

微特电机核心组件精密制造工艺优化与质量管控策略研究

金燕

浙江泰达微电机有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i2.8739

[摘要] 微特电机作为现代工业体系与高端装备中的关键动力单元，其运行稳定性、能效水平与使用寿命直接取决于核心组件的制造精度与质量一致性。本文聚焦微特电机核心组件的精密制造工艺优化及质量管控策略，系统剖析当前制造过程中影响组件精度的关键制约因素，深入探讨材料特性适配、加工参数调控、成型工艺革新等方面的优化路径。同时，构建全流程质量管控体系，从源头质量预防、过程质量监测到终端质量验证形成闭环管理。通过对核心组件制造工艺与质量管控的协同研究，为提升微特电机整体性能、增强行业核心竞争力提供理论支撑与实践参考，助力相关产业向高精度、高可靠性方向转型升级。

[关键词] 微特电机；核心组件；精密制造；工艺优化；质量管控

Research on Precision Manufacturing Process Optimization and Quality Control Strategies for Core Components of Micro Special Motors

Jin Yan

Zhejiang Taida Micro Motor Co., Ltd.

[Abstract] As critical power units in modern industrial systems and high-end equipment, the operational stability, energy efficiency, and service life of micro special motors directly depend on the manufacturing precision and quality consistency of their core components. This paper focuses on optimizing precision manufacturing processes and quality control strategies for core components of micro special motors. It systematically analyzes key constraints affecting component accuracy in current manufacturing processes, and explores optimization approaches in material property matching, processing parameter regulation, and molding process innovation. Additionally, a comprehensive quality control system is established, forming a closed-loop management from source quality prevention, process quality monitoring to end-product quality verification. Through collaborative research on manufacturing processes and quality control of core components, this study provides theoretical support and practical references for enhancing the overall performance of micro special motors and strengthening industry competitiveness, thereby facilitating the transformation and upgrading of related industries toward high-precision and high-reliability development.

[Key words] Micro-specialized motors; Core components; Precision manufacturing; Process optimization; Quality control

引言

在智能化、微型化的技术大潮之下，微特电机早已渗透到航空航天、智能制造、消费电子、医疗器械等诸多领域，成为

支撑现代科技发展的重要基础部件。核心组件是微特电机的主要功能载体，随着应用场景的不断扩展，对核心组件的制造精度要求也越来越高，给制造工艺的精细化程度和质量管控的全

面性提出了很高的要求。目前，在核心组件精密制造过程中还存在材料加工适配性差、工艺参数协同性欠缺、成型过程稳定性不够好等问题，造成组件精度离散大、性能一致性不好，从而影响微特电机的总体运行效果。传统的质量控制模式主要集中在终端检测上，不能对制造的全过程进行有效的把控，不能及时发现和解决过程中的质量问题。因此，在这样的背景下，对微特电机核心组件精密制造工艺优化和质量控制策略的研究，有着十分重要的现实意义和学术价值。通过改进制造工艺环节、健全质量控制体系，可以明显提高核心组件的制造精度和质量稳定性，为微特电机产业的高质量发展打下坚实的基础，也可以给相关精密制造领域的技术创新提供有益的借鉴。

一、微特电机核心组件精密制造工艺的现状与制约因素

(一) 核心组件制造工艺的应用现状

微特电机核心组件包括定子、转子、轴承、绕组等主要部件，其制造工艺包含材料加工、精密成型、装配调试等诸多步骤，由于各组件结构特点及功能要求不同，所以工艺路线也存在差异。定子制造大多采用冲压、叠压、绕组嵌线等组合工艺，模具成型保证铁芯尺寸精度，绕组嵌线影响电机电磁转换效率；转子制造要经过轴类加工、磁钢粘贴或注塑等工序，转轴圆度、同轴度、磁钢定位精度要求严格；轴承是支撑部件，加工工艺集中在内外圈磨削、滚动体精加工、保持架成型，精度等级直接影响电机运行噪音和寿命；绕组制造依靠导线拉伸、绝缘处理、绕制工艺，导线线径一致性、绝缘层稳定性是工艺控制的重点。目前行业内已经形成相对成熟的制造流程，但是精密化加工、工艺协同匹配等方面仍有提升空间，不同企业工艺水平参差不齐，部分中小企业仍然沿用传统的加工设备和工艺模式，不能满足高端应用场景对组件精度的要求。

(二) 材料特性对制造工艺的制约

材料是核心组件制造的物质基础，材料的物理性质、机械性能、加工性能都会影响制造工艺的实施效果以及最终产品质量。微特电机核心组件所用材料有硅钢片、永磁材料、精密合金、绝缘材料等，不同材料的特性差异会对加工工艺提出不同的要求。硅钢片是定子、转子铁芯的主要材料，其磁导率、铁损特性与冲裁性能有关，部分硅钢片硬度偏高或者韧性不够，在冲压时容易产生毛刺、翘曲等缺陷，给叠压工艺带来困难。精密合金材料虽然具有很好的机械强度和耐磨性，但是加工过程中切削抗力大，容易造成刀具磨损和加工变形，影响尺寸精度的稳定性。绝缘材料应该具有耐热性、耐腐蚀性、机械强度，成型工艺兼容性直接关系到绕组绝缘的可靠性。材料特性同制造工艺的适配性不够，成了阻碍核心组件制造精度改善的关键

要素。

(三) 加工设备与工艺参数的协同缺陷

精密加工设备是保障核心组件制造精度的关键硬件支撑，而工艺参数的合理调控则是实现高精度加工的核心手段，二者的协同匹配程度直接影响制造工艺的稳定性与有效性。当前，部分制造企业虽引进了高精度加工设备，但因缺乏对设备性能的深入掌握与工艺参数的系统优化，导致设备的精度潜力未能充分发挥。在切削加工环节，切削速度、进给量、切削深度等参数的组合不当，易引发加工表面粗糙度超标、尺寸精度波动等问题。绕组绕制过程中，绕线张力、绕制速度、排线密度等参数的不稳定，会造成绕组电阻偏差、电磁特性离散等现象。此外，不同加工工序间的设备衔接与参数协同不足，前道工序的加工误差累积会对后道工序的加工精度产生显著影响，进一步加剧了组件精度的离散性^[1]。加工设备与工艺参数的协同缺陷，已成为制约制造工艺优化升级的重要瓶颈。

(四) 成型工艺的稳定性与可靠性不足

成型工艺作为核心组件制造的关键环节，其稳定性与可靠性直接决定组件的结构完整性与性能一致性。在定子铁芯叠压成型过程中，叠压压力、叠压次数、叠片对齐精度等因素的波动，会导致铁芯的叠压系数不足、磁路性能不均。轴承内外圈的磨削成型工艺中，砂轮转速、磨削深度、冷却方式等参数的不稳定，会导致工件圆度、圆柱度偏差，影响轴承的旋转精度；绕组绝缘成型工艺中，绝缘材料的固化温度、固化时间等参数控制不精准，会造成绝缘层厚度不均、附着力不足，降低绕组的绝缘性能与使用寿命。成型工艺受环境温度、湿度、设备状态等多种因素的影响，工艺稳定性控制难度较大，部分企业缺乏有效的过程监控手段，难以及时发现并纠正工艺偏差，导致组件质量波动较大。

二、微特电机核心组件精密制造工艺的优化路径

(一) 材料选型与预处理工艺优化

材料选型的科学性、预处理工艺的合理性是提高核心组件制造精度的前提条件，从源头上改善材料的适配性、预处理流程，可以减少制造过程中出现的工艺缺陷。材料选型要以核心组件的结构特性及功能需求为依据，创建起材料性能和工艺适配性评价体系，优先选取加工性能好、性能稳定的材料。对定子、转子铁芯采用低铁损、高冲裁性能的硅钢片，兼顾磁性能和加工方便性；对永磁组件根据加工工艺要求选择韧性适中、磁稳定性好的永磁材料，降低加工过程中磁性能衰减的风险；轴承材料选用耐磨、切削加工性能好的精密合金，保证加工精度和使用寿命。对硅钢片进行退火处理，可以降低材料的硬度，提高韧性，减少冲压时产生的毛刺、翘曲；永磁材料加工前要

进行表面净化处理，清除油污、杂质，提高后续粘贴或注塑工艺的结合强度；精密合金材料要进行调质处理，改善材料内部组织结构，减少切削加工时的变形；绝缘材料先进行预干燥处理，把内部水分去除，保证成型过程绝缘性能的稳定性。

(二) 加工设备的升级与适配优化

加工设备的性能升级与适配调整是实现精密制造工艺优化的硬件保障，通过提升设备精度等级、优化设备组合配置，可显著增强工艺实施的稳定性与可靠性^[3]。对于切削加工设备，应引进具备高精度定位功能、动态响应性能优良的数控机床，配备高刚性、高耐磨性的刀具系统，提升切削加工的尺寸精度与表面质量；冲压设备需升级为高精度伺服冲压机，实现冲压速度、压边力等参数的精准调控，配合精密模具设计，减少冲裁件的尺寸偏差与毛刺；绕组绕制设备应采用具备张力闭环控制、自动排线功能的高精度绕线机，保障绕线张力的稳定性与排线的均匀性；轴承加工设备则需配备高精度磨削机床与在线检测系统，实时监控加工尺寸，及时调整工艺参数。同时，根据核心组件的制造流程，优化设备布局与衔接方式，实现各工序设备的协同运作，减少工件转运过程中的定位误差与损伤风险。此外，加强设备的日常维护与校准，建立设备精度定期检测机制，确保设备长期处于稳定的精度状态，为工艺优化提供可靠的硬件支撑。

(三) 工艺参数的多目标优化调控

工艺参数的多目标优化调控是提高制造工艺精度和效率的主要手段，根据加工质量、效率、成本等各方面因素来建立科学的参数优化模型，实现工艺参数的精准匹配。在切削加工过程中，把加工表面粗糙度、尺寸精度、刀具寿命作为优化目标，利用试验设计和数值模拟的方法来寻找切削速度、进给量、切削深度等参数的最佳组合，保证加工质量的同时提高加工效率、减少刀具损耗；冲压工艺中，将冲裁件尺寸精度、毛刺高度作为评价指标，通过调整模具间隙、冲压速度、压边力等参数来减少冲裁过程中的弹性回复和塑性变形；绕组绕制工艺中，以绕组电阻一致性、电磁特性稳定性为目标，调节绕线张力、绕制速度、排线密度等参数，避免因参数波动导致的绕组性能离散；轴承磨削工艺中，以工件圆度、圆柱度、表面光洁度为目标，优化砂轮转速、磨削深度、冷却流量等参数，减少磨削热变形和残余应力^[4]。同时考虑各个工艺参数间的相互影响，用多变量协同优化方法，避免单一参数优化导致的其他性能指标降低，达到制造工艺整体优化的目的。

(四) 成型工艺的革新与改进

成型工艺的革新和改进，是提高核心组件结构完整性、性

能一致性的重要途径，用先进的成型技术、优化工艺流程来提高成型过程的稳定性、可靠性。定子铁芯成型采用精密叠压与激光焊接结合工艺，增大铁芯叠压系数和结构稳定性，减小磁路损耗；转子磁钢成型推广磁钢注塑一体化成型技术，用精密模具设计及注塑参数控制保证磁钢定位精度和结合强度，避免磁钢脱落；轴承成型工艺中引入超精密磨削、抛光技术，配合在线检测、误差补偿系统，提高轴承内外圈尺寸精度和旋转精度；绕组绝缘成型中采用真空压力浸渍工艺，优化浸渍剂配方和固化参数，保证绝缘层均匀性、致密性，提高绕组绝缘性能、耐环境稳定性^[5]。另外对成型过程中重要的工艺环节建立工艺参数数据库、质量预测模型，实时监测工艺参数的变化，预判质量隐患及时调整工艺方案，提高成型工艺的可控性、可靠性。

三、结论

微特电机核心组件精密制造工艺水平和质量管控能力，直接关系到微特电机整体性能及市场竞争力，是微特电机产业实现高质量发展的关键因素。本文通过对微特电机核心组件精密制造工艺现状及制约因素的分析，得出材料特性匹配不够、加工设备与工艺参数协同性差、成型工艺稳定性差等问题，是目前造成组件制造精度和质量的主要瓶颈。从材料选型与预处理、加工设备升级、工艺参数优化、成型工艺革新四个方面提出了具体的工艺优化途径，为提高核心组件制造精度和工艺稳定性提供技术支持。并且创建起包含源头质量预防、过程质量监测、终端质量验证、体系持续改进的全流程质量控制体系，创建起从前期预防、过程控制、后期验证、改进的闭环管理模式，给核心组件质量的一致性、可靠性提供制度保证。

[参考文献]

- [1]倪兴川, SY-7JL-11-001 高密封型空心杯微特电机. 浙江省, 浙江盛越电子科技有限公司, 2022-11-29.
- [2]倪兴川, 永磁双重垂直排列电枢微特电机. 浙江省, 浙江盛越电子科技有限公司, 2013-05-19.
- [3]全国信息产业用微特电机及组件标准化技术委员会在沪成立[J]. 质量与标准化, 2012, (03): 2.
- [4]上海微电机研究所主持制定的 3 项信息产业用微特电机及组件国家标准发布[J]. 微特电机, 2021, 49(09): 15.
- [5]顾苗苗, 谷少焯. 空间环境下的微特电机设计特点分析[J]. 科技创新与应用, 2020, (20): 83-84. DOI: 10.19981/j.cn23-1581/g3.2020.20.036.

作者简介：金燕，出生年月：1987.10.28，女，汉族，籍贯：浙江湖州，学历：本科，研究方向：电机制造、研发。