

变压器铁心制造工艺研究

李东翰 李 晨 黄佳文

特变电工沈阳变压器集团有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘要：变压器铁心作为变压器的核心部件，其制造工艺对变压器性能至关重要。本文深入探讨了变压器铁心的制造工艺，包括材料选择（如硅钢片）、制造过程（如剪切、叠积、装配）、工艺优化（如细化工艺监控、引入先进技术）以及质量控制等方面。研究发现，优化制造工艺能够显著提高生产效率、降低成本，同时提升产品质量，确保变压器的性能和稳定性。本研究为变压器铁心制造工艺的进一步优化和提升质量水平提供了理论和实践支持。

关键词：变压器；铁心制造；工艺

引言：变压器铁心作为电力传输与分配系统中的关键组件，其制造工艺直接影响变压器的效率、稳定性和使用寿命。随着电力需求的不断增长和技术的不断进步，对变压器铁心的性能要求也日益提高。本研究旨在深入探讨变压器铁心的制造工艺，分析现有工艺的优势与不足，并提出优化建议。通过本研究，期望能为变压器铁心的制造提供更为高效、精确和可靠的工艺方法，推动电力行业的持续发展。

1 变压器铁心制造工艺概述

1.1 变压器铁心的基本组成及功能

变压器铁心是电力变压器的重要组成部分，由高导磁的硅钢片叠积而成，形成闭合的磁路。其结构通常为多层叠片式，通过钢夹件夹紧或用玻璃丝带绑扎，确保铁心的紧密性和稳定性。铁心的主要功能是提供一个低磁阻的闭合路径，使电磁感应更加高效，从而增加变压器的电磁转换效率。铁心的设计不仅影响着变压器的性能，还对其尺寸、重量和成本有重要影响。为了减小涡流损耗和磁滞损耗，铁心通常采用薄而宽的硅钢片，这些硅钢片经过特殊处理，具有优异的导磁性能和低的损耗特性。

1.2 制造工艺的主要流程

变压器铁心的制造工艺主要包括材料预处理、冷冲压模、矫正、包装等工序。（1）材料预处理是制造过程的起始阶段，包括硅钢片的清洗、去毛刺和防锈处理。这些步骤确保铁心材料具有清洁、光滑且防锈的表面，为后续的冷冲压模和叠装工艺做好准备。（2）冷冲压模是制造铁心的核心步骤，通过模具将硅钢片冲压成所需的形状和尺寸。这个过程中需要精确控制模具的精度和硅钢片的厚度，以确保铁心的几何形状和尺寸满足设计要求。（3）矫正工艺主要用于调整铁心的形状和尺寸，以消除在冷冲压模过程中产生的变形和误差。矫正过程

通常涉及机械或热处理方法，以确保铁心的平直度和稳定性。（4）铁心经过包装处理，以保护其表面免受损害，并为后续的装配和运输做好准备。包装材料应具有防潮、防尘和防震功能，以确保铁心在运输和存储过程中保持完好^[1]。

1.3 材料选择在变压器铁心制造中的重要性

材料选择在变压器铁心制造中至关重要。硅钢片作为铁心的核心材料，其导磁性能和损耗特性直接影响变压器的性能和效率。优质硅钢片具有高的导磁率和低的损耗，能够减少涡流损耗和磁滞损耗，提高变压器的电磁转换效率。此外，硅钢片的厚度和表面质量也对铁心的性能产生影响。薄而宽的硅钢片能够减小涡流损耗，而光滑的表面则有助于减小磁阻，提高磁通效率。因此，在变压器铁心制造中，选择合适的硅钢片是至关重要的。

2 变压器铁心具体制造工艺分析

2.1 材料准备

（1）硅钢片的特殊处理与要求。硅钢片是变压器铁心的主要材料，其性能对铁心的损耗和效率有着重要影响。为提高硅钢片的导磁性能和降低损耗，通常需对其进行特殊处理，如涂覆绝缘层、退火处理等。涂覆绝缘层可有效减少涡流损耗，提高硅钢片的电阻率，而退火处理则有助于消除加工硬化，提高材料的导磁性能和可塑性。此外，硅钢片的厚度均匀性、表面粗糙度和平整度等也是关键要求。厚度均匀性可确保铁心的磁路均匀分布，减少磁阻；表面粗糙度和平整度则影响硅钢片之间的贴合度和气隙，进而影响铁心的整体性能。（2）其他材料的选择与应用。除硅钢片外，变压器铁心的制造还需使用其他辅助材料，如绝缘材料、紧固件和涂层材料等。绝缘材料主要用于硅钢片之间的绝缘，防止因涡流引起的能量损耗和过热现象。紧固件用于固定硅钢片

和绕组，确保铁心的整体结构和稳定性。涂层材料则用于保护铁心免受环境腐蚀，提高其耐久性。

2.2 模具设计与制造

(1) 模具设计的精确度与稳定性要求。模具设计的精确度对铁心的尺寸精度和形状精度至关重要。精确的模具设计可确保硅钢片在冲压过程中形成准确的形状和尺寸，满足设计要求。同时，模具的稳定性也是保证铁心质量的关键因素，稳定性不足可能导致硅钢片在冲压过程中变形或损坏。(2) 模具制造的材料与工艺。模具制造需选用高强度、高耐磨性和高耐腐蚀性的材料，如合金钢、硬质合金等。这些材料具有较高的硬度和韧性，能够抵抗冲压过程中的摩擦和磨损，延长模具的使用寿命。模具制造工艺包括锻造、热处理、精加工等步骤，通过精确加工和热处理，提高模具的硬度和耐磨性，确保其精度和稳定性^[2]。

2.3 拼接与堆积

(1) 硅钢片的拼接与堆积方式。硅钢片的拼接与堆积方式直接影响铁心的磁路和损耗。常见的拼接方式有交错拼接和平行拼接，交错拼接可减小磁阻，提高铁心的导磁性能，但可能增加制造难度和成本。堆积方式则需考虑硅钢片的排列和层数，合理的堆积方式可减小铁心的损耗和噪声。在拼接与堆积过程中，硅钢片之间的气隙需尽量减小，以保持磁路的连续性。因此，对硅钢片的形状、尺寸和排列方式进行精确设计和控制是至关重要的。此外，硅钢片之间的贴合度也需达到要求，避免存在过大或不规则的气隙，否则会导致磁阻增加，进而影响铁心的性能。(2) 拼接过程中毛刺的处理与要求。硅钢片在冲压过程中可能产生毛刺，这些毛刺会影响硅钢片之间的贴合度和磁路的连续性，从而增加损耗和噪声。因此，在拼接过程中，需对硅钢片的边缘进行精细处理，去除毛刺和凸起，保持边缘的平整和光滑。同时，对毛刺的去除也需适度，避免过度去除导致硅钢片变薄，影响整体强度。

2.4 绕线

(1) 绕组的安装与电气部分的要求。绕组是变压器铁心的另一部分关键组件，用于提供电能转换和传输的路径。在绕制过程中，需根据设计要求将绕组正确地安装在铁心上，确保绕组与铁心之间的紧密配合。同时，还需对绕组的电气部分进行设计和优化，包括绕组匝数、绝缘电阻、匝间电容等参数的精确计算和控制，以提高变压器的性能和安全性。(2) 绕线过程中的注意事项。绕线过程中需注意避免导线交叉、打折或短路等现象的发生。交叉和打折会增加绕组的电阻和电感，降低

变压器的效率；而短路则可能导致绕组过热或损坏，危及变压器的安全使用。因此，在绕线过程中需采用合理的工艺方法和操作技巧，确保绕组的质量符合要求^[3]。

2.5 热处理

(1) 热处理的目的与工艺。热处理是变压器铁心制造过程中的一个重要环节，其主要目的是改善硅钢片的导磁性能和消除应力。常见的热处理工艺包括退火、时效等。退火可消除硅钢片在冲压和堆积过程中产生的内应力和变形，提高材料的韧性和塑性；时效则可进一步消除退火后残留的应力，提高硅钢片的稳定性。(2) 热处理对铁心性能的影响。热处理对铁心性能的影响显著。适当的热处理可改善硅钢片的导磁性能，降低损耗和噪声；而过度的热处理则可能导致硅钢片变脆或发生氧化腐蚀等现象，降低其使用寿命。因此，在热处理过程中需严格控制加热温度、保温时间和冷却方式等参数，确保处理效果符合设计要求。

2.6 表面处理

(1) 表面处理的工艺与要求。表面处理主要用于提高变压器铁心的耐腐蚀性和外观质量。常见的表面处理工艺包括涂覆防锈漆、镀锌、电镀等。这些工艺方法可有效地保护铁心免受环境腐蚀和氧化破坏的威胁，同时提高其表面光洁度和美观度。在表面处理过程中需注意涂层厚度、附着力和均匀性等参数的控制，确保处理效果达到要求^[4]。(2) 表面处理对铁心耐腐蚀性和外观质量的影响。表面处理对铁心的耐腐蚀性和外观质量有着显著的影响。适当的表面处理可以显著提高铁心的耐腐蚀性和防锈性能，延长其使用寿命。同时，还可以提高铁心的外观质量，增强其装饰性和美观度。然而，不同的表面处理工艺对铁心性能的影响也不同。例如，喷涂工艺可能会降低铁心的导磁性能；电镀工艺则可能会导致铁心表面产生应力集中和裂纹等问题。因此，在选择表面处理工艺时，需根据铁心的性能要求和制造工艺的特点进行综合考虑，以获得最佳的表面处理效果。

3 变压器铁心制造工艺优化建议

3.1 优化材料选择，提高产品的耐磨性和使用寿命

材料的选择对于变压器铁心的性能至关重要。首先，应选用高品质的硅钢片，这种材料不仅具有良好的导磁性和低的铁损，还具有优异的耐磨性和抗腐蚀性，能有效提高变压器铁心的使用寿命。此外，随着科技的发展，纳米材料和复合材料在变压器铁心制造中的应用也逐渐增多，这些材料具有更高的强度和更好的耐磨性，是未来变压器铁心材料的重要发展方向。在材料选择时，还需考虑材料的成本和环境影响，选择性价比最

优、环境友好的材料。同时，建立严格的材料检测机制，确保每批材料的质量都符合规定标准，从源头上保证变压器铁心的质量。

3.2 合理匹配加工工艺，确保产品的精度和质量

加工工艺的合理性直接关系到变压器铁心的精度和质量。在变压器铁心的制造过程中，应优化加工工艺，采用先进的切割、冲压、焊接等技术，确保硅钢片的尺寸精度和形状精度。同时，加强工艺过程的监控和检测，及时发现并纠正工艺偏差，确保每一步加工都符合设计要求。此外，还应优化拼接工艺，采用无搭接或斜搭接技术，减少接缝处的磁阻和损耗，提高铁心的整体性能。在绕线过程中，应确保绕组排列整齐、紧密，避免松动和短路现象的发生。

3.3 引入自动化与智能化技术，提高生产效率与降低成本

随着科技的不断发展，自动化和智能化技术已经成为制造业发展的重要趋势。在变压器铁心的制造过程中，应积极引入自动化和智能化技术，如自动化切割设备、智能化焊接系统和机器人操作等，提高生产效率和产品质量。同时，通过智能化管理系统对生产数据进行实时采集和分析，可以及时发现生产过程中的问题和瓶颈，为优化生产计划和调整工艺参数提供有力支持。此外，自动化和智能化技术的应用还可以降低生产成本，提高企业的市场竞争力。

3.4 加强质量控制与检测手段，确保铁心质量达到标准要求

变压器铁心的质量直接关系到变压器的性能和使用寿命，因此加强质量控制与检测手段至关重要。在制造过程中，应建立完善的质量管理体系，明确各环节的质量标准和检验方法，确保每一步都达到质量要求。在质量检测方面，应引入先进的检测设备和技術，如超声波检测、X射线检测及磁粉检测等，对铁心的内部缺陷、尺寸公差及电气性能等进行全面检测。同时，加强对原材料的质量检测，确保硅钢片、绝缘材料等关键材料的质量符合设计要求。此外，还应建立完善的追溯体系，对

每一批次的铁心进行标识和记录，确保在质量问题出现时能够迅速追溯到源头，采取相应的纠正措施。

3.5 借鉴国外先进技术，结合国内实际情况进行自主研发与创新

在全球化的背景下，变压器铁心制造技术的交流与合作日益频繁。企业应积极借鉴国外的先进技术和管理经验，了解国际市场的最新动态和发展趋势，不断提升自身的技术水平和管理水平。然而，借鉴不等于照搬。在引进国外先进技术的同时，企业还需结合国内实际情况，如原材料价格、劳动力成本、市场需求等因素，进行自主研发和创新。通过消化吸收再创新，开发出适合国内市场的变压器铁心制造技术，满足国内用户的需求。在自主研发与创新的过程中，企业还应注重知识产权保护。通过申请专利、注册商标等方式，保护自身的知识产权不受侵犯。同时，积极参与国际标准化组织的活动，推动变压器铁心制造技术的国际标准化进程，提升我国变压器铁心制造业的国际影响力。

结束语

综上所述，变压器铁心的制造工艺是一个复杂而精细的过程，涉及多个环节和技术要点。通过本研究，我们不仅深入了解了变压器铁心的制造工艺及其关键影响因素，还提出了一系列优化建议。这些研究成果不仅为变压器铁心的制造提供了理论指导，也为未来的工艺改进和技术创新奠定了基础。展望未来，我们期待变压器铁心制造工艺能够不断进步，为电力行业的发展贡献更多力量。

参考文献

- [1]熊雪松,王耀强,陈伟,张煜乾,张明,冷红魁.变压器铁心工艺系数波动的原因分析[J].变压器,2021,(09):102-104.
- [2]陈卓,孙竹.节能配电变压器铁心制造技术及选材分析[J].电工钢,2020,(02):11-13.
- [3]吴连云.变压器铁心制造工艺探讨研究[J].装备维修技术,2019,(05):47-48.
- [4]刘建梅.浅议变压器铁心制造工艺[J].科技风,2019,(08):77-78.