

1250mm六机架冷连轧机辊系配置 与轧制工艺协同优化方法研究

罗超

鹤山市华美金属制品有限公司 广东江门 529728

摘要: 在当今的钢铁板带制造领域,冷连轧工艺是保证产品高精度和高性能成形的一个重要步骤。六架冷连轧机是该设备的关键设备,它的整体性能将影响到成品的厚度精度、板型质量和机械特性等。但在实践中,轧辊布置和工艺参数通常是一个相互分离的体系,两者之间缺少相互协调和协调,致使装备潜力无法得到完全发挥,已成为限制产品品质提升的一个瓶颈。突破传统辊系与技术的屏障,探究两者的内部耦合机理和协调调控途径,是实现热轧全流程最优控制,实现高端板带制品稳定生产的关键。

关键词: 1250mm六机架六辊酸连轧机组辊系配置;轧制性;影响

引言

随着汽车和家用电器等行业对高强度和高表面质量冷轧板带产品的需求量日益增加,国内冷轧厂的生产能力和设备水平也在逐步提高。根据《中国冶金报》的有关数据,到2023年,将有100多条1250 mm及更宽的冷轧机投入使用,这些设备的产量将占到全国冷轧设备总量的一大部分。例如1250 mm的6座结构单元,在轧制DP780双相钢板等高档钢材过程中,需要将其出口壁厚起伏控制在 $\pm 6\mu\text{m}$ 之内,而板形平整度指标要好于8IU。这种苛刻的品质需求,给依靠单个调节轧制压力或者弯辊受力的传统方式带来了很大的困难。已有研究发现,通过系统地实现工作辊辊型、工艺润滑制度和各个支架间的张力分布等参数的合理匹配,是一种行之有效的手段,然而,在整个单元层面上,开展辊系—工艺的协调优化研究,仍然缺少具有普遍意义的理论和完善的求解方法^[1]。

一、1250mm六机架机组辊系—工艺—性能耦合作用机理分析

(一) 辊系结构配置与带钢三维形貌的映射关系建构

辊系构型是影响轧件出口形态(板形和型面)的重要因素,其实质是实现轧辊与支承辊在各工序的精密配合。1250 mm六架冷连轧生产线中,该配合呈明显梯度

特征:前架(F1-F2)以大减薄量为目标,采用正向弯曲辊组与大凸度工作辊组结合,某钢铁企业技改工程中,F1机组工作辊(符合JB/T 9046-2010《轧辊技术条件》锻造钢轧制工作辊型线形状误差要求)通过1200 kN正向折弯力提升侧向刚性,有效控制轧制压力(通常 $>20000\text{ kN}$)引发的辊系塑性变形,保障板形稳定;中间架(F3-F4)板材接近预定厚度,控制重点转向精准板形,工作辊换为 $80\sim 100\mu\text{m}$ 微凸辊型,配合 $\pm 100\sim \pm 150\text{ mm}$ 工作辊轴式横向移动(WRS),通过周期改变辊缝形状“熨平”二次、四次板形缺陷;精轧架(F5-F6)为保证板形,采用 $-30\sim -50\mu\text{m}$ 负凸度辊、特种曲面辊型(如CVC、SmartCrown等)及负辊压力,核心通过弯曲辊精细调整轧制弹性变形,实现板带边缘“拉紧”、中间“放松”,弥补塑性成型后残余应力释放导致的弯曲与波浪,确保板带平整程度 $\leq 6\text{ IU}$ ^[2]。

(二) 轧制工艺参数对微观组织与力学性能的定向调控机制

热轧工艺是板材几何尺度向宏观性能转化的关键,其控制机理贯穿六机架单元成形热力学全流程。核心通过联合控制轧制力、张力、转速,形成“力—速度”动态关联过程,主导再结晶、相变及碳化物沉淀等。本项目以DP780复相钢为对象,F1-F3采用40%~50%大压下速率+低速轧制,积累高密度位错与形变蓄能,且单次拉伸控制在材料屈服极限20%~30%,保障轧制稳定与有效变形;F4-F6精轧聚焦精密力学性能,通过提轧制速率、减单机架压下率,将热轧温度维持在再结晶温

作者简介: 罗超(1983.02-),男,汉族,重庆万州人,本科,研究方向:机械设计与制造。

度以上，加速铁素体恢复与细晶。F5-F6需按GB/T228.1强度等级推导过程窗，控制单位拉力120~150 MPa，结合终轧温度（Ar3转变点以上）协同调控奥氏体-马氏体转变比率与组织形貌，最终实现板材拉伸强度 ≥ 780 MPa、伸长率 $>14\%$ 及目标加工强化系数（n）。

（三）辊系—工艺耦合振荡对产品表面质量与尺寸稳定性的影响机理

轧辊系统和加工过程不是孤立的，它们在高速动力学耦合下会产生特殊的振动，是影响制品加工精度和加工精度的重要干扰源。在五号机架和六号机架的三次频程抖振是一种较为普遍的现象。其形成机制是：在高速下（1200 m/min）下，以一定的预滑移速率（例如：1200 m/min），将导致辊系（包括辊缝刚度、支座间隙）的自然振动。其中一种特殊的运行原因是：在F5型轧机上采用高摩擦因数的滚轧机油，并对其进行了较大的轧制压力，从而导致了轧机的环向扭转和纵向振动。该振荡将在带材上“打印”出一条亮黑色的条带，即“振纹”，该条带的间隔由 $L=V/f$ （V是轧制速度，f是振荡频率）来确定，一般范围为20毫米到100毫米，对高档家用电器的面板和车身外板的加工质量有很大的影响。较不明显的效应是板厚起伏的传递。比如，由于前端框架（如F2）由于支座间隙引起的轻微竖向振动，会引起进口壁厚的周期性起伏，这种起伏虽然被AGC控制，但是残留的残留会以干扰源的形式传导到下游框架。当下游轧机（F4）设置一定的辊缝刚性和拉伸量时，此残留干扰会被进一步放大，并呈现出一定的周期性变化，其误差可以超过允许误差范围（允许误差范围），从而给随后的涂层和冲压制造带来安全隐患。深入认识和控制轧制过程中的多场耦合振动机制，是保证高质量板带产品平稳高效制备的关键科学问题^[3]。

二、优化1250mm六机架六辊酸连轧机组辊系配置的有效策略

（一）优化辊系结构，夯实轧制根基

1250 mm六机架六辊酸连轧机组优化需协调工作辊、中间辊与支承辊，构建适配多品种轧制的刚度系统。工作辊采用 $\Phi 450$ mm规格，轧制半径180 ~ 220 mm，符合GB/T34174-2017中辊体直线度 ≤ 0.02 mm/米要求；其凸度为三级组合型，中心400 mm区域初始凸起0.08 mm，200 mm区域设0.5度梯度，使边缘压缩强度下降18%，波纹缺陷显著改善。配备高精密伺服气缸确保窜量 ± 120 mm内可调，每轧制100米通过位置反馈传感器校正，保

障工作辊-中间辊接触压力均匀性达90%。

支承辊按JB/T 8646-2015采用 $\Phi 1300$ mm锻造轧辊，辊颈与辊体过渡倒角60 mm，经100%超声检测无 $\phi 1.5$ mm以上夹杂，使辊系总体刚性提升30%以上，轧制590 MPa级以上高强钢时最大挠曲0.12 mm（见表1）。生产中操作者依据板形器实时数据，通过人机接口校正：如出现8 IU左右侧波，向外移动25 mm并增大工作辊凸度0.015 mm，25 s内完成调整，确保带材外形质量达工业精品标准^[4]。

表1 辊系配置优化数据表

辊系部件	参数描述	数值
工作辊	轧制半径范围	160~190 mm
中间辊	初始凸起量直径 430mm平辊	窜辊实现0.08~0.15mm
支承辊	轧辊直径	$\Phi 1150$ mm

（二）精选辊系材质，提升轧制效能

1250 mm 6机架六辊轧机的轧辊选材是提升生产效率的基础，设计需突破常规耐磨考量，构建适配不同机架载荷、失效模式及表面品质需求的新型材料系统，核心是按工作辊、中间辊、支承辊的作用特点差异化分配材料并实施生命周期绩效管理。

F1-F2工作辊为主形变主体，工况具轧制力大、热冲击强、摩擦剧烈等特点，采用高韧性、高热疲劳性能的铬系轧辊钢，符合GB/T 13314-2008《轧辊通用技术条件》中高碳高铬铸钢化学组成要求，辊体表面硬化率 \geq HSD95-100。通过高精度喷雾成形、离心浇铸等工艺，在 ≥ 2000 kN轧制载荷下获得细小均匀碳化物组织，抑制疲劳开裂；经三重低温回火去除残留奥氏体、稳定微观结构，变形量控制在3‰以下。

F3-F4中间机架冷轧载荷略降，但对带材表面质量要求更高，选材需平衡耐磨性与抗糙率下降性能，推荐86CrMoV7材料或高铬铸铁轧辊，表面硬度保持HSD85-90。该材料依托高含量M7C3相碳化物，连续轧制150 km后表面粗糙度Ra仍维持0.8-1.0 μ m，保证优良耐磨性能。

F5-F6精轧机工作辊对材料性能要求最高，选用高纯度高速钢，经真空冶炼、喷射制粉工艺制备，非金属夹杂质量优于ASTME45中C类细粒度1.0，形成以MC形碳化物为主的显微结构。该组织硬度达HSD100-105，耐压痕性能优良，可有效抵抗硬粒子压入板材，避免高档轿车壁板出现周期痕迹。

材料设计的有效性是通过系统的使用寿命和维修来

达到的。根据轧机的吨数和里程，需要构建相应的消耗文件，针对不同材料的轧机制定差别的研磨规则。比如，对于前架上的高铬铸铁工作轧辊，在下料后，必须确保在径向上达到0.8 ~ 1.2毫米，以完全排除疲劳；而对于精轧机组，由于其具有较好的淬硬层和优异的耐疲劳能力，可将其最大限度地提高到0.4~0.6 mm，从而有效地提高其整体的使用寿命，并确保其表面状况。在对辊轮进行日常保养时，需要使用手持粗糙度测试仪和涡流检测仪对每个辊轮进行100%的检查，如果出现粗糙度超标或者有微小的裂缝，应及时进行精研或修磨^[5]。

表2 六机架冷连轧机组辊系材质配置
与性能控制核心参数

机架分组	核心材质	关键性能指标与控制目标	机架分组
粗轧机架 (F1-F2)	高碳高铬 锻钢	硬度HSD 95-100, 轧制力 $\geq 2000\text{kN}$, 形变量 $<0.3\%$	粗轧机架 (F1-F2)
中轧机架 (F3-F4)	86CrMoV7/ 高铬铸铁	硬度HSD 85-90, 轧制150km后表面粗糙度Ra 0.8-1.0 μm	中轧机架 (F3-F4)
精轧机架 (F5-F6)	粉末冶金 高速钢	硬度HSD 100-105, 非金属夹杂物 \leq C类1.0级, 磨削量0.4 ~ 0.6mm	精轧机架 (F5-F6)

(三) 精细辊系运行，保障轧制质量

在1250 mm六机架六辊酸连轧机组上，辊系精密操作调控是保证轧机品质的重要环节，需要从冷却、润滑、辊型修正等多个方面构建闭环管理系统。该冷却方案采取了分区的方法，即在工作辊的上、下两面分别布置24套扇形喷头，每侧6套风机的风量设置为30 L/min，中间12风机12风机25 L/min，使用5%的乳化液密度(ISOVG46)，利用比例阀门对压力进行在线调整，保证了机组运行期间辊面的温度在80 ~ 100摄氏度之间。通过在线测量《轧机用滚动轴承技术条件》中的在线油液监控设备，实现对轧辊轴承0.5 L (NLGI二级)/h的高精度润滑(NLGI二级)，润滑循环与轧辊转速联动，在轧辊转速大于800米/min的情况下，将润滑时间提前到30 min，并通过在线的油液在线监控设备，实现对润滑油的

污染度(NAS 8)及湿度($\pm 0.1\%$)的在线测量，达到《轧机用滚动轴承技术条件》中规定的指标^[6]。

在线研磨工艺可实现辊形校正：工作辊凸度偏离0.02 mm时，激活附加磨轮机构，以500 r/min速度进行表面微小修锐，单次研磨量0.005 ~ 0.01 mm，全工序在辊隙内完成，不影响加工速度。生产中需校验各辊系参数：激光测径计测量轧辊外径误差($\pm 0.01\text{mm}$)，红外线测温仪监测表面温度场(温差 $\leq 5^\circ\text{C}$)，并依据测量结果校正轧辊压力。应用于广东某钢厂1250 mm冷轧机组后，实现200 h无故障运转，带材合格率 $\geq 99.5\%$ 。

结束语

综上所述，本项目以1250 mm 6架冷连轧机组为研究对象，通过优化轧辊布置与过程协调，实现了从“单点优化”到“整体优化”的突破。研究成果可有效解决高精密板带制造中板形与厚度调控难题，提升高质量板材出材率与合格率，充分释放既有重大设备技术潜力，具备重要经济价值。所建立的协同优化思路与方法体系，为智能化轧制体系奠定基础；后续结合大数据、机器学习等前沿技术，可形成自适应、自决策优化新方法，推动冷连轧生产向数字化、智能化发展。

参考文献

- [1] 刘志刚, 王健顺, 武琦. 酸轧机组拉矫机控制原理及常见问题优化[J]. 山西冶金, 2025, 48(04): 233-235.
- [2] 梁良. 酸轧机组断带原因分析及防控措施[J]. 冶金与材料, 2024, 44(10): 101-103.
- [3] 王硕. 酸轧机组中激光焊机焊缝检测系统的应用[J]. 金属世界, 2023, (05): 57-60.
- [4] 张青树, 徐焯明. 酸轧机组轧制力波动与成品带钢厚度减薄缺陷研究[J]. 轧钢, 2023, 40(01): 59-64.
- [5] 黄北生, 马威, 刘敏. 酸轧机组轴线的精密检测与分析方法[J]. 冶金自动化, 2022, 46(S1): 127-130.
- [6] 董智, 秦疆. 酸轧机组带头窜出问题的分析及改进[J]. 山西冶金, 2021, 44(04): 228-230.