

压铸工艺参数对压铸模具寿命的影响及优化研究

刘 岩

一汽铸造模具设备厂 吉林 长春 130011

摘 要：本文深入探讨了压铸工艺参数对压铸模具寿命的具体影响，并通过理论分析提出了针对性的优化策略。压铸工艺参数，包括温度、压力、速度和冷却条件，对模具的热疲劳、磨损及裂纹产生等寿命影响因素具有显著作用。通过精细化控制这些参数，可以有效延长压铸模具的使用寿命，提高生产效率并降低成本。

关键词：压铸工艺参数；压铸模具寿命；影响；优化

前言

压铸作为一种高效、精确的金属成形工艺，在汽车、电子、航空等领域有着广泛应用。然而，压铸过程中模具需承受高温高压的金属熔液冲击，导致模具易受损，寿命缩短。因此，深入研究压铸工艺参数对模具寿命的具体影响，并通过优化工艺参数来延长模具寿命，对于提高生产效率和产品质量具有重要意义。

1 压铸工艺参数对模具寿命的具体影响

1.1 温度对模具寿命的影响

温度是压铸过程中一个极为关键的参数，它直接影响着模具材料的物理性能和化学稳定性，从而对模具寿命产生深远影响。当模具温度过高时，模具材料会发生软化，其硬度和耐磨性会显著下降。这是因为高温使得模具材料中的微观结构发生变化，导致材料强度降低。在这种情况下，模具表面更容易受到金属液的冲刷和磨损，加速模具的损坏过程。同时，高温还会促进模具表面的氧化反应，形成氧化层，进一步降低模具的耐磨性。此外，模具温度梯度大还会引起热应力。由于模具内部温度分布不均，不同部位的热膨胀程度不同，从而产生热应力。当热应力超过模具材料的抗拉强度时，就会导致模具开裂。这种裂纹通常出现在模具的应力集中部位，如尖角、圆角或孔洞处。具体表现为模具表面出现凹陷、裂纹，铸件尺寸不稳定，因为模具的变形会影响铸件的成型精度。相反，如果模具温度过低，也会对模具寿命产生不利影响。低温下，模具材料的脆性增加，易产生裂纹。这是因为低温使得模具材料中的原子间结合力增强，材料变得更加僵硬和脆弱。在这种情况下，模具在受到冲击或振动时更容易断裂。同时，低温还会影响铸件的充型和凝固质量。金属液在低温模具中的流动性变差，容易出现充型不足或冷隔等缺陷。此外，低温还会使铸件内部的凝固速度加快，导致铸件内部产生缩孔、缩松等缺陷。具体表现为铸件表面粗糙，

因为低温下金属液的流动性差，难以充分填充模具型腔；内部缺陷增多，如缩孔、缩松等；模具易断裂，因为低温下模具材料的脆性增加。

1.2 压力对模具寿命的影响

压力是压铸过程中的另一个重要参数，它直接影响着金属液充型的过程和铸件的质量，同时对模具寿命也有着显著的影响。压射比压过高时，模具表面会承受过大的机械应力。这种应力超过了模具材料的屈服强度，就会导致模具表面发生塑性变形，甚至产生裂纹。具体来说，当金属液以高速注入模具型腔时，会对模具型腔表面产生强烈的冲击作用。如果压射比压过高，这种冲击作用就会加剧，导致模具型腔表面磨损严重。同时，过高的压力还会使模具材料内部的微观缺陷（如气孔、夹杂物等）扩展，形成裂纹。这些裂纹会逐渐扩展并连接在一起，最终导致模具破裂。具体表现为模具型腔表面磨损严重，铸件表面质量下降，因为模具表面的磨损会直接影响铸件的成型精度和表面光洁度^[1]。此外，压力波动大也会加剧模具材料的疲劳损伤。在压铸过程中，如果压力波动过大，就会使模具材料受到交变应力的作用。这种交变应力会导致模具材料内部的微观结构发生变化，产生疲劳裂纹。这些疲劳裂纹会逐渐扩展并连接在一起，形成宏观裂纹，最终导致模具破裂。具体表现为模具易产生疲劳裂纹，铸件尺寸和形状不稳定，因为模具的变形和破裂会影响铸件的成型精度和尺寸稳定性。

1.3 速度对模具寿命的影响

速度是指金属液注入模具型腔的速度，它对铸件的充型过程和模具寿命也有着重要的影响。当填充速度过高时，金属液会对模具型腔产生强烈的冲击和冲刷作用。这种冲击和冲刷作用会使模具型腔表面受到严重的磨损和损伤。具体来说，当金属液以高速注入模具型腔时，会产生大量的动能和热能。这些能量会转化为对模具型腔表面的冲击力和冲刷力，导致模具型腔表面出现

冲刷痕迹和磨损。同时,过高的填充速度还会使金属液在模具型腔内产生紊流现象,增加铸件内部的气孔数量。这些气孔会降低铸件的力学性能和密封性能。具体表现为模具型腔表面出现冲刷痕迹,铸件内部气孔增多,因为高速填充会产生紊流现象和大量的气体卷入。此外,速度变化过大也会引起模具温度急剧升高或降低。在压铸过程中,如果填充速度变化过大,就会使模具受到急剧的温度变化。这种温度变化会产生热应力,导致模具开裂。具体来说,当填充速度突然增加时,金属液会带来大量的热能,使模具温度急剧升高。反之,当填充速度突然减小时,模具温度会急剧降低。这种急剧的温度变化会使模具材料受到热应力的作用,产生裂纹。具体表现为模具易产生热裂纹,铸件质量不稳定,因为模具的开裂和变形会影响铸件的成型精度和质量稳定性。

1.4 冷却条件对模具寿命的影响

冷却条件是压铸过程中不可忽视的一个重要因素,它直接影响着模具的温度分布和热应力状态,从而对模具寿命产生重要影响。当冷却不足时,模具温度过高,会引起模具材料软化和热疲劳裂纹。具体来说,如果模具的冷却系统设计不合理或冷却介质流量不足,就会导致模具无法及时散发热量。在这种情况下,模具温度会逐渐升高,超过模具材料的正常工作温度范围。高温会使模具材料软化,降低其硬度和耐磨性。同时,高温还会使模具材料受到热应力的作用,产生热疲劳裂纹。这些裂纹会逐渐扩展并连接在一起,最终导致模具破裂。具体表现为模具表面温度过高,铸件尺寸不稳定(因为模具的变形会影响铸件的成型精度),模具易产生热裂纹。相反,如果冷却过度,也会使模具温度过低,影响铸件的充型和凝固质量,甚至导致模具开裂^[2]。具体来说,如果模具的冷却系统设计过于强大或冷却介质流量过大,就会导致模具温度过低。在这种情况下,金属液的流动性会变差,容易出现充型不足或冷隔等缺陷。同时,过低的模具温度还会使铸件内部的凝固速度加快,导致铸件内部产生缩孔、缩松等缺陷。此外,过低的模具温度还会使模具材料受到冷应力的作用,产生冷裂纹。这些裂纹会逐渐扩展并连接在一起,形成宏观裂纹,最终导致模具破裂。具体表现为铸件表面出现冷隔、流纹等缺陷(因为低温下金属液的流动性差),模具易产生冷裂纹。

2 压铸工艺参数的优化策略

2.1 温度参数的优化

2.1.1 模具温度的优化

随着科技的进步,模具温度控制技术取得了显著进展。例如,智能温控系统通过集成传感器、控制器和执行器,实时监测模具温度,并根据预设的温控策略自动调节加热或冷却设备,实现模具温度的精确控制。这些系统通常采用PID(比例-积分-微分)或PLC(可编程逻辑控制器)算法,控温精度可达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,极大地提高了模具温度的稳定性。传统的模具加热方式包括电阻加热、气体加热等,而冷却方式则主要是水冷却或油冷却。近年来,随着导热油技术的发展,压铸专用模具温度机应运而生。这种设备使用传热油作为介质,通过加热和冷却效率以及循环速度,微机PID调节并控制油温,实现模具温度的快速响应和精确控制。对于大型或复杂结构的模具,单一的温度控制难以满足要求。分区温控技术将模具划分为多个区域,每个区域独立控制温度。这不仅可以实现模具各部位温度的均匀性,还能根据铸件的不同部位对温度的不同需求进行精确调节。通过优化冷却回路的设计,如采用螺旋式、蛇形或多点式冷却回路,可以提高冷却效率,减少温度梯度,从而改善压铸件的内部质量和表面质量。此外,在模具的关键部位安装热传感器,实时监测温度并反馈至控制系统,可以进一步提高温度控制的精确性。例如,对于铝合金压铸件,模具温度通常控制在 $230\sim 280^{\circ}\text{C}$ 之间,这一温度范围有利于获得优质高产铸件。

2.1.2 金属液温度的优化

金属液温度是影响压铸件质量的重要因素之一。金属液温度过高或过低都会导致一系列质量问题。温度过高会使金属液在模具内过早凝固,形成气孔和缩孔;温度过低则会影响金属液的流动性,导致铸件填充不良。在实际操作中,需要根据合金种类和铸件结构选择合适的金属液温度。例如,锌合金的浇注温度通常在 $400\sim 450^{\circ}\text{C}$ 之间,铝合金的浇注温度则在 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 之间。同时,还需要考虑金属液在输送过程中的温度损失,确保金属液在浇注时保持在最佳温度范围内。

2.2 压力参数的优化

2.2.1 压射比压的优化

对于薄壁件,压射比压可选高些;对于厚壁件,增压比压可选高些。同时,铸件的几何形状复杂程度也会影响压力参数的设定。形状复杂件需要选择高的比压,以确保金属液能够充分填充模具型腔;形状简单件则可以选择较低的比压。压铸合金的特性也是决定压力参数设定的关键因素。例如,合金的结晶温度范围大时,需要选择高的压射比压;合金的流动性好时,可以选择较低的压射比压。此外,合金的密度和比强度也会影响压

力参数的设定。密度大的合金需要选择高的压射比压和增压比压；要求比强度大的合金则需要选择高的增压比压。浇注系统和排溢系统也会影响压力参数的设定^[3]。例如，浇道阻力大或散热速度快的浇注系统需要选择高的压射比压；排气道分布合理或截面积足够的排溢系统可以选择高的压射比压和压实比压。

2.2.2 增压比压和保压时间与保压比压的优化

增压比压是压铸过程中压实金属的关键参数，它直接影响铸件的致密度和强度。在实际操作中，需要根据合金种类和铸件结构选择合适的增压比压。保压时间和保压比压也是影响铸件质量的重要因素。保压时间过短或保压比压过小都会导致铸件在凝固过程中的收缩得不到充分补缩，从而降低铸件的机械性能。因此，在实际操作中需要根据铸件壁厚和观察内浇口处是否出现缩孔等缺陷来调节保压时间和保压比压。

2.3 速度参数的优化

2.3.1 慢压射速度的优化

在实际操作中，需要根据合金种类和铸件结构选择合适的慢压射速度。一般来说，慢压射速度应尽可能低，以减少液态金属在流通过程中的摩擦和湍流引起的压力损失。这样可以保持金属液与壁面的接触，避免空气混入。建议取压铸机最大压射速度的25%~35%。同时，压射时间应在合理范围内，时间过长易在喷口处出现金属冷凝现象。

2.3.2 快压射速度和内浇口速度的优化

快压射速度过低会使金属液填充模具型腔时间过长，导致铸件表面质量下降和内部缺陷增多；快压射速度过高则会使金属液在模具内产生紊流和卷气现象，降低铸件质量。在实际操作中，需要根据合金种类和铸件结构选择合适的快压射速度。一般来说，快压射速度与内浇口速度成正比，一般从低向高调节。在不影响铸件质量的情况下，以较低得快压射速度即内浇口速度为宜。对于薄壁锌合金铸件要达到45~60m/s。

2.4 冷却条件的优化

2.4.1 冷却水流量和压力的优化

冷却水流量和压力过低会导致模具温度过高，影响铸件质量和生产效率；冷却水流量和压力过高则会造成能源浪费和设备损坏。在实际操作中，需要根据模具大小和冷却要求选择合适的冷却水流量和压力^[4]。通过增加

冷却水流量和压力，可以更有效地降低模具温度，从而缩短铸件在模具内的冷却时间，同时保证铸件质量。

2.4.2 冷却水道布局 and 设计的优化

冷却水道布局和设计是影响模具冷却效果的关键因素之一。合理的冷却水道布局可以确保模具各部分温度均匀，避免局部过热或过冷，有利于铸件的均匀冷却。在实际操作中，需要根据模具结构和铸件要求设计合理的冷却水道布局。例如，对于大型或复杂结构的模具，可以采用分区温控技术将模具划分为多个区域，每个区域独立控制温度。同时，还需要考虑冷却水道的直径、形状和数量等因素，以确保冷却效果的最佳化。此外，还可以采用先进的冷却回路设计技术，如螺旋式、蛇形或多点式冷却回路等，以提高冷却效率和减少温度梯度。

2.4.3 辅助冷却设备的使用

在压铸生产过程中，还可以采用辅助冷却设备来进一步提高模具的冷却效果。例如，可以在模具表面安装风扇或冷却喷雾等设备来加快模具的散热速度。但需要注意避免对模具和铸件造成过大的热应力影响。

结语

压铸工艺参数对模具寿命具有显著影响。通过精细化控制温度、压力、速度和冷却条件等工艺参数，可以有效延长压铸模具的使用寿命，提高生产效率并降低成本。因此，在实际生产中应重视压铸工艺参数的优化工作，采用先进的设备和技术手段对工艺参数进行精确控制和调整。同时，还应加强对操作人员的培训和管理，确保他们能够正确操作和维护压铸设备，为延长模具寿命和提高铸件质量提供有力保障。

参考文献

- [1]赵晓青,罗朝峯.压铸模具寿命的影响因素[C]//重庆铸造行业协会,重庆市机械工程学会铸造分会.2019重庆市铸造年会论文集.重庆大江美利信压铸有限责任公司,;2019:3.
- [2]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,(05):20+22+24+26.
- [3]夏家引.铝合金压铸模具失效分析及寿命提高措施[J].中国新技术新产品,2020,(09):63-64.
- [4]林旺.铝合金压铸模具的失效和寿命分析[C]//重庆铸造行业协会,重庆市机械工程学会铸造分会.2019重庆市铸造年会论文集.重庆隆鑫压铸有限公司,;2019:2.