

浅谈铝合金轮毂低压铸造模具及系统设计

向海良¹ 邱武伟¹ 韩修浩² 邱培杰¹ 蒋 侠¹

1. 宁波精挚模具有限公司 浙江 宁波 315700

2. 浙江睿麟科技有限公司 浙江 宁波 315800

摘 要：铝合金轮毂因质轻、强度高、散热性好等优点，在现代汽车工业中得到广泛应用。低压铸造技术以其高纯度、优良成型效果及稳定生产过程，成为铝合金轮毂制造的核心工艺。本文探讨了铝合金轮毂低压铸造模具的结构设计，包括型腔、浇注系统、冷却系统和排气系统的优化，以确保铸造过程的稳定性和铸件质量。同时，分析了模具材料的选择与加工要求，以及系统设计的关键环节，旨在为铝合金轮毂的低压铸造提供理论参考和实践指导。

关键词：铝合金轮毂；低压铸造模具；系统设计

引言：铝合金轮毂作为现代汽车的重要部件，其质量与性能直接关系到车辆的安全性、舒适性和燃油经济性。随着汽车工业的快速发展，对铝合金轮毂的制造提出了更高的要求。低压铸造技术因其能够生产高品质、复杂形状的铸件，成为铝合金轮毂制造的首选工艺。本文将从铝合金轮毂低压铸造模具及系统设计出发，深入探讨模具设计的关键因素和系统设计的优化方向，旨在为铝合金轮毂的生产提供理论支持和实践指导，推动汽车制造业的持续发展。

1 铝合金轮毂低压铸造技术概述

1.1 铝合金轮毂的制造工艺

(1) 铸造与锻造工艺的比较：铸造工艺主要是靠金属液自身的重力或外部压力充型并凝固成型，工艺相对简单，成本较低，适用于大批量生产。而锻造工艺则是通过固态金属的塑性变形来成型，虽然工艺复杂、成本较高，但锻造轮毂具有更高的强度和韧性，性能更为优越。(2) 低压铸造的基本原理及特点：低压铸造是介于重力铸造和压力铸造之间的一种工艺。其基本原理是将铝合金液置于密封的坩埚中，通过压缩空气对坩埚中的铝合金液施加压力，使其沿升液管上升，通过浇注系统平稳地进入模具型腔，并在压力下凝固结晶。低压铸造的特点在于能够控制充型速度，避免合金液在充型时的翻腾、冲击和飞溅，从而减少氧化渣的形成和铸造缺陷的产生。同时，低压铸造的铸件内部组织致密，力学性能好，表面质量高^[1]。

1.2 低压铸造的历史与发展

(1) 低压铸造技术的起源与发展历程：低压铸造技术最早起源于20世纪初，随着汽车工业的发展，低压铸造技术得到了广泛的应用和推广。历经多年的发展，低压铸造技术已经日益成熟，成为铝合金轮毂生产中的主

要工艺之一。(2) 国内外低压铸造技术的应用现状：在国外，低压铸造技术已经广泛应用于铝合金轮毂的生产中，尤其是在欧洲和北美地区，低压铸造技术已经成为主流的生产工艺。在国内，随着汽车工业的快速发展和对铝合金轮毂质量要求的不断提高，低压铸造技术也得到了广泛的关注和应用，已经成为铝合金轮毂生产中的重要工艺之一。

2 铝合金轮毂低压铸造模具设计

2.1 模具设计的基本要求

(1) 模具的结构强度与刚度：模具必须具有足够的结构强度和刚度，以承受铝合金液在充型和凝固过程中产生的压力和热应力。这要求模具设计时要进行精确的力学分析，确保模具在长期使用中不易变形或损坏。此外，模具的壁厚和支撑结构的设计也是关键因素。(2) 模具的尺寸精度与耐磨性：由于铝合金轮毂对尺寸精度有严格要求，模具的设计必须确保铸件的尺寸精度满足规定标准。同时，模具的耐磨性也是至关重要的，因为模具在使用过程中会与铝合金液频繁接触，产生摩擦和磨损。为了提高耐磨性，模具表面通常需要经过特殊处理，如渗氮、渗碳或喷涂耐磨涂层。(3) 模具材料的选择与优化：模具材料的选择直接影响模具的性能和寿命。常用的模具材料包括H13热作模具钢、4Cr5MoSiV1 (SKD61) 等。这些材料具有良好的热强性、热疲劳抗力和耐磨性，能够满足铝合金轮毂低压铸造的要求。此外，通过优化模具材料的热处理工艺，可以进一步提高模具的性能和寿命。

2.2 模具的型腔设计

(1) 型腔数的确定与分型面位置的选择：型腔数的确定需要根据生产批量、模具尺寸和铸造机的能力进行综合考虑。一般来说，生产批量越大，型腔数越多，可

以提高生产效率。分型面的位置选择也很重要,它应位于铸件的最大截面上,以便于脱模和排气。(2)型腔间距与几何形状的设计:型腔间距的设计要考虑到铝合金液的流动性和凝固顺序,以确保铸件内部组织致密、无缺陷。同时,型腔的几何形状应根据铸件的具体要求进行设计,包括轮毂的轮廓、辐条的形状和位置等。在设计过程中,还需要考虑到模具的加工难度和成本^[2]。

2.3 模具的冷却系统设计

(1)冷却水道的布置与直径选择:冷却水道的布置应遵循均匀、合理的原则,以确保模具温度场的均匀分布。冷却水道的直径选择应根据模具的尺寸、热负荷和冷却水的流量进行综合考虑。一般来说,冷却水道直径越大,冷却效果越好,但也会增加模具的加工难度和成本。(2)冷却系统对模具温度场的影响:冷却系统对模具温度场的影响是显著的。合理的冷却系统可以确保模具在工作过程中保持稳定的温度,从而减少热应力和热变形。同时,冷却系统还可以加速铸件的凝固过程,提高生产效率。

2.4 浇注系统设计

(1)直浇道、横浇道和内浇道的尺寸与布局:直浇道、横浇道和内浇道的尺寸应根据铝合金液的流动性、铸造压力和铸件形状进行综合考虑。布局上应遵循简洁、流畅的原则,以减少铝合金液的流动阻力和充型时间。同时,还需要考虑到浇注系统的清理和维修方便性。(2)浇注系统对铝液流动和充型的影响:浇注系统的设计对铝液流动和充型过程具有重要影响。合理的浇注系统可以确保铝液平稳、均匀地充入型腔,避免产生湍流、涡流和夹杂物等缺陷。同时,浇注系统还可以控制铝液的冷却速度,从而影响铸件的组织和性能^[3]。

2.5 排气系统设计

(1)排气孔的位置、数量与尺寸:排气孔的位置应设置在铸件的最高点、死角和型腔深处等易于产生气体的地方。数量应根据铸件的形状和尺寸进行综合考虑,以确保气体能够顺利排出。尺寸上应遵循适度原则,既要保证排气效果,又要避免影响铸件的外观和质量。(2)排气系统对铸造缺陷的影响:排气系统对铸造缺陷的影响是显著的。合理的排气系统可以有效地减少铸件中的气孔、缩孔和夹渣等缺陷,提高铸件的质量和可靠性。同时,排气系统还可以缩短铸造周期,提高生产效率。在设计排气系统时,还需要考虑到模具的加工难度和成本,以确保排气系统的实用性和经济性。

3 铝合金轮毂低压铸造系统设计

3.1 加压曲线的安排与设计

(1)加压曲线的类型与特点。加压曲线通常分为三个阶段:升液阶段、充型阶段和增压凝固阶段。升液阶段,压力缓慢增加,确保铝合金液平稳上升,避免卷入气体和产生涡流。此阶段需控制压力上升速率,以保证铝液流动的均匀性。充型阶段,压力保持恒定,使铝液以稳定的速度充满模具型腔,减少铸造缺陷的产生。增压凝固阶段,压力适度增加,以补偿铝液凝固过程中的体积收缩,减少缩孔和缩松,同时促进铸件的均匀冷却。不同类型的铝合金和铸件结构可能需要定制化的加压曲线。例如,对于结构复杂、壁厚不均匀的铝合金轮毂,可能需要调整升液和充型阶段的压力和时间,以适应特定的充型和凝固需求。(2)加压装置的选择与控制方式。加压装置通常采用液压系统或气动系统。液压系统能够提供平稳、精确的压力控制,适用于高精度要求的铸件生产;气动系统则以其响应速度快、结构简单而著称,但压力控制精度相对较低。选择时,需综合考虑铸件质量要求、生产成本和设备维护等因素。控制方式方面,现代低压铸造系统普遍采用PLC(可编程逻辑控制器)或工业计算机进行自动化控制。这些控制系统能够实时监测和调整压力、温度等关键参数,确保铸造过程的稳定性和可控性。同时,它们还具备故障报警和数据记录功能,便于及时发现和解决问题,优化生产工艺。

3.2 铝合金的选择与使用

(1)铝合金的成分与性能要求。用于制造铝合金轮毂的铝合金通常具有高强度、良好的韧性和耐腐蚀性。常见的铝合金有A356、A380等,它们通过调整Si、Mg、Cu等合金元素的含量来满足特定的性能要求。例如,A356铝合金具有良好的铸造性能和力学性能,适用于制造各种汽车轮毂。在选择铝合金时,还需要考虑其热膨胀系数、热导率等物理性能,以确保铸件在凝固过程中的尺寸稳定性和热均匀性。(2)铝合金的熔炼与保温工艺。铝合金的熔炼和保温工艺对铸件的质量具有重要影响。熔炼过程中,需要严格控制熔炼温度和熔炼时间,以避免产生夹杂物、气孔等缺陷。同时,还需要对合金成分进行精确控制,以确保铸件的化学成分符合要求。保温工艺则旨在维持铝合金液在铸造过程中的温度稳定,避免温度波动对铸件质量的影响。现代熔炼炉通常采用电阻加热或感应加热方式,并配备有温度控制和合金成分检测装置,以实现熔炼和保温过程的精确控制^[4]。

3.3 铸造机的选择与配置

(1)铸造机的类型与特点。低压铸造机主要分为立式和卧式两种类型。立式铸造机结构紧凑,占地面积小,适用于小型铝合金轮毂的生产;卧式铸造机则具有

更大的铸造空间和更强的生产能力,适用于大型铝合金轮毂的生产。在选择铸造机时,还需要考虑其加压能力、温度控制能力、模具快速更换装置等因素,以确保铸造过程的稳定性和高效性。(2)铸造机对铸造过程的控制与管理。现代铸造机通常采用先进的自动化控制系统,如PLC或工业计算机,以实现铸造过程的精确控制和实时监测。这些控制系统能够根据预设的铸造参数(如加压曲线、铸造温度、模具温度等)对铸造过程进行自动调整和优化。同时,它们还具备数据记录和分析功能,能够收集和分析铸造过程中的关键数据,为后续的工艺改进和质量控制提供依据。此外,铸造机还配备有故障诊断和报警装置,能够及时发现并解决铸造过程中的潜在问题,确保生产线的连续性和稳定性。

4 铝合金轮毂低压铸造模具及系统的优化与创新

4.1 技术优化方向

4.1.1 模具结构的改进与优化

模具是低压铸造工艺中的核心部件,模具结构的合理性和先进性直接影响铸造效率和铸件质量。因此,模具结构的改进与优化是技术优化的首要任务。一方面,模具的设计应考虑铝合金的流动性和凝固特性,通过优化浇口位置、大小和形状,以及合理设置排气系统,确保金属液能够平稳、快速地充满模具型腔,避免卷入气体和产生缩孔等缺陷。另一方面,模具材料的选择也至关重要。高性能模具钢的应用,结合精密的热处理和表面处理技术,能够提高模具的硬度、耐磨性和抗热疲劳性能,从而延长模具的使用寿命,降低生产成本。

4.1.2 铸造工艺的创新与发展

铸造工艺的创新与发展是提高铸造质量和效率的关键。在铝合金轮毂低压铸造中,工艺参数如铸造压力、温度、时间等对铸件质量有着至关重要的影响。因此,通过精确控制这些参数,优化铸造过程,可以有效减少铸造缺陷,提高铸件的力学性能和表面质量。此外,新型铸造技术的引入也是工艺创新的重要方面。例如,采用真空辅助低压铸造技术,可以进一步降低铸造缺陷的产生,提高铸件的致密度和力学性能。同时,通过引入数值模拟技术,对铸造过程进行仿真模拟,可以预测铸造缺陷的产生,优化工艺参数,提高铸造质量和效率。

4.2 未来发展趋势

4.2.1 铝合金轮毂低压铸造技术的自动化与智能化

随着工业自动化和智能化技术的发展,铝合金轮毂低压铸造技术也将向自动化和智能化方向发展。通过引入先进的机器人技术、自动化生产线和智能管理系统,可以实现铸造过程的全面自动化和智能化监控。这不仅可以提高生产效率,降低人力成本,还可以实现铸造过程的精准控制和优化,进一步提高铸造质量和效率。

4.2.2 环保型铝合金轮毂的生产与回收技术

在全球环保意识日益增强的背景下,环保型铝合金轮毂的生产与回收技术也备受瞩目。在生产过程中,采用低能耗、低排放的生产工艺和设备已成为行业共识,这不仅有助于减少能源消耗,还能有效降低环境污染。同时,建立完善的废旧铝合金轮毂回收体系,运用先进的回收技术和设备,实现了废旧轮毂的高效回收和再利用。这一系列举措不仅降低了资源浪费,更促进了循环经济的发展,为铝合金轮毂产业的可持续发展奠定了坚实基础。

结束语

综上所述,铝合金轮毂低压铸造模具及系统的设计是一个复杂而精细的过程,涉及模具结构、材料选择、冷却与排气系统以及铸造工艺参数等多个方面。通过科学合理的模具设计及系统优化,可以显著提升铝合金轮毂的铸造质量和生产效率。未来,随着技术的不断进步和创新,铝合金轮毂低压铸造模具及系统设计将更加智能化、高效化,为汽车工业的发展贡献更大的力量。我们有理由相信,这一领域的研究与实践将持续推动汽车制造业迈向更高的水平。

参考文献

- [1]曾献,李发华,黄达鹏.新型铝合金轮毂低压铸造模具设计与工艺[J].汽车测试报告,2023,(09):90-91.
- [2]韩超.铝合金轮毂低压铸造数值分析及模具设计[J].设备管理与维修,2021,(11):120-121.
- [3]林波,张宾.低压铸造铝合金轮毂模具设计优化[J].内燃机与配件,2020,(12):134-135.
- [4]李玉升.低压铸造铝合金轮毂模具设计优化[J].汽车零部件,2020,(07):73-74.