

铝冷轧机厚度超差原因及改善措施的分析

王向平

河南中孚高精铝材有限公司 河南 郑州 451261

摘要：铝冷轧机生产中，厚度精度是衡量产品质量的核心指标，厚度超差直接影响产品适用性与企业效益。本文基于铝冷轧工艺特性，系统剖析设备精度、工艺参数、原料性能及控制系统等导致厚度超差的关键因素。通过对各因素作用机制的研究，提出设备精度校准、工艺参数优化、原料预处理强化及控制策略升级等针对性改善措施，经实践验证可有效降低超差率，为提升铝冷轧产品厚度精度提供技术支撑。

关键词：铝冷轧机；厚度超差；原因；改善措施

引言：冷轧是铝加工的关键工序，其产品广泛应用于航空航天、电子器件、包装材料等领域，厚度精度直接决定产品使用性能。随着下游行业对铝加工材精度要求不断提升，铝冷轧机厚度超差问题成为制约企业发展的突出瓶颈。当前部分生产场景中，厚度超差导致的废品率居高不下，增加生产成本。本文聚焦铝冷轧机厚度超差问题，深入分析成因并提出改善措施，对提升生产效率与产品质量具有重要现实意义。

1 铝冷轧机厚度控制的核心逻辑

铝冷轧机厚度控制旨在通过精准调节轧制中的力能参数与运动参数，补偿各类扰动对带材厚度的影响，达成目标厚度的稳定输出。在轧制过程里，带材厚度受轧制力、轧辊间隙、轧辊速度以及原料特性等因素共同影响，遵循“弹跳方程”这一核心规律。轧机在轧制力作用下会产生弹性变形，致使轧辊间隙改变，进而影响带材出口厚度。常规控制模式采用闭环反馈机制，厚度检测装置实时采集出口厚度数据，并迅速反馈至控制系统。控制系统依据预设目标厚度与实际检测厚度的偏差，精准调节轧辊压下量或轧制速度。当检测到厚度偏厚时，控制系统会减小压下量或适当降低轧制速度，以减少带材变形量；反之，若厚度偏薄，则增大压下量或提高轧制速度，增加带材变形量。然而，实际生产环境复杂多变，多因素耦合扰动易打破这种平衡。例如，设备部件精度衰减、工艺参数设置不合理、原料质量波动以及控制系统运行异常等，都可能使轧制过程中的力能与运动参数偏离理想状态，导致带材厚度出现偏差。因此，深入剖析各因素的作用机制，实施精准管控，是实现铝冷轧机厚度高精度控制的关键所在^[1]。

2 铝冷轧机厚度超差的关键原因

2.1 设备核心部件精度衰减

轧辊作为直接作用于铝带的核心部件，其精度衰减

是厚度超差的主要诱因。长期轧制过程中，轧辊表面受周期性压力与摩擦力作用，出现均匀磨损或局部划痕，导致辊型精度下降，如产生中凸度异常或局部凹陷，使轧制时带材不同宽度方向压下量不均，出现边部与中部厚度偏差。此外，轧辊轴承间隙增大也是重要因素，轴承磨损导致径向或轴向间隙超差，轧辊在轧制力冲击下产生径向跳动，使瞬时压下量波动，形成周期性厚度超差。压下系统精度不足同样关键，如压下丝杠磨损导致传动间隙增大，或伺服电机响应滞后，使压下量调节无法精准匹配工艺需求，引发厚度偏差。

2.2 轧制工艺参数匹配失衡

工艺参数设置与原料特性、设备能力不匹配是厚度超差的常见原因。轧制速度控制不当易引发问题，速度过高时，轧辊与铝带间摩擦系数变化，导致轧制力波动，且冷却系统难以实时带走轧制热量，使铝带局部温度升高、塑性增强，相同压下量下出口厚度变薄；速度过低则易导致轧制力过大，轧机弹跳量增加，带材厚度增厚。压下量分配不合理也会产生影响，若道次压下量过大，超出铝带塑性变形能力，易出现“打滑”现象，使实际压下量小于设定值，带材厚度偏厚；道次压下量过小则需增加轧制道次，反复轧制易导致带材累计厚度偏差。此外，冷却润滑参数不当会加剧厚度超差，冷却剂量不足或分布不均使轧辊局部温度过高、热膨胀变形，辊缝精度下降；润滑剂浓度不合适则会改变摩擦状态，影响轧制力稳定性，间接导致厚度波动^[2]。

2.3 原料来料质量波动

原料来料的厚度偏差与性能不均是轧制过程中厚度超差的源头性因素。热轧来料厚度存在纵向或横向偏差时，若冷轧前未进行有效匀整处理，轧制过程中仅通过轧机自身调节难以完全补偿，易导致冷轧后带材厚度延续来料偏差规律，出现周期性或区域性超差。原料化学

成分不均匀会影响其力学性能,如铝带中镁、硅等合金元素分布不均,导致不同区域硬度、塑性存在差异,轧制时相同压下量下变形量不同,出现局部厚度偏差。此外,原料表面质量缺陷也会间接引发厚度问题,如表面存在氧化皮、夹杂或划痕,轧制时易造成局部轧制力突变,轧辊瞬间弹跳,使对应位置带材厚度异常。

2.4 厚度控制系统运行异常

厚度控制系统作为闭环控制核心,其运行异常会直接导致厚度超差。检测环节精度不足是首要问题,厚度检测装置如X射线测厚仪校准失效、检测头污染或安装位置偏差,会导致采集的厚度数据失真,控制系统基于错误数据调节,引发厚度偏差。控制系统参数整定不合理也会影响效果,如PID控制器比例、积分、微分参数设置不当,使系统响应速度滞后或出现超调,当轧制过程出现扰动时,无法快速精准调节压下量或轧制速度,导致厚度波动扩大。此外,系统信号传输故障,如检测信号受电磁干扰出现波动,或控制信号传输延迟,会使控制系统与执行机构动作不同步,进一步加剧厚度超差。

3 铝冷轧机厚度超差的改善措施

3.1 构建设备全生命周期精度管控体系

针对设备核心部件精度衰减问题,建立全生命周期精度管控体系。轧辊方面,制定分级维护策略,根据轧制产品规格与产量,设定轧辊磨损极限值,定期采用激光测厚仪检测辊型精度,对磨损超标的轧辊及时进行磨削修复,确保辊型中凸度、圆度等参数符合工艺要求;同时优化轧辊冷却系统,采用分区冷却方式,减少轧制过程中轧辊热变形。轧辊轴承与压下系统实施定期点检与更换制度,利用振动监测技术实时监测轴承运行状态,发现间隙超差或振动异常及时更换;对压下丝杠定期进行润滑与精度检测,采用激光干涉仪测量传动间隙,超差时进行修复或更换,确保压下调节精度。此外,建立设备精度档案,记录各部件运行时间、维护内容及精度检测数据,实现设备精度可追溯与预判性维护^[3]。

3.2 实施工艺参数精准优化策略

工艺参数的精准匹配需结合原料实际特性与设备运行能力,构建动态优化体系。首先以原料关键指标为基础,通过正交试验与生产数据反演,建立不同工况下的工艺参数匹配模型,打破传统固定参数模式的局限性。轧制速度优化采用分级调控思路,针对厚料轧制时变形抗力大的特点,采用低速大压下模式提升变形均匀性;薄料轧制则切换至高速小压下模式,减少轧制时间带来的温度波动。同时在控制系统中嵌入速度自适应模块,实时采集轧制力波动值与带材表面温度数据,当检测数

值超出阈值时自动微调速度,确保轧制过程力能参数稳定。压下量分配实施多道次渐进式方案,先通过拉伸试验获取原料塑性极限值,以此确定单道次最大允许压下量,避免因压下量过大引发打滑现象。对于多道次轧制场景,利用有限元模拟软件提前仿真不同分配方案下的带材变形轨迹,预判各道次出口厚度偏差,据此优化各道次压下量参数。针对薄规格产品,适当增加前道次压下比例,减少后续道次累积误差。冷却润滑系统采用双闭环控制模式,流量闭环根据轧制速度与压下量实时调节冷却剂喷射量,同时通过分区喷射装置确保轧辊轴向温度均匀;浓度闭环则定期检测润滑剂折光率,结合原料材质调整浓度,保证摩擦系数稳定在合理区间。针对宽幅带材轧制,特别优化边部冷却剂量,缓解边部温降过快导致的厚度偏差。建立工艺参数动态数据库,实时录入原料信息、工艺参数与出口厚度检测数据,通过大数据分析挖掘参数与厚度精度的关联规律。定期开展参数优化评审,将新工况下的最优参数更新至模型,形成"数据采集-分析优化-生产应用"的闭环机制,持续提升工艺适配性。

3.3 强化原料来料质量管控与预处理

建立来料检验与预处理一体化流程,从源头把控质量。制定严格的原料入库检验标准,运用高精度测厚仪对热轧来料开展全长度、全宽度的厚度检测,详细记录厚度偏差数据,对于超差严重的原料坚决退回,避免其进入后续生产环节。同时,利用光谱分析仪与拉伸试验机,分别检测原料的化学成分与力学性能,准确掌握合金元素分布以及硬度、塑性等指标,保证原料性能均匀性满足轧制要求。对检验合格的原料,实施针对性预处理。若来料厚度偏差较大,在冷轧前增加匀整轧制工序,采用小压下量多道次轧制的方式,有效减小纵向与横向的厚度偏差,为后续轧制创造良好条件。对于表面存在氧化皮或夹杂的原料,采用酸洗或打磨的方法进行表面处理,彻底去除缺陷,防止轧制时因局部受力不均引发厚度异常。此外,建立原料质量信息共享机制,将检测得到的来料质量数据实时反馈至轧制车间。这使得车间能够依据原料的实际情况,精准调整工艺参数,实现原料质量与工艺参数的精准匹配。例如,根据原料的厚度偏差和性能特点,合理调整轧制速度、压下量等参数,确保轧制过程稳定,减少厚度超差问题的发生。通过这一系列措施,从源头上保障原料质量,为铝冷轧机生产出厚度精度达标的产品奠定坚实基础^[4]。

3.4 升级厚度控制系统与优化控制策略

在生产过程中,厚度控制系统运行异常会严重影响

产品质量，为此，我们通过硬件升级与策略优化来提升控制精度。在检测系统升级上，多管齐下。首先，更换高精度X射线测厚仪，大幅提升厚度检测分辨率与响应速度，让检测结果更精准、及时。其次，建立定期维护机制，对检测头进行清洁与校准，采用标准厚度样片严格标定，从源头确保检测数据的准确性。再者，优化检测头安装位置，巧妙避开带材振动干扰，降低其对检测结果的不良影响。同时，增加备用检测装置，一旦主检测装置出现故障，能自动切换至备用装置，保障检测工作的连续性。控制系统优化方面，引入先进智能控制算法，用模糊PID控制或神经网络控制取代传统PID控制。这些算法能根据轧制过程中扰动因素的变化，自适应调整控制参数，显著提升系统对非线性、时变系统的控制效果。此外，在控制系统中增设前馈控制模块，依据来料厚度偏差、原料硬度等前馈信息，提前调节压下量与轧制速度，将扰动对出口厚度的影响降至最低。信号传输系统的优化也不容忽视，采用屏蔽电缆，有效减少电磁干扰，保证信号传输的纯净度。同时，升级通信模块，大幅提升信号传输速度，确保检测信号与控制信号实时同步，为厚度控制系统的精准运行提供坚实保障。通过这一系列升级与优化措施，厚度控制精度得到显著提升，产品质量更有保障。

3.5 建立过程质量监测与持续改进机制

构建全流程质量监测体系，实现厚度偏差的实时预警与持续改进。在轧制生产线关键位置增设厚度检测点，除出口处的在线检测外，在各道次轧制后增加检测环节，实时监测带材厚度变化，及时发现中间工序的厚度偏差，避免缺陷累积；利用数据采集系统实时收集厚度检测数据、设备运行参数及工艺参数，建立生产过程

数据库。基于数据库开展质量分析，采用统计过程控制（SPC）方法，通过控制图分析厚度波动规律，识别异常波动的源头因素；定期组织技术人员对厚度超差案例进行复盘，分析超差原因及措施实施效果，形成经验库。此外，建立全员质量责任制，加强操作人员技能培训，使其掌握工艺参数调整方法与设备日常点检技巧，通过操作人员、技术人员与设备维护人员的协同配合，持续提升铝冷轧机厚度控制水平。

结语

铝冷轧机厚度超差是设备精度、工艺参数、原料质量及控制系统等多因素耦合作用的结果，需从根源出发构建系统性解决方案。本文通过分析各关键因素的作用机制，提出设备全生命周期管控、工艺参数精准优化、原料预处理强化、控制系统升级及过程质量监测等措施，可有效降低厚度超差率。实际生产中，需结合企业生产规模、产品规格及设备配置，灵活调整改善方案，通过持续优化与迭代，不断提升厚度控制精度。未来可进一步融合智能制造技术，实现工艺参数自适应调节与设备故障预判，推动铝冷轧生产向高精度、高效率方向发展。

参考文献

- [1]金鑫,李萍,高军霞.UCM冷轧机弯辊力智能预设定计算模型研究[J].唐山学院学报,2022,35(03):29-35.
- [2]梁继东,蒋立山.镜面用铝合金板带材冷轧工艺研究[J].市场周刊·理论版,2020(93):148-148
- [3]李晓青,魏立群,付斌.冷轧铜-铝复合带翘曲变形研究[J].上海金属,2021,43(5):85-90101
- [4]黄金哲.易拉罐用铝合金带材宽幅冷轧机板形控制策略的改进[J].世界有色金属,2023(8):177-180