

煤矿用齿轮箱壳体铸造缺陷控制与成型质量提升策略

李树斌

北京天玛智控科技股份有限公司 北京 101300

【摘要】：煤矿用齿轮箱壳体作为传动系统核心承载部件，其铸造质量直接决定煤矿设备运行的安全性与稳定性，控制铸造缺陷、提升成型质量是保障煤矿生产高效推进的关键。铸造过程中，原材料、工艺操作、环境条件等多种因素易引发气孔、砂眼、裂纹等缺陷，影响壳体结构完整性与使用性能。针对此类问题，需立足煤矿工况对壳体的特殊要求，精准识别缺陷成因，从原材料管控、工艺优化、过程监管等方面制定针对性策略，实现铸造缺陷的有效防控与成型质量的稳步提升，为煤矿用齿轮箱的长效稳定运行提供支撑。

【关键词】：煤矿用齿轮箱壳体；铸造缺陷；成型质量；防控策略

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.008

引言

煤矿井下工况复杂恶劣，重载、振动、粉尘及潮湿环境对齿轮箱壳体的结构强度、密封性能和尺寸精度提出极高要求。齿轮箱壳体作为保护内部齿轮、轴承等部件的关键结构，其铸造质量缺陷会直接导致齿轮啮合不良、润滑油泄漏，甚至壳体开裂，引发设备故障，影响煤矿生产进度，严重时还可能造成安全事故。铸造缺陷的产生与原材料质量、造型制芯工艺、浇注冷却方式等诸多环节密切相关，成型质量的提升需贯穿铸造全流程。深入分析铸造缺陷的形成机制，探索科学合理的控制与提升路径，能够有效解决壳体铸造过程中的质量难题，强化煤矿设备核心部件的可靠性，为煤矿安全生产筑牢基础。

1 煤矿用齿轮箱壳体铸造常见缺陷及成因分析

1.1 气孔缺陷的表现及形成原因

气孔是煤矿用齿轮箱壳体铸造中最为常见的缺陷之一，多表现为壳体表面或内部出现的圆形、椭圆形孔洞，内壁光滑，严重时还会连通形成贯穿性孔隙，影响壳体的密封性和结构强度，导致润滑油泄漏或承载能力下降。气孔缺陷的形成与多方面因素相关，原材料干燥程度不足是重要原因，金属炉料和型砂中含有的水分，在熔炼和浇注过程中会分解产生气体，若无法及时排出则会滞留于金属液中，凝固后形成气孔。砂芯和型砂的透气性不佳也会加剧气孔产生，尤其是轴承座、油道等封闭部位的砂芯，若未开设合理的排气通道，内部气体无法顺利逸出，会在铸件内部形成气孔。此外，浇注过程中金属液流动过快、卷入空气，或涂料中溶剂未完全挥发，浇注时挥发产生的气体也会形成气孔缺陷。

1.2 砂眼缺陷的表现及形成原因

砂眼缺陷主要表现为壳体表面或内部嵌入砂粒，

形成不规则的孔洞，会导致壳体密封面渗漏、轴承座孔精度偏差，影响齿轮箱的装配精度和运行稳定性。砂眼缺陷的形成核心在于型砂和砂芯的强度不足，型砂配比不合理、混砂不充分，会导致型砂强度过低，在金属液的冲击作用下易脱落，卷入型腔形成砂眼。砂芯的制作质量也会影响砂眼的产生，细长或复杂部位的砂芯若未采取增强措施，在搬运或浇注过程中易断裂掉砂，进而形成砂眼^[1]。合箱操作不规范同样会引发砂眼，合箱前型腔清理不彻底，残留的浮砂落入型腔，或砂芯之间、砂芯与型腔壁的间隙过大，金属液窜入后会裹挟砂粒形成砂眼缺陷。

1.3 裂纹缺陷的表现及形成原因

裂纹缺陷分为热裂和冷裂两种，多发生在壳体剖分面边角、筋条根部等应力集中部位，会严重破坏壳体的结构完整性，导致壳体在使用过程中易发生断裂失效。热裂多产生于金属液凝固末期，此时壳体局部温度过高，收缩受到阻碍，产生的拉应力超过材料强度极限，进而形成裂纹，其断面多呈氧化色、曲折不规则。冷裂则产生于壳体冷却至弹性状态后，冷却速度过快导致各部位收缩不均，形成较大的内应力，当内应力超过材料承受能力时，便会产生裂纹，其断面较为洁净、裂纹平直。此外，壳体结构设计不合理，壁厚过渡处未设置圆角，或筋条厚度与相邻壁厚比例不当，也会导致应力集中，诱发裂纹缺陷。

2 煤矿用齿轮箱壳体铸造原材料管控策略

2.1 金属炉料的质量管控

金属炉料的质量直接决定金属液的纯净度，进而影响壳体铸造质量，需从源头做好管控工作。选用适配煤矿工况需求的金属材料，优先选用强韧均衡、抗振动、抗冲击的材质，确保壳体能够承受井下重载和复杂应力作用。对金属炉料进行严格筛选，去除表面

的油污、铁锈等杂质，避免杂质在熔炼过程中形成夹杂物，影响金属液质量。炉料使用前需进行充分干燥处理，去除内部水分，防止熔炼时水分分解产生气体，引发气孔缺陷。同时，严禁混入电镀件、铝合金等有害杂质，避免影响金属液的冶金性能，确保金属液的均匀性和稳定性，为后续铸造工序奠定良好基础。

2.2 型砂与砂芯的质量管控

型砂与砂芯是铸造成型的核心载体，其质量直接关系到壳体的成型精度和缺陷发生率。合理调配型砂配比，根据壳体结构特点和铸造工艺要求，选用优质原砂，搭配适量的粘结剂和固化剂，确保型砂具有足够的强度、透气性和退让性。混砂过程中需保证混碾充分、均匀，使粘结剂与原砂充分结合，避免型砂强度不足或透气性不佳^[2]。砂芯制作需严格遵循工艺要求，复杂内腔采用整体砂芯或分瓣组合芯，必要时加入增强材料提高砂芯的抗弯强度，防止搬运和浇注过程中发生断裂、掉砂。砂芯制作完成后需进行充分烘干，去除内部水分，确保砂芯干燥彻底，减少气孔缺陷的产生。

2.3 辅助材料的质量管控

铸造过程中使用的涂料、粘结剂、孕育剂等辅助材料，虽用量不大，但对壳体铸造质量影响显著，需加强质量管控。选用高耐火度、附着力强的涂料，用于砂芯和型腔表面的防护，避免金属液直接冲刷型砂，减少砂眼、粘砂等缺陷。涂料使用前需搅拌均匀，涂刷过程中确保涂层均匀、附着牢固，涂刷完成后进行充分干燥，避免涂料中溶剂未挥发完全，浇注时产生气体。粘结剂和孕育剂需选用质量合格的产品，严格控制其成分和用量，避免因粘结剂质量不佳导致型砂强度不足，或因孕育剂使用不当影响金属液的凝固特性，确保辅助材料能够充分发挥作用，保障铸造过程顺利推进。

3 煤矿用齿轮箱壳体铸造工艺优化措施

3.1 造型与制芯工艺优化

造型与制芯工艺的合理性直接影响壳体的成型精度和缺陷防控效果，需结合壳体结构特点进行优化。造型过程中，确保型砂紧实度均匀，避免局部紧实度不足导致铸件收缩不均，或紧实度过高影响型砂的退让性，引发裂纹缺陷。根据壳体的结构复杂度，合理设计砂芯的结构和定位方式，砂芯之间采用定位销配合，间隙控制合理，配合面涂覆耐火泥，防止金属液窜入形成夹砂。对轴承座、油道等复杂部位的砂芯，开设合理的排气通道，并与型腔透气孔连通，确保砂

芯内部气体能够顺利排出，减少气孔缺陷。同时，规范造型操作流程，避免操作不当导致型腔变形或砂型损坏。

3.2 浇注工艺优化

浇注工艺是控制铸造缺陷、提升成型质量的关键环节，需从浇注系统设计、浇注参数控制等方面进行优化。优化浇注系统设计，采用阶梯式浇注系统，结合底注辅助，确保金属液平稳、连续充型，避免金属液流动过快导致卷气、飞溅，或流动过慢导致浇不足、冷隔等缺陷。在浇口杯内放置过滤片，过滤金属液中的砂粒和夹渣，提高金属液的纯净度^[3]。合理控制浇注温度，根据壳体材质和结构特点，确定适宜的浇注温度，避免温度过高增加收缩量、加剧缩孔风险，或温度过低降低金属液流动性，导致补缩不良。浇注过程中保持连续平稳，避免中断，确保金属液能够充分填充型腔的各个部位。

3.3 冷却与热处理工艺优化

冷却与热处理工艺的优化的核心是减少壳体内部应力，避免裂纹缺陷，提升壳体的结构强度和尺寸稳定性。冷却过程中，采用缓慢冷却方式，铸件浇注后在砂型中进行充分保温，避免快速冷却导致各部位收缩不均，产生较大的热应力。根据壳体材质的不同，合理控制保温时间和冷却速度，确保壳体能够均匀冷却，减少内应力的产生。落砂操作需在壳体表面温度降至适宜范围后进行，避免高温落砂引发裂纹，落砂时严禁强力敲击，防止壳体薄壁、筋板部位开裂。热处理环节，采用去应力退火工艺，消除铸造过程中产生的内应力，避免后续加工或使用中出现变形、开裂，同时细化金属组织，提升壳体的力学性能。

4 煤矿用齿轮箱壳体铸造过程监管体系构建

4.1 工序质量监管

建立全流程工序质量监管机制，对铸造各环节进行严格把控，及时发现和解决生产过程中的质量问题。造型制芯环节，定期检查型砂的紧实度、透气性和强度，核查砂芯的尺寸精度、干燥程度和装配质量，确保符合工艺要求。熔炼环节，监控金属液的熔炼温度和成分均匀性，对炉料的加入量和熔炼时间进行严格记录，避免熔炼过程出现异常。浇注环节，实时监测浇注温度、浇注速度和浇注量，规范操作流程，防止出现卷气、夹渣、浇不足等缺陷。冷却和热处理环节，严格按照工艺要求控制保温时间、冷却速度和热处理参数，确保壳体冷却和热处理效果。

4.2 缺陷检测监管

构建完善的缺陷检测体系,采用多种检测方式相结合的手段,对壳体铸造质量进行全面检测,确保缺陷及时被发现和处理。表面检测采用目视结合放大镜检查的方式,重点检查壳体表面的气孔、砂眼、裂纹、粘砂等缺陷,确保表面质量符合标准。内部检测采用超声波探伤等方式,对轴承座、法兰等关键部位进行检测,排查内部缩孔、裂纹等隐蔽缺陷,避免缺陷影响壳体的使用性能^[4]。密封性检测通过水压试验进行,检查壳体的密封性能,防止出现润滑油泄漏等问题。对检测出的缺陷,及时分析成因,采取针对性的修复措施,确保壳体质量达标。

4.3 操作规范监管

加强对操作人员的管理和培训,建立规范的操作流程,确保操作人员严格按照工艺要求进行操作。定期组织操作人员开展专业技能培训,讲解铸造工艺要点、缺陷防控方法和操作规范,提升操作人员的职业素养和操作水平。建立操作考核机制,对操作人员的操作流程和操作质量进行定期考核,考核不合格者需重新培训,合格后方可上岗。同时,加强现场监管,安排专人对铸造各环节的操作进行监督,及时纠正不规范操作行为,避免因操作不当引发铸造缺陷,确保铸造过程有序推进,保障壳体成型质量。

5 铸造质量长效提升的保障措施

5.1 建立质量责任追溯机制

建立健全质量责任追溯机制,明确铸造各环节的责任主体,对每批次壳体的生产过程进行详细记录,包括原材料批次、工艺参数、操作人员、检测结果等信息,确保质量问题可追溯。当出现铸造缺陷时,通过追溯记录快速定位缺陷产生的环节和原因,明确相关责任人,采取针对性的整改措施,避免同类缺陷再次发生。同时,对质量合格的批次进行总结分析,提炼优秀的生产经验和工艺参数,为后续生产提供参考,逐步提升壳体铸造质量的稳定性和一致性。

参考文献:

- [1] 李纪峰,黄晓旭,田思思,等.煤矿用齿轮箱齿轮故障分析及解决[J].装备制造,2025,(03):68-71+83.
- [2] 周波,李凯.煤矿井下掘锚机截割齿轮箱故障分析与控制措施[J].陕西煤炭,2025,44(05):162-166.
- [3] 张宇.煤矿用刮板减速器锥齿轮副的损坏和预防[J].新疆钢铁,2024,(03):167-169.
- [4] 杨杰,朱如鹏,陈蔚芳,等.船用双层壳体齿轮箱柔性动力学建模及隔振性能分析研究[J].船舶力学,2024,28(02):309-318.
- [5] 谢华,耐腐蚀壳体齿轮箱的增氧机.浙江省,台州义民电机股份有限公司,2023-04-24.

5.2 强化技术创新与工艺改进

强化技术创新意识,加大对铸造技术和工艺的研发投入,结合煤矿用齿轮箱壳体的使用需求,探索更加科学、高效的铸造工艺和缺陷控制方法。关注行业内先进的铸造技术和设备,积极引进和应用新技术、新设备,优化生产流程,提升生产效率和铸造质量^[5]。组织技术人员开展工艺改进研究,针对生产过程中出现的常见缺陷,深入分析成因,优化工艺参数和操作流程,不断提升缺陷防控能力。加强与科研机构和企业企业的合作交流,借鉴先进的质量管控经验,推动铸造技术水平的提升。

5.3 完善质量管控考核机制

完善质量管控考核机制,将铸造质量指标纳入各部门和操作人员的绩效考核体系,明确考核标准和奖惩措施,充分调动全员参与质量管控的积极性。设立质量奖励基金,对在质量管控、缺陷防控和工艺改进中表现突出的部门和个人给予表彰和奖励;对出现质量问题、造成损失的,严格按照考核标准进行处罚,强化全员的质量责任意识。定期开展质量分析会议,总结质量管控工作中的成效和不足,分析存在的问题,制定改进措施,持续提升质量管控水平,为壳体铸造质量的长效提升提供制度保障。

6 结语

本文围绕煤矿用齿轮箱壳体铸造缺陷控制与成型质量提升展开研究,明确了气孔、砂眼、裂纹等常见铸造缺陷的表现及成因,从原材料管控、工艺优化、过程监管和长效保障四个维度,提出了针对性的策略。煤矿用齿轮箱壳体铸造质量直接关系到煤矿设备的运行安全和生产效率,需将质量管控贯穿铸造全流程,通过严格的原材料筛选、科学的工艺优化、完善的过程监管和健全的保障机制,有效控制铸造缺陷,提升壳体成型质量。相关策略的实施能够为煤矿用齿轮箱壳体的高质量生产提供支撑,推动煤矿设备核心部件可靠性的提升,助力煤矿行业安全生产的稳步发展。