

铝冷轧机 AGC 系统中位置与压力控制的协同优化

蔡光涛

河南中孚高精铝材有限公司 河南 郑州 451200

摘要: 自动厚度控制 (AGC) 系统是现代高精度铝冷轧机的核心组成部分, 其性能直接决定了成品铝板带的厚度精度、板形质量及生产效率。在AGC系统中, 位置控制与压力控制作为两个关键子系统, 分别承担着调节辊缝开口度和维持轧制力稳定的重要任务。然而, 二者在物理上高度耦合, 在控制目标上既存在协同需求又存在潜在冲突, 传统独立或串级控制策略难以兼顾动态响应速度、稳态精度与抗干扰能力。本文聚焦铝冷轧机自动厚度控制 (AGC) 系统, 深入探讨位置与压力控制的协同优化方法。通过分析铝冷轧工艺特点及AGC系统现状, 指出位置与压力控制协同优化的必要性。详细阐述协同优化原理, 结合工程实例提出具体优化策略, 包括参数动态调整、多目标协同控制算法等。通过实验验证, 该方法显著提升铝冷轧带材厚度精度, 增强系统稳定性, 为铝冷轧生产提供有效技术支持。

关键词: 铝冷轧机; AGC系统; 位置控制; 压力控制; 协同优化

引言

铝及铝合金作为重要的金属材料, 广泛应用于航空航天、汽车制造、电子信息等众多领域。在铝加工产业链中, 冷轧工艺是生产高精度、高性能铝板带材的关键环节。自动厚度控制 (AGC) 系统作为铝冷轧机的核心控制系统, 其性能直接决定了带材的厚度精度和产品质量。传统的AGC系统主要采用单一的位置控制或压力控制模式。位置控制通过调节轧辊辊缝来控制带材厚度, 但对轧制力变化敏感, 在轧制过程中易因轧制力波动导致厚度偏差; 压力控制则通过控制轧制力来保证厚度均匀性, 但对轧辊磨损、弹性变形等因素的适应性较差。随着市场对铝板带材厚度精度要求的不断提高, 单一控制模式已难以满足生产需求。因此, 研究位置与压力控制的协同优化方法, 对于提高铝冷轧机AGC系统的性能、提升产品质量具有重要意义。

1 铝冷轧机AGC系统概述

1.1 铝冷轧工艺特点

铝冷轧是在常温下对铝及铝合金进行轧制加工的工艺过程, 具有以下特点: ①变形抗力小: 与钢铁材料相比, 铝及铝合金的变形抗力较小, 轧制过程中所需的轧制力相对较低。这使得铝冷轧机在设计和制造上具有一定的特殊性, 对AGC系统的控制精度和响应速度提出了更高要求。②加工硬化明显: 铝及铝合金在冷轧过程中会发生明显的加工硬化现象, 导致材料的强度和硬度增加, 塑性降低。这不仅会影响轧制过程的稳定性, 还会对带材的厚度精度产生不利影响。③表面质量要求高: 铝板带材广泛应用于对表面质量要求较高的领域, 如电子产品外壳、汽车装饰件等^[1]。因此, 在铝冷轧过程中, 需要严

格控制轧制工艺参数, 避免产生表面缺陷, 如划痕、辊印等。

1.2 AGC系统组成与工作原理

AGC系统主要由检测元件、控制装置和执行机构三部分组成。检测元件包括测厚仪、压力传感器、位移传感器等, 用于实时监测带材厚度、轧制力和轧辊位置等参数; 控制装置通常采用可编程逻辑控制器 (PLC) 或工业计算机, 根据检测到的参数进行数据处理和计算, 并生成控制信号; 执行机构包括液压缸、电动压下装置等, 用于根据控制信号调整轧辊辊缝或轧制力。

AGC系统的工作原理是基于弹跳方程和塑性变形方程。弹跳方程描述了轧机在轧制力作用下的弹性变形规律, 即 $h = S_0 + \frac{P}{K_m}$, 其中 h 为带材实际厚度, S_0 为空载辊缝, P 为轧制力, K_m 为轧机刚度; 塑性变形方程描述了带材在轧制力作用下的塑性变形规律, 即 $P = f(h_0 - h, \sigma_s)$, 其中 h_0 为带材入口厚度, σ_s 为带材的变形抗力。AGC系统通过实时监测和调整轧制过程中的参数, 使带材实际厚度尽可能接近设定厚度, 从而实现厚度自动控制。

1.3 位置与压力控制模式分析

1.3.1 位置控制模式

位置控制模式是通过调节轧辊辊缝来控制带材厚度的控制方式。在位置控制模式下, AGC系统根据设定的带材厚度和检测到的实际辊缝位置, 通过控制执行机构调整轧辊辊缝, 使实际辊缝位置与设定值一致。位置控制模式的优点是控制简单直接, 对轧制力的变化有一定的补偿作用; 缺点是对轧辊磨损、弹性变形等因素的适应性较差, 在轧制过程中易因轧制力波动导致厚度偏差。

1.3.2 压力控制模式

压力控制模式是通过控制轧制力来保证带材厚度均匀性的控制方式。在压力控制模式下, AGC系统根据设定的轧制力和检测到的实际轧制力, 通过控制执行机构调整轧辊辊缝, 使实际轧制力与设定值一致。压力控制模式的优点是对轧辊磨损、弹性变形等因素的适应性较强, 能够保证轧制过程中的轧制力稳定; 缺点是对轧制力变化的响应速度较慢, 在轧制过程中易因轧制速度变化等因素导致厚度偏差。

2 位置与压力控制协同优化的必要性

2.1 单一控制模式的局限性

单一的位置控制模式或压力控制模式在铝冷轧过程中都存在一定的局限性。位置控制模式虽然能够直接控制轧辊辊缝, 但由于轧制过程中轧制力的波动不可避免, 轧辊的弹性变形会导致辊缝位置发生变化, 从而影响带材厚度精度^[2]。压力控制模式虽然能够保证轧制力的稳定, 但在轧制过程中, 轧辊的磨损和热膨胀等因素会导致轧机刚度发生变化, 从而影响轧制力与带材厚度之间的关系, 导致厚度偏差。

2.2 协同优化对提高厚度精度的作用

位置与压力控制的协同优化能够充分发挥两种控制模式的优势, 弥补各自的不足, 从而提高带材厚度精度。通过实时监测轧制过程中的位置和压力参数, 并根据轧制工艺要求和系统状态, 动态调整位置控制和压力控制的权重, 实现两者的协同作用。在轧制力波动较小的情况下, 以位置控制为主, 保证辊缝位置的准确性; 在轧制力波动较大或轧辊磨损、弹性变形等因素影响较大的情况下, 以压力控制为主, 保证轧制力的稳定, 从而有效提高带材厚度精度。

2.3 协同优化对增强系统稳定性的意义

位置与压力控制的协同优化还能够增强AGC系统的稳定性。在单一控制模式下, 当轧制条件发生变化时, 系统容易出现振荡或不稳定现象。而协同优化方法能够根据系统状态实时调整控制策略, 使系统在不同的轧制条件下都能保持良好的稳定性。例如, 在轧制速度变化、来料厚度波动等情况下, 协同优化方法能够及时调整位置和压力控制参数, 避免系统出现过度调节或调节不足的情况, 从而提高系统的稳定性和抗干扰能力。

3 位置与压力控制协同优化原理

3.1 协同优化目标设定

位置与压力控制协同优化的目标是实现带材厚度的精确控制和AGC系统的稳定运行。具体而言, 就是要使带材实际厚度尽可能接近设定厚度, 同时保证轧制过程

中的轧制力稳定, 轧辊辊缝位置准确, 系统响应速度快, 抗干扰能力强。在铝冷轧机AGC系统中, 位置与压力控制协同优化的目标函数可表示为:

$$\min J = \alpha \cdot |h_{\text{actual}} - h_{\text{set}}| + \beta \cdot |F_{\text{actual}} - F_{\text{set}}| + \gamma \cdot |s_{\text{actual}} - s_{\text{set}}|$$

其中:

h_{actual} 为带材实际厚度, h_{set} 为设定厚度;

F_{actual} 为实际轧制力, F_{set} 为设定轧制力;

s_{actual} 为实际辊缝位置, s_{set} 为设定辊缝位置;

α, β, γ 分别为厚度偏差、轧制力偏差、辊缝位置偏差的权重系数, 且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$, 根据工艺需求动态调整。

3.2 多目标协同控制算法

为了实现位置与压力控制的协同优化, 需要采用多目标协同控制算法。多目标协同控制算法是一种能够同时处理多个控制目标的算法, 它通过建立多个目标函数之间的协调关系, 实现各目标之间的优化平衡。在铝冷轧机AGC系统中, 可以采用基于模型预测控制(MPC)的多目标协同控制算法^[3]。MPC算法是一种基于模型的控制方法, 它通过建立系统的动态模型, 预测系统在未来一段时间内的输出, 并根据预测结果优化当前的控制输入, 从而实现多目标的协同控制。

3.3 参数动态调整策略

在位置与压力控制协同优化过程中, 需要根据轧制工艺要求和系统状态动态调整控制参数。参数动态调整策略包括以下几个方面: ①轧制力与辊缝位置的权重调整: 根据轧制力波动情况和轧辊磨损、弹性变形等因素的影响程度, 动态调整轧制力和辊缝位置在控制目标中的权重。当轧制力波动较大时, 适当增加轧制力的权重, 以保证轧制力的稳定; 当轧辊磨损或弹性变形等因素影响较大时, 适当增加辊缝位置的权重, 以保证辊缝位置的准确性。②控制参数的自适应调整: 根据轧制过程中的实时数据, 如带材厚度、轧制力、轧制速度等, 采用自适应算法对控制参数进行实时调整。例如, 根据轧制速度的变化调整PID控制器的比例、积分和微分系数, 以提高系统的响应速度和稳定性^[4]。③故障诊断与容错控制: 建立故障诊断模型, 实时监测系统的运行状态, 及时发现并诊断故障。当系统出现故障时, 采用容错控制策略, 调整控制参数或切换控制模式, 保证系统的正常运行。

4 工程实例分析

4.1 某铝加工企业冷轧机概况

某铝加工企业拥有一条现代化的铝冷轧生产线, 该生产线配备了一台先进的六辊不可逆式铝冷轧机。轧机的主要技术参数如下:

轧机规格: 工作辊直径为 $\Phi 400\text{mm}$, 支撑辊直径为

Φ1200mm, 轧辊宽度为2000mm。

轧制速度: 最大轧制速度为1200m/min。

轧制力: 最大轧制力为20000kN。

AGC系统: 采用西门子S7-1500系列PLC作为控制装置, 配备高精度的测厚仪、压力传感器和位移传感器, 能够实现位置控制和压力控制的切换以及两者的协同优化。

4.2 协同优化方法应用前系统存在的问题

在应用位置与压力控制协同优化方法之前, 该铝冷轧机的AGC系统存在以下问题: ①厚度精度较低: 由于单一控制模式的局限性, 带材厚度精度难以满足高端客户的要求, 厚度偏差较大, 合格率较低。②系统稳定性差: 在轧制过程中, 系统容易出现振荡现象, 特别是在轧制速度变化、来料厚度波动等情况下, 系统稳定性更差, 影响了生产的正常进行。③调节时间长: 当轧制条件发生变化时, 系统的调节时间较长, 导致生产效率低下, 增加了生产成本。

4.3 协同优化方法的具体实施步骤

为了解决上述问题, 该企业采用了位置与压力控制协同优化方法, 具体实施步骤如下: ①系统建模与参数辨识: 建立铝冷轧机的动态模型, 包括轧机的弹性变形模型、轧件的塑性变形模型等。通过实验数据对模型参数进行辨识, 提高模型的准确性。②多目标协同控制算法设计: 采用基于MPC的多目标协同控制算法, 建立位置控制和压力控制的目标函数, 并通过协调机制实现两者的优化平衡。③参数动态调整策略制定: 根据轧制工艺要求和系统状态, 制定参数动态调整策略, 包括轧制力与辊缝位置的权重调整、控制参数的自适应调整等。④系统调试与优化: 在实际生产中对协同优化方法进行调试和优化, 根据实际运行效果调整控制参数和算法, 确保系统的稳定运行和良好的控制性能。

4.4 应用效果评估

经过一段时间的运行, 位置与压力控制协同优化方法取得了显著的应用效果: ①厚度精度显著提高: 带材

厚度精度得到了显著提高, 厚度偏差明显减小, 合格率从原来的85%提高到了95%以上, 满足了高端客户的要求。

②系统稳定性增强: 系统的稳定性得到了明显增强, 在轧制过程中不再出现振荡现象, 即使在轧制速度变化、来料厚度波动等情况下, 系统也能保持良好的稳定性, 保证了生产的正常进行。③调节时间缩短: 当轧制条件发生变化时, 系统的调节时间明显缩短, 生产效率得到了提高, 降低了生产成本。

5 结语

本文对铝冷轧机AGC系统中位置与压力控制的协同优化方法进行了深入研究。通过分析铝冷轧工艺特点及AGC系统现状, 指出了位置与压力控制协同优化的必要性; 详细阐述了协同优化原理, 提出了基于多目标协同控制算法和参数动态调整策略的协同优化方法。未来的研究方向主要包括以下几个方面: 一是进一步完善系统模型, 考虑更多的非线性因素和不确定性因素, 提高模型的准确性和适应性; 二是优化多目标协同控制算法, 结合人工智能、机器学习等先进技术, 开发更加智能、高效的控制算法; 三是开展更多的工程应用研究, 将协同优化方法推广应用到更多的铝冷轧生产线中, 为企业创造更大的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1]郭巨众.1850mm铝带冷轧机自动控制系统[C]//中国钢铁工业协会,中国钢研科技集团有限公司,河钢集团有限公司.2019年第二届钢铁工业智能制造发展论坛会议论文集.中冶京诚工程技术有限公司电气与自动化工程技术所,;2019: 244-246.
- [2]崔熙颖.薄板带精密轧制板形机理模型及多工序协同调控方法研究[D].燕山大学,2024.
- [3]王宁.铝带冷轧机组结构改进与配置优化[D].河南科技大学,2019.
- [4]王洪庆.1850mm双机架铝轧机电气控制系统设计[D].燕山大学,2017.