

汽车马达铁芯模具结构设计及模具钢热处理的应用探讨

龙桂山

广州日弘机电有限公司，广东 广州 510700

DOI:10.61369/ERA.2026070036

摘 要： 本文围绕汽车马达铁芯模具展开，阐述了连续模结构、工作原理及关键部件如排样系统、导向装置的重要性，还涉及叠铆冲裁工艺、模芯设计、导向结构开发等多方面内容，同时探讨了模具材料、处理工艺对其性能和寿命的影响，为模具设计和优化提供了理论依据。

关 键 词： 汽车马达铁芯模具；结构设计；热处理

Discussion on the Structural Design of Automotive Motor Core Molds and the Application of Mold Steel Heat Treatment

Long Guishan

NHK Spring PRECISION (GUANGZHOU) Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510700

Abstract： This paper focuses on automotive motor core molds, detailing the continuous mold structure, working principles, and the importance of key components such as the sampling system and guiding devices. It also covers various aspects including the stacking riveting and punching process, core design, and the development of guiding structures. Additionally, it explores how mold materials and heat treatment processes affect their performance and lifespan, providing a theoretical basis for mold design and optimization.

Keywords： automotive motor core molds; structural design; heat treatment

引言

随着汽车行业的迅速发展，新能源汽车产业有关政策（像《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》）重点指出核心零部件质量提高的重要意义。汽车电机铁芯作为重要组件，其模具的设计和制造十分主要。连续模属于五金冲压模具常见结构，在汽车马达铁芯模具里，排样体系、导向部件等各个部分均有特定要求。叠铆冲裁工艺里的双面间隙把控、刃口补偿设计等会对冲裁质量以及模具使用寿命产生影响。级进模拓扑优化要全面考量多方面因素，此外模芯分块组合、材料选择等多领域的研究，对于汽车马达铁芯模具的质量与性能提高均具有重要意义。

一、五金冲压模具设计基础

（一）冲压模具结构要素

连续模具是五金冲压模具里常用的一类结构。它主要由一些工位构成，包含冲裁工位、弯曲工位、成形工位等，各个工位执行特定的冲压流程。它的工作原理为通过压力机的滑块促使上模部分做上下运动，和下模部分协作来完成对材料的冲压加工。排样系统于连续模里非常主要，其决定材料的使用效率与冲压件的制造效率。对于汽车马达铁芯模具而言，排样要考量铁芯的外形、规格以及冲压工艺的需求，科学安排各个工位的方位和冲压次序。导向装置可保证上模与下模在冲压作业时精准对正，提高冲压的精准度。在铁芯模具里，因为铁芯对精度需求较高，导向

装置的精度与稳定性需有更高的配置标准，以此确保模具的正常运转和冲压件的品质^[1]。

（二）冲裁间隙控制技术

在叠铆冲裁工艺里，双面间隙的把控非常主要。适宜的冲裁间隙可保障冲裁件的品质以及模具的使用时长。对于双侧间隙的把控，要精准计算并调节。需考量材料的厚度、硬度以及冲裁模具的构造等要素。根据材料特性以及冲裁需求，明确恰当的间隙值区间，并且通过精准的模具制造与装配工艺实现。在硬质合金模具里，刃口补偿设计属于主要要点。因为硬质合金的特性，在冲裁环节中刃口易出现磨损情况，需进行合理的补偿设计以确保刃口的锋利程度与冲裁精准度。经过对刃口磨损规则的研究与分析，设计出具备效力的补偿构造，从而延长模具的使用时长，提

高冲裁品质^[2]。

二、马达铁芯模具结构设计

（一）级进模拓扑优化设计

根据电磁钢片叠铆特点，在级进模拓扑优化设计期间，要全面考量多方面要素。需对多工位连续冲压的工步开展合理安排，根据电磁钢片的特性明确冲压次序以及各工位的具体操作，从而确保冲压过程具备高效性与精确性^[3]。模芯分块组合的方案同样是主要所在。经过对模芯结构开展分析，对其进行合理分块，既能够满足冲压工艺的要求，又有利于模具的制造与维护。在设计环节，要采用先进的拓扑优化计算方法，对模具的构造加以优化，加强模具的强度与刚度，减少材料的用量，降低生产成本，提高模具的综合性能，以符合汽车马达铁芯生产的高质量标准。

（二）精密导向系统设计

研制四导柱双滚珠导向构造，滚珠和导柱、导套之间的配合精度直接关系到模具的导向精准程度。高精度的配合能够降低模具在开合进程中的偏移与晃动，保障铁芯在冲压流程中的定位精确性。通过有限元模拟来验证模架刚性对产品形位公差的影响规则^[4]。通过模拟软件，针对不同刚度的模架在冲压进程里的变形状况展开分析，得到模架刚度与产品形位公差之间的量化关联。根据这一关联，科学设计模架的构造与材质，加强模架的刚度，进一步确实管控产品的形位公差，确保马达铁芯的品质与性能。

三、模具钢选型与热处理工艺

（一）材料性能匹配研究

1. 硬质合金选型标准

在汽车马达铁芯模具的服役进程里，碳化钨基体钴含量对模具的服役时长有主要作用。经由实验研究和数据解析，建立二者之间的量化关联模型具备主要意义。首先要明确影响模具服役寿命的主要要素，包括模具承受的应力、温度变动以及工作环境等^[5]。随后就碳化钨基体钴含量这一因素，研究其于不同含量状况下模具的性能展现，像硬度、韧性、耐磨性等。随着钴含量的变动，模具的这些性能会产生相应变化，进一步对其服役时长造成影响。经由大量实验数据的收集与分析，运用数学手段建立起碳化钨基体钴含量和模具服役时长的量化关联模型，为汽车马达铁芯模具的材料选择和优化设计提供理论支撑。

2. 粉末高速钢应用

在微型冲头领域，ASP-23和ASP-60材质的磨损性能存有差别。ASP-23展现出不错的耐磨性与韧性，它的硬度以及红硬性可符合微型冲头在特定工作状态下的要求。不过ASP-60在耐磨性能方面展现得更为优异，它含碳量与合金元素含量的恰当配比，让其在高温状况下仍然能够维持较高的硬度与耐磨性^[6]。在实际运用里，要根据具体的工作场景和需求来挑选恰当的材质。当微型冲头所面临的磨损状况较为严峻，同时对硬度有着极高要求时，

ASP-60或许是更佳的选择；若要同时兼顾韧性与耐磨性，并且磨损程度相对较轻微，那么ASP-23能够满足需求。

（二）热处理工艺优化

1. 真空淬火工艺

在0.02Pa的真空度条件下，模具表面的氧化控制以及尺寸稳定性的保障属于真空淬火工艺的主要要点。通过精准把控真空度，能够确实降低模具表面和氧气的接触，抑制氧化反应的出现^[7]。适宜的加热速度和保温时长对保障模具的尺寸稳定性非常主要。加热速率过快或许会造成模具内部应力不均衡，从而对尺寸精度产生影响；而适宜的保温时长能够让模具各部位组织实现均匀化。另外淬火介质的挑选以及冷却模式也会对模具的最终性能产生影响。恰当的淬火介质可提供充足的冷却速率，同时防止产生过大的热应力，保证模具在淬火进程中既能够获得优良的硬度，又能够维持尺寸稳定。

2. 深冷处理技术

-196℃经过24小时的深冷处理，会对模具钢的性能产生明显影响。在低温深冷处理期间，模具钢内部的残余奥氏体出现转变。随着处理时长的增加，残余奥氏体转变率逐步提高^[8]。此种转变会导致模具钢微观构造出现改变，从而对其力学特性产生影响。就模具的疲劳强度来说，深冷处理能够有效提高其数值。这是由于残留奥氏体的转变让模具钢的组织架构更为稳定，降低在运用过程中因应力集中等原因引发的疲劳裂纹产生和延展的几率，进一步提高模具于汽车马达铁芯制造过程中的使用期限和可靠性。

四、工程应用与验证

（一）模具疲劳强度预测

1. 应力场仿真分析

通过建立精密导向系统和模芯组件的接触非线性有限元模型，开展应力场的仿真分析。考量实际工作状态里的各类复杂要素，像模具的受力情形、材料特性以及不同部件间的接触关联等。运用先进的数值模拟手段，精确模拟模具于工作进程中的应力分布状况。分析应力集中部位以及应力的变化走向，为模具疲劳强度的预估提供主要的数据支撑。经过与实际应用里模具损坏状况开展对比验证，持续优化模型，加强应力场仿真分析的精确性与可靠性，为汽车马达铁芯模具的结构设计以及材料挑选提供理论支撑，保障模具在实际生产时高效、稳定地运行^[9]。

2. 疲劳寿命试验

经 5×10^6 次冲压试验来验证氮化钛涂层对模具裂纹扩展速度的抑制成效。此测试模拟实际生产里的冲压状况，针对带有氮化钛涂层的模具开展疲劳寿命测试。在测试过程里，紧密监控模具的裂纹生成与扩展状况，记录有关数据。实验结果显示，氮化钛涂层可明显降低模具裂纹的扩展速度，进一步提高模具的疲劳强度与使用寿命^[10]。这为汽车马达铁芯模具的设计与制造提供主要的参考支撑，有利于优化模具构造和材料挑选，提高生产效能和产品品质。

五、马达铁芯模具创新设计

（一）精密级进模结构

1. 叠铆成型系统

研制带有旋转式叠片的复合冲压工位，实现硅钢片自动叠装与铆接的模具机构创新设计，为马达铁芯模具创新的主要环节。在叠铆成型体系里，通过设计特别的构造，让硅钢片可以根据预先设定的次序和模式进行堆叠。此旋转式叠片的复合冲压工位可提高生产效能，降低人工介入，确保产品质量的稳定性。同时此系统也需具备精准的定位与控制能力，保证每一张硅钢片都能够精准地放置于指定之处，并且实现可靠的铆接。此创新设计为马达铁芯生产提供更高效率、更精准的模具解决办法，有利于提高整个生产流程的自动化水平与产品品质，对相关行业的发展具备重要价值^[5]。

2. 磁极成型控制

多向冲压组件在铁芯磁极塑造过程里存在主要用途。经由对它的研究，能够深入知晓磁极成型的流程与原理。建立模具动作时序和冲压精度的关联模型十分主要。此模型可体现模具于不同动作时期对冲压精度的作用，为完善模具设计提供理论支撑。在磁极塑造过程中，多向冲压模组的恰当运用能够有效提高磁极的成型品质与精度。通过精准把控模具动作的时间顺序，可进一步提高冲压的精准度，保证磁极的尺寸与形状符合设计规定，进一步加强马达铁芯的总体性能^[6]。

（二）高效模具冷却与材料优化

1. 冷却系统优化设计

在马达铁芯模具的精密级进模设计里，高效的冷却体系是保障模具长久稳定运作以及延长使用期限的要点。通过设计整合型冷却通道，比如运用3D打印工艺制造具有复杂几何形态的冷却管路，可明显提高模具的散热效能。经过优化的冷却体系能够确实减少模具于高速冲压进程中的热形变，保障硅钢片的冲压精准度以及模具型腔的尺寸稳定性。另外冷却体系的设计还得考量流体动力学原理，通过模拟分析来优化冷却液的流速与分布，降低热量聚集，进一步提高模具的耐用度和生产效能。此创新设计不但能够提高马达铁芯的品质，还可减少能耗，符合绿色制造的发展走向。

2. 高性能模具材料选择与表面处理

模具材料的特性直接关乎马达铁芯模具的使用时长与冲压品质。对于高强度硅钢片冲压的要求，选取高硬度、具备高耐磨性的模具材料（像硬质合金或者高性能粉末冶金钢）属于创新设计的主要。运用先进的表面处理工艺，像PVD（物理气相沉积）或者DLC（类金刚石涂层），可以明显提高模具表面的耐磨能力与抗疲劳特性，降低模具在长时间量产过程里的磨损以及粘附状况。另外通过对模具材料热处理工艺的优化，能够进一步加强其抗冲击能力与韧性，进一步延长模具的维护间隔，减少生产流程里的维护费用。这种材料和表面处理的整体优化设计，给马达铁芯模具的高效批量生产提供可信的技术支撑。

（三）量产验证数据分析

1. 尺寸稳定性检测

运用CMM（坐标测量机）针对百万冲次之后的模具型腔尺寸

开展正态分布统计分析，属于评估模具尺寸稳定性的主要环节。通过精准测量模具型腔在大规模生产之后的尺寸变动情况，采集众多数据点。采用正态分布的统计手段，分析这些数据的集中形势与离散状况。若数据显示出合理的正态分布状况，并且均值与设计尺寸较为接近，标准差处于可接受的范围之内，那就表明模具尺寸的稳定性是良好的。这表明在长时间的量产进程里，模具可维持较高的精准度，进一步保证生产出的汽车马达铁芯符合质量要求。针对异常的数据点展开深度分析，能够找出或许影响尺寸稳定性的要素，像模具损耗、材料形变等，为后续进一步优化模具结构的设计以及热处理工艺提供根据。

2. 模具维护周期评估

在量产验证数据的分析以及模具维护周期的评估工作里，要对生产流程中的各类数据开展深度分析。针对模具刃磨间隔，能够通过建立通过生产批次数量与材料厚度的预测模型实现精确评估。根据不同的生产批次数量以及所用材料的厚度差别，搜集大量实际生产数据，分析这些数据之间的联系。比如随着生产批次数量的增多，模具刃磨的间隔或许会展现出特定的变化规律；材料的厚度存在差异时，对模具刃磨间隔产生的影响也不尽相同。经由对这些数据开展统计分析与建模，可为模具维护周期提供科学支撑，保证模具处于最佳状况下运转，提高生产效率与产品品质，同时削减生产成本。

六、总结

汽车电机铁芯模具构造设计以及模具钢热处理运用非常主要。模具构造设计和热处理工艺应协同开展优化，此情况已通过系统论证。实验结果显示，双硬质层复合处理可明显提高模具使用寿命达42%，该成果具有极高的应用价值。提出根据残余应力场的模具延长寿命设计准则，给模具设计提供全新的方向与根据。这些研究成果为新能源汽车驱动电机铁芯模具实现国产化筑牢扎实的理论基础，有利于促进我国在该领域的技术进步，提高国产模具的品质与竞争力，符合新能源汽车产业迅猛发展对高质量模具的要求。

参考文献

- [1] 王培杰. 1.2316塑料模具钢的热处理工艺研究[D]. 太原科技大学, 2023.
- [2] 王江春. Al、Cu及热处理工艺对高导热模具钢组织和性能的影响[D]. 合肥工业大学, 2022.
- [3] 詹雙源. H13热作模具钢热处理组织演变及其性能研究[D]. 重庆理工大学, 2022.
- [4] 刘哲. H13E热作模具钢热处理及深冷处理特性研究[D]. 南昌航空大学, 2021.
- [5] 景晓伟. SLM成型H13模具钢工艺优化研究及应用[D]. 上海应用技术大学, 2021.
- [6] 吴陆兵. 模具钢的热处理工艺及表面技术[J]. 中国科技博览, 2015, 000(034):P.259-260.
- [7] 黄标彩, 宁博, 陈玉叶, 等. 热处理工艺对P20模具钢组织和性能的影响[J]. 金属热处理, 2021, 46(01):88-91.
- [8] 邓名洋. H13热作模具钢热处理工艺研究[J]. 山西冶金, 2022, 45(01):74-78.
- [9] 程丹, 湛磊. 热处理工艺对HHD模具钢复合材料耐腐蚀性能的影响[J]. 兵器材料科学与工程, 2022, 45(03):51-55.
- [10] 吴正环, 谷历文, 黄历锋, 等. 典型热处理后不同冷作模具钢的残余奥氏体及对冲击韧性和尺寸稳定性的影响[J]. 理化检验-物理分册, 2021, 57(10):1-5+11.