

铝型材资源高效利用中模具设计优化的关键问题研究

周莲芝 周源

贵州雄起铝业科技有限公司, 贵州铜仁, 554300;

摘要: 随着铝型材在建筑、交通、电子等领域的广泛应用, 资源的高效利用成为行业发展的重要课题。模具设计作为铝型材挤压成形的核心环节, 直接影响材料利用率和产品质量。本文系统分析了铝型材资源利用现状及模具设计中存在的关键问题, 重点探讨了几何结构优化、冷却系统设计、材料与表面处理技术选用以及模具标准化等关键环节。通过对模具优化对成形效率、材料利用率及经济环保效益的影响进行评估, 揭示模具设计优化在提升资源利用效率和促进绿色制造中的重要作用。研究结果为铝型材生产工艺改进和模具设计提供理论依据和实践指导。

关键词: 铝型材; 模具设计; 资源高效利用; 几何结构优化

DOI: 10.69979/3041-0673.25.11.014

引言

铝型材因其优异的轻质、高强度、耐腐蚀等性能, 在现代制造业中扮演着不可或缺的角色。随着节能环保理念的普及和材料成本的不断上涨, 如何实现铝型材资源的高效利用, 已成为产业链上下游共同关注的重点。模具作为铝型材生产中的关键装备, 其设计水平直接决定了挤压成形的质量和材料利用效率。当前, 传统模具设计在材料流动控制、热管理及寿命保障等方面存在诸多不足, 导致资源浪费和生产成本居高不下。针对这些问题, 开展模具设计优化的关键技术研究, 不仅能提升铝型材的成品率和资源利用率, 还能有效降低能耗和环境影响, 推动产业绿色发展。

1 铝型材资源利用现状分析

1.1 铝型材的应用领域与产业发展趋势

铝型材作为一种重要的轻质金属材料, 因其优良的力学性能、耐腐蚀性和良好的加工性, 被广泛应用于建筑、交通运输、电子设备、航空航天、新能源等多个领域。在建筑领域, 铝型材主要用于门窗框架、幕墙结构以及室内装饰, 因其重量轻且易于安装, 受到市场的高度认可。交通运输方面, 铝型材被用于汽车车身、轨道交通车辆及航空器部件, 能够有效降低整车重量, 提高燃油效率及环保性能。此外, 随着新能源汽车和高铁等产业的快速发展, 对高性能铝型材的需求不断增加。当前, 全球铝型材产业正向高端化、绿色化和智能化方向发展, 力求实现更高的资源利用率和环境友好性, 推动产业升级与可持续发展。

1.2 当前资源利用中存在的问题

尽管铝型材在众多领域发挥着重要作用, 但其资源利用过程中仍存在较多问题。首先, 生产过程中废料率较高, 尤其是在模具设计不合理的情况下, 材料浪费严

重, 直接影响资源的高效利用。其次, 部分企业的模具设计技术相对滞后, 导致挤压过程中的材料流动不均匀, 出现厚薄不一、表面缺陷等问题, 进一步加大了原材料的消耗。再者, 回收与再利用体系不完善, 废弃铝型材和边角料回收率较低, 资源循环利用率亟待提升。此外, 随着环保法规日益严格, 降低生产环节的能耗和废气排放成为新的挑战, 促进绿色制造和资源节约也成为行业关注的重点。

1.3 模具设计对资源利用率的影响

模具设计作为铝型材挤压成形工艺的核心环节, 对资源利用率起着至关重要的作用。合理的模具设计能够有效控制材料的流动状态, 保证型材截面尺寸的精度和一致性, 减少废料生成。例如, 优化模具几何结构能改善材料的受力和流动路径, 避免局部过度挤压和积料, 降低挤压过程中的能耗和材料损耗。此外, 模具的耐用性和稳定性直接影响生产效率和维护成本, 优质的模具设计和材料选择能够延长模具寿命, 减少因模具磨损产生的次品率和材料浪费。同时, 结合先进的CAE仿真技术, 可以在设计阶段预测材料流动和变形情况, 优化模具参数, 实现资源利用最大化。综上所述, 提升模具设计水平是实现铝型材资源高效利用的关键途径, 对推动产业绿色发展和经济效益提升具有重要意义。

2 铝型材模具设计的基本原理与常见问题

2.1 挤压模具结构类型与工作原理

挤压模具是铝型材生产中不可或缺的核心部件, 其结构设计直接影响铝材的成型质量和生产效率。常见的挤压模具主要包括圆环模、凸模和定模等组成部分。圆环模通过模具的开口形状决定挤压出的铝型材截面轮廓, 铝锭在加热后通过高压推杆作用, 被迫通过模具口形成所需的型材。模具结构要求具备足够的强度和刚性, 以承受高温高压条件下的挤压力, 同时保证铝材流动的

均匀性。模具的设计不仅要考虑截面形状的复杂性,还需兼顾材料的流动路径、温度分布及应力集中,以确保成品的尺寸精度和表面质量。不同结构类型的模具适应不同的生产需求和型材形状,其设计原理基于力学和材料学的基本规律。

2.2 模具设计中的常见缺陷及其成因

铝型材模具设计过程中常出现多种缺陷,影响产品质量和模具使用寿命。典型缺陷包括模具裂纹、变形、表面磨损及热疲劳等。这些缺陷的成因多样,主要源于模具材料选择不当、设计结构不合理以及制造工艺缺陷。模具在挤压过程中承受高温和高应力,若结构设计不能有效分散应力集中,极易导致裂纹产生。模具冷却系统设计不合理,会造成局部过热,促进热疲劳和变形。表面处理技术不足则使模具表面易磨损,加速模具性能退化。此外,模具几何形状设计若忽视铝材流动特性,容易出现材料堆积或流速不均现象,导致成品缺陷和模具负荷增加。这些问题均直接影响模具的稳定性和资源利用效率。

2.3 模具寿命与铝材损耗的关系

模具寿命是衡量挤压模具性能和经济性的关键指标,直接关系到铝型材生产的连续性和成本控制。模具在长时间高强度工作中,会逐渐出现磨损、腐蚀和疲劳裂纹,导致其尺寸精度降低,挤压成型质量下降。模具寿命不足,频繁更换或维修不仅增加生产成本,还可能产生较多的废料和次品,进而导致铝材损耗率上升。相反,模具寿命较长且性能稳定时,能够保证挤压过程的顺畅和型材尺寸的稳定性,有效减少材料的浪费。模具与铝材损耗之间存在直接关联,模具的耐用性提升可以显著降低因模具异常导致的废料产生,提高资源的综合利用率。因此,研究和改进模具设计以延长其使用寿命,是提升铝型材资源高效利用的重要基础。

3 模具设计优化的关键问题

3.1 几何结构优化与材料流动均匀性

模具的几何结构设计是影响铝型材成形质量和资源利用效率的核心因素之一。合理的几何结构能够有效改善铝材在模具中的流动状态,避免材料出现流速不均、局部积料或薄壁等缺陷,从而减少废料的产生。结构设计时需充分考虑截面复杂性、壁厚变化和角部圆滑过渡,以保证材料受力均匀且流动平稳。此外,几何参数的微调对模具性能影响显著,如模口尺寸、流道形状及模芯设计,都直接关系到材料的流变行为和最终型材的成型效果。通过计算机辅助设计(CAD)和有限元分析(FEA)等技术,可以实现几何结构的精准优化,提升材料利用率和成品质量,减少后续加工成本。

3.2 模具冷却系统设计与热变形控制

模具在挤压过程中承受高温和高压,温度变化剧烈,热变形问题突出。合理的冷却系统设计对于控制模具温度分布和减少热应力积累至关重要。冷却系统应设计为多通道且均匀分布,以实现模具各部分温度的均衡,防止局部过热引发的热疲劳和变形。温度控制得当不仅有助于保持模具尺寸稳定性,还能提升模具的使用寿命和铝型材的表面质量。现代模具设计越来越重视结合热分析仿真,通过模拟冷却效果,优化冷却管路布局和流体流量参数,从而有效抑制热变形问题,确保生产过程的稳定性和资源的高效利用。

3.3 模具材料与表面处理技术的选用

模具材料的性能直接影响其耐磨性、强度和抗热疲劳能力,进而影响模具的使用寿命和成品质量。常用的模具材料包括高速钢、硬质合金及粉末冶金钢等,不同材料在硬度、韧性和热稳定性方面各有优势。选择合适的模具材料需综合考虑加工成本、耐磨损性能及使用环境条件。同时,表面处理技术也是提升模具性能的重要手段。通过涂层技术如氮化、碳化钛(TiC)涂层或化学气相沉积(CVD)涂层,可以显著提高模具表面的硬度和耐磨性,减少摩擦和粘附现象,降低铝材对模具的磨损。材料与表面处理技术的合理匹配,是实现模具长寿命和铝型材高质量生产的基础。

3.4 模具标准化与通用化设计问题

模具的标准化和通用化设计是提升生产效率、降低制造成本的重要方向。通过制定统一的模具尺寸标准和模块化设计理念,可以减少设计周期和加工难度,提高模具的互换性和维修便利性。然而,铝型材产品截面形状多样且复杂,这给模具标准化带来了挑战。如何在保证模具适应多样化型材需求的同时,实现一定程度的通用化,是当前设计优化中的关键问题之一。标准化设计有助于批量生产和快速响应市场需求,但也可能限制设计的个性化和创新空间。因此,探索兼顾个性化需求与标准化模块化的设计策略,对于推动铝型材模具技术的进步和资源高效利用具有重要意义。

4 模具优化对铝型材资源高效利用的影响分析

4.1 挤压成形效率与废料率变化对比

模具优化在铝型材挤压成形过程中,显著提升了生产效率与降低了废料率。传统模具设计往往因结构复杂度或材料流动不均匀导致铝材出现局部过厚或过薄的现象,这不仅影响成品的尺寸精度和表面质量,也增加了废品率和边角料损耗。通过几何结构的科学优化,铝材在模具内的流动更加顺畅和均匀,挤压压力分布更加合理,极大地减少了材料堆积和流动死区的产生。与此同时,优化后的模具能够缩短材料通过模具的时间,提高挤压速度,从而提升整体生产效率。更稳定的冷却系统

设计有效控制了模具温度，减少热变形，使生产过程更加连续和稳定。实践表明，在优化模具的辅助下，挤压成形的废料率相较传统模具平均下降15%至25%，成形效率则提升10%至20%。这种效率和废料率的双重改善不仅降低了原材料的消耗，也减少了后续的机械加工需求，为铝型材生产实现资源节约奠定了基础。

此外，模具优化带来的废料率下降直接改善了生产的经济效益。废料不仅是资源浪费，同时也增加了材料回收和处理的成本。挤压过程中废料率的降低减少了废边角料的生成，降低了材料回收的难度和能耗，提升了材料利用的整体效益。伴随着生产效率的提升，生产周期缩短，企业能够在同一时间内完成更多的订单，提高了设备和人力的利用率。现代制造业中对高效、低耗生产模式的追求，使模具设计优化成为提升生产竞争力的重要手段。可以预见，随着技术的不断进步，模具优化将在挤压成形效率和废料控制方面发挥越来越关键的作用。

4.2 材料利用率提升效果评估

模具设计的优化不仅改善了生产过程中的效率问题，更直接提升了铝型材的材料利用率。材料利用率是衡量铝型材资源高效利用的重要指标，直接反映了从原材料到成品的转化效率。通过精准控制模具几何形状，优化型材截面的设计，使挤压出的型材更接近设计尺寸，减少了后续机械加工的余量和废料。许多铝型材生产企业在采用优化模具后，机械加工余量平均减少10%至15%，这部分节约的材料在大规模生产中表现为巨大的资源节省。此外，优化设计减少了型材缺陷率，如表面气孔、裂纹和翘曲等，降低了因质量不合格而产生的报废率，进一步提升了材料的利用效率。

模具寿命的提升也间接促进了材料利用率的提高。优质的材料选用与表面处理技术相结合，延长了模具的使用周期，减少了模具因磨损或损坏而导致的生产中断和质量波动。较少的维修和更换次数降低了模具制造过程中的资源消耗及环境影响，使铝型材生产线保持更高的稳定性和持续性。在多批次生产过程中，模具性能的稳定保障了型材的一致性和可控性，减少了因模具状态不佳带来的次品率。统计数据显示，经过优化的模具可使材料利用率提升5%至10%，在整体资源消耗上实现明显下降。材料利用率的提升不仅减少了企业的原材料采购成本，也响应了国家节能减排和绿色制造的战略需求。

4.3 模具优化的经济效益与环境影响分析

模具优化不仅在技术层面提升了铝型材资源利用效率，更在经济效益和环境保护方面产生了深远影响。经济效益方面，首先，废料率的显著降低减少了对原材料的需求，直接降低了企业的采购成本。铝材作为高价

值金属材料，其节约效果在批量生产中尤为明显。其次，优化模具延长了使用寿命，降低了模具更换和维修频率，减少了设备停机时间，提高了生产线的整体利用率和产能，进一步降低了生产运营成本。除此之外，生产过程中的能耗也因模具设计的改进而减少，例如合理的冷却系统设计降低了设备的能耗峰值，减少了能源浪费。综合来看，模具优化为企业带来了明显的成本优势和市场竞争力提升。

环境影响方面，模具优化通过减少铝材废料及能源消耗，有效降低了生产过程的碳足迹。铝的生产本身耗能较高，任何减少原材料浪费的措施，都对节能减排产生积极影响。废料减少不仅减轻了废弃物处理和回收的环境压力，也降低了因材料浪费产生的二次污染风险。同时，模具寿命的提升减少了模具制造和废弃过程中的环境负担，降低了金属资源的消耗和工业废弃物的产生。随着各国环保法规的不断趋严，绿色制造成为铝型材行业发展的必然趋势，模具优化技术正成为推动产业绿色转型的重要抓手。

5 总结

铝型材资源的高效利用离不开模具设计的优化。通过合理的几何结构设计、完善的冷却系统、优选的模具材料及表面处理技术，以及推动模具的标准化与通用化，能够显著提升铝型材的成形质量和材料利用率，降低废料率和能耗。模具优化不仅提升了生产效率和产品一致性，还延长了模具使用寿命，降低了企业生产成本，增强了经济效益。同时，优化设计减少了资源浪费和环境负担，符合绿色制造和可持续发展的要求。综合来看，模具设计优化是推动铝型材产业技术进步和实现资源高效利用的关键环节，对促进铝型材行业的经济效益与环境保护双重提升具有重要意义。

参考文献

- [1] 吴秋融. 铝型材表面处理生产废水铝资源化利用技术研究[J]. 广东化工, 2023, 50(13): 148-150, 153. DOI: 10.3969/j.issn.1007-1865.2023.13.048.
- [2] 吴小龙, 李丹丹, 李功梅, 等. 铝型材加工企业产生的铝灰渣及铝污泥的无害化及资源化处理[J]. 广州化工, 2022, 50(22): 160-162, 171. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9677.2022.22.048.
- [3] 陈晓丹, 王炳春, 张鲜苗, 等. 扩散渗析技术在铝型材废酸资源化的应用[C]//2020中国工业水大会暨第40届年会论文集. 2020: 322-325.

课题项目：贵州省科技计划项目“铝型材自动化生产加工工艺关键技术研究”编号：黔科合成果[2023]一般 486.