

变压器铁心制造工艺探讨研究

李 晨 黄佳文 李东翰

特变电工沈阳变压器集团有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘 要：在电力系统的核心组件中，变压器扮演着电能转换与传输的关键角色，而变压器铁心则是其灵魂所在。本文首先阐述了其重要性，随后详细剖析了主要工艺环节，涵盖材料选择、切割和堆叠、压制以及热处理等方面，明确各环节的关键要点，指出变压器铁心制造在纵向剪切、横向剪切、退火处理、涂绝缘层等方面的具体工艺要求。此外，分析了传统制造工艺存在的工艺精度低、生产效率不高、质量稳定性差等问题，并针对性地提出采用先进设备、提升自动化程度、加强人员培训与管理等改进措施，旨在助力提升变压器铁心制造水平。

关键词：变压器；铁心制造；工艺探讨；研究

引言：在电力系统中，变压器起着至关重要的作用，而变压器铁心作为核心部件，其制造工艺的优劣直接影响变压器的性能与质量。随着电力行业的不断发展，对变压器的要求日益提高，这就使得变压器铁心制造工艺备受关注。从材料的精心挑选，到切割、堆叠、压制、热处理等一系列复杂工序，每一步都关乎最终产品能否满足高质量、高性能的需求。然而，传统工艺存在诸多不足，亟待深入探讨并寻求改进方法，以推动变压器铁心制造工艺不断完善，更好地服务于电力事业发展。

1 变压器铁心制造工艺的重要性

1.1 影响变压器能效

变压器的能效与其铁心的磁性能密切相关。优质的铁心制造工艺能够确保铁心材料的导磁性能得到充分发挥，减少磁滞损耗和涡流损耗。例如，采用合适的硅钢片并通过精确的制造工艺，可以降低铁心在交变磁场作用下的能量损耗，提高变压器的能效。根据相关研究，高效的铁心制造工艺可使变压器的能效提升数个百分点，这在大规模电力传输和分配中能够显著节约能源

1.2 确保变压器运行稳定性

在制造过程中，如果铁心的堆叠、压制等工艺不合理，可能会导致铁心在运行过程中发生振动、变形等问题。这些问题会进一步引发变压器的噪音增大、绕组松动等故障，影响变压器的使用寿命和可靠性。例如，不均匀的压制可能会造成铁心局部应力集中，在长期运行过程中容易出现损坏^[1]。

2 变压器铁心制造的主要工艺环节

2.1 材料选择

2.1.1 硅钢片的特性与优势

硅钢片具有低铁损特性，在交变磁场作用下，其能量损耗极小，可有效减少变压器运行时的电能浪费，提

升能源利用效率。它还具备高磁导率，能使磁力线更易集中穿透，增强铁心的导磁能力，从而提升变压器的电磁转换效率。良好的磁饱和特性让其在高磁场强度下仍能稳定工作，确保变压器在不同负载条件下都能可靠运行，是制造变压器铁心的理想材料。

2.1.2 硅钢片的特性与优势

硅钢片的表面绝缘性优良，这一特性可防止铁心内部形成短路环流，避免局部过热而损坏铁心。其厚度薄且均匀，有助于减少涡流损耗，进一步降低能量损失。硅钢片还具有一定的机械强度，在铁心制造过程中，如切割、堆叠、压制等工序时能够承受一定的外力作用而不发生严重变形，保证了铁心结构的稳定性和完整性，为变压器的长期稳定运行奠定坚实基础。

2.2 切割和堆叠

2.2.1 切割工艺

通常采用高精度的剪切设备，依据设计要求将硅钢片切割成特定的形状与尺寸。先进的切割工艺能确保硅钢片的切口平整、光滑，有效控制毛刺的产生，减少因毛刺导致的铁心损耗增加与局部放电风险，精确的切割尺寸对于铁心的拼接与堆叠精度至关重要，直接影响到铁心整体的电磁性能与机械稳定性，是保证变压器高效运行的基础环节。

2.2.2 堆叠工艺

堆叠工艺旨在将切割好的硅钢片有序组合。需严格按照预定的叠片方式进行操作，如全斜接缝或半斜接缝等，以降低铁心的磁阻，减少涡流损耗。在堆叠过程中，要保证每片硅钢片的对齐精度，控制层间间隙，防止因错位或间隙过大而影响铁心的磁性能均匀性。合理的堆叠工艺还能增强铁心的机械强度，使其在变压器运行时能够承受电磁力与机械振动等多种应力作用而不发

生损坏。

2.3 压制

2.3.1 压制设备与方式

变压器铁心压制常用液压机等专业设备。其工作方式是通过上下模具对叠放好的硅钢片施加压力。在压制过程中,模具的设计与精度极为关键,需确保能均匀地对铁心施压,使硅钢片紧密贴合,消除层间气隙,以增强铁心的整体性与机械强度。先进的压制设备具备精确的压力控制与位移监测功能,可根据铁心的规格与工艺要求灵活调整压制参数,保障压制过程稳定、高效,为后续工艺奠定良好基础。

2.3.2 压制压力控制

压力过小,硅钢片间贴合不紧密,会增加磁阻与铁损,降低铁心性能;压力过大则可能导致硅钢片变形甚至损坏其内部晶体结构,同样损害铁心质量。因此,需依据硅钢片的材质、厚度及铁心尺寸等因素精准确定压制压力范围,并在压制过程中实时监控与调整,确保压力稳定在合理区间,使铁心在获得良好机械性能的同时保持优秀的电磁性能。

2.4 热处理

2.4.1 退火处理的目的

退火处理是变压器铁心制造中的重要环节,其目的主要在于消除硅钢片在加工过程中产生的内应力。通过退火,可使硅钢片的组织结构得到优化恢复,提高其磁性能,降低磁滞损耗,退火还能去除硅钢片表面可能存在的杂质与污染物,改善其表面质量,增强硅钢片之间的绝缘性能,从而提升铁心整体的电磁特性与稳定性,确保变压器在长期运行中高效、可靠地工作。

2.4.2 退火温度和时间选择

一般而言,退火温度需根据硅钢片的材质与性能要求确定,通常在特定的温度区间内进行选择,例如700℃-850℃左右,温度过高可能导致硅钢片晶粒粗大,影响磁性能;温度过低则无法充分消除内应力。退火时间也需精准把控,过长可能引起硅钢片氧化等问题,过短则达不到预期的应力消除与性能改善效果,需综合多方面因素进行优化调整^[2]。

3 变压器铁心制造工艺的要求

3.1 纵向剪切要求

3.1.1 横截面填充系统控制

在纵向剪切时,精确的横截面填充系统控制至关重要。需确保硅钢片在剪切后能紧密排列于铁心横截面,实现高效的填充效果。这要求剪切设备具备精准的定位与送料功能,依据铁心设计的形状与尺寸,对硅钢片进

行等宽或不等宽剪切。合理的横截面填充可优化磁路分布,减少磁阻,提高变压器的电磁转换效率,同时增强铁心结构的稳定性,使其能更好地承受运行中的电磁力与机械应力。

3.1.2 毛刺处理与带卷检查

微小的毛刺会增大硅钢片的表面粗糙度,导致铁心叠装时层间接触不良,增加磁阻与涡流损耗。常采用精细的打磨或去毛刺设备,将毛刺高度控制在极低水平。此外,对带卷进行严格检查也不可或缺。检查内容包括硅钢片的材质、厚度一致性、表面质量等。及时发现并剔除有缺陷的带卷,可保证进入后续工序的原材料质量可靠,为制造出高性能的变压器铁心奠定基础。

3.2 横向剪切要求

3.2.1 长度控制与精度要求

硅钢片剪切后的长度需精准符合设计尺寸,以保障铁心在组装时各部分能完美匹配。高精度的长度控制能减少因尺寸偏差导致的拼接缝隙,从而降低磁阻与涡流损耗,提升变压器电磁性能。先进的剪切设备借助激光测量等技术,可将长度误差控制在极小范围内,确保每片硅钢片的长度一致性,为铁心整体质量提供可靠保障。

3.2.2 公差范围控制

在横向剪切时,严格的公差范围控制必不可少。公差范围直接影响到铁心的装配精度与性能稳定性。若公差过大,硅钢片在堆叠过程中易出现错位、不平整等问题,增加磁路不平衡性与局部应力。通过优化剪切工艺与设备参数,将长度、宽度等公差控制在极窄范围内,如 ± 0.1 毫米甚至更小,可有效提高铁心的机械强度与电磁性能均匀性,满足变压器在不同工况下的高效运行需求。

3.3 退火处理要求

3.3.1 磁性保持与表面优化

在磁性保持方面,合适的退火工艺能够有效减少硅钢片在加工过程中产生的内应力对磁畴结构的破坏,使磁畴能够更好地有序排列,从而维持并提升硅钢片的磁导率,降低磁滞损耗,确保变压器在运行过程中能够高效地进行电磁转换。在表面优化上,退火可以消除硅钢片表面因机械加工而产生的微小划痕、毛刺等缺陷,使表面更加光滑平整,还能去除表面的油污、杂质等污染物,增强硅钢片之间的绝缘性能,减少层间短路的风险,进一步提高铁心整体的电气性能和可靠性,延长变压器的使用寿命,保障电力系统的稳定运行。

3.4 涂绝缘层要求

3.4.1 绝缘性能保证

在变压器铁心制造中,涂绝缘层是保障铁心绝缘性

能的关键步骤。所涂绝缘层材料需具备高电阻率、良好的附着性与耐腐蚀性等特性。通过均匀地涂覆在硅钢片表面,有效阻止硅钢片间的电流传导,防止形成涡流回路,从而大幅降低涡流损耗,绝缘层能抵御外界环境因素如潮湿、酸碱等对铁心的侵蚀,保持其绝缘性能的长期稳定。严格的涂覆工艺控制,包括厚度、均匀度等方面的要求,是确保绝缘层发挥最佳效果,保障变压器安全、高效运行的重要环节。

4 传统变压器铁心制造工艺存在的问题及改进措施

4.1 存在的问题

4.1.1 工艺精度较低

传统变压器铁心制造工艺在多个环节存在精度不足的问题。例如切割时,设备老化或工艺参数设置不合理,致使硅钢片的尺寸偏差较大,边缘毛刺难以控制在理想范围。在堆叠过程中,缺乏高精度的定位辅助,容易出现层间错位现象,影响铁心的磁路均匀性。压制环节压力控制不够精准,造成铁心密度不均匀。这些精度问题综合起来,降低了铁心的电磁性能,难以满足现代变压器对高效能、低损耗的严苛要求。

4.1.2 生产效率不高

传统工艺下,变压器铁心制造的生产效率面临诸多制约。设备自动化程度低,如硅钢片的搬运、切割、堆叠等工序多依赖人工操作,不仅耗时费力,且人工操作的速度和准确性有限。工序之间衔接不够流畅,存在较多等待时间,例如热处理后的冷却时间较长且无法有效利用。模具更换繁琐,当生产不同规格铁心时,调整设备和工艺参数耗费大量时间,严重阻碍了生产节奏,难以适应大规模快速生产的市场需求。

4.1.3 质量稳定性差

传统工艺制造的变压器铁心质量稳定性欠佳。由于原材料检验手段有限,可能使质量参差不齐的硅钢片进入生产环节。在制造过程中,工艺参数波动大,如退火温度、压制压力等难以精确恒定控制,导致每批次铁心的性能存在差异。而且质量检测多在成品阶段,前期工序中的缺陷难以及时发现与纠正,使得最终产品的质量离散性较大,增加了变压器运行时的故障风险,降低了产品的可靠性与使用寿命,不利于企业在市场中树立良好的品牌形象。

4.2 改进措施

4.2.1 采用先进的制造设备

采用先进的制造设备是提升变压器铁心制造工艺的

关键举措。例如高精度数控剪切机,能够依据预设程序精确切割硅钢片,大幅提高切割尺寸精度并降低毛刺生成量。新型液压压制设备具备精准的压力控制系统,可确保压制过程中压力均匀稳定,提升铁心密度的一致性。先进的退火炉能精准调控退火温度与时间,优化硅钢片的磁性恢复效果。这些先进设备的引入,不仅能有效解决传统工艺精度不足的问题,还能显著提升生产效率,为高质量铁心制造奠定坚实基础。

4.2.2 提高工艺自动化程度

通过自动化物料传输系统,可实现硅钢片在各工序间的快速、精准流转,减少人工搬运的时间损耗与误差。在切割与堆叠工序引入机器人操作,可依据预设模型进行高精度作业,确保每片硅钢片的加工与装配质量。自动化检测设备能实时监控各工艺环节的参数与产品质量,及时发现偏差并反馈调整。高度自动化的工艺系统可有效避免人工操作的不稳定性,使生产流程更加高效、稳定且可追溯,极大提升铁心制造的整体效益。

4.2.3 加强人员培训与管理

针对操作人员开展专业技能培训,使其深入掌握先进设备的操作方法与工艺要点,如精确设置切割设备参数、正确操作压制与退火设备等,减少因操作不当引发的质量问题。对技术人员与管理人员进行定期的知识更新培训,使其了解行业最新技术与管理理念,能够制定科学合理的生产计划与质量控制方案,建立完善的人员考核与激励机制,充分调动员工的积极性与责任心,确保各项工艺改进措施得以有效实施,保障铁心制造的高质量与高效率^[3]。

结束语

随着科技的持续进步,变压器铁心制造工艺也在不断演进与革新。通过对材料选择、切割堆叠、压制、热处理以及涂绝缘层等各环节深入细致的探讨研究,明确了各工艺环节的要点与要求,并剖析了传统工艺存在的问题及改进方向。采用先进设备、提升自动化程度和强化人员培训管理等措施将有力推动工艺水平的提升。

参考文献

- [1]熊雪松,王耀强,陈伟,张煜乾,张明,冷红魁.变压器铁心制造工艺探讨研究[J].变压器,2021,58(09):12-14.
- [2]陈卓,孙竹.变压器铁心制造工艺探讨研究[J].电工钢,2020,2(Z1):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(02):47-48.