

国产化双机架六辊式平整机组 在冷轧工程中的应用实践

Application of Domestic Two-stand Six-rolls Temper Mill in Cold Rolling Project

供稿|朱爱辉 / ZHU Aihui

内 容 导 读

双机架六辊式平整机组是电镀锡冷轧薄板生产环节中的关键设备之一，对调控电镀锡冷轧薄板的调质度起着重要作用。目前，国内已建的双机架六辊式平整机组大多为国外引进设备，但投资大、交货周期长等特点严重制约了我国电镀锡钢板生产技术的发展步伐。为降低工程投资并加快该类型机组的国产化进程，河北省某冷轧企业成功建设了一套双机架六辊式平整机组，经过多年生产运行，机组各项生产指标均达到设计目标。本文结合该企业国产化双机架六辊式平整机组的生产工艺及生产状况，对其工艺的选型进行了简要分析，并阐述了该机组的装备水平、生产工艺流程、机组特点及采用的生产新技术。

镀锡板具有耐腐蚀性强^[1]、冲压性能好、易印刷着色、镀锡层无毒等特点，广泛用于食品业、电器、仪表、玩具、装饰等领域^[1-3]。随着镀锡板厚度的进一步减薄和加工成形性的不断提高，电镀锡板更具经济性和更广泛的适用性。由于镀锡板国内市场看好，近年来有不少钢铁生产厂家纷纷筹建镀锡板生产工艺装备。

平整是镀锡板生产中的关键工序之一，是指对再结晶退火的冷轧带钢进行小变形率的轧制，以满足产品对表面粗糙度、平直度、延伸率以及一定的机械性能的要求^[4]。为提高镀锡原板的质量，在生产过程中，通常选用双机架六辊平整机组^[5]，采用干平整或湿平整方式对冷轧退火后的钢卷进行平整加

工。双机架六辊式平整机组是电镀锡冷轧薄板生产环节中的关键设备之一，对调控电镀锡冷轧薄板的调质度起着重要作用。

国内已建的高水平双机架六辊式平整机组大多从国外引进，存在投资大、交货时间长、维护成本高等问题，不利于我国电镀锡生产装备水平的提升。因此，开发并推广国产化的高水平双机架六辊式平整机组具有重要的现实意义。河北省某冷轧企业成功建设了一套国产双机架六辊式平整机组，该机组项目采用双机架干、湿平整方式对退火后的钢卷进行平整。其中，No.1 机架控制延伸率，No.2 机架控制粗糙度。通过对带钢进行适当的压下，以满

作者单位：中冶京诚工程技术有限公司，北京 100176

足板形及机械性能要求。

生产装备及工艺流程

在冷轧工程中，带钢平整方式可分可单机架平整和双机架平整 2 种方式。生产调研发现，对于单机架平整机组，既要控制压下（延伸率）又要控制板形（平直度），生产难度较大，二者均难以取得满意效果。通常，单机架平整对较厚带钢（ $\geq 0.5\text{ mm}$ ）的控制效果相对较好，但对薄带钢（ $< 0.5\text{ mm}$ ）的控制效果相对较差。本项目中，镀锡原板厚度为 $0.18\sim 0.55\text{ mm}$ ，且对平直度和表面粗糙度均有较高要求，因此选择双机架平整方式。

与单机架平整方式（带钢最大延伸率为 10%）相比，双机架平整具有延伸率大（最大可达 40%）、产品质量好等优点，其优越性已得到广大钢铁厂的认同，已逐渐成为生产镀锡原板的首选装备之一。

对于双机架平整机组，其 2 个机架分工明确。No.1 机架以控制压下为主，即其轧制力围绕带钢设定的延伸率进行调节；No.2 机架则以控制带钢平直度为主。由于轧制力直接影响带钢平直度，因此轧制力的调节不以 No.2 机架为对象，即轧制过程中 No.2 机架的轧制力保持恒定。

本项目采用的双机架平整机组工艺布置简图如图 1 所示，生产工艺流程框图如图 2 所示。

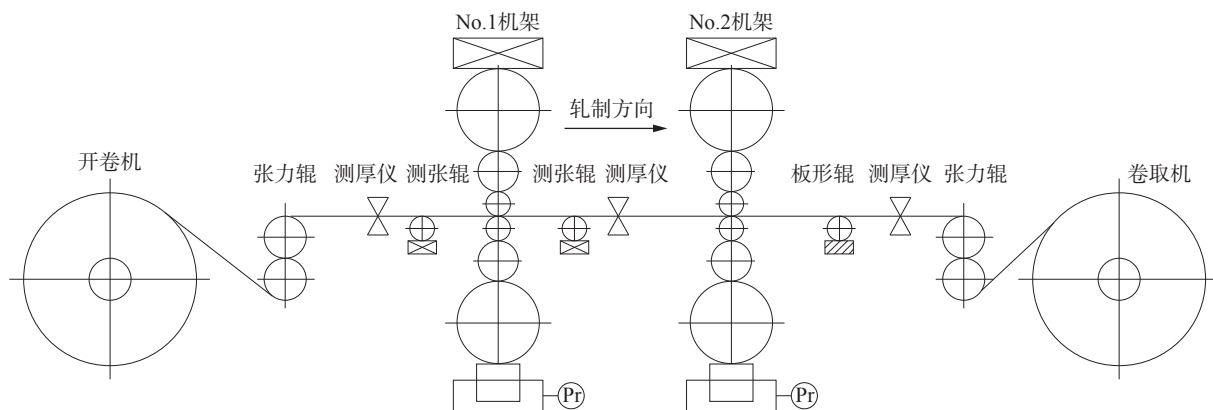


图 1 双机架平整机组工艺布置简图

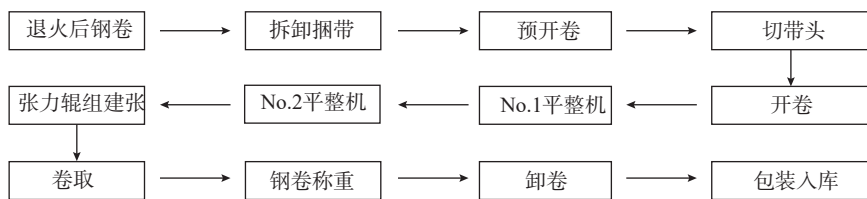


图 2 生产工艺流程框图

机组主要性能参数及特点

机组主要性能参数

本项目双机架平整机组的原料来自迁安市思文科德薄板科技有限公司新建的罩式退火炉和规划中的连续退火机组。该机组主要用于平整厚度为 $0.18\sim 0.55\text{ mm}$ 的镀锡原板及普通冷轧板，带钢宽度均为 $800\sim 1300\text{ mm}$ ，设计生产能力为 36 万 t/a，其中镀锡原板为 21 万 t/a，普通冷轧板为 15 万 t/a。机组选型为先进的双机架万能凸度控制轧机，下文中

简称为 UCM 轧机。

为满足生产高品质产品的要求，该机组采用了多种生产模式及先进技术，如表 1 所示，其主要技术参数如表 2 所示。

主要特点

(1) 机组采用全交流数字控制系统，由基础自动化级（L1）和过程自动化级（L2）组成。

(2) No.1、No.2 机架均为六辊 UCM 轧机，具有工作辊正、负弯辊控制，以及中间辊正弯辊及横

表 1 平整机组多种生产模式及先进技术

技术特点	No.1机架	No.2机架
轧机机型	六辊UCM轧机	六辊UCM轧机
液压厚度自动控制系统	配置	配置
乳化液喷射系统	配置	不配置
工作辊/中间辊快速换辊	自动	自动
板形控制系统	不配置	配置
平整模式（双机架模式）	干平整	干平整
平整模式（单机架模式）	配置不投入	干平整或湿平整
二次冷轧模式	二次冷轧模式	干平整或湿平整

表 2 平整机组主要技术参数

序号	内容	No.1机架	No.2机架
1	生产能力/（万t/a）	36	36
2	轧辊规格（直径×长度）/ （mm×mm）	支撑辊：φ1050~1150×1400； 中间辊：φ440~490×1450； 工作辊1：φ410~460×1450； 工作辊2：φ300~340×1450	支撑辊：φ1050~1150×1400； 中间辊：φ440~490×1450； 工作辊：φ410~460×1450
3	传动方式	上、下工作辊单独传动	下工作辊传动
4	操作模式	干平整、二次冷轧	干平整、湿平整
5	最大轧制压力/MN	15	15
6	最大机组速度/（m/min）	平整时：1500； 二次冷轧时：1200	1500
7	最大延伸率/%	40	2.5

移预设控制功能。

（3）No.1、No.2 机架工作辊均设有侧推装置，用于消除换辊以及平整过程中工作辊与机架间的侧隙，实现稳定轧制，有效消除镀锡原板表面横条纹。

（4）机组采用全液液压上，No.1、No.2 机架具有恒辊缝位置控制、恒压力控制及轧辊倾斜调整等功能。

（5）机组具有自动加减速控制、自动张力控制、工作辊准停、钢卷自动甩尾及尾部准确停车等功能。

（6）机组设有板形自动闭环控制系统，可通过 No.2 机架与在线板型辊之间的闭环控制实现对带钢板形的控制。

（7）机组可实现自动穿带、自动甩尾、速度最佳化等控制，并能快速切换不同操作模式，保证了较高的生产效率。

生产新技术分析

采用大张力、大压下方式改善带钢平直度

日常生产中，由于上游工序来料部分板形不良且存在残余应力，退火后的冷轧带钢通常板形较

差。通过采用大张力、大压下方式，并辅以弯辊装置、轧辊倾斜装置、轧辊压下高速装置系统，经过 1 次或 2 次平整可以有效消除或减轻带钢的板形不良，为后道工序创造良好的条件。

以 T2.5~T5 产品为例，通过严控机组张力及平整机轧制力（表 3），均有效改善了带钢平直度。

小辊径高速轧制技术

该双机架平整机组的 2 个机架均采用六辊 UCM 轧机，用于平整来自罩式退火炉和连续退火机组退火后的镀锡原板卷和冷轧卷，并可生产二次冷轧镀锡原板。二次冷轧的主要目的是使带钢达到要求的机械强度，平整的主要目的是获得要求的平直度和延伸率。当选择二次冷轧模式时，No.1 机架采用轧制方式，压下率选择 14%~40%，最高速度为 1200m/min；No.2 机架采用干平整或湿平整轧制方式，压下率选择 1.0%~2.5%，最高速度为 1500 m/min，以实现板形控制。

根据产品大纲，通常采用一种辊径工作辊（φ460 mm）即可满足生产要求。但当生产厚度为

表3 平整机组张力及轧制力

带钢厚度/mm	带钢宽度/mm	张力/N				单位张力/(N/mm ²)			轧制力/kN	
		T2.5	T3	T4	T5	机组入口	机架之间	机组出口	No.1机架	No.2机架
0.16	700	13600	23750	24450	6250	12.0	25.0	22.0	10000	5500
0.20	750	17800	34000	32000	7800	11.9	23.0	21.0	10500	5550
0.24	850	23850	43000	41800	9750	11.5	21.5	20.5	10000	6000
0.28	975	31300	54100	54000	11900	11.2	19.8	19.8	9500	6900
0.35	1000	38750	63800	65000	12750	11.0	18.2	18.6	8900	6850

0.15 mm 以下的二次冷轧材或采用大延伸率轧制时, 需要将 No.1 机架工作辊更换为更小辊径 ($\phi 340$ mm), 而 No.2 机架工作辊径维持不变 ($\phi 460$ mm)。这样操作可有效消除轧辊边部的有害接触; 同时, 由于工作辊更小, 轧制压力相应降低, 轧辊弹性压扁也减小, 从而在轧制极薄板时, 可大大降低产生边裂的概率。

此外, 为减少平整后带钢表面热划伤、热条纹、乳化液斑点、辊印等缺陷, 还需合理控制乳化液喷射精度、辊缝润滑、带钢冷却及吹扫, 这些都将影响机组能否实现高速稳定轧制。

机组设置正负弯辊功能及横移功能

极薄板轧制或平整最突出的特点是带钢薄、轧制速度高, 但会引发如下生产难题: (1) 高速轧制下工作辊热凸度的影响十分显著; (2) 工作辊两端接触, 对极薄板轧制非常不利。为解决上述问题, 本工程合理选择轧机型式, 有效改善了相关生产状况。

轧机是该机组的核心设备, 可供选择的轧机型式有四辊轧机和六辊轧机。通过对国内其他先进冷轧企业调研发现, 对于四辊轧机, 即使工作辊带有凸度, 通过工作辊正负弯辊和倾斜控制也难以消除工作辊热凸度产生的板形缺陷, 最终将产生中间浪或边浪; 另外, 在轧制极薄带钢时, 常出现工作辊两端接触, 导致轧制力无法有效传递到带钢上。而六辊 UCM 轧机通过工作辊正负弯辊、中间辊正弯辊、中间辊横移, 可基本消除工作辊热凸度产生的板形缺陷, 使带钢获得良好的平直度。

基于上述原因, 该机组采用六辊 UCM 轧机, 并要求机组具有工作辊/中间辊正弯辊、中间辊横移功能。

目前新建的双机架平整机组机型主要为先进高精度六辊轧机, 占已建平整机的 90% 以上。这些机

型的板形控制能力强, 工作辊直径通常小于传统四辊轧机, 有利于消除工作辊热凸度、减小轧制力并实现节能。

机组传动技术

传统的平整机组主传动多采用直流传动, 由于磁场电流波动和电压与转速之间的非线性关系, 故容易受外界干扰。

本项目要求机组能够高速稳定运行, 因而要求控制系统具有高精度和高响应的性能, 故机组传动中采用了全交流传动、全数字控制及直接转矩控制 (DTC) 等新技术。由于上述新技术的应用, 机组各辊子的速度匹配得到改善, 张力波动显著减小; 同时, 由于机组采用单独传动及 DTC 方式, 因此在加减速时可对各辊子进行加减速补偿以及机械磨损补偿, 使得各辊子响应一致, 进一步改善了机组稳定性。

经过近几年的生产实践, 该机组交流系统比传统直流系统节能 5%~8%, 在满负荷运行情况下, 每年可节省 160 万~200 万元。

此外, 机组电气系统还具有过载保护、断带保护和紧急停车等安全保护功能; 主机和卷取机具有带尾自动减速、准确停车功能; 卷取机具有圈数记忆功能, 自动化程度高, 有效节省了劳动力。

板形控制技术

板形是冷轧产品质量的重要标志, 近年来板形控制技术有了很大发展。主要措施包括: (1) 普遍使用液压弯辊技术; (2) 改善工艺冷却剂性能及工艺冷却系统; (3) 使用板形仪及灵敏的液压系统, 通过板形仪连续测出板形, 再借助液压弯辊、轧辊横移或交叉轧辊以改变冷轧变形区带钢截面形状, 并自动控制轧辊分段工艺冷却, 以获得良好的板形。

本工程双机架平整机组出口设置有 1 套瑞士阿西亚·布朗·勃法瑞 (ABB) 公司的板形仪, 配合工作辊正负弯辊、中间辊正弯辊、精细分段冷却喷射系统, 可实现板形闭环控制。

自动厚度控制

为实现带钢厚度及延伸率的精确、稳定控制, 该机组配备了如下装置及控制措施:

(1) 机架压下功能: 包括液压辊缝自动控制、辊缝预设、压下倾斜控制, 轧制力控制、单边轧制力控制, 以及轧机偏心补偿、入口张力辊加速补偿、轧机刚度矫正和轧件的塑性刚度矫正等多种补偿功能。

(2) 工艺选择: 控制系统配有轧制工艺数据库, 包括带钢厚度、宽度、钢号、辊缝、轧制力、入口张力、出口张力、入口速度、出口速度等控制参数。在轧制不同规格带钢时, 只需调出相应的轧制工艺参数即可自动设置轧制状态。

板面清洁技术

为提高二次冷轧钢板的表面质量, 本机组设有乳化液阻隔及防结露装置。该装置既可有效控制乳化液窜流到机组出口带钢表面, 还可防止带钢上部凝结的乳化液滴落而影响表面质量。

此外, 本机组还配置有中间辊除尘及支承辊清洁等装置。除尘装置布置在中间辊和工作辊的辊缝区域, 用于对该处的粉尘进行清除。该装置通过负压的方式抽吸辊缝处于平整时轧辊研磨产生的粉尘, 带有大量粉尘的空气经除尘管路由离心风机吸入除尘装置进行过滤处理, 达标后再通过排气筒排至车间外。支承辊清洁装置用于擦拭支承辊表面, 以防止粉尘集结, 擦拭下的粉尘颗粒经风机及除尘管道吸入主除尘系统进行处理^[6]。通过中间辊除尘及支承辊清洁等装置的使用, 有效减少了环境污染, 大幅改善了产品的表面质量。

其他控制功能

为实现稳定轧制, 本机组还设置以下控制功能:

(1) 张力快速稳定控制功能 (特别是机架间张力), 在机组启停过程中减少断带并防止带钢发生堆积。

(2) 秒流量平滑过渡控制, 在机组启动过程中防止带钢发生堆积。

(3) 辅助辊速度补偿控制, 防止打滑和划伤带钢表面。

(4) 轧制力、张力偶合最佳化控制, 防止带钢速度变化时张力波动。

(5) 带头/带尾厚度控制, 防止极薄带穿带时堆积。

(6) 入口、出口 S 辊张力动态补偿控制。

(7) 延伸率自动控制。延伸率控制工艺应根据测量方式选择, 当采用脉冲发生器时, 延伸率通过入口、出口张力辊的速度差来计算, 其自动控制则通过调整 No.1 机架的轧制力或速度来实现。本机组延伸率控制方式包括: ①No.2 机架延伸率单独控制 (单机模式, 轧制力不变); ②No.1、No.2 机架总延伸率控制, No.1 机架主要进行延伸率控制, No.2 机架采用恒轧制力控制方式。

与国外先进技术装备的工艺对比

本工程实施 (2015 年) 以前, 用于生产镀锡板的双机架平整兼二次冷轧机组主要从德国西马克、日本三菱等公司引进。经过对国外先进技术及装备的消化吸收, 国内逐步突破技术瓶颈, 实现了该机组国产化。该机组的成功应用, 代表了目前同类型国产机组的最高水平。表 4 是本工程机组与国外先进水平机组的工艺参数对比, 可见轧制力、工艺速度以及尺寸精度几乎相当, 但设备投资可降低约 60%。

表 4 与国外先进水平机组的工艺对比

机组	最大轧制力/MN		工作辊 直径/mm	最高设计速度/(m/min)		延伸率 精度/%	最大厚度 偏差/ μ m
	No.1 机架	No.2 机架		No.1 机架	No.2 机架		
本工程机组	15	15	双辊系: 410~460 (工作辊 1); 300~340 (工作辊 2)	平整时: 1500; 二次冷轧时: 1200	1500	± 0.1	3.0
国外先进机组	15	15	400~450	平整时: 1500; 二次冷轧时: 1200	1500	± 0.09	2.5

结束语

该冷轧厂双机架六辊式平整机组自调试投产以来,各项性能指标均已达到设计要求,可连续多年生产厚度均匀、表面质量优良的超薄镀锡基板,实际使用效果良好,对国产化双机架平整机组的推广应用具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 宋加. 镀锡板生产发展及国内市场. 轧钢, 1999, 16(3): 61
- [2] 李庆刚, 梅锐东, 毛然, 等. 热镀锌机组退火炉烧嘴空燃比调整与故障分析. 金属世界, 2025(2): 62
- [3] 刘晓峰, 李鸿友, 魏春新, 等. 热镀锌低碳钢表面亮点缺陷原因分

析与控制. 金属世界, 2025(2): 76

- [4] 许姣姣, 尚元艳, 赵东. 镀锡板生产工艺. 梅山科技, 2010(3): 60
- [5] 宋加. 我国镀锡板生产技术的发展及几点建议. 轧钢, 2007, 24(2): 37
- [6] 夏军勇, 丁文红. 一种双机架六辊 UCM 平整兼二次冷轧机组. 冶金设备, 2014(5): 17

作者简介: 朱爱辉(1978—), 男, 河北邢台人, 高级工程师, 硕士, 2007年毕业于西安建筑科技大学材料加工工程专业。主要研究方向: 冷轧材料加工工程。通信地址: 中冶京诚工程技术有限公司; E-mail: zhuaiahui@ceri.com.cn。