

灰铸铁发动机缸体常见铸造缺陷与解决办法探讨

唐正日

哈尔滨东安汽车动力股份有限公司 黑龙江 哈尔滨 150000

摘要: 灰铸铁发动机缸体铸造中, 常见孔洞、表面、裂纹、尺寸与形状偏差等缺陷。这些缺陷影响缸体性能与发动机运行。本文剖析了铸造工艺流程及关键参数, 分析了缺陷产生原因, 包括原材料、熔炼、造型制芯、浇注、冷却等因素。针对各类缺陷提出解决办法, 如优化工艺参数、改进操作、合理选材等, 为提高灰铸铁发动机缸体铸造质量提供参考。

关键词: 灰铸铁发动机缸体; 铸造缺陷; 工艺参数; 缺陷成因; 解决办法

引言: 在汽车工业蓬勃发展的当下, 发动机作为核心部件, 其性能至关重要。灰铸铁发动机缸体凭借良好的铸造性、减震性等优势, 应用广泛。然而, 在缸体铸造过程中, 受多种因素影响, 常出现各类缺陷, 影响缸体质量与发动机性能, 增加生产成本与安全隐患。深入研究常见铸造缺陷及解决办法, 对提升缸体铸造质量、保障发动机稳定运行意义重大。

1 灰铸铁发动机缸体铸造工艺流程及关键参数

1.1 铸造工艺流程

灰铸铁发动机缸体铸造始于原材料准备。精心挑选优质生铁、废钢等炉料, 按特定比例准确配料, 确保灰铸铁成分符合要求。随后进入熔炼环节, 将配好的炉料投入熔炼炉, 加热至合适温度使其熔化, 期间进行除渣、脱氧等操作, 获得纯净金属液。造型是关键步骤, 依据缸体形状设计制作模具, 选用合适型砂填充模具形成铸型, 型砂需具备良好性能以保证铸件质量。制芯则针对缸体内部孔洞等结构制作砂芯, 砂芯要保证尺寸精度和强度。合箱是将制备好的铸型和砂芯准确组合, 形成完整浇注系统^[1]。浇注时, 将熔炼好的金属液通过浇口平稳注入铸型, 控制好浇注速度和流量, 确保金属液充满型腔。金属液在铸型内冷却凝固, 此过程要严格控制冷却条件, 使铸件按预期组织结构凝固。最后进行落砂清理, 待铸件冷却至合适温度后, 去除铸型和砂芯, 对铸件表面进行打磨、清理, 去除飞边、毛刺等缺陷, 得到初步成型的灰铸铁发动机缸体。各步骤紧密衔接, 前一步为后一步奠定基础, 共同保障缸体铸造顺利进行。

1.2 关键工艺参数

影响缸体铸造质量的关键工艺参数众多。浇注温度至关重要, 温度过高, 金属液吸气严重, 易产生气孔缺陷, 且收缩量大, 增加缩孔缩松风险; 温度过低, 金属液流动性差, 充型能力不足, 导致铸件轮廓不清晰甚

至出现冷隔。冷却速度直接影响铸件组织结构和性能, 快速冷却可使铸件获得细小晶粒, 提高强度和硬度, 但过快易产生较大内应力, 引发裂纹; 缓慢冷却则晶粒粗大, 降低力学性能。型砂性能参数也不容忽视, 强度不足, 在浇注时易塌箱, 造成铸件报废; 透气性差, 气体无法及时排出, 会在铸件内形成气孔; 耐火度低, 在高温金属液作用下型砂易烧结, 影响铸件表面质量, 还会使铸件尺寸精度下降。

2 常见铸造缺陷分类及特征

2.1 孔洞类缺陷

气孔在铸件中较为常见, 通常呈现圆形或椭圆形形态。这些气孔可单独存在, 也可能成群地分布在铸件内部或者表面。在铸造时, 若气体未及及时排出就会形成气孔, 它对缸体性能有着诸多不利影响。从力学性能方面看, 它会降低缸体的强度和韧性, 使得缸体在工作过程中更容易产生疲劳裂纹, 缩短缸体的使用寿命。在气密性方面, 气孔的存在会破坏缸体的密封结构, 导致发动机出现漏气现象, 影响发动机的正常工作效率。缩孔和缩松形成原理是铸件在凝固过程中, 因收缩得不到充分补缩而产生孔洞。缩孔一般集中在铸件最后凝固的部位, 形状极不规则, 像是被随意挖凿出来。缩松则分布相对分散, 呈细小孔洞状, 如同繁星点点散布在铸件内部。缩孔和缩松对缸体质量危害严重, 二者叠加影响下, 会导致缸体在工作时出现渗漏问题, 降低缸体的疲劳强度, 使得缸体在承受一定载荷时容易损坏, 进而影响发动机的正常运行。

2.2 表面缺陷

粘砂的外观表现十分明显, 铸件表面会粘附着一层难以清理的砂粒或者砂块, 严重影响铸件的表面质量。粘砂不仅增加后续加工难度, 提高加工成本, 还会影响表面粗糙度。粗糙的表面容易藏污纳垢, 降低缸体的耐

腐蚀性,缩短缸体的使用寿命,对缸体长期稳定使用极为不利。夹砂结疤形成原因是砂层在金属液强大冲击下卷入铸件表面,凝固后形成结疤。夹砂结疤对缸体外观和性能损害较大,会降低缸体的美观度,影响缸体的装配精度。在发动机运行过程中,结疤可能因振动等原因脱落,脱落的结疤如同高速飞行的子弹,对发动机内部零件造成严重损坏,威胁发动机运行安全。

2.3 裂纹缺陷

热裂产生机制是铸件在凝固后期,收缩受到阻碍,在铸件内部产生拉应力,当拉应力超过铸件材料的抗拉强度时,就会形成热裂。热裂形态特征明显,裂纹呈不规则形状,表面氧化严重,颜色发暗,像是被烈火灼烧过。热裂一旦出现,会极大削弱缸体结构完整性。冷裂形成原因是铸件在冷却过程中,各部分冷却速度不同,产生较大温度梯度,从而导致热应力。当热应力与铸造残余应力叠加,超过铸件材料的抗拉强度时,就会产生冷裂。冷裂对缸体使用安全性影响极大,会使缸体强度大幅降低,在使用过程中可能导致缸体突然断裂,引发严重安全事故,造成不可挽回的损失。

2.4 尺寸与形状偏差缺陷

尺寸超差可能由多种因素导致,如模具磨损、造型误差、收缩率控制不当等。尺寸超差会影响缸体装配,使其无法与发动机其他部件正常配合,导致发动机运行不平稳,产生振动和噪声,影响驾驶体验,降低车辆整体性能^[2]。变形原因包括铸造应力、冷却不均匀、脱模和搬运过程中的外力作用等。变形会影响缸体密封性,导致发动机漏油、漏水,降低发动机性能。同时还会降低缸体运行平稳性,影响发动机动力输出和燃油经济性,增加使用成本。

3 铸造缺陷产生原因分析

3.1 原材料因素

铁液成分不合格对缸体铸造质量影响显著。碳、硅、锰、硫、磷等元素在灰铸铁中起着关键作用,若含量不符合要求,会引发诸多问题。碳含量过高时,铸件在凝固过程中收缩量增大,在最后凝固部位因得不到充分补缩,极易产生缩孔,降低缸体的致密性和强度。硫含量过高会削弱铁液流动性,在凝固后期,金属液收缩受阻,产生的拉应力超过材料抗拉强度时,就会引发热裂,影响缸体使用安全。原材料质量不稳定也是诱发铸造缺陷的重要因素。原材料中杂质含量波动大,杂质过多会混入铁液,降低铁液纯净度,成为气孔和夹渣的核心,导致气孔、夹渣等缺陷产生。粒度不均匀同样不容忽视,粒度过大或过小会影响型砂性能。粒度过大,型

砂间隙大,透气性虽好但强度不足;粒度过小,型砂紧密堆积,透气性变差,都会影响铸件表面质量和尺寸精度,使缸体难以达到设计要求。

3.2 熔炼工艺因素

熔炼设备与工艺不当直接影响铁液质量。冲天炉炉况不稳定时,铁液温度和成分波动大,温度忽高忽低影响金属液流动性,成分不均会使铸件各部分性能差异大,易产生缺陷。电炉熔炼温度控制不准确,温度过高,铁液吸气严重,易产生气孔;温度过低,铁液流动性差,充型困难,导致铸件轮廓不清晰。铁液处理不当对缸体组织和性能影响巨大。孕育处理是改善铸件组织的关键,孕育不足,铸件易出现白口组织,硬度高、韧性差,切削性能降低,增加加工难度和成本。球化处理若涉及,球化不良会使石墨球形态不圆整、分布不均匀,降低铸件力学性能,在工作过程中易断裂。

3.3 造型与制芯工艺因素

型砂与芯砂性能不佳会引发多种铸造缺陷。型砂强度不足,在金属液冲击和凝固收缩力作用下,型壁易移动,导致铸件尺寸超差。透气性差,型腔内气体无法顺利排出,会在铸件内部形成气孔。耐火度不够,高温金属液会使型砂烧结粘砂,影响铸件表面质量。造型与制芯操作不当也会带来问题。紧实度不均匀,铸件在凝固收缩时各部分受力不同,易产生变形。起模困难会损伤型腔表面,使铸件表面粗糙,增加后续打磨清理工作量,还可能因表面缺陷影响缸体性能。

3.4 浇注工艺因素

浇注温度与速度不合理是常见缺陷诱因。当浇注温度过高时,铸件收缩率显著增大,缩孔和裂纹出现的风险大幅增加,严重影响缸体的结构完整性与强度。温度过低时,金属液流动性变得极差,充型严重不足,易出现冷隔和浇不足现象,导致缸体局部缺失。浇注速度过快,金属液飞溅剧烈,大量气体被卷入形成气孔,降低缸体致密性。速度过慢,金属液温度降低,流动性变差,同样导致充型不良,影响缸体形状与性能。浇注系统设计不当影响金属液流动和充型。阻流截面过小,金属液充型阻力极大,易浇不足,使缸体无法达到设计尺寸要求。内浇口位置不当,铸件局部过热,收缩不均,产生缩孔和裂纹,降低缸体强度与使用寿命。

3.5 冷却工艺因素

冷却速度不均匀对缸体组织和性能影响明显。若冷却速度过快,铸件极易产生白口组织,这会大幅降低其韧性和切削性能,增加后续加工的难度与成本。冷却速度不均匀时,铸件内部会产生较大应力,导致变形和裂

纹的出现,影响缸体形状精度与结构稳定性。冷却介质选择不当也不可忽视,水冷却速度虽快但易激冷产生裂纹,严重影响缸体结构完整性。空气冷却速度慢但能使组织均匀性好,合理选择冷却介质和方式可优化铸件性能,提高缸体质量与可靠性,满足使用要求。

4 铸造缺陷解决办法

4.1 针对孔洞类缺陷的解决办法

气孔是常见的铸造孔洞类缺陷,防止气孔产生需从多方面入手。原材料中水分是气体重要来源,对原材料进行充分烘干处理,能有效减少水分带入铁液,降低气体含量。造型材料的透气性对气孔产生影响巨大,应选择合适的型砂和芯砂,确保型砂和芯砂具有良好的透气性,使型腔内气体能顺利排出^[3]。浇注操作不当易使金属液卷入气体,改进浇注操作,采用合理浇注工艺,如控制浇注高度和速度,避免金属液飞溅和紊流,可有效防止气体卷入。缩孔与缩松会影响铸件致密性和强度。合理设置冒口和冷铁是防止缩孔与缩松的有效方法。冒口能为铸件在凝固收缩时提供金属液,起到补缩作用;冷铁可加速铸件局部冷却,使铸件实现顺序凝固,让先凝固部分为后凝固部分提供补缩通道,从而消除缩孔和缩松。同时,优化铸造工艺参数也至关重要,控制浇注温度和速度,使金属液在型腔内能充分流动和补缩,保证铸件质量。

4.2 针对表面缺陷的解决办法

粘砂会使铸件表面粗糙,影响外观和使用性能。选用合适的造型材料是防止粘砂的关键,采用耐火度高、透气性好的型砂,可减少金属液对型砂的侵蚀和渗透。控制型砂和芯砂水分,水分过高在高温下易产生蒸汽,导致粘砂,因此要严格控制水分含量。提高涂料性能也不可忽视,优质涂料能隔热和保护型腔,减少金属液与型砂直接接触,降低粘砂几率。夹砂结疤会破坏铸件表面完整性。优化造型工艺,采用合理紧实度和造型方法,避免型砂分层,可减少夹砂结疤产生。加强型砂紧实度,使型砂与模样紧密贴合,可防止金属液冲刷型砂导致夹砂。控制浇注温度和速度,降低金属液对型腔冲击力,也能有效减少夹砂结疤。

4.3 针对裂纹缺陷的解决办法

热裂多发生在铸件高温凝固阶段。合理设计铸件结构,避免壁厚不均匀、尖角和锐边等容易产生热裂部

位,可降低热裂风险。控制铸造应力,通过优化铸造工艺参数,如浇注温度、冷却速度等,以及采用退火处理等方法,降低铸件残余应力,防止热裂产生。优化冷却工艺,使铸件冷却均匀,避免局部过热和过冷,减少热应力,也能有效防止热裂。冷裂通常在铸件冷却到较低温度时发生。降低铸件残余应力是防止冷裂重要措施,采用去应力退火等热处理工艺可有效消除残余应力。控制落砂和清理时间,避免在铸件温度较高时进行剧烈机械碰撞,防止因外力导致冷裂。在搬运和存放过程中,注意保护铸件,避免受到外力作用,确保铸件质量。

4.4 针对尺寸与形状偏差缺陷的解决办法

尺寸超差会影响铸件装配和使用。加强模具管理和维护,定期检查和修复模具,确保模具尺寸精度,能从源头上保证铸件尺寸。严格控制造型和制芯尺寸精度,采用高精度造型和制芯设备,提高造型和制芯质量。优化熔炼和浇注工艺,控制铸件收缩率,根据铸件材质和结构合理调整工艺参数,保证铸件尺寸符合要求。变形会使铸件无法正常使用。合理设计铸件结构,增加铸件刚性,减少变形倾向,如设置加强筋等。控制冷却速度和方向,采用合适冷却介质和冷却方式,使铸件冷却均匀,避免因冷却不均产生内应力导致变形。采用反变形工艺,在造型时预先使模样产生与铸件变形方向相反变形,抵消铸件冷却过程中的变形,保证铸件形状精度。

结束语

灰铸铁发动机缸体铸造缺陷问题复杂多样,涉及原材料、工艺等多个环节。通过对其常见缺陷的分类、特征、成因分析,并针对性地提出解决办法,能有效提高缸体铸造质量,减少缺陷产生。未来,随着技术不断进步,需持续优化铸造工艺,探索更有效的缺陷预防与控制方法,进一步提升灰铸铁发动机缸体性能,推动汽车工业持续发展。

参考文献

- [1]刘育国,郭文俊,刘洋,等.缸体外腔夹砂铸造缺陷分析及改善对策[J].铸造工程,2022,46(2):41-45.
- [2]曾治霖,瞿昊,杜正春.基于深度学习和生成对抗网络的发动机缸体表面缺陷检测方法[J].机械工程学报,2025,61(02):46-55.
- [3]李勇军.发动机缸体铸件的工艺设计及改进[J].山西冶金,2024,47(05):151-152.