

复杂铸件铸造工艺设计与质量控制技术研究

陈 夫

浙江港航重工机械有限公司 浙江 舟山 316000

摘 要: 通过探讨复杂铸件的特性及其铸造工艺难点,分析分型面设计、浇注系统设计、冒口与冷铁设计以及模具设计与制造技术等关键铸造工艺设计技术。同时,深入研究铸造过程监测技术、缺陷检测技术和质量控制体系构建等质量控制技术。通过某航空发动机复杂铸铁叶片铸造的实例,展示铸造工艺设计与质量控制技术集成应用的重要性和显著效果,为提升复杂铸件整体质量与生产效率提供有益参考。

关键词: 复杂铸件; 铸造工艺; 质量控制技术

1 复杂铸件特性及铸造工艺难点分析

1.1 复杂铸件的结构与性能特点

复杂铸件,顾名思义,其结构相对繁琐,形状多变,往往包含多个曲面、薄壁、内腔或嵌件等特征。这些结构特点使得铸件在设计和制造过程中面临诸多挑战。从性能角度来看,复杂铸件通常需要具备高强度、高韧性、良好的耐磨性、耐腐蚀性或特定的热学、电学性能。这些性能要求直接决定了铸造材料的选择和铸造工艺的设计。例如,在航空航天领域,复杂铸铁件需承受较高温度和压力,因此要选用特定成分的铸铁材料,并采用精密铸造工艺确保性能可靠。不同类型的铸铁,如球墨铸铁、灰铸铁等,因其石墨形态和基体组织的差异,性能有所不同,可根据具体需求选用。

1.2 铸造工艺难点剖析

复杂铸件的铸造工艺难点主要体现在以下几个方面:首先,模具设计与制造难度大。由于铸件结构复杂,模具需要精确复制铸件的每一个细节,同时还要考虑铸件的收缩率、浇冒口系统的设置等因素,这使得模具的设计和制造过程变得极为复杂。其次,铸造过程中容易出现缺陷。复杂铸件在铸造过程中容易受到多种因素的影响,如浇注温度、浇注速度、冷却速度等,这些因素控制不当就容易导致气孔、缩孔、裂纹等缺陷的产生^[1]。另外,铸件的后处理工艺也较为复杂。为了获得所需的性能和外观质量,复杂铸件往往需要进行热处理、表面处理等多道工序,这些工序的控制难度较大,对铸件的最终质量有着至关重要的影响。对于铸铁件而言,其石墨化过程对铸件质量影响显著,若工艺控制不佳,易出现石墨形态不良、缩松等问题。

2 复杂铸件铸造工艺设计关键技术

2.1 分型面设计

分型面的合理选择对复杂铸件铸造质量与生产效率

起着决定性作用,在确定分型面时,首要原则是确保铸件能够顺利脱模。对于具有复杂内腔结构的铸件,如发动机缸体,需充分考虑型芯的布置与取出方式,选择能够使型芯稳固且便于拆卸的分型面。若分型面选择不当,可能导致型芯难以取出,损坏铸件或模具。同时,要兼顾铸件质量,尽量使分型面位于铸件的非关键部位,避免在重要受力面或外观面产生分型线,影响铸件强度与表面质量。例如,在铸造精密仪器外壳时,将分型面设置在隐蔽位置,可有效保证外壳表面的平整度与美观度;对于具有多层结构或异形轮廓的铸件,单一分型面无法满足脱模需求,通过设置多个分型面,可将铸件分解为多个易于成型的部分。曲面分型面在某些特殊复杂铸件中也有应用,当铸件外形为不规则曲面时,采用曲面分型面能更好贴合铸件轮廓,减少飞边、毛刺等缺陷,提高铸件精度,不过曲面分型面的加工难度较大,对模具制造工艺要求更高。

2.2 浇注系统设计

浇注系统设计关乎金属液能否平稳、快速且均匀地填充复杂铸件型腔。不同类型的浇注系统各有优劣,适用于不同的复杂铸件。顶注式浇注系统,金属液从铸件顶部注入,充型速度快,对薄壁复杂铸件可有效避免充型不足问题。但对于具有高型芯或结构复杂的铸件,金属液高速冲击可能冲坏型芯,且易产生飞溅,导致铸件出现砂眼、气孔等缺陷。底注式浇注系统,金属液从底部缓慢上升充型,有利于排除型腔中的气体,减少金属液对型芯的冲击,适用于对内部质量要求高、结构复杂且带有型芯的铸件,如大型泵体。侧注式浇注系统则综合了部分顶注与底注的特点,根据铸件结构特点选择合适的侧面位置注入金属液,能较好地控制金属液流动方向与速度,适用于一些外形不规则、有特殊结构要求的复杂铸件;浇口尺寸直接影响金属液的流速与流量,尺

寸过小,金属液充型缓慢,易出现冷隔、浇不足等缺陷;尺寸过大,会导致金属液冲刷型腔,造成冲砂、卷气等问题。通过数值模拟软件,可对不同浇口尺寸下金属液的流动状态进行模拟分析,优化浇口尺寸。浇口数量与位置的选择需依据铸件形状、壁厚分布等因素确定。对于大型复杂铸件,可能需要多个浇口协同工作,以确保金属液均匀填充各个部位。横浇道与直浇道的比例也至关重要,合理的比例能保证金属液在浇注系统中平稳过渡,减少能量损失,提高充型效率,保障复杂铸件的成型质量^[2]。

2.3 冒口与冷铁设计

不同类型冒口各有其适用场景,明冒口直接暴露在铸件表面,便于观察与清理,且补缩效果直观,但散热快,消耗金属液多,适用于对表面质量要求高且补缩距离较短的铸件部位。暗冒口则埋于铸件内部,散热慢,补缩效率高,能有效减少金属液消耗,常用于铸件内部厚大部位的补缩,如大型铸铁件的内部厚壁区域。冒口尺寸的确定需综合考虑铸件的壁厚、热节大小、金属液凝固特性等因素。尺寸过小,无法提供足够的补缩量,铸件易产生缩孔、缩松;尺寸过大,不仅浪费金属材料,还可能影响铸件整体性能。通过热分析软件,模拟铸件凝固过程,确定热节位置与大小,以此为依据精准设计冒口尺寸与位置,确保冒口在铸件凝固后期能持续提供补缩金属液。在复杂铸件铸造中不可或缺。冷铁的材质通常选择导热性良好的金属或石墨,其形状根据铸件结构与凝固需求设计,可制成块状、条状、片状等。冷铁的放置位置极为关键,一般放置在铸件的薄壁部位或需要加快凝固速度的区域,如在薄壁与厚壁过渡处的薄壁侧放置冷铁,能加快薄壁部位凝固,使厚壁部位的金属液有足够时间向薄壁部位补缩,平衡铸件各部位的凝固速度,减少缩孔、缩松缺陷。合理运用冒口与冷铁配合,能精确控制复杂铸件的凝固过程,提高铸件质量,保障铸件内部组织致密、性能稳定。

2.4 模具设计与制造技术

模具结构强度设计是基础,由于复杂铸件在铸造过程中,模具承受金属液的高压、高温及复杂应力作用,因此需根据铸件尺寸、形状、铸造工艺参数等,通过力学分析软件进行模具结构强度计算,确保模具在长期使用过程中不发生变形、破裂。脱模方式的选择直接影响铸件的脱模效果与表面质量,对于结构复杂的铸件,可采用顶杆脱模、滑块脱模、液压脱模等多种方式组合,确保铸件顺利从模具中脱出,避免脱模过程中对铸件造成损伤。镶块设计在复杂铸件模具中应用广泛,将模具

中易磨损、难加工的部分设计为镶块,便于更换与维修,降低模具整体制造成本,同时提高模具的通用性与可维护性。数控加工技术凭借高精度、高重复性的优势,能精确加工模具的复杂轮廓与精细结构,保证模具尺寸精度与表面质量。通过数控编程,可实现对模具型腔、型芯等关键部位的自动化加工,减少人为误差。3D打印技术在复杂铸件模具制造中具有独特优势,能够快速制造出传统加工方法难以实现的复杂模具结构,如具有随形冷却水道的模具,能有效提高模具冷却效率,改善铸件质量。而且3D打印可实现个性化定制,根据不同复杂铸件的特点,快速制造出适配的模具,缩短模具制造周期,降低制造成本,推动复杂铸件铸造工艺的发展与创新。

3 复杂铸件质量控制技术

3.1 铸造过程监测技术

铸造过程监测技术对复杂铸件质量把控意义重大。温度监测不可或缺,热电偶能精准测量金属液与铸件关键部位温度。在复杂铸件凝固时,通过多点布置热电偶,可实时掌握温度变化,若某区域温度异常,能及时发现凝固缺陷隐患,如局部过热可能导致缩孔。压力监测同样关键,压力传感器安装在浇注系统,能监测金属液充型压力。充型时压力波动大,预示着金属液流动受阻,可能引发充型不足,便于操作人员及时调整工艺参数,保障金属液平稳充型。图像监测技术利用工业相机,对铸造过程实时监控,可直观观察金属液填充状态、模具开合情况,及时察觉异常,如金属液出现紊流、飞溅等现象,为工艺优化提供依据^[3]。

3.2 缺陷检测技术

无损检测技术应用广泛,射线探伤通过穿透铸件,依据射线吸收差异成像,能清晰检测内部孔洞、裂纹等缺陷,适用于对内部质量要求极高的复杂铸件,如航空发动机部件。超声波探伤利用超声波在铸件内传播特性,遇缺陷产生反射、折射,从而发现缺陷,对检测微小裂纹灵敏度高,常用于检测复杂结构铸件的隐蔽缺陷。有损检测技术中,金相分析通过观察铸件微观组织,评估其质量与性能,判断是否存在晶粒粗大、偏析等问题。力学性能测试则通过拉伸、冲击等试验,检测铸件强度、韧性等指标,确保铸件符合设计要求,综合无损与有损检测,全面评估复杂铸件质量。

3.3 质量控制体系构建

构建完善的质量控制体系是提升复杂铸件质量的核心。首先要建立质量控制标准,明确各铸造工序的质量要求,从原材料检验、工艺参数设定到成品检验,均制

定详细规范。例如,规定复杂铸件所用原材料的化学成分、物理性能标准,确保材料质量可靠。运用统计过程控制(SPC)方法,收集与分析铸造过程数据,如温度、压力、铸件尺寸等。绘制控制图,一旦数据超出控制界限,及时预警,提示操作人员调整工艺,预防质量问题发生。定期对质量控制体系审核与改进,根据实际生产中出现的质量问题,优化标准与流程,持续提升复杂铸件质量控制水平。

4 复杂铸件铸造工艺设计与质量控制技术的集成应用

4.1 集成应用的必要性

复杂铸件铸造工艺设计与质量控制技术的集成应用具有不可忽视的重要性。从工艺设计角度看,单一的工艺设计技术难以应对复杂铸件结构与性能的多元需求。例如,分型面设计虽能决定铸件脱模与外观质量,但缺乏质量控制技术的协同,无法提前察觉因充型、凝固问题导致的潜在缺陷。在大型复杂铸件中,若仅关注浇注系统设计使金属液充型顺畅,而忽视质量控制中的缺陷检测,可能在铸件内部形成缩孔、裂纹等隐患,严重影响铸件性能与使用寿命。质量控制技术若脱离工艺设计,如同无源之水。单纯依靠缺陷检测,只能在问题出现后补救,无法从根源上优化工艺。集成应用能让工艺设计为质量控制奠定基础,通过合理的分型面、浇注系统等设计,减少质量问题产生;质量控制技术则反向推动工艺设计改进,依据检测结果优化工艺参数,实现两者相辅相成,提升复杂铸件整体质量与生产效率。

4.2 集成应用策略与方法

在数据共享策略上,搭建铸造过程数据平台,将工艺设计阶段的参数数据(如浇口尺寸、冒口位置)与质量控制过程中的监测数据(温度、压力变化)、检测数据(缺陷类型、位置)整合。利用大数据分析技术,挖掘数据关联,为工艺优化提供依据。例如,分析温度数据与铸件缩孔缺陷的关系,调整浇注温度与冷却工艺^[4]。在协同设计方法上,组建跨部门团队,涵盖工艺设计师、质量控制工程师、模具制造商等。在工艺设计初期,质量控制人员依据质量标准提出设计建议,如在分型面设计时考虑后续无损检测的便利性;工艺设计师根据质量反馈,优化浇注系统与冒口冷铁设计,确保工艺满足质

量要求。在持续改进方法上,依据质量控制体系中的统计过程控制(SPC)结果,不断优化工艺设计参数,形成“设计-生产-检测-优化”的闭环,持续提升复杂铸件铸造水平。

4.3 集成应用实例与效果分析

以某航空发动机复杂铸铁叶片铸造为例,展示集成应用效果。在工艺设计阶段,采用多分型面设计满足叶片复杂外形脱模需求,同时结合质量控制要求,优化浇注系统,确保金属液平稳充型。在铸造过程中,运用温度、压力监测技术,实时监控铸造状态。通过无损检测技术,如射线探伤与超声波探伤,检测叶片内部质量。根据质量控制反馈,优化工艺参数,如调整浇注速度与冷却时间。集成应用后,叶片废品率从原来的30%降至10%,内部缩孔、裂纹等缺陷明显减少。力学性能测试结果显示,叶片强度与韧性提升15%,完全满足航空发动机严苛的性能要求。该实例表明,复杂铸件铸造工艺设计与质量控制技术的集成应用,能显著提高铸件质量,降低生产成本,增强企业在高端制造业的竞争力。对于铸铁叶片,通过控制石墨化过程,进一步提升了铸件性能。

结束语

综上所述,复杂铸件的铸造工艺设计与质量控制技术的集成应用,是提升铸件质量和生产效率的关键。通过不断优化工艺设计,加强质量控制,可以显著降低废品率,提高铸件性能,满足高端制造业的严苛要求。未来,随着技术的不断进步,复杂铸件的铸造工艺与质量控制将更加智能化、精细化,为制造业的高质量发展贡献力量。

参考文献

- [1]刘静,张建平,王小博.复杂铝合金铸件铸造工艺优化与设计[J].铸造技术,2020,41(03):243-247.
- [2]解海涛,刘金学,郝益伟,高华,刘志鹏.复杂镁合金精密铸件的熔模铸造工艺[J].铸造技术,2021,42(05):367-370.
- [3]张双槽,许广涛,周志杰,等.某铝合金铸件树脂砂型铸造工艺设计及优化[J].热加工工艺,2020,537(11):67-70.
- [4]王飞,刘德旺.压铸件起皮缺陷产生原因及防止对策[J].金属加工(热加工),2023,(09):115-117.