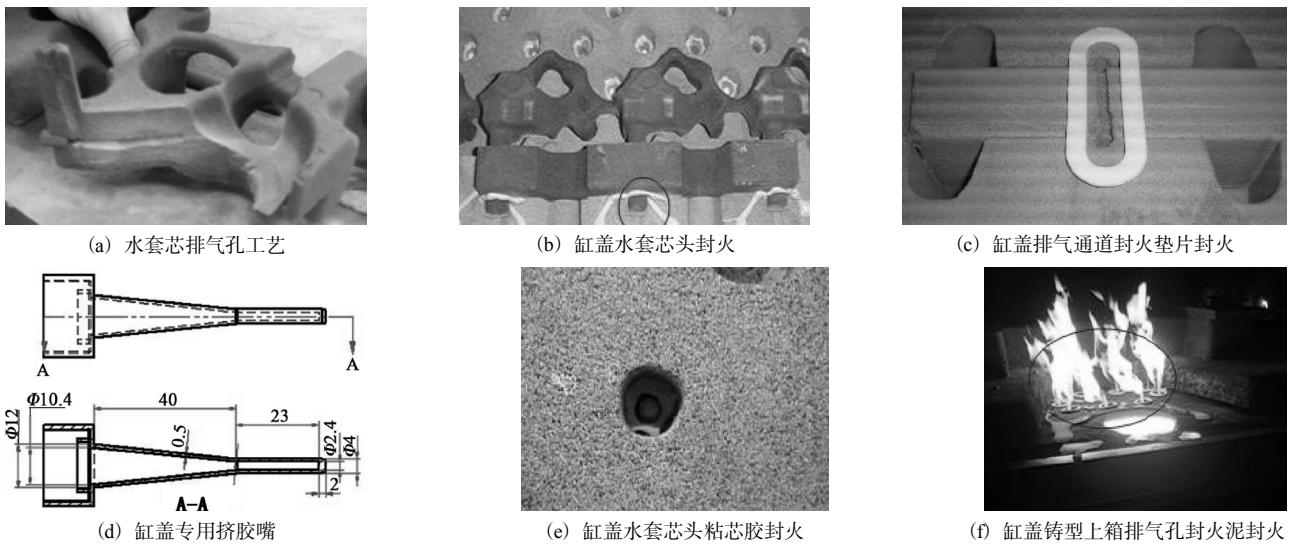


图3 缸盖水套芯的排气孔及芯头封火

Fig. 3 Air vent of water jacket core and core print bank the fire of cylinder head

低到20 s，在其他工艺不变的情况下，气孔废品率由7.4%降低至0.5%以内。对于薄壁灰铸铁缸盖铸件，浇注速度为8~10 kg/s为宜<sup>[3]</sup>。

(5) 要尽量保持足够高的铁液压力 $P_{静}$ 。一方面型腔内部以及铁液内部的气体排出的动力均来自铁液的压力 $P_{静}$ ；另一方面，随着 $P_{静}$ 增大的同时也能遏制抵消一部分 $P_{气}$ ，阻止气体的侵入。为此铁液的动压头和静压头都不能过小。浇注时，笔者公司四气门缸盖铸件最高点（节温器）与上箱面高度差190 mm，加上浇注时浇口杯经常出现未浇满的情况，致使铸件顶部有效静压头较小，即 $P_{静}$ 小，气孔废品率为1.2%左右。后通过降低上型板分型面（曲面分型）高度30 mm（图4），该处气孔废品率降至0.3%以下（该数据包含排气工艺改善等综合影响因素）。

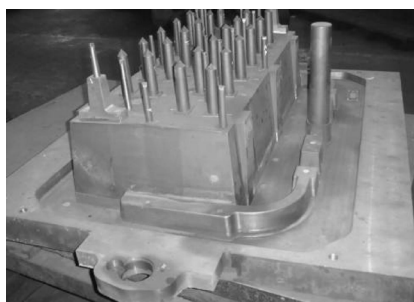


图4 提高铁液压力的曲面分型

Fig. 4 The camber parting for improving the molten iron press

### 2.3 防止气孔产生的关键措施

影响气孔形成的因素错综复杂，冶金、原材料等因素的波动以及铸造工艺方面的不合理因素使实际生产中上述措施往往不能彻底解决铸件气孔问题。因此在充分分析后，应有针对性地采取一些关键措施。

(1) 接触热节引起的气缩孔。该缺陷在很多铸造企业常被判为气孔的一种形式，往往采用排气的方法

解决，结果多半失败<sup>[4]</sup>。排气溢流冒口在浇注期间及凝固初期具有一定的排气作用，如果设计在铸件壁厚较大的凸台上，直径过大将造成接触热节的产生。浇注后上部冷却快凝固较早，致使根部热节凝固收缩得不到补缩，容易产生缩孔而形成负压，促使邻近造型材料发气，气体进入缩孔内形成气缩孔。笔者公司双气门缸盖铸件顶部法兰凸台厚度为38 mm，原工艺在凸台处设计根部厚度为35 mm的排气溢流冒口，铸件该凸台处时常出现疑似气孔的缺陷（图2b），分析其原因可能是较大尺寸的排气溢流冒口根部加大了凸台处的接触热节所引起的气缩孔。后将排气溢流冒口根部形状修改为直径20 mm的缩颈，避免接触热节的产生，该处气缩孔得以消除，同时减少了冒口根部带肉的缺陷。

(2) 吹氩气精炼。现代铸造条件下气孔类型主要为侵入性气孔，但受冶金质量的影响，析出性气孔对铸件造成的影响亦不容忽视。原材料（生铁、废钢、增碳剂等）中含有超标的氮在铸件凝固过程中随温度下降而溶解度下降，促使氮气泡的析出，铸件致密性下降引起试压时渗漏而报废。北京工业大学子澍提出向铁液中吹氩气等惰性气体，使 $N_2$ 气泡在浇注前逸出的铁液精炼方法<sup>[5]</sup>，一些铸造厂采用该措施，对提高铸件致密性预防渗漏有非常明显的效果，另一种降低原铁液中溶解气体的措施是加入SiZr孕育剂，可以有效中和铁液中溶解的氮和氢，减少氮气孔、降低白口倾向<sup>[6]</sup>。

(3) 采用屏蔽性好的涂料。涂料的作用众所周知，但其对气孔的影响却往往被忽略。行业内采用铁红粉加耐火材料配制的涂料使用越来越普及，该工艺的关键点是利用铁红粉和铁液之间的相互作用，在砂芯表面形成一层致密的玻璃体膜，提高该处的 $P_{阻}$ ，阻碍气体的侵入。使用屏蔽性涂料的前提条件是砂芯具备良好的排气通道。对于砂芯未开设或无法开设排气通道，



则必须使用透气性好的涂料,即降低 $P_{阻}$ ,以便于已侵入气体能透过涂料层从砂粒间隙中排出,显然降低 $P_{阻}$ ,同时也使砂芯气体更加容易侵入型腔,一般适用于砂芯发气量小的情况,故不予推荐。

(4) 出气片及出气棒的应用。出气片及出气棒属于冷筋冒口,在铸件顶部或死角处安设出气片或出气棒,一方面能起到溢流排气的作用,另一方面也能起到冷筋冒口的散热作用,加快该处的冷却速度<sup>[7]</sup>,即增大 $P_{阻}$ ,平衡壁厚处的温度差。笔者公司双气门缸盖排气道管口部位为铸件顶部及死角处,该处未设置出气片或出气棒时,经常出现 $\Phi 2\text{ mm} \sim \Phi 3\text{ mm}$ 深10 mm左右的气孔(图5)。分析其原因可能是铸件死角处无出气片或出气棒,充型过程中铸件死角处残留气体未能通过覆盖涂料层的砂芯表面进入砂芯排气通道而排出型腔。设置出气片或出气棒能释放铸件死角处的气体和增大排气面积,出气片及出气棒最好能与大气相通,至少能与透气性好的型砂相通,以提高其排气能力。后在该缸盖管口处设置出气片并与型砂相通,该处气孔基本得到消除(图5右侧示意)。

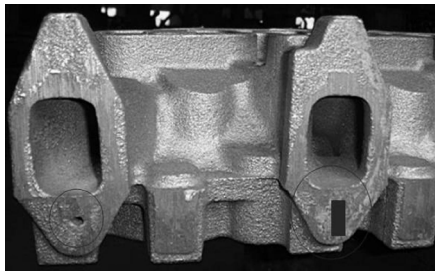


图5 缸盖管口气孔及出气片的设计

Fig. 5 Air vent of cylinder head nose and exhaust chip

### 3 夹杂物孔洞的产生及防止

型砂、芯砂、涂料夹杂物、砂芯修补膏、耐火材料、未熔化的孕育剂和增碳剂、金属及非金属夹杂物等均会在铸件上形成夹杂物孔洞。砂眼、渣眼是缸盖铸件最常见的孔洞类缺陷,铸件经过抛丸尤其是退火处理后,通过肉眼很难进行准确辨别,且往往在显微镜下能发现砂、渣共存的现象(图6)。

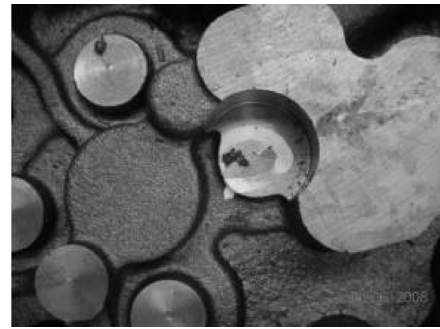
#### 3.1 夹杂物孔洞的形成

在显微镜下,砂眼缺陷形态为排列紧密集中的石英砂颗粒群,而渣眼缺陷形态为熔融状的玻璃体,形态均不规则,且时常互相伴随。

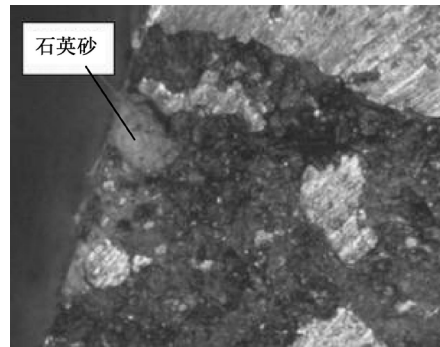
砂眼是物理作用的结果,与铁液之间不存在化学反应。主要来自以下几个方面的原因。

(1) 浇注系统设计不合理,铁液冲击力过大,或温度分布不均匀致使砂芯局部过度烘烤,型芯表面韧性降低,脆性提高。

(2) 散落型(芯)腔中的砂粒未吹出型外,即型(芯)腔不洁净。



(a) 缸盖孔洞缺陷宏观图



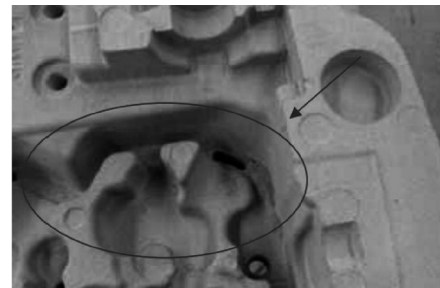
(b) 缸盖孔洞缺陷微观图

图6 缸盖孔洞缺陷

Fig. 6 Hole defect of cylinder head

(3) 翻箱、合型以及下芯等环节砂粒掉入型腔。

(4) 砂芯疏松、破损、砂芯的飞边毛刺及砂芯表面的砂粒或砂芯钻孔时散落的浮砂未吹净(图7)。



(a) 芯腔未吹净的浮砂



(b) 浇道破损

图7 芯腔内浮砂及浇道破损

Fig. 7 Floating sand in the core cavity and the broken runner gate

渣眼也称夹渣,是指铸件内部或表面有外来的非金属夹杂物。这种非金属夹杂物统称为“渣滓”,按渣滓的形成时间,有一次夹渣(熔炼过程中)和二次夹渣(充型过程中)的区别,按渣滓的存在形态又可分

为固态渣及液态渣，夹渣的形成原因主要如下。

(1) 铁液纯净度低，熔炼时的冶金熔渣（氧化渣、还原渣、酸性渣、碱性渣等）或熔剂所形成的渣滓；或金属同炉衬、包衬相互作用的渣滓；或金属液炉前处理（如孕育处理）所形成的渣滓未在浇注前充分上浮、聚集和扒除干净。

(2) 浇注系统紊流或挡渣效果差，金属液充型过程不平稳造成的二次氧化。

(3) 铁液中存在的低熔点液态共晶渣。

铁液自由表面发生二次氧化，形成熔点低，流动性好的液态渣，它是 $\text{SiO}_2\text{-MnO-FeO}$ 三元共晶成分的熔体，熔点 $1171\text{ }^\circ\text{C}$ 。浇注时，这种液态渣极易随铁液进入型腔而成为 $\text{FeO}$ 的载体。铸件凝固时，渣中的 $\text{FeO}$ 组分同铁液中的碳发生碳氧反应，即 $\text{FeO}+\text{C}\rightarrow\text{Fe}+\text{CO}\uparrow$ ，产生 $\text{CO}$ 气体，形成包容着渣滓的 $\text{CO}$ 皮下气孔。此外，铁液中 $\text{Mn}$ 、 $\text{S}$ 过高，会使 $\text{MnS}$ 适量增加， $\text{MnS}$ 一部分作为石墨核心外，多余的 $\text{MnS}$ 会形成熔点约为 $1066\text{ }^\circ\text{C}$ 的 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{MnO}$ 共晶渣，其渣的流动性更好，因此铸铁件更容易出现由渣导致的皮下气孔<sup>[9]</sup>。

### 3.2 防止夹杂物孔洞出现的常见措施

(1) 设计浇注系统时，控制合理的浇注时间和内浇道处铁液的流速，浇注时间太长，上型受铁液高温烘烤时间过长，容易使砂芯表面开裂脱落；内浇道铁液的流速太快，铁液的冲击力过大使砂芯表面开裂脱落。浇道的截面比例宜采用半封闭半开放式，在合理的充型时间内，降低铁液的流速与冲击，以实现内浇道处较大的流量和较低的流速。内浇道位置应尽可能避免直接冲击型壁或型芯，浇道根部及冷冒口根部应设计圆角或防压环，防止因挤型而产生的掉砂。

(2) 浇注系统应具备良好的挡渣功能及合理的温度分布，选用耐高温冲击的陶瓷过滤网设置在横浇道上缓解铁液的冲击及利于渣滓的上浮。

(3) 提高砂芯质量，防止砂芯疏松，尽量避免砂芯的修补。

(4) 选取恰当的芯头间隙和斜度并保证下芯和合型的工装精度，以免破坏型芯面将砂粒散落在型（芯）腔，并在合型前清理干净型内可能掉入的砂粒（抽吸法好于吹出法）。

(5) 不能忽视的是，砂芯的飞边毛刺要清理干净，上涂料烘干后待用的砂芯表面的砂粒灰尘也要吹净，否则容易被铁液冲刷并富集在铸件某处形成砂眼。同时，砂芯上涂料不能太厚，尤其是当工艺要求个别砂芯的个别部位或全部两次浸涂料时，涂料不能太厚，且须等第一次上涂干燥到一定程度后才能上涂第二层，否则浇注时过厚的涂料会爆裂而形成带有涂料的夹杂物孔洞。

(6) 中频炉过热并配合适宜的静止，使固态渣滓上浮并聚集，采用聚渣剂分别于中频炉、中转包、浇

注包内造渣并扒除干净，净化铁液。净化回炉料，清除回炉料中的散砂，例如应用滚筒等措施去锈除脏。

(7) 采用底注式浇注包，能一定程度地使渣滓上浮在浇包上表面。

(8) 通过设置溢流冒口，排出部分已经进入型（芯）腔的砂粒及夹渣等夹杂物。

(9) 控制好 $\text{Mn/S}$ 比，避免过多的 $\text{MnS}$ 形成低熔点的共晶渣。对灰铸铁发动机缸盖， $\text{S}$ 含量在常规波动范围条件下，控制铁液 $\text{Mn}$ 含量为 $0.60\%\sim 0.75\%$ <sup>[8]</sup>。

### 3.3 防止夹杂物孔洞出现的关键措施

砂眼是物理作用的结果，改善型、芯质量提高韧性，通过调整工艺措施及生产过程的严格管控，能使砂眼废品得到较好的控制。固态渣通过铁液高温静置、除渣剂聚集及扒除，设计挡渣效果良好的浇注系统，并在横浇道中配合使用过滤器，一般也能避免铸件产生体积较大的夹渣缺陷。过滤器有高硅氧纤维网、陶瓷直孔过滤网、陶瓷泡沫蜂窝过滤网三种，前两者能阻挡宏观夹杂物，陶瓷泡沫蜂窝过滤网则还能阻挡微观夹杂物，将铁液的紊流改变为层流。过滤网应避免设置在直浇道底部，一般平放或立放在横浇道上，过滤网之后设置阻流截面，使渣滓停留在滤网之前或上方（图8-图9）。

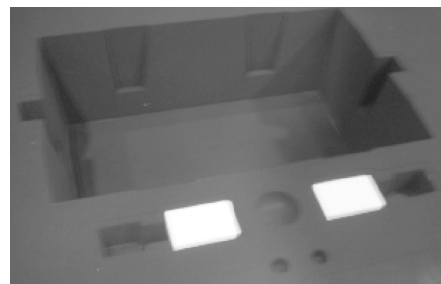


图8 过滤网平放工艺

Fig. 8 Filter screen set horizontally on the runner

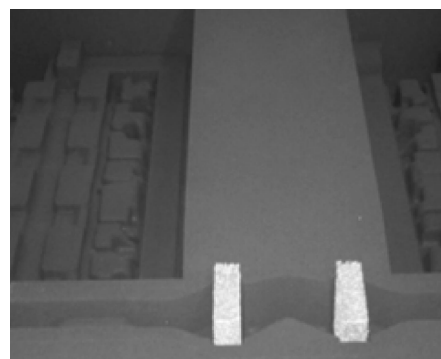


图9 过滤网立放工艺

Fig. 9 Filter screen set vertically on the runner

通过净化铁液能大幅度降低铸件的夹杂物孔洞缺陷，尤其是体积较大的一次渣滓。然而，缸盖加工后往往暴露一些体积很小的黑渣，对于质量要求非常严格的发动机缸盖来说，将直接导致铸件报废（图10）。



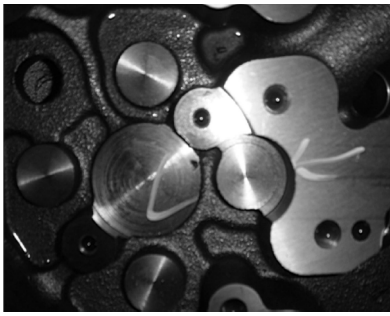


图10 缸盖喷油嘴处黑渣缺陷

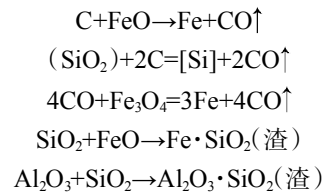
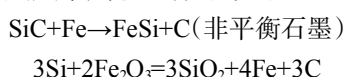
Fig. 10 The black slag on cylinder head oil nozzle

通过生产实践及总结,原材料及冶金质量中的隐形因素是造成发动机缸盖黑渣的关键因素。

(1) 砂芯修补膏。石墨修补泥是应用最为普遍的砂芯修补材料,烘干过程中经常产生开裂甚至脱落现象,浇注过程中石墨修补膏翘起、脱落等现象也时有发生。脱落的石墨修补泥粘附在铸件表面或内部,加工过程中脱落致使铸件报废。随着砂芯修补材料技术的不断发展,一些新型的修补材料(如石英砂树脂砂芯修补膏)大大提高了其粘附性能及高温强度,从而避免上述情况发生。

(2) 铁液的过热。温度、化学成分、纯净度是铁液的三项冶金指标,在一定范围内提高铁液温度能降低铁液的氧化程度、元素的烧损并能减少非金属夹杂物,从而净化铁液。一般认为,冲天炉熔炼铁液的临界过热温度为 $1\ 500\sim 1\ 550\ ^\circ\text{C}$ <sup>[9-10]</sup>。感应电炉熔炼涉及到平衡温度、沸腾温度、临界温度和过热温度等不同的概念。平衡温度是决定 $\text{SiO}_2+2\text{C}=\text{Si}+2\text{CO}$ 反应方向的温度,大于平衡温度,反应向右进行,反之则反应向左进行。生产中为了保证足够的沸腾温度,一般取平衡温度 $+50\ ^\circ\text{C}$ ,称为沸腾温度。此时铁液的沸腾,有利于温度和成分的进一步均匀,能驱除气体,降低铁液中的溶解氧量,排出夹杂物等。最终的过热温度应视铸件材质、铸件以及炉料等情况的不同而定,虽然过热铁液的过冷倾向大,但只要做好孕育处理,孕育效果会发挥更好,有利于铸铁中石墨及基体的细化。但过热温度不能过高,过热停留时间不能长。否则,会加重炉衬的侵蚀和铁液中 $\text{SiO}_2$ 的丧失,产生死铁液。中频感应炉过热一般为 $1\ 500\sim 1\ 550\ ^\circ\text{C}$ <sup>[11]</sup>。

(3) 金属化合物的还原。冶金过程的目的就是要将金属化合物中的金属,用还原剂还原出来,得到铸铁的冶金质量,还原过程是十分重要的冶金过程。提高铸铁的冶金质量,一般是指提高铁液的清洁度。碳化硅的脱氧使得脱氧产物在铁液中有一系列的冶金反应,减轻锈蚀炉料中氧化物的有害影响,有效的净化铁液。在感应炉内碳化硅的反应如下<sup>[12]</sup>:



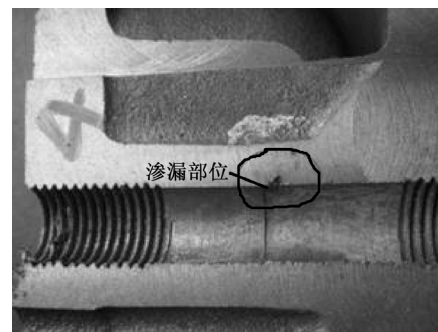
由上述反应可知,碳化硅在铁液中先溶解析出固体碳,即非平衡石墨。固体碳能还原铁液中 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 等众多的金属化合物,冶金中固体碳有“万能还原剂”之称。

## 4 渗漏缺陷的产生及防止

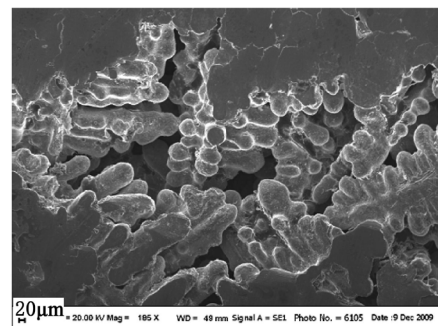
渗漏是指缸盖在气密性压力实验时的渗漏现象,多发生在缸盖的水套或油道腔铸壁以及铸件厚大热节部位。

### 4.1 渗漏的形成

发动机缸盖铸件内腔结构复杂,壁厚不均匀,厚大部位在凝固过程中成为孤立热节而产生缩松,缩松是铸件凝固过程中补缩受到限制引起的缺陷(图11),是铸件产生渗漏的主要原因之一<sup>[13]</sup>。



(a) 缸盖渗漏部位解剖图



(b) 缸盖渗漏部位微观组织

图11 缸盖渗漏部位

Fig.11 Leakage position of cylinder head

影响缸盖渗漏的因素主要体现在以下几个方面。

- (1) 铸件内部组织不致密,如基体组织中石墨粗大。
- (2) 铸件局部存在明显缺陷,如气孔、冷隔及夹杂物等造成的渗漏。
- (3) 孕育量过大,共晶团过多且铸型刚度不够,凝固过程中产生型壁移动增加缩松倾向而引起渗漏。
- (4) 铸件存在孤立的热节,凝固过程中补缩受到

限制而引起的缩松。

(5) 浇注温度过高, 收缩性能及白口倾向大的合金元素加入过多造成的渗漏。

(6) 微量有害元素引起的渗漏。

#### 4.2 防止渗漏的常见措施

(1) 采取有效的措施消除铸件气孔、砂眼、渣眼及非金属夹杂物等缺陷。

(2) 在原铁液Si量足够的前提下, 包内孕育量和随流孕育量总和不要超过0.4%, 孕育剂加入要求精确定量, 将共晶团数控制在320~450个/cm<sup>2</sup>。大孕育量会使共晶团数增多而加大缩松倾向, 导致在晶界处形成缩松, 引起渗漏, 采用质量分数极小的含Sr孕育剂, 对防止孕育过量及共晶团数过多有明显效果<sup>[14]</sup>。

(3) 凡是减小缩松倾向的措施都有助于防止缩松渗漏倾向。其中适当提高碳当量是减少缩松倾向的首选措施, 一般将碳当量控制在3.90%以上, 大多在3.95%~4.05%范围<sup>[14]</sup>。

(4) 提高型、芯刚度, 防止铸件凝固过程中石墨化膨胀造成缩松而引起的渗漏。笔者公司立浇缸盖整体组芯工艺, 采用四根螺杆对角紧固, 工艺要求螺杆具有良好的抗拉强度, 紧固时必须设定合理的扭矩。造型下芯后在下箱分型面处对芯组间隙进行捣实, 并于上、下模型上设计压砂槽, 设计合理的型、芯配合间隙, 使型腔与芯组配合紧密, 确保铸型刚度 (图12)。对于整体组芯而言, 外包芯厚度不能设计的太薄, 以避免砂芯过早溃散而引起的刚度下降。

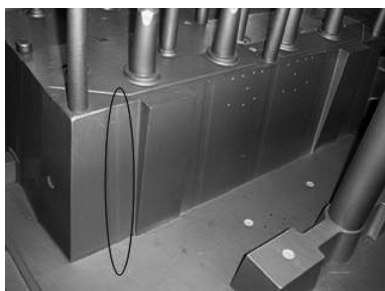


图12 缸盖模样侧面压砂槽

Fig. 12 Crush strip of cylinder head side

(5) 在铸件厚大热节部位放冷铁降低热节部位的缩松倾向, 或刷碲粉涂料, 形成一层白口层以降低铸件渗漏比例。

(6) 铸件渗补材料和技术日趋发展和成熟, 铸件渗补及镶补作为一种渗漏废品的补救措施也在铸造行业内得到广泛的应用, 但必须征得采购商的许可。

#### 4.3 防止渗漏采取的关键措施

影响渗漏形成的因素很多, 实际生产中上述几种措施往往不能彻底解决铸件渗漏问题。根据当今国内外铸造行业技术现状及应用成果, 结合笔者的实践经验, 对于发动机缸盖渗漏, 冶金及原材料的质量是决

定其渗漏比例的最关键因素。

(1) 提高熔炼过程中石墨的形核能力, 引入晶核, 是提高熔炼技术的重要途径。增碳剂的选用是全废钢熔炼的关键。采用全废钢电炉熔炼工艺, 必须解决增碳技术, 增碳剂就成为增碳工艺中最重要的一环。增碳工艺能否获得良好的石墨化效果, 减少铁液收缩倾向, 提高材料性能都主要取决于增碳剂的品质。一定要选用经过高温石墨化处理的增碳剂, 只有经过高温石墨化处理, C原子才能从原来的无序排列状态过渡到片状有序排列状态, 这样的片状石墨才能成为石墨形核的最好核心, 从而促进石墨化过程。凡是经过了高温石墨化的增碳剂, 其S和N量都很低, S量一般小于0.05%, 更好一些的会小于0.03%, 这也是衡量增碳剂质量好坏的重要指标<sup>[15]</sup>。

(2) 在感应电炉内加入适量碳化硅或在炉前冲入质量分数为0.15%左右的碳化硅颗粒, 可以增加铁液的非平衡石墨, 即长效石墨晶核<sup>[11,14]</sup>, 此方法在国外非常普及, 一汽铸造有限公司也已在生产中成功应用<sup>[14]</sup>。东风汽车有限公司通过使用碳化硅增碳增硅代替一部分硅铁及增碳剂进行试验取得了一定的经济效益。其计算方法如下: 75硅铁价格7 610元/t, 增碳剂价格4 020元/t, 碳化硅价格5 000元/t。一般情况下, 增碳剂的吸收率按80%, 75硅铁的吸收率按90%。碳化硅的吸收率按80%计算, 碳化硅含量按90%计算, 1 t碳化硅相当于0.746 t的75硅铁与0.27 t的增碳剂, 硅铁与增碳剂的计算成本为6 762.4元。使用碳化硅的综合成本较低, 有助于降低生产成本。

(3) 用稀土 (RE) 消除微量元素的不利影响。研究和实践表明, 微量元素Pb、Te、As、Ti等影响铸铁的结晶过程和组织形成, 使得铸件的组织达不到要求, 性能降低, 制约了我国优质高档铸件的快速发展<sup>[16-23]</sup>。用稀土硅铁对铁液进行孕育处理, 可有效地消除过冷石墨, 改善铸铁的石墨形态及基体组织, 增加铸铁的共晶团数, 明显地减少铸铁的白口倾向<sup>[24]</sup>, 降低铸件渗漏比例。

(4) 选择加Cr工艺。随着Cr量的增加, 灰铸铁的性能会一直提高, 但Cr的白口倾向较大, 加入量过多, 会出现碳化物。当加入到原铁液中的Cr量达到0.35%左右, 便会产生10%左右的渗漏废品。一汽铸造有限公司自主研发的CrMnSi合金, 用冲入法加入, CrMnSi合金中的Mn降低合金的熔点, Si起孕育作用, 当其加入到铁液中后, 充分发挥了Cr的合金化作用, 铸件的终Cr量达到0.35%, 铸件未出现渗漏, 效果良好<sup>[15]</sup>。第一拖拉机工程有限公司龚出群等人将稀土、铬、锰、硫混合熔制成一种特制的孕育剂 (RCMS), 试验结果表明, 该合金化孕育剂熔化特性好, 具有细化石墨、降低白口倾向的作用, 用它代替Cr+Cu进行合金化处理

具有显著的经济效益<sup>[25]</sup>。

(5) 铸造原砂的选用。铬铁矿砂、刚玉砂具有相对于普通石英砂较低的膨胀系数, 且具有较好的导热蓄热能力。铬铁矿砂、刚玉砂加快铸件凝固过程中的冷却速度, 加大灰铸铁的层状凝固模式, 使铸件补缩通道更加畅通从而有利于补缩, 减小缩松倾向, 降低渗漏比例<sup>[26]</sup>。

(6) 涂料、炉衬及包衬的洁净度是影响铸件渗漏的隐形因素, 这些细小的夹杂物与铁液本身或冶金熔渣反应聚合停留在铸件薄壁内部降低其致密性, 从而造成试压时渗漏。严格控制操作过程是提高铸件品质的关键。

## 5 结论

(1) 铁液温度、化学成分、纯净度是衡量铁液冶金质量的重要指标, 完整致密的砂芯是生产高质量铸件的基本保障。

(2) 优化缸盖铸件的工艺和工装设计, 保证通畅的砂芯排气通道及良好的浸涂和砂芯烘干效果, 保持合理稳定的浇注温度和浇注速度, 是防止铸件产生侵入性气孔的根本措施。

(3) 提高原材料及冶金质量是生产高品质铸件的关键措施。

### 参考文献:

- [1] 王文清, 李魁胜. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 李连杰, 韩振中. 缸体缸盖气孔缺陷的产生及防止措施 [J]. 现代铸铁, 2010 (z1): 63.
- [3] 康宽滋. 车用中小型发动机灰铸铁缸体缸盖铸件生产工艺 (2) [J]. 现代铸铁, 2007, 27 (5): 13-17.
- [4] 周亘. 防止铸件气孔和气缩孔的实践体会和认识 [J]. 汽车制造业, 2011 (1): 46.
- [5] 子澍. 向金属液中吹氩精炼的研究 [J]. 现代铸铁, 2011 (3): 27-29.
- [6] 张文和, 丁俊, 聂富荣. 几种孕育剂简介 [J]. 现代铸铁, 2007 (4): 71-73.
- [7] 魏兵, 袁森, 张卫华. 铸件均衡凝固技术及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [8] 陈国桢, 肖柯则, 姜不居. 铸件缺陷和对策手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 123.
- [9] 马敬仲. 铁液温度是生产高质量铸铁件的基础 [J]. 现代铸铁, 2011 (1): 15-24.
- [10] 龚出群, 陆文华. 正确认识和应用现代化冲天炉熔炼技术 [C]// 铸铁熔炼及铁液处理技术论文集, 无锡: 现代铸铁编辑部, 2010: 12.
- [11] 钱立. 重视中频感应炉熔炼的冶金功能 [J]. 铸造设备与工艺, 2010 (6): 2.
- [12] 张文和, 赵鲁生, 徐爱军. 铸造行业的节能减排 [C]// 第二届中国铸铁产业沙龙铸件质量与低碳经济论文集, 无锡: 现代铸铁编辑部, 2011: 48.
- [13] 陈国桢, 肖柯则, 姜不居. 铸件缺陷和对策手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 46-48.
- [14] 康宽滋. 缸盖铸造工艺讨论 [J]. 现代铸铁, 2008 (1): 55-59.
- [15] 逢伟. HT300高强度缸体缸盖材料熔炼技术研究 [J]. 汽车制造业, 2010 (1): 26-32.
- [16] 刘金海, 李国祿, 曾艺成. 铁液纯净度对铸铁质量的影响 [J]. 现代铸铁, 2010 (3): 64-70.
- [17] 陈子华, 庞争群, 郭全领. 微量铅对缸体渗漏的影响 [C]// 铸铁缸体缸盖铸造生产技术研讨会论文集, 杭州, 2007.
- [18] 李涛, 洪晓先, 张梅. 铅、碲对灰铸铁金相组织与性能的影响 [J]. 现代铸铁, 2002 (3): 12-15.
- [19] 彭少清. 微量元素碲对灰铸铁组织的影响 [J]. 铸造技术, 1999 (1): 33.
- [20] 李树江, 郑鼎彝, 邹翔. 碲对灰铸铁组织和性能的影响 [J]. 铸造, 1998 (3): 28-31.
- [21] 柳松青. 碲在灰铸铁中作用实验 [J]. 实验技术与管理, 1999, 16 (1): 25-26.
- [22] 谭伯贤. 使用含碲生铁的一些问题 [J]. 铸造, 1981 (6): 55-56.
- [23] 林小瑛, 卢月美, 李树江. 碲在灰铸铁中行为的研究 [J]. 现代铸铁, 2001 (4): 14-16.
- [24] 张端枢, 顾亨, 王和对. 用稀土硅铁改善含As、Pb、Sn灰铸铁性能 [J]. 铸造技术, 2001 (1): 8-16.
- [25] 龚出群, 李芳龄, 鲁阳. RCMS合金化孕育剂的研制与应用 [J]. 现代铸铁, 1997 (1): 26-27.
- [26] 孟爽芬. 造型材料 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996: 8.

(编辑: 刘冬梅, ldm@foundryworld.com)

(选自《铸造》2012年第1期)