

压铸模具结构优化对后纵梁成型质量的影响研究

林 真

宁波合力科技股份有限公司 浙江 宁波 315700

摘 要：压铸模具结构参数对后纵梁成型质量起着关键作用。浇口位置与尺寸、冷却系统参数、排气系统设计及顶出机构参数等因素，通过影响金属液充型、凝固及脱模过程，决定了后纵梁成型的精度、表面质量与内部组织性能。借助数值模拟技术建立模型，分析缺陷成因并优化结构参数，经方案验证与改进，可显著提升后纵梁成型质量，为压铸模具设计与生产提供理论支撑与技术指导，助力汽车零部件制造工艺升级。

关键词：压铸模具；结构优化；后纵梁成型；质量影响

引言：在汽车工业迅猛发展的背景下，后纵梁作为关键承载部件，其成型质量直接影响汽车安全性与可靠性。压铸工艺因高效、高精度等优势，成为后纵梁生产的重要方法。然而，压铸模具结构的复杂性致使后纵梁成型易出现缩孔、气孔、变形等缺陷。本文针对压铸模具结构参数，如浇口、冷却系统、排气系统及顶出机构，深入探究其对后纵梁成型质量的影响，结合数值模拟技术提出优化策略，对提升汽车零部件制造水平意义重大。

1 压铸模具结构与后纵梁成型概述

1.1 压铸模具结构

压铸模具作为实现高压铸造工艺的核心装备，其结构设计直接影响压铸件的成型质量与生产效率。典型压铸模具由定模和动模两大基本部分组成，定模安装于压铸机的固定模板，构成金属液填充型腔的固定侧，而动模则与压铸机的移动模板相连，实现模具的开合与铸件顶出动作。模具内部设有浇注系统，包含直浇道、横浇道和内浇口，该系统负责将熔融金属以精确的流速与流向引入型腔，通过合理设计浇口位置与尺寸，可有效控制金属液的填充形态，避免涡流与卷气现象。模具的型腔部分是决定压铸件几何形状与尺寸精度的关键区域，其表面质量要求极高，需通过精密加工与抛光处理降低表面粗糙度，防止脱模时拉伤铸件。冷却系统在模具结构中同样不可或缺，通常采用螺旋式或隔板式水道布局，通过循环冷却液带走压铸过程产生的大量热量，确保模具温度场均匀分布，从而稳定铸件成型过程，延长模具使用寿命。顶出机构由顶针、复位杆等零件构成，在开模后将成型铸件从模具型腔中顺利推出，其运动精度与力学性能直接关系到铸件的完整性与生产连续性。

1.2 后纵梁成型

后纵梁作为汽车车身结构中的关键承载部件，其成

型过程需兼顾力学性能与轻量化设计要求。后纵梁成型常采用压铸工艺，利用高压将熔融铝合金快速注入模具型腔，在短时间内实现金属液的充型与凝固。该工艺通过精确控制压铸参数，如压射速度、保压压力和冷却时间，可使后纵梁获得致密的内部组织，显著提升其拉伸强度与抗冲击性能。在成型过程中，后纵梁复杂的几何形状需通过多滑块与抽芯机构实现模具的分型与脱模。模具设计时需充分考虑后纵梁的加强筋、安装孔等特征，优化浇注系统布局，避免出现冷隔、缩孔等缺陷。为满足车身装配精度要求，后纵梁成型需严格控制尺寸公差，通过模流分析软件模拟金属液填充过程，预判可能出现的变形区域，提前进行模具结构修正。后纵梁成型后常需进行时效处理，以消除内部残余应力，进一步提升其尺寸稳定性与机械性能，确保在车辆碰撞等工况下发挥可靠的吸能与承载作用。

2 压铸模具结构参数对后纵梁成型质量的影响

2.1 浇口位置与尺寸

浇口作为金属液进入模具型腔的通道，其位置与尺寸直接决定后纵梁成型过程中的金属流动状态与填充效果。浇口位置若偏离后纵梁质心，会致使金属液在型腔内产生非对称流动，引发局部涡流与卷气现象，在成型件内部形成气孔、冷隔等缺陷。例如，当浇口设置于后纵梁薄壁区域附近时，金属液高速冲击薄壁会导致前沿温度骤降，降低流动性，造成填充不充分。浇口尺寸方面，过大的浇口截面积虽能提升金属液填充速度，但会使填充过程中金属液的剪切速率降低，不利于型腔内气体排出，且在凝固时易形成缩孔；浇口尺寸过小，会使金属液流经浇口时因摩擦生热导致温度升高，产生飞溅现象，同时延长填充时间，增加金属液提前凝固风险，影响成型件表面质量与尺寸精度。浇口形状与角度设计也会影响金属液的入模方向与扩散形态，合理的浇口设

计应综合后纵梁结构特征,使金属液以层流形式平稳、均匀地填充型腔,确保成型质量^[1]。

2.2 冷却系统参数

冷却系统在压铸模具中承担着控制金属液凝固过程、保证后纵梁成型质量的关键作用。冷却水道的布局、直径及冷却液流量等参数,直接影响模具温度场分布与金属液凝固速率。冷却水道若分布不均,会导致模具局部温度过高或过低,使后纵梁不同部位凝固速度不一致,产生较大的热应力,进而引发变形、开裂等缺陷。例如,当冷却水道距离型腔过远时,对应区域的金属液散热缓慢,凝固时间延长,而其他区域已完成凝固,这种凝固差异会在成型件内部积累残余应力。冷却水道直径与冷却液流量也需精准匹配,直径过小或流量不足,无法有效带走模具热量,导致模具温度持续升高,金属液凝固收缩加剧,影响成型件尺寸精度;直径过大或流量过大,则可能造成模具温度波动剧烈,使成型件表面出现冷斑、流痕等缺陷。冷却液的种类与温度同样重要,不同比热容与导热系数的冷却液,对模具冷却效果影响显著,合理选择冷却液并控制其温度,能优化模具温度场,提高后纵梁成型质量。

2.3 排气系统设计

压铸过程中,型腔内的气体若不能及时排出,会对后纵梁成型质量产生严重影响,因此排气系统设计至关重要。排气槽的开设位置与尺寸是排气系统的核心要素。排气槽应设置在金属液最后填充的部位、模具分型面以及型芯与型腔配合间隙处,这些区域是气体容易聚集的地方。若排气槽位置不当,无法有效排出型腔内气体,气体被压缩后会产生高温高压,导致成型件表面出现气孔、气泡、烧焦等缺陷,同时降低金属液的流动性,影响填充效果。排气槽的尺寸也需严格把控,深度过大可能导致金属液溢料,堵塞排气通道;深度过小则排气不畅。排气槽的宽度应根据模具大小与金属液填充速度进行合理设计,较宽的排气槽虽能提高排气效率,但会增加后续清理与加工难度。除排气槽外,分型面的粗糙度、配合精度以及模具镶件之间的间隙也可作为辅助排气通道,通过合理设计这些结构,形成高效的排气网络,确保型腔内气体顺利排出,保障后纵梁成型质量^[2]。

2.4 顶出机构参数

顶出机构负责将成型后的后纵梁从模具型腔中安全、顺利地脱出,其参数设计直接关系到成型件的完整性与表面质量。顶出机构的顶出位置与顶出力分布至关重要。若顶出位置设置不合理,如集中在成型件的薄壁或薄弱部位,会因局部受力过大导致成型件变形、开裂

甚至断裂;顶出位置过于分散,可能无法提供足够的顶出力,使成型件难以脱模。顶出力大小需根据后纵梁的形状、尺寸、材料以及与模具型腔的粘附力等因素进行精确计算,顶出力不足无法完成脱模动作,顶出力过大则会损伤成型件表面。顶出速度同样影响脱模效果,过快的顶出速度会使成型件与模具之间产生较大的冲击,造成表面划伤、变形;过慢的顶出速度则会延长生产周期,降低生产效率。顶出机构中顶针、推杆等零件的直径、长度及表面粗糙度也会对脱模过程产生影响,合适的零件尺寸与表面质量能减少成型件与顶出零件之间的摩擦,保证顶出过程平稳、顺畅,提高后纵梁成型质量与生产效率。

3 基于数值模拟的压铸模具结构优化策略

3.1 建立数值模拟模型

(1) 在建立数值模拟模型时,需对压铸模具的三维几何模型进行精准构建。借助专业的CAD软件,依据设计图纸对模具型腔、浇注系统、冷却系统等关键部件进行1:1数字化建模,确保模型几何尺寸与实际模具高度一致。采用高阶网格划分技术,针对模具复杂结构区域,如浇口、溢流槽等部位进行局部加密处理,以提升模拟计算精度,在保证计算效率的前提下,将网格数量控制在合理范围,确保计算资源的高效利用。(2) 材料属性的准确设定是数值模拟模型可靠性的重要保障。对于模具钢材料,需详细定义其热物理性能参数,包括导热系数、比热容、热膨胀系数等随温度变化的函数关系,以及力学性能参数,如弹性模量、屈服强度等。对于压铸合金材料,除热物理性能外,还需考虑其流变特性,通过实验数据拟合获得准确的本构方程,为模拟提供可靠的材料基础。(3) 边界条件与初始条件的合理设置直接影响模拟结果的准确性。在边界条件设定方面,根据压铸工艺实际情况,对模具与压铸机模板、模具与铸件之间的接触传热进行精确建模,考虑接触热阻对传热过程的影响。对于冷却系统,设定冷却液的流量、温度及对流换热系数。初始条件则需确定模具预热温度、合金液浇注温度等参数,以此构建完整的数值模拟模型,为后续分析奠定基础。

3.2 模拟分析与缺陷预测

(1) 通过数值模拟软件对压铸充型过程进行分析,能够直观呈现合金液在模具型腔内的流动形态。研究合金液的流速分布、自由表面变化及气体卷入情况,可判断是否存在浇不足、冷隔等缺陷风险。分析发现,当合金液在型腔内流动速度不均匀,局部区域流速过低时,易出现冷隔缺陷;在流动前沿气体无法及时排出的区

域,会形成气孔缺陷。(2)凝固过程的模拟分析聚焦于铸件内部温度场、应力场及缩孔缩松的形成过程。利用凝固判据,如Niyama判据,对铸件不同部位的凝固质量进行评估。通过分析温度梯度和冷却速率,预测缩孔缩松的产生位置和大小。在凝固后期,由于铸件不同部位冷却速度差异,会产生热应力,若热应力超过材料的强度极限,将导致铸件产生裂纹,模拟可清晰展现应力集中区域。(3)通过对压铸过程中模具的热-力耦合分析,能够了解模具在循环热载荷和机械载荷作用下的温度分布、应力应变情况。识别模具易产生疲劳裂纹的部位,如浇口附近、型腔拐角处等,这些部位在反复的热胀冷缩和机械冲击作用下,容易出现疲劳损伤,影响模具使用寿命,模拟结果为模具的维护和改进提供重要依据^[3]。

3.3 模具结构参数优化

(1)浇注系统参数优化是提高压铸质量的关键环节。对浇口的位置、形状和尺寸进行优化设计,通过改变浇口位置调整合金液的流动方向,避免产生涡流和卷气;优化浇口形状和尺寸,可控制合金液的流速和流量,使合金液在型腔内平稳充型。采用数值模拟对比不同浇口方案下的充型和凝固效果,选取最佳浇口参数,以减少铸件缺陷。(2)冷却系统结构优化旨在实现模具温度场的均匀分布,提高生产效率和铸件质量。调整冷却水道的布局、直径和间距,通过模拟分析不同冷却水道参数下模具的温度变化,确保模具在压铸过程中保持合适的工作温度。合理的冷却系统设计不仅能缩短铸件的冷却时间,提高生产节拍,还能减少因模具热变形导致的铸件尺寸偏差。(3)模具结构的强度和刚度优化通过分析模具在压铸过程中的受力情况,对模具的关键部件,如模座、模板等进行结构改进。利用有限元分析方法,评估不同结构设计下模具的应力分布和变形情况,在满足模具强度和刚度要求的前提下,优化模具结构,减轻模具重量,降低制造成本,同时提高模具的可靠性和使用寿命。

3.4 优化方案验证与改进

(1)将优化后的模具结构方案精准转化为实际模具制造图纸,每一个细节都严格按照图纸要求进行规划与标注。在模具加工制造过程中,积极采用先进的加工工艺和精准的检测手段,全方位确保模具的加工精度和表面质量。对关键部件进行无损检测,如超声波探伤、磁粉探伤等,保证模具在投入使用前无内部缺陷。(2)在压铸机上对优化后的模具进行试模实验,严格控制压铸工艺参数,如浇注温度、压射速度、保压压力和保压时间等。通过试模生产多件铸件,对铸件进行全面的质量检测,包括尺寸精度测量、表面质量检查、内部缺陷检测等,获取实际生产数据,与数值模拟结果进行对比分析。(3)根据试模实验结果,分析优化方案存在的不足。若发现铸件仍存在缺陷,或模具性能未达到预期目标,需重新审视数值模拟过程和优化方案,对模具结构参数进行进一步调整和优化。重复数值模拟、模具制造和试模实验的过程,直至铸件质量满足要求,模具性能达到最佳状态,实现压铸模具结构的持续优化^[4]。

结语

综上所述,压铸模具结构参数与后纵梁成型质量紧密相关。通过系统分析浇口、冷却、排气及顶出机构等参数的影响,借助数值模拟技术建立优化模型,有效预测并解决成型缺陷问题。研究成果不仅完善了压铸模具设计理论,还为实际生产提供了可操作的优化方案,对推动汽车后纵梁压铸工艺发展、提升产品质量和生产效率具有重要的实践价值。

参考文献

- [1]侯丽彬,白明月,王琳琳.浅析大型压铸模零件设计的结构优化[J].铸造,2022,71(6):689-693.
- [2]付国华,张礼学.一种双脊喇叭天线板压铸模具工艺设计及优化[J].电子机械工程,2022,38(4):60-64.
- [3]王新良.压铸模具表面强化处理对耐磨性及脱模性能的影响研究[J].奥秘,2024(3):49-51.
- [4]马启涛,华露明.商用车车架纵梁成型质量影响因素分析[J].汽车博览,2023(19):110-112.