

半固态触变成型技术在镁合金压铸中的应用及性能研究

李厚田

华誉精密科技(含山)有限公司 安徽马鞍山

【摘要】在工业轻量化浪潮下,镁合金凭借密度低、比强度高的特性,于汽车、航空航天等领域的应用不断拓展。半固态触变成型技术作为新型加工工艺,通过调控镁合金半固态浆料状态,实现精确成型。研究深入剖析该技术在镁合金压铸中的应用过程,从微观组织、力学性能、成型质量等维度,系统探究其对镁合金性能的提升作用,为镁合金压铸产业的技术升级提供详实理论与实践依据。

【关键词】半固态触变成型; 镁合金; 压铸; 微观组织; 力学性能

【收稿日期】2025 年 3 月 5 日

【出刊日期】2025 年 4 月 6 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250180

Study on the application and performance of semi-solid contact molding technology in magnesium alloy die casting

Houtian Li

Huayu Precision Technology (Hanshan) Co., Ltd, Ma'anshan, Anhui

【Abstract】In the wave of industrial lightweighting, magnesium alloys, with their low density and high specific strength, have seen expanding applications in automotive and aerospace sectors. Semi-solid die-casting technology, as a new processing method, achieves precise molding by controlling the semi-solid slurry state of magnesium alloys. This study delves into the application process of this technology in magnesium alloy die casting, systematically exploring its enhancement effects on performance from microstructure, mechanical properties, and molding quality perspectives, providing detailed theoretical and practical evidence for the technological upgrade of the magnesium alloy die casting industry.

【Keywords】Semi-solid contact molding; Magnesium alloy; Die casting; Microstructure; Mechanical properties

引言

工业领域对材料轻量化需求日益迫切,镁合金以其密度仅为铝的 $\frac{3}{2}$ 、钢的 $\frac{1}{4}$,且具备良好比强度与比刚度的特性,成为汽车、航空航天等行业减重增效的理想选择。但传统压铸技术下,镁合金压铸件因液态金属快速凝固,易产生气孔、缩松及热裂纹等缺陷,限制其性能发挥与应用拓展。深入研究该技术在镁合金压铸中的应用及性能表现,不仅能攻克传统成型难题,更为镁合金在高端制造领域的广泛应用开辟新路径,对推动工业材料技术革新意义重大。

1 技术关键问题

在镁合金压铸领域,半固态触变成型技术的应用面临诸多挑战,其中半固态浆料的制备难题首当其冲。镁合金因其独特的物理化学性质,熔点相对较低且化学活性极高。在浆料制备的复杂过程中,温度控制宛如走钢丝,稍有差池,便会引发一系列严重问题^[1]。合金

成分偏析一旦出现,会致使镁合金性能不均,极大影响最终产品质量;氧化夹杂问题则会在铸件内部形成缺陷,降低其机械性能。要制备出固相颗粒细小且分布均匀的理想半固态浆料,精确把控搅拌速度与温度梯度是核心要义。搅拌速度过高,虽能在一定程度上细化晶粒,却会不可避免地引入大量气体,这些气体在后续压铸过程中易形成气孔,成为产品质量隐患;而温度若过高,晶粒会迅速粗化,弱化合金性能;温度过低,又会造成凝固不均,导致浆料状态不稳定。

触变加热控制作为该技术的核心环节,对加热设备提出了极为严苛的要求。制备好的半固态坯料需被精准加热至特定的触变温度区间,这一步骤对于后续压铸流程的成功与否起着决定性作用。从技术原理来讲,只有坯料各部分受热均衡,在压铸过程中才能呈现出一致的流动性与填充性能。加热设备不仅要具备卓越的温度均匀性,保证坯料从表层到内部的每一处都

能被均匀加热,还必须拥有极为精准的温控能力,将温度波动控制在极小范围内。在实际的加热进程中,坯料表面与内部由于热传导等因素,极易出现温度差^[2]。若这一温差超出合理范围,坯料各部位的触变性能就会参差不齐。当进入压铸环节时,这种性能差异会致使坯料流动不均,最终导致产品成型不完整,出现诸如缺料、飞边等影响产品质量的瑕疵。工业生产中较为常见的电磁感应加热方式,凭借其能够快速提升坯料温度的显著优势,有效缩短了单个产品的生产周期,进而提高了整体生产效率。

压铸工艺参数的优化宛如精密仪器的调试,直接决定着最终产品的质量。压射速度作为关键参数之一,对半固态浆料的充型能力与成型效率起着决定性作用。若压射速度过快,浆料在模具型腔中会产生湍急的湍流,大量气体被卷入其中,在铸件内部形成气孔,严重降低产品的气密性与机械强度;反之,压射速度过慢,浆料无法在规定时间内完整填充模具型腔,导致充型不完整,产品报废。压射压力的选择则需在坯料流动性与模具承受能力之间寻求精妙平衡。压力不足,无法有效压实内部组织,铸件内部会存在疏松等缺陷;压力过大,又会对模具造成不可逆的损伤,缩短模具使用寿命,增加生产成本。保压时间的长短同样至关重要,它直接影响铸件的致密度。

2 技术应用实践

在镁合金压铸生产中引入半固态触变成型技术,并非简单的技术叠加,而是对整个工艺流程的系统性革新。首先,原料预处理环节堪称整个生产链条的基石。此环节需严格把控镁合金锭的成分纯度与杂质含量,任何细微的杂质都可能在后续工艺中被放大,成为影响产品质量的关键因素^[3]。通过熔炼前的净化处理,如采用高效的精炼剂去除夹杂物、利用过滤装置拦截有害颗粒等手段,可大幅减少夹杂物的存在,为后续工艺提供优质原料。在半固态浆料制备阶段,工艺选择尤为关键。采用机械搅拌与电磁搅拌相结合的创新方式,能够充分发挥两者优势。机械搅拌凭借其直接的作用力,有效破碎初生晶粒,而电磁搅拌则利用磁场作用,进一步细化晶粒,并改善浆料的流变性能,使浆料在后续加工中更易于流动与成型。制备完成的坯料需经过精确切割,以满足不同产品的尺寸需求,随后进入触变加热工序。

实际生产中,镁合金压铸件类型丰富多样,犹如形态各异的艺术品,每一种都有其独特的结构与性能要求,这就决定了需制定个性化的工艺方案。对于结构简

单、尺寸较大的零件,其成型过程相对平稳,可适当降低压射速度,给予浆料充足的时间均匀填充模具型腔,同时延长保压时间,使内部组织在压力作用下更加致密,减少内部缺陷,提升产品质量^[4]。而对于复杂薄壁零件,因其结构复杂、壁厚较薄,对浆料的充型能力提出了极高要求。此时需提高压射速度,让浆料能够在短时间内快速、均匀地填充模具的每一个细微角落,同时优化浇口设计,如采用扇形浇口、薄片浇口等,引导浆料合理流动,避免出现紊流与冷隔现象。生产过程中环境因素与设备波动不可避免,这就需要通过实时监测压铸过程中的温度、压力等关键参数,如利用热电偶监测温度、压力传感器采集压力数据,并借助自动化控制系统,及时调整工艺参数,确保产品质量不受外界因素干扰,始终保持稳定。

3 性能提升分析

半固态触变成型技术犹如一把神奇的手术刀,对镁合金压铸件微观组织进行了精妙重塑,改善作用十分显著。在传统压铸过程中,镁合金犹如失控的野马,快速凝固形成粗大的树枝晶组织。这种组织形态犹如一盘散沙,存在明显的成分偏析,不同区域的合金成分与性能差异较大,严重制约了产品的综合性能。而采用半固态触变成型技术后,情况发生了翻天覆地的变化^[5]。由于半固态浆料中固相颗粒的巧妙存在,它们宛如一个个微小的“堤坝”,有效抑制了晶粒的肆意长大与树枝晶的无序形成。在凝固过程中,组织逐渐转变为细小、均匀的近球状晶粒,这种微观结构的华丽蜕变,犹如将杂乱无章的建筑重新规划为整齐有序的城市。它不仅极大提高了合金的致密度,减少了内部孔隙,使合金结构更加紧密,还显著减少了晶界处的应力集中现象,让合金内部受力更加均匀。

从力学性能的宏观视角审视,半固态触变成型技术赋予镁合金压铸件更为卓越的表现,使其在各种应用场景中脱颖而出。细化的晶粒与均匀的组织犹如强大的铠甲,有效提升了合金的强度与韧性。在拉伸试验这一严苛考验中,其抗拉强度较传统压铸实现了 15% - 25% 的显著提高,屈服强度也随之提升 10% - 20%,同时延伸率也有所增加^[6]。这背后的科学原理在于,细小晶粒如同密集的盾牌,对裂纹扩展形成了强大的阻碍作用,使其难以快速贯穿合金;而均匀组织则如同协调有序的团队,能够将外部施加的应力均匀分散,避免局部应力集中导致材料过早失效。该技术还在镁合金的疲劳性能改善方面展现出惊人实力。在循环载荷这一模拟实际工况的反复作用下,零件的疲劳寿命延长

约 30% - 50%。这一卓越提升,为镁合金在承受交变应力工况下的广泛应用,如汽车发动机零部件、航空航天结构件等领域,提供了坚如磐石的保障,使其能够在复杂恶劣的工作环境中稳定服役,大幅提高产品的可靠性与使用寿命。

4 应用前景展望

在科技飞速发展的当下,半固态触变成型技术在镁合金压铸领域展现出了令人瞩目的应用前景,犹如一颗闪耀的新星,正逐步重塑着该行业的格局。智能化发展趋势已然成为这一领域不可逆转的潮流,其与人工智能、大数据技术的深度融合正引领着行业迈向全新的高度^[7]。在实际生产过程中,设备会源源不断地产生海量数据,涵盖温度、压力、时间等关键参数。通过先进的数据收集系统,将这些数据精准汇聚,再运用大数据分析算法进行深度挖掘,从而构建起贴合实际生产情况的智能模型。借助这一智能模型,能够对镁合金压铸的成型过程实现毫秒级的实时智能调控。当模型监测到某时刻压铸腔内温度异常波动时,可立即自动调整加热装置功率,确保温度恢复至最佳区间,以此进一步提升工艺稳定性,保障产品质量的高度一致性,大幅减少次品率。

从技术协同的视角来看,半固态触变成型技术展现出了强大的兼容性与拓展性。该技术与增材制造的有机结合,为镁合金零部件的定制化生产开辟了崭新路径。在航空航天领域,对零部件的结构设计有着极为严苛的要求,往往需要复杂的内部结构以满足轻量化与高强度的双重需求^[8]。通过半固态触变成型与增材制造的协同作业,能够依据设计蓝图,层层堆积材料,精准塑造出满足特殊需求的复杂结构件。而在与表面处理技术协同方面,同样成效显著。镁合金本身耐腐蚀性与耐磨性相对较弱,限制了其在诸多特殊环境下的应用。但通过与先进的表面处理技术,如阳极氧化、化学镀等协同,在镁合金铸件表面形成一层致密且坚硬的防护膜,可显著增强其耐腐蚀性与耐磨性。这使得镁合金铸件能够在海洋工程的高盐腐蚀环境以及电子设备的频繁摩擦使用场景中稳定运行,极大地拓展了其应用领域。

5 结语

半固态触变成型技术在镁合金压铸领域已展现出强大的技术优势与应用潜力,成功解决传统压铸工艺长期存在的缺陷问题,实现产品性能的全面提升。展望未来,随着工业智能化与新材料技术的发展,该技术可与数字化模拟技术深度融合,通过计算机仿真精准预测成型过程,优化工艺参数,降低研发成本与周期。探索与增材制造、表面处理等技术的协同应用,拓展镁合金铸件在航空航天、电子通讯等高端领域的应用边界。

参考文献

- [1] 刘奇峰,蓝丽招.铝、镁合金压铸件在汽车工业中的应用及发展[J].汽车文摘,2024,(02):50-55.
- [2] 陈思涛,宋东福,戚文军,等.镁合金压铸真空抽气系统的设计与应用研究[J].铸造,2023,72(04):458-461.
- [3] 付彭怀,孙启才,王嘉诚,等.真空度对真空压铸镁合金副车架品质的影响[J].特种铸造及有色合金,2023, 43(01): 88-91.
- [4] 谭宗良.压铸镁合金零部件缺陷分析及工艺改进措施[J].广东化工,2020,47(19):127+136.
- [5] 夏静.铝镁合金压铸模热处理工艺探讨与应用[J].内燃机与配件,2020,(04):91-92.
- [6] 张艺钟.镁合金压铸生产过程中的质量控制[J].世界有色金属,2019,(09):168-169.
- [7] 金晨.一种镁合金压铸系统小型设备安装用新型膨胀螺栓设计及应用[J].制造技术与机床,2018,(11):163-165.
- [8] 杨虹,徐静.镁合金压铸技术的研究现状[J].铸造技术,2017, 38(04):749-751+757.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

