

Optimization of main process of cold rolled sheet rolling based on roll consumption of acid rolling mill

Xianyong Su

China Metallurgical Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

Abstract

The cold rolling process is a critical factor determining both the quality and economic efficiency of steel products. As the primary indicator of consumption in acid rolling mills, roll wear directly reflects the stability of the rolling system and the rationality of process parameter settings. In recent years, with advancements in automation levels, rolling speeds, and load capacities of acid rolling lines, significant fluctuations in roll wear have become major challenges for improving production efficiency and cost control. This study analyzes the optimization of core processes in cold-rolled sheet production based on roll wear characteristics within acid rolling systems, grounded in practical experience.

Keywords

acid rolling mill roll wear; cold-rolled sheet processing; core processes; optimization; analysis

基于酸轧机组轧辊辊耗的冷轧板材轧制主工艺优化分析

苏贤涌

中冶京诚工程技术有限公司, 中国 · 北京 100176

摘 要

冷轧板材冷轧生产工艺是决定钢铁产品高质量及生产经济性的主要环节之一。其中, 轧机轧辊辊耗作为酸轧机组最主要的损耗指标, 直接体现了轧机机组轧制稳定性以及工艺参数设置是否合理。近年来由于酸轧生产线的自动化程度、轧制速度、轧制负荷不断提升, 轧辊辊耗存在波动幅度大已成为轧制工作效率和成本控制面临的主要问题。基于此, 本文结合冷轧板材轧制实践就基于酸轧机组轧辊辊耗的冷轧板材轧制主工艺优化进行分析。

关键词

酸轧机组轧辊辊耗; 冷轧板材轧制; 主工艺; 优化; 分析

1 引言

酸轧机组(酸洗+轧机联合机组)作为冷轧前处理的核心设备, 是整个冷轧机组设备里最核心机组, 其轧辊辊耗直接反映工艺成熟度与成本控制水平。国内冷轧机组的轧辊辊耗水平呈现显著的技术分化和企业差异, 先进企业通过材质升级、工艺优化和智能化管控已接近国际水平, 而部分传统企业仍面临较高的非正常损耗问题^[1]。

结合实践来看, 进行冷轧处理时, 需要使用轧辊来实现压力与尺寸控制的功能, 而轧辊在使用阶段会不断发生损耗, 导致设备运行成本明显增加。辊耗指每轧一吨钢所消耗的轧辊重量, 是衡量生产线稳定与否的重要指标, 降低辊耗量也是企业降本增效的一个重要目标。目前大部分学者在控制辊耗与克服轧辊剥落方面基本都是以调整轧辊辊型、控制

参数或对轧辊操作进行优化的方式来实现, 但采用调整轧制主工艺的方式来达到优化效果的研究偏少。为实现对冷轧板材轧制质量、效率以及成本的控制, 下文就基于酸轧机组轧辊辊耗的冷轧板材轧制主工艺优化提出一些分析建议。

2 酸轧机组轧辊辊耗概述

酸轧机组轧辊辊耗是指在冷轧板材冷轧过程中, 工作辊、支承辊及中间辊在单位时间或单位轧制量内的磨损、消耗与更换频次, 表 1 是国内某知名冷轧轧辊企业提供的关于冷轧机组换辊频次建议:

该参数直接反映轧制设备运行状态与工艺匹配性, 是衡量冷轧线稳定性与精细化管理水平的核心指标之一。从工艺流程角度分析, 辊耗与主轧制工艺参数如压下率分配、轧制力分布、张力设定及乳化液配比之间具有高度耦合性。压下率分布不均可导致辊面负载集中, 从而加剧表面疲劳磨损; 乳化液浓度与喷淋量直接影响辊面润滑状态与冷却效率, 进而作用于辊耗速率; 张力设定不合理会使板材窜动,

【作者简介】苏贤涌(1984-), 男, 中国江西上饶人, 硕士, 高级工程师, 从事钢铁冶设备采购管理及质量管理研究。

引发接触应力突变，诱发局部剥落。由此可见，酸轧机组轧辊辊耗不仅是设备维护管理的被动结果，更是主工艺控制逻辑的反馈信号，其变化趋势可作为工艺优化的重要参考指

标。优化辊耗控制，应从源头工艺设定着手，通过系统协调压下路径、润滑参数、辊型配置及换辊策略，实现设备利用率与工艺稳定性的双提升。

表 1 冷轧机组换辊轧制量表

机组类型	机架号	支承辊 (t)	中间辊 (t)	中间辊 (t)
五机架六辊连轧机	F1	≤120000	≤7000	≤2000
	F2	≤120000	≤7000	≤2000
	F3	≤120000	≤7000	≤2000
	F4	≤80000	≤7000	≤1200
	F5	≤80000	≤7000	≤1000
连退平整机组	/	≤60000	≤5000	/
镀锌光整机组	/	≤60000	≤5000	/
单机架四辊可逆轧机	/	≤40000	/	≤1500
单机架六辊可逆轧机	/	≤40000	≤5000	≤1500

3 基于酸轧机组轧辊辊耗的冷轧板材轧制主工艺优化必要性

3.1 机架负荷配置对辊耗演化的影响控制

在我国现有冷轧生产线中，由于传统设计路径压下率呈现前高后低的线性分布模式，造成前段机架长期处于高负载运行状态，尤其是第一、第二机架承受初始塑性变形主载荷，其辊面循环应力集中最为严重，成为辊耗的主要源点。由于该段压下过程在单位时间内释放的轧制热量较大，若冷却补偿不足，则易形成热疲劳微裂纹，在辊面局部快速扩展，诱发剥落或表面形变。因此，为实现机架轧辊辊耗的抑制，必须打破固定压下路径模式，重新设计轧制负荷分级分担方案，避免前置机架的应力过集中趋势，实现辊耗在纵向机架序列间的梯度均衡演化^[2]。

3.2 冷却润滑系统喷淋不均引发的热耗差异

多数冷轧机组乳化液喷淋系统仍采用传统固定角度与对称喷嘴布置形式，难以在多规格多钢种轧制条件下适配辊面热负荷差异。由于喷淋密度不足、喷嘴配置固化及乳化液流量响应滞后，导致辊面冷却效率存在显著非均性，在板宽变化或边部过冷工况下易产生中心热集聚，形成热损差异区，进而引发辊耗分布不均。该问题在高强钢或高表面要求品种轧制中表现更为严重，因此，优化喷淋结构及其分区响应策略是控制辊耗差异演化、保障轧制稳定性的重要前置条件。

3.3 抑制高强钢轧制中的辊面疲劳问题

高强度钢冷轧过程中轧制力大、材料回弹强，易导致工作辊与中间辊承载区应力集中，产生热疲劳裂纹及剥落现象，直接引发表面缺陷并影响产品等级判定。中国在批量生产 780MPa 以上高强钢过程中普遍存在辊面稳定性差的问题，制约高强品种钢开发节奏。通过对主工艺压下路径、张

力分布和轧制区冷却策略进行精确优化，可在不牺牲成形精度前提下降低辊面接触应力，改善辊耗趋势，进而提高高强钢品种开发效率与成品一致性。

3.4 辊型结构与钢种应力模式失配引起的接触磨损强化

在实际应用中，部分冷轧机组长周期采用单一标准辊型如 HSS 进行全钢种覆盖轧制，未结合不同材料在变形过程中所体现出的应力传递路径差异进行个性化匹配，导致接触区载荷集中形态长期偏离理论最佳状态。如高强钢因屈服比高、塑性范围窄，需提升边部形变量传导控制，而若使用宽展类辊型，则中部单位接触压力显著升高，致使中部区域辊耗快速累积，进而造成辊面异向凸起或脱落。因此，必须根据钢种力学特性及板形调控要求，实施辊型动态配置策略，实现接触区域应力分布的工艺-结构协同控制。

4 基于酸轧机组轧辊辊耗的冷轧板材轧制主工艺优化方案

主要从以下四个方面提供优化建议：

4.1 优化多机架压下路径实现载荷分级分担

在酸连轧五机架或六机架串列轧机中，合理设计各机架压下路径是控制辊耗水平的关键环节。传统“首端大压下+中段平稳+末架微调”模式在实际轧制过程中易引发首架及末架负荷集中，造成工作辊表面早期疲劳裂纹和支承辊不均匀磨损加剧。为缓解该类辊耗失衡，应构建基于板形特性与轧制力分布规律的多机架分级压下模型^[3]。首先，在轧制初设阶段，依据目标板厚、板形控制指标及材质参数，构建梯度压下分布函数，将主变形区设置于第 2#~4# 机架，使中段机架承担总变形量的 60% 以上，显著降低首架压下率至 15% 以下，从而控制入口冲击载荷幅值，减少辊缝瞬时压强。其次，对于末架可将其全程压下功能改为厚度精整

及表面应力释放作用，并且将压下率控制在 5% 以内，避免尾端积累应力产生辊面微裂纹；根据现场实际轧制过程中在线测量轧制力、板形、温度等参数数据，进行多维度机架受力情况实时分析，并结合轧制模型反演算法实时修正压下曲线，达到最佳负载分配以及最小辊耗的效果。同时还可以实时跟踪机架的受载状态，在出现加载超出范围时自动予以限制或调整，保证机架的受载状态处在合理的受载范围之内。另外，在具体实施中还可采用机架柔性控制的方法，设置变形调节区和应力缓冲区，把整个冷轧板材轧制工艺由刚性的压下转换为柔性分载轧制的方式，使整个机架的受载状况都在受控范围内变化，以此来稳定辊系的工作状态，延长轧辊的使用寿命以及提高轧制工艺的稳定性。

4.2 调整乳化液喷淋结构提高热负荷缓释能力

出于提高酸轧机组在高热负荷工况下辊耗控制精度、稳定性目的，须针对目前乳化液喷淋系统热负荷缓释不足所带来的结构上的缺陷制定基于轧制主工艺参数调控的喷淋结构优化方案。一是基于轧制主工艺参数设定，在乳化液喷淋组件处增加电动或液压驱动的可调角喷嘴机构；设置 0°~45° 可调范围内的喷嘴支架结构，根据轧件宽度及进出速比实现不同的辊面覆盖角，并通过多组一定量级差别的组合达到最佳喷淋角度的效果，同时避免喷淋角固定带来的边缘过冷或中部过热的现象。二是结合轧辊横向热负荷分布的不均匀性，在乳化液系统内分设横剖面喷淋分区，即把喷嘴分为中心、中间和边缘 3 个区域，分别使用直径为 1.2mm、1.0mm 和 0.8mm 的高压雾化喷头，充分发挥乳化液的穿透性和加强局部区域的冷却程度。三是将主喷淋管路上各分区管路上加入多通道比例式分区流量调节阀，将辊面温度场、磨损传感器等信号转为电信号反馈至主机 PLC 控制系统内进行调整，以将主喷淋管路按照不同级别路段进行细分，并使各区段保持恒定的压力输送。但由于这种控制方式仍存在一定的局限性，且受设备运行状态的影响极大。为此，可以在机组后段布置二级喷淋系统，采取纵向上多喷嘴排列的形式，在保证喷淋量的基础上使温度趋于缓和。四是当下水气压较低时，为了防止水锤效应的产生，可以通过二次喷淋系统持续给乳化液补充量，以便更好对后期热累积带来的辊面热疲劳失效现象进行防护。最后，须注意各类改进方法应协调乳化液的黏度、流量、压力及喷嘴距辊面的距离参数设置，并保证其与轧制工况相互配合得当，在此基础上确定系统的冷却能力对高强钢和电工钢这类高热敏材料起到了良好的热负荷缓释效果。

4.3 优化辊型配置与磨辊节奏适配化控制

酸轧机组轧辊辊耗控制和冷轧板材轧制主工艺路径优化过程中，辊型配置和磨辊节奏的耦合适配控制是对辊型使用效率进行保障，同时也是达到高产稳产和优化轧制进程的重要手段^[4]。一是根据钢种力学性能及规格尺寸进行辊型组合。对于强度较高的冷轧钢，在强度冷轧工艺中推荐选用大

工作辊圆半径特殊辊型配以长圆支承辊结构，以扩大接触带宽、降低单位接触应力以及减缓边缘载荷集中的趋势，从而提高辊缝稳定性和辊面寿命；而对于高牌号硅钢等板形控制敏感的钢种，选用削肩型中间辊+小圆半径支承辊叠加配置方案，依据辊型诱导横向位移响应提高板形调整的灵敏度。二是需要制定基于负载历史以及辊面磨损情况的非均周期磨辊计划。表 2 是国内某知名冷轧轧辊企业提供的关于冷轧机组轧辊磨削量建议：

表 2 冷轧机组轧辊磨削量表

机组	轧辊类型	磨削量 (mm)
连轧机	工作辊	0.15-0.30
	中间辊	0.40-0.60
	支承辊	2.0-3.0
连退平整机	工作辊	0.10-0.20
	中间辊	0.40-0.60
	支承辊	1.0-2.0
热镀锌光整机	工作辊	0.10-0.20
	支承辊	1.0-2.0
单机架四辊轧机	工作辊	0.10-0.30
	支承辊	1.0-3.0
单机架六辊轧机	工作辊	0.10-0.20
	中间辊	0.20-0.40
	支承辊	1.0-3.0

在高频使用架次中，由于工作辊受到的压力集中且热机械磨损严重，其按照分级钢种提前 20%~30% 时间打磨，而低张力运行机架、稳定支承辊组则采用延时换辊的方式，并运用接触疲劳临界判断来确定换辊的时间，避免出现多磨的情况。三是利用记录不同钢种、不同的轧制规程下的辊型响应数据，建立多工况下辊型磨损轨迹模型，结合热载荷、润滑状况以及轧制节奏，完成辊型选型以及节奏的动态调整。四是建立基于机架分区负荷响应的辊型分级库及磨辊时序模板，在保证换辊节奏及载荷分布闭环的前提下，实现换辊节奏和磨辊节奏之间的动态调整匹配，最终实现多规格轧制过程下辊型配置的动态适配以及资源的最优化配置。

4.4 控制轧制张力分布防止辊面滑移损伤

基于有效地实现酸轧机组轧制过程中的张力分配，避免带钢和工作辊面出现滑移损伤现象，对此我们应该依据轧制主工艺参数、辊耗变化规律制定符合不同钢种及不同机组配属情况的张力精细控制策略。一是应建立基于带钢强度等级、道次压下率及单位轧制力变化特征的分段张力目标计算模型，将各机架前后张力及轧制负载联系起来，从而达到在带钢刚度突变区域能维持张力缓变的目标，不会因为压下过程中的屈服点波动而造成瞬间张力偏差较大。二是在高强钢、宽幅硅钢轧制时，应采用轧制力-张力协同预设定方式，实时调整张力设定曲线斜率补偿带钢横向强度的非均匀性所带来的影响，保证机组机架入口段辊缝中点位置接触应力分布状态稳定，避免边部滑移带的出现；针对一些容易出现

张力突变的关键机架（如首架、末架），应该设置前馈张力补偿曲线叠加带钢惯性/出口张力扰动修正项，并根据实际使用的工艺规程中的典型带钢规格静态张力试验数据建立基于实测数据拟合的动态修正模型^[5]。接着在系统运行上引入张力设定增益因子调节逻辑，在轧制道次变化周期内动态调整增益大小以减小张力闭环调节过冲量，并及时消除局部滑移产生的摩擦热积聚区。带钢进到该架机架之前，就需要对其前端张力进行主动微调，确保张力稳定在目标范围内，让工作辊表面与带钢接触均匀、应力分布合理，从而减少瞬时张力扰动带来的瞬间高压载荷使工作辊表面产生超硬层和裂纹等问题造成的辊面疲劳损伤几率。

5 结语

综上所述，酸轧机组轧辊辊耗反映了设备运行状态，同时也是评价冷轧工艺的稳定性、精密度以及经济效益的重要参数。当前酸轧机组辊耗呈现“先进引领、中间追赶、低端落后”的格局：头部企业通过高速钢、纳米涂层、AI管控等技术，以实现辊耗精细化管理；而中小企业需在设备升级（如设备改造）、工艺优化（如引入轧制油冷却）和数字化改造（如部署状态监测系统）三方面发力，逐步形成“材料-工艺-设备-管理”全链条创新体系。

本文结合酸轧机组产线本身情况出发，系统研究了辊耗与冷轧板材轧制主工艺的耦合性关系，探讨了基于酸轧机组轧辊辊耗的冷轧板材轧制主工艺优化4种具体工艺路径，这些措施都有很强的操作性和专业性。通过这样的系统化技术手段来对其进行优化处理以后，不仅能够极大地提高其冷轧机轧辊组的寿命，还能够有效地增强冷轧工艺的稳定性，并降低无计划停机的发生几率，从而大幅度地提升冷轧板材冷轧工艺的高效性以及经济效益。通过上述措施的系统实施，国内酸轧机组辊耗将在“双碳”目标驱动下实现质的飞跃，推动行业向高端化、绿色化转型。

参考文献

- [1] 沈丽.基于冷轧机架辊耗的冶金板材轧制主工艺优化研究[J].山西冶金, 2023, 46(11):100-101.
- [2] 张云涛,耿波,王吉祥,等.冷连轧机支撑辊堆焊工艺及使用方案[J].金属世界,2021(3):3.
- [3] 孙剑亭,刘英驰,具金思.双机架六辊平整兼二次冷轧机组设计和应用[J].一重技术,2024(5):1-3.
- [4] 季业益,陆宝山,关集俱,等.冷连轧机新型锥形工作辊设计[J].锻压技术,2020,45(10):7.
- [5] 罗兴壮,罗庆革,杨剑洪,等.冷轧轧辊失效原因分析及改进措施[J].金属世界,2020(3):4.