

延长压铸模具寿命方法研究

宋泽忠¹ 蒋进进² 代普兵³ 周旺钦⁴ 俞芬⁵

1. 宁波甬抚模具技术有限公司 浙江 宁波 315806

2. 宁波亿科电梯工程有限公司 浙江 宁波 315599

3. 鸿正联塑(浙江)机械有限公司 浙江 台州 317500

4. 浙江奥鸿机电设备有限公司 浙江 温州 325088

5. 宁波市北仑区一博职业培训学校有限公司 浙江 宁波 315800

摘要: 压铸模具作为现代制造业关键工装,其寿命直接影响生产效率与成本。模具在复杂工况下易出现热疲劳、热磨损、塑性变形及化学腐蚀等失效形式,而材料性能、设计方案、制造工艺及使用维护等因素对其寿命影响显著。通过合理选材、优化设计、改进工艺及加强使用维护管理等措施,可有效延缓模具失效进程,提升其使用寿命,对推动压铸行业高效、低成本发展具有重要现实意义。

关键词: 压铸模具; 寿命延长; 方法

引言

在现代制造业高速发展背景下,压铸技术凭借高效、精密等优势广泛应用于汽车、航空航天等领域。然而,压铸模具寿命问题长期制约行业发展,频繁更换模具不仅增加生产成本,还影响生产连续性与产品质量稳定性。为此,深入研究压铸模具工作原理、失效机制及影响寿命的关键因素迫在眉睫。本文基于对压铸模具失效形式及影响因素的系统分析,探讨延长其寿命的有效方法,旨在为行业提供理论参考与实践指导。

1 压铸模具的工作原理与失效形式

1.1 压铸模具的工作原理

(1) 压铸模具是实现压力铸造工艺的关键装备,其核心构造包含定模与动模两大组件,二者在压铸机的作用下实现精准开合。定模固定于压铸机定模座板,动模则与压铸机的动模座板相连,通过压铸机的合模机构驱动实现合模动作,合模后形成完整的型腔,为金属液成型提供空间。(2) 工作时,经过熔炼并达到合适浇注温度的液态金属,在高压作用下,通过压铸机的压射系统高速填充至模具型腔内。此过程中,金属液的高速流动不仅要确保型腔的快速、完整填充,还要在高压下实现对型腔各部位的致密压实,以获得轮廓清晰、尺寸精度高的压铸件。(3) 待金属液在型腔内冷却凝固后,压铸机的开模机构带动动模移动,实现模具开启,随后通过顶出机构将成型的压铸件从动模中顶出,完成一个压铸循环。整个过程涉及模具的精确运动控制、金属液的流动与凝固特性以压力的有效传递,对模具的设计、制造和使用提出了极高要求。

1.2 压铸模具的失效形式

1.2.1 热疲劳失效

(1) 压铸模具在工作过程中,反复承受金属液注入时的高温(可达600-800℃甚至更高)与脱模时的急冷,这种周期性的温度变化在模具表面产生交变热应力。

(2) 当热应力超过模具材料的疲劳极限,模具表面会逐渐萌生微裂纹,随着压铸循环次数的增加,微裂纹不断扩展、交汇,形成网状裂纹,即热疲劳裂纹。这些裂纹会削弱模具的强度和完整性,严重时导致模具局部剥落或断裂,影响压铸件的质量和模具使用寿命。(3) 模具材料的热导率、热膨胀系数以及热处理状态等因素,都会显著影响热疲劳失效的进程,材料热导率低、热膨胀系数大则更易产生热疲劳。

1.2.2 热磨损失效

(1) 在压铸过程中,高速流动的高温金属液与模具型腔表面产生强烈的摩擦和冲刷作用。金属液中可能存在的硬质颗粒以及凝固过程中产生的晶界,都会加剧对模具表面的磨损。(2) 随着压铸次数的累积,模具表面材料不断被磨损去除,导致型腔尺寸发生变化,压铸件的尺寸精度和表面质量下降。热磨损主要发生在金属液冲刷严重的浇口、流道及型腔表面转角等部位,其磨损速率与金属液的流速、温度、模具表面硬度和粗糙度密切相关。(3) 模具表面硬度不足、润滑条件不佳时,热磨损失效会更为严重,加速模具的报废。

1.2.3 塑性变形失效

(1) 压铸过程中,模具型腔表面承受着极高的压应力,当这些压应力超过模具材料在高温下的屈服强度

时, 模具材料就会发生塑性变形。(2) 模具的薄弱部位, 如尖角、薄壁处, 更容易因应力集中而产生塑性变形, 表现为型腔表面塌陷、棱角变钝等。塑性变形会改变模具的尺寸精度, 使压铸件无法满足设计要求, 同时也会影响模具的装配和使用性能。(3) 模具材料的高温强度和韧性不足, 以及模具结构设计不合理导致的应力分布不均, 是引发塑性变形失效的主要原因。

1.2.4 化学腐蚀失效

(1) 高温液态金属与模具表面材料在压铸过程中会发生化学作用, 金属液中的某些元素(如铁、铝等)会与模具材料中的成分发生化学反应, 形成低熔点化合物或脆性相。(2) 这些反应产物会降低模具表面的强度和硬度, 在后续的压铸过程中易被金属液冲刷去除, 导致模具表面被腐蚀。化学腐蚀通常发生在与金属液直接接触的型腔表面, 随着腐蚀的加剧, 模具表面会出现凹坑、麻点, 影响压铸件的表面质量和尺寸精度。(3) 模具材料的化学稳定性以及金属液的化学成分, 对化学腐蚀失效的程度起着决定性作用, 材料抗腐蚀性能差或金属液腐蚀性都会加速化学腐蚀进程。

2 影响压铸模具寿命的因素

2.1 模具材料因素

模具材料的选择直接决定其服役性能与寿命周期。优质热作模具钢需具备良好的高温强度、热疲劳抗力及抗热磨损性能, 如H13钢因其含有铬、钼、钒等合金元素, 在高温下能形成稳定碳化物, 有效提升硬度与耐磨性, 同时具备良好的淬透性和韧性, 可抵抗压铸过程中的热冲击。若材料纯净度不足, 存在夹杂物、疏松等缺陷, 会成为裂纹萌生的源头, 加速模具失效。材料的导热性能对模具寿命至关重要, 良好的导热性有助于快速导出压铸过程产生的热量, 避免局部过热导致材料软化变形, 降低热疲劳风险。根据压铸合金种类、生产批量及工艺要求, 合理选择模具材料并严格控制材料质量, 是延长模具寿命的基础^[1]。

2.2 模具设计因素

模具结构设计的合理性直接影响其工作时的应力分布与热传递状态。合理的模具结构应确保金属液充型流畅, 避免涡流、紊流导致的局部冲刷与磨损, 同时减少尖角、截面突变等结构缺陷, 防止应力集中现象。冷却系统设计是模具设计的关键环节, 科学布置冷却水道能有效控制模具温度场, 降低热疲劳损伤。例如, 采用随形冷却技术, 可使模具表面温度分布更均匀, 减少热变形。分型面的设计需考虑压铸工艺要求, 确保分型面贴合紧密, 防止金属液窜入产生飞边, 同时便于模具开合

与铸件脱模。脱模机构的设计应保证脱模力均匀分布, 避免因局部受力过大导致模具零件损坏。完善的模具设计需综合考虑力学、热学及工艺等多方面因素, 从源头上保障模具的可靠性与使用寿命。

2.3 加工制造工艺因素

加工制造工艺水平对模具寿命有着决定性影响。机械加工过程中, 加工精度直接影响模具装配质量与工作性能, 尺寸误差、形位公差超差会导致模具配合不良, 引发应力集中与局部磨损。电火花加工产生的白层与变质层, 若未进行后续处理, 会降低模具表面性能, 成为裂纹扩展的通道。热处理工艺是提升模具性能的核心环节, 淬火温度、冷却速度及回火次数等参数的精准控制, 可使模具获得理想的组织结构与力学性能。例如, 采用真空淬火处理能有效减少氧化脱碳, 提升模具表面质量; 多次回火可消除残余应力, 提高模具韧性。表面处理工艺如氮化、镀硬铬等, 能在模具表面形成防护层, 增强耐磨性与抗腐蚀性, 显著延长模具使用寿命。严格把控加工制造各环节工艺质量, 是保障模具性能与寿命的关键^[2]。

2.4 使用与维护因素

压铸模具的正确使用与维护是延长其寿命的重要保障。压铸过程中, 压铸参数的合理设定至关重要, 过高的压射速度与压力会加剧模具磨损与冲击, 缩短模具寿命; 不合适的浇注温度会导致模具热负荷过大或充型不良, 影响模具性能。模具的润滑与冷却条件直接关系到其工作状态, 良好的润滑可减少模具与铸件之间的摩擦, 降低磨损; 合理的冷却参数能维持模具温度稳定, 防止热疲劳。定期对模具进行全面检查与维护, 及时修复磨损、裂纹等缺陷, 更换损坏零件, 可有效防止缺陷扩展, 延长模具使用寿命。模具的存放与保管也需规范, 避免因环境因素导致模具锈蚀或变形。通过科学的使用管理、精细的维护保养举措, 可充分发挥模具性能, 实现其最大使用价值。

3 延长压铸模具寿命的方法

3.1 合理选择模具材料

(1) 压铸模具工作过程承受高温、高压、高速金属液冲刷, 需选用具备优异热强性、热疲劳抗力及耐磨性的材料。H13钢作为常用模具钢, 其含碳量与合金元素配比使其兼具良好韧性和高温强度, 通过真空淬火与回火处理, 可有效提升硬度与抗热裂性能, 适用于常规压铸生产场景。(2) 针对高熔点合金压铸, 如镁合金、铝合金等, 可采用钨系、钼系热作模具钢。此类材料含钨、钼等合金元素, 在高温环境下这些元素能形成高硬度碳

化物,有效增强材料的高温耐磨性与抗软化能力,从而在复杂工况下维持模具尺寸稳定性。(3)表面处理技术的应用可显著改善模具材料性能,如采用氮化处理在模具表面形成致密氮化层,提升表面硬度与耐腐蚀性;物理气相沉积(PVD)镀覆TiN、CrN等硬质涂层,降低金属液与模具表面摩擦力,减少粘模与冲蚀现象,从材料表面层面延长模具使用寿命。

3.2 优化模具设计

(1)合理的模具结构设计是延长寿命的关键,需充分考虑压铸过程中金属液流动特性与模具受力分布。浇注系统设计应确保金属液平稳、快速填充型腔,避免出现涡流、紊流现象,减少对模具壁面的冲刷。通过模拟软件对金属液填充过程进行仿真分析,优化浇口位置、形状与尺寸,降低局部应力集中。(2)模具冷却系统的科学布局直接影响模具温度场分布,不合理的冷却会导致模具局部过热,加速热疲劳失效。采用随形冷却技术,依据模具型腔形状设计冷却水道,使模具温度均匀,快速散除压铸过程产生的热量,减少热变形。冷却水道的直径、间距及走向需经精确计算,保证冷却效率与均匀性。(3)在模具结构强度设计上,需对关键部位进行强度校核,尤其是分型面、滑块、镶件等易磨损与受力部位。增加过渡圆角、优化壁厚分布,避免尖锐棱角与壁厚突变产生应力集中,通过有限元分析评估模具结构在压铸工况下的力学性能,确保模具整体结构强度与稳定性^[3]。

3.3 改进加工制造工艺

(1)模具加工精度直接影响其使用性能与寿命,数控加工技术的应用可实现高精度加工。在铣削加工中,采用高速铣削工艺,通过小切削深度、高进给速度的加工方式,降低表面粗糙度,减少刀具切削力对模具材料的损伤,提高模具表面质量与尺寸精度。电火花加工时,优化放电参数,控制电极损耗,减少加工表面微裂纹的产生。(2)热处理工艺是提升模具材料性能的重要环节,精确控制淬火温度、保温时间与冷却速度,可使模具获得理想的组织与性能。采用分级淬火、等温淬火等工艺,减少淬火应力,避免模具变形与开裂。回火处理需充分消除残余应力,提高材料韧性,稳定组织与尺寸。(3)模具装配过程同样关键,各部件的装配精度与配合间隙需严格把控。滑块、导柱、导套等运动部件需保证良好的滑动性能,避免因装配不当导致的卡滞与磨

损。通过研磨、抛光等精加工手段,提高配合面的表面质量,减少摩擦阻力,确保模具开合模动作顺畅,降低部件磨损,延长模具整体寿命。

3.4 加强模具的使用与维护管理

(1)压铸生产过程中的工艺参数控制对模具寿命影响显著,需严格控制压铸温度、压力与速度。过高的压铸温度会加速模具热疲劳,降低材料强度;压铸压力与速度过大,则会加剧金属液对模具的冲刷与侵蚀。通过试验与生产经验,确定合理的工艺参数区间,并实时监测与调整,确保生产过程稳定,减少对模具的损伤。(2)模具的润滑与冷却系统维护至关重要,定期检查冷却水道是否堵塞、漏水,及时清理水道内的水垢与杂质,保证冷却效果。对模具运动部件进行合理润滑,选择合适的润滑剂,定期涂抹或注入,减少摩擦磨损,防止部件卡死。保持模具表面清洁,及时清理残留金属渣与脱模剂积垢,避免对模具表面造成腐蚀与磨损。(3)建立完善的模具使用与维护档案,记录模具使用次数、维修情况及出现的问题。根据模具使用状况,制定合理的检修周期,定期对模具进行全面检查与保养,及时发现并修复模具表面裂纹、磨损等缺陷。对于磨损严重的部件,及时进行更换或修复,防止问题扩大化,确保模具始终处于良好的工作状态,从而有效延长模具使用寿命^[4]。

结束语

综上所述,压铸模具寿命受材料、设计、制造及使用维护等多因素综合影响。通过合理选择高性能模具材料、优化模具结构设计、改进加工制造工艺及加强使用维护管理,可显著提升模具的综合性能与服役寿命。未来,随着材料科学与制造技术的不断进步,延长压铸模具寿命的研究将向智能化、精细化方向发展,进一步满足制造业高质量发展需求。

参考文献

- [1]李海龙,黄佳伟,郭忠昌,等.延长高端压铸模具材料使用寿命的工艺研究[J].锻造与冲压,2023(5):20,22,24,26.
- [2]宋秋龙.探索提高铝合金压铸模具质量的加工方法[J].河北农机,2021(6):134-135.
- [3]朱芬芳,李慕译.浅析影响压铸模寿命的因素及措施[J].汽车博览,2021(1):3-4.
- [4]陈浩.基于智能算法的压铸模具寿命监控装置研究[J].奥秘,2024(2):16-18.