

单机架 UCM 轧机冷轧无取向硅钢板形控制优化

王晓东,张喜榜,王文广,李 华,于 孟

(首钢技术研究院薄板研究所,北京 100043)

摘 要:针对首钢单机架 UCM 轧机轧制无取向硅钢出现高次复合浪形缺陷的问题,采用二维变厚度有限元方法对轧机板形调控性能进行了分析。根据计算结果,制定了相应的轧制道次与板形改善策略。在第 1~第 2 道次,以等比例凸度原则进行轧制,而在第 3~第 5 道次对板形进行控制,并且使目标平直度设定值遵循从小逐渐增大到成品板形的原则。为了兼顾浪形与横断面厚度轮廓协调控制,合理分配道次压下量,充分利用中间辊横移量、工作辊与中间辊弯辊的功能来改善板形。在实际生产中应用该优化策略后,冷轧无取向硅钢的波浪度由原来 1%~3%降低到 1%以下。

关键词:冷轧;单机架 UCM 轧机;无取向硅钢;平直度;横断面轮廓

中图分类号:TG335.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-9996(2013)03-0007-05

Flatness Control Optimization for Non-oriented Silicon Steel Strip Cold Rolled by a Single Stand of UCM Rolling Mill

WANG Xiao-dong, ZHANG Xi-bang, WANG Wen-guang, LI Hua, YU Meng

(Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100043, China)

Abstract: To solve the high order complex waves occurred during cold rolling of non-oriented silicon steel strip by means of a single stand of UCM rolling mill in Shougang Group, the shape control performance of this UCM mill was analyzed using two-dimension variable thickness finite element method. According to the analysis results, improving strategy for rolling passes and flatness was put forward. In the first and the second passes, thickness reduction was done on the basis of keeping the strip with an equal crown ratio. While, the flatness control was realized during the third to the fifth passes in which flatness object for each pass was setup from minor to the target according to the rule of increasing smoothly. For considering the coordinated control of flatness and cross thickness profile, reductions of the rolling passes were distributed rationally. At the same time, intermediate roll shifting, work roll and intermediate roll bending were fully utilized for improving the flatness of strip. After the optimized strategy was applied in actual production, significant effect on improving flatness of non-oriented silicon steel strip was obtained. The steepness of the wave defect was decreased from 1%~3% to below 1%.

Key words: cold rolling; single stand of UCM mill; non-oriented silicon steel; flatness; cross thickness profile

1 前言

中国工业的迅速发展带动了电力需求的激增,电力设备生产的增加引发了对电工钢钢板的大量需求。由于硅钢片叠片系数对电磁性能的影响,电工钢下游用户要求带钢的边降值在 $10\mu\text{m}$ 以下,波浪度在 0.7% 以下。日本生产的无取向硅钢公称板厚是 0.65、0.50、0.35mm,取向硅钢公称板厚是 0.35、0.30、0.27、0.23mm,为了减少涡流损耗,将向更薄规格方向发展,这对硅钢板形

控制技术提出了更高的要求。

日本三菱日立制铁机械公司在其开发和设计的 HCM 轧机基础上,引入中间辊弯辊系统,即 UCM 轧机(万能凸度控制轧机),以进一步提高对带钢凸度和平直度的控制能力。近年来,宽带钢冷轧机得到了广泛应用。UCM 轧机具有投资小、板形控制能力强等特点,尤其适用于生产硅钢等薄规格产品,因此被广泛采用。但单机架 UCM 可逆轧机的自动化程度低,需人工输入轧

收稿日期:2012-11-16

作者简介:王晓东(1974-),男(汉族),河北承德人,高级工程师,首席工程师。

制规程及板形控制参数设定值,靠经验进行简单的在线板形调整。UCM 轧机板形控制特性的研究分析工作一直是热点^[1-7]。

本文对单机架 UCM 可逆轧机生产无取向硅钢的板形控制策略进行了优化,供同行借鉴。

2 无取向硅钢轧制板形问题

2.1 轧机设备简介

首钢特钢公司冷轧镀锌薄板厂 2# 单机架可逆冷轧机为日本三菱日立公司设计的 UCM 六辊轧机,设计年产量为 30 万 t,产品厚 0.15~1.50mm,宽 600~1250mm。轧机主要参数见表 1,中间辊横移最大行程为 385mm。轧机采用日立公司开发的能提供机械反馈、电—液伺服阀电气反馈及 FM 阀电气反馈 3 种反馈形式的 HY-ROP(轧辊定位液压装置)系统。2# 单机架 UCM 轧机实现两级自动化控制,一级自动化主要控制功能是轧机控制和一些顺序控制。控制原理是采用级联控制,即厚度和板形控制作为控制系统外环,为内环的轧机控制提供补偿。一级自动化主要控制功能有:带钢板形自动控制(ASC)、带钢厚度自动控制(AGC)、自动减速控制、轧机自动控制、顺序控制、轧线控制。二级自动化主要功能是完成轧机的监控、参数设定及数据储存等。

表 1 轧机主要参数

项 目	工作辊	中间辊	支撑辊
辊径/mm	Φ385~Φ340	Φ440~Φ390	Φ1220~Φ1050
辊身长度/mm	1420	1395	1420

UCM 单机架轧机板形控制的主要方式:工作辊正负弯辊、中间辊横移与正弯辊、工作辊分段精细冷却、支撑辊水平调整及偏心补偿。单机架轧机板形控制特点为轧制非连续生产,逐步压下,

每卷需轧制 4~7 道次,每道次轧制时板形控制反馈系统都参与控制,生产灵活,可以根据来料板形针对每道次的轧制特点进行板形调控。

2.2 无取向硅钢板形控制问题

硅钢板形包括横截面外形和平坦度,而凸度和边部减薄是横截面外形的主要参数。硅钢板要求板形平坦度良好,因为良好的平坦度决定了硅钢片的叠装系数,因此要求硅钢板的横向厚差在 10μm 以下。

(1)凸度及边部减薄控制:板凸度与板形有密切的关系。硅钢热轧原料凸度控制在(30±10)μm,冷轧过程要求严格保证良好板形,所以轧制过程中虽然板凸度的绝对值不断减小,但比例凸度始终保持不变。

(2)平坦度控制:为了控制边部减薄和后道工序的生产要求,硅钢轧制按微中浪控制。

首钢特钢单机架 UCM 轧机生产无取向硅钢,热轧原料规格为 2.5mm×1260mm,成品规格为 0.5mm×1230mm。在生产试制初期,最主要的问题是冷轧成品带钢板形出现复合浪,波浪度在 1%~3% 范围内,具体实物浪形见图 1,所采用的轧制道次和板形控制策略设定见表 2。

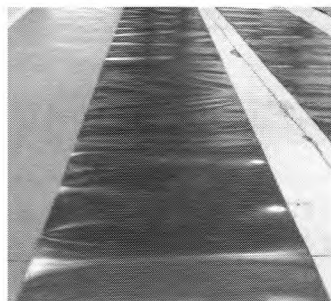


图 1 试制的无取向硅钢板形

表 2 试制生产轧制道次与板形控制策略

道次	出口厚度 /mm	单位前张力 /MPa	单位后张力 /MPa	中间辊横移量 /mm	中间辊弯 辊力/kN	工作辊弯 辊力/kN	目标板形 /I-U
1	1.60~1.98	40~70	10~15	0~20	0~60	0~90	8~15
2	1.10~1.35	80~120	30~80	0~20	0~60	0~90	6~15
3	0.70~0.95	90~120	70~100	0~20	0~60	0~90	0~8
4	0.53~0.69	100~130	80~120	0~20	0~60	0~90	3~8
5	0.50	90~100	90~120	0~20	0~60	0~90	0~10

3 板形问题分析

带钢板形质量取决于每一轧制道次带钢横断面变化,带钢比例凸度(凸度与横截面中点厚度之比)发生改变,则会引起带钢平坦度的变化。在冷

轧过程中,为了保证带钢平直度,必须坚持等比例凸度轧制的原则。需要进行连续退火处理的硅钢的目标板形应控制为微中浪。但是,在前 2 个道次轧制出大的中浪板形,之后 2 个道次又要将其

减小至微中浪的策略并不合理。因为在前2个道次时比例凸度被破坏,中部延伸增大很多,后面道次为了减小浪形,需加大边部的延伸率,这样容易出现复合浪形的板形缺陷。因此,需要优化各个道次的目标板形设定。可以在前2个道次充分利用等比例凸度原则,避免带钢产生较大浪形,待带钢减薄后,适当改变辊缝形状,实现微中浪的目标板形。

本文采用二维变厚度有限元分析模型对首架单机架 UCM 轧机的板形调控特性进行了分析,对承载辊缝凸度调节域进行了比较,模型如图2所示。

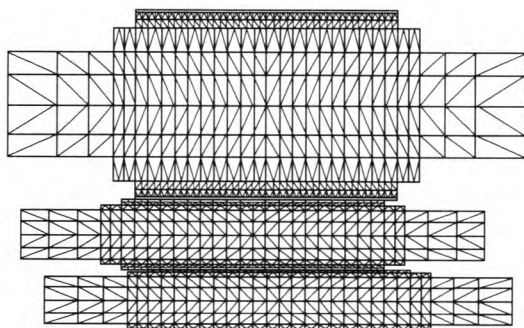


图2 UCM 轧机有限元分析模型

在单位轧制力 $q=8.5 \text{ kN/mm}$, 板宽 $B=1250 \text{ mm}$, 各辊辊径取最大值, 工作辊弯辊力 $BFW=-250, 0, 450 \text{ kN}$, 中间辊弯辊力 $BFI=0, 200, 400 \text{ kN}$, 中间辊横移量 $\delta=-55, 0, 55 \text{ mm}$ 的情况下, 比较了轧机在不同中间辊横移量下的承载辊缝凸度调节域, 见图3。由图3可见, 当中间辊横移量减小时, 辊缝凸度调节域朝着二次凸度减小、四次凸度增大的方向移动。因此, 为了避免四次浪形的生成, 可以增大中间辊横移量。

为了降低复合浪形缺陷, 综合以上分析结果, 给出单机架 UCM 轧机轧制无取向硅钢的板形控制策略:

(1) 在第1、第2道次, 保持带材等比例板凸

度, 而在第3~第5道次进行板形控制, 在轧制中, 道次的微中浪目标平直度值设定原则为从小逐渐增大到成品板形目标值。

(2) 为了消除带钢边部延伸小的问题, 中间辊横移量 δ 设定为 40 mm 。

(3) 合理分配道次压下量, 合适的工艺润滑和冷却参数, 以降低轧制力导致的轧辊扰曲变形。

(4) 在兼顾轧制稳定性的前提下, 中间辊弯辊和工作辊弯辊相互配合, 尽量减小工作辊弯辊力。

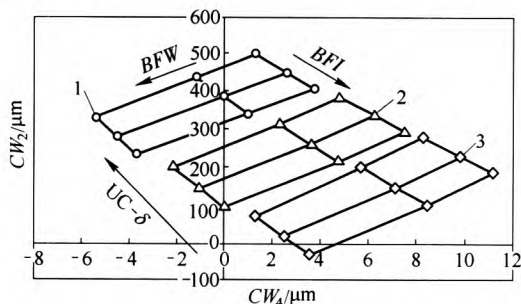


图3 不同中间辊横移量时的辊缝凸度调节域

δ/mm : 1—55; 2—0; 3—55

4 板形控制策略优化及效果

在生产初期的大量现场试验与上述 UCM 轧机板形调控分析研究的基础上, 制定了新的轧制道次负荷分配及其板形调控策略, 试用后效果显著, 并在生产中得到固化。

4.1 优化后的轧制策略

通过以上分析, 当采用中间辊轴向横移(特别是负向移动)手段对带钢边降进行控制时, 有可能造成二次和四次凸度的减小, 使带钢出现中浪和四分之一浪或更高次浪形。为了避免高次浪形, 根据上述分析, 对单机架 UCM 轧机生产无取向硅钢的板形控制策略进行了优化, 见表3。合理使用中间辊横移, 减小工作辊弯辊, 合理设定道次目标板形, 在满足控制带钢边降的同时, 又能保证带钢平直度。

表3 优化后的轧制道次与板形控制策略

道次	出口厚度 /mm	单位前张力 /MPa	单位后张力 /MPa	中间辊横移量 /mm	中间辊弯 辊力/kN	工作辊弯 辊力/kN	目标板形 /I-U
1	1.690	64.0	12.7	40	0~60	0~80	0~3
2	1.130	100.0	64.0	40	0~80	0~80	2~5
3	0.756	118.2	100.0	40	0~70	0~50	3~6
4	0.540	127.2	118.2	40	0~80	0~40	3~6
5	0.500	100.0	100.0	40	0~40	-40~40	4~8

4.2 新策略的应用效果

新轧制规程与板形控制策略在生产中得到了实际应用,如卷号为 1050351342030 的热轧卷,冷轧卷号为 A1014891,5 个道次的目标平直度设定为 0、2、3、3、4 I-U。前期的复合浪形缺陷得到了控制,如图 4 所示,波浪度降低到 0.565%。



图 4 优化后冷轧带钢板形控制结果

对采用新策略后生产的冷轧钢卷板形进行了实际测量和统计,共测量了 18 卷带钢,统计结果如图 5 所示,波浪度小于 1%,均值为 0.72%,板形得到了良好控制。

由于用户对硅钢产品的横向厚差要求高,在改善冷轧带钢平直度的同时,也需要兼顾带钢横断面形状的控制。如图 6 所示,优化前冷轧带钢

横向厚差(中心厚度与距离边缘 10mm 位置厚度差值)实际测量平均值为 $17\mu\text{m}$,优化后,实测横向厚差均值为 $16\mu\text{m}$ 。优化轧制策略改善了带钢浪形缺陷,同时对横向厚差没有不利影响。随机选取优化前后各一卷带钢,对其横断面轮廓进行比较,如图 7 所示,可以看出由于中间辊横移量增大的缘故,除了距离边部 10mm 的范围内产生了 $10\sim 14\mu\text{m}$ 的边降,带钢横断面整体上满足小于 $10\mu\text{m}$ 凸度的要求。由此可知,改善带钢浪形缺陷的优化策略具有良好的效果,同时又不会对带钢横断面轮廓控制带来不良影响。

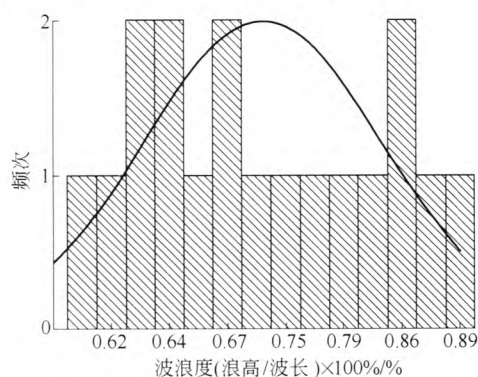


图 5 板形测量结果正态分布统计结果

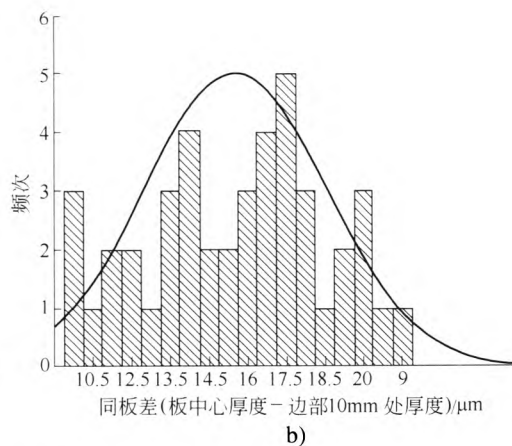
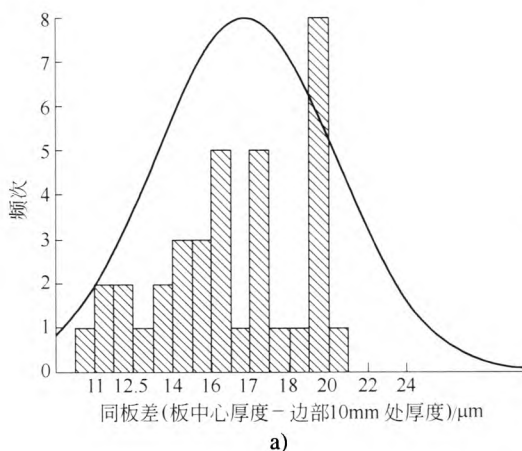


图 6 横向厚差测量结果正态分布统计结果

a) 优化前; b) 优化后

5 结论

对单机架 UCM 轧机轧制无取向硅钢出现的高次复合浪形缺陷进行了深入分析,制定了相应的改善策略,在实际生产中应用后取得了显著效果。

(1) 在第 1~第 2 道次,以等比例板凸度进行轧制,而在第 3~第 5 道次进行板形控制,并且使

微中浪目标平直度设定值遵循从小逐渐增大到成品板形目标的原则。

(2) 为了兼顾浪形与横断面厚度轮廓协调控制,应合理分配道次压下量,充分利用中间辊横移、弯辊和工作辊弯辊的功能改善板形。

(3) 应用优化策略后,冷轧无取向硅钢波浪度

海上风塔管桩用高质量特厚钢板的生产与质量控制

王彦锋¹, 杨永达¹, 李春智¹, 姜中行¹, 郑会平²

(1. 首钢技术研究院, 北京 100043; 2. 秦皇岛首秦金属材料有限公司, 河北 秦皇岛 066326)

摘 要:清洁能源需求和蕴藏在近海丰富的风能资源极大地推动了海上风电项目的发展, 刺激了近海风电工程结构用特厚钢板的需求。由于该钢种的特殊服役条件, 要求其具有 -60°C 芯部和横向低温冲击韧性、低碳当量易焊接性能、抗层状撕裂性能等, 本文采用400mm特厚连铸板坯、低碳含铜成分设计、特厚板轧制工艺等技术, 开发了355MPa级海上风电用低碳当量高韧性正火态特厚钢板, 并实现了批量生产和海上风电工程的应用。

关键词:海上风电用钢; 特厚板; 探伤; 低温韧性

中图分类号: TG335.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-9996(2013)03-0011-05

High Quality Heavy Plate Production and Control for Offshore Wind Power Piles

WANG Yan-feng¹, YANG Yong-da¹, LI Chun-zhi¹, JIANG Zhong-hang¹, ZHENG Hui-ping²

(1. Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100043, China;

2. Qinhuangdao Shouqin Metal Material Co., Ltd., Qinhuangdao 066326, China)

Abstract: Demand for clean energy and reserves in the offshore wind resources, which have greatly promoted the development of offshore wind power projects to stimulate the demand for offshore wind power engineering structures with heavy plate. The steel is serviced in the special conditions, with -60°C core part and horizontal low temperature impact toughness, low-carbon equivalent easy welding performance. In this work, the development of offshore wind power for the 355MPa heavy plate in normalizing with high toughness of low carbon equivalent, by 400mm thickness continues casting slab, the composition design of low-carbon with copper and the heavy plate rolling process technology, and achieve mass production and offshore wind power project applications.

Key words: steel for offshore wind power; heavy plate; ultrasonic testing; low temperature toughness

由原1%~3%降低到1%以下。

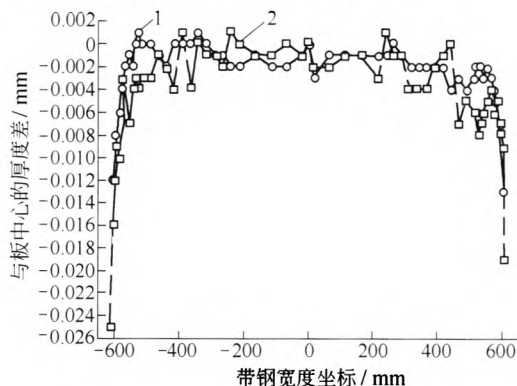


图7 优化前后带钢横断面厚差比较
1—优化前; 2—优化后

参考文献:

- [1] 沈新玉, 胡 柯. 马钢 UCM 冷连轧机厚度及板形控制特点分析[J]. 中国材料科技与设备, 2007, (3): 103.
- [2] 李光辉. 涟钢 1720mm 冷连轧机板形自动控制系统的研究及优化[J]. 涟钢科技与管理, 2009, (2): 7.
- [3] 朱简如, 林秀贞, 吴 平, 等. 五机架 UCMW 冷连轧机板形平坦度自动控制系统[J]. 铜业工程, 2005, (2): 26.
- [4] 朱简如, 林秀贞, 吴 平, 等. 宽带 UCMW 冷连轧机辊系与轧件一体化仿真模型的开发[J]. 冶金设备, 2005, (4): 7.
- [5] 陈云鹏. UCMW 轧机带钢边缘降的成因分析与控制[J]. 轧钢, 2010, 27(5): 21-25.
- [6] 周晓敏, 张清东, 王长松, 等. UCMW 轧机边降和平坦度的解耦控制[J]. 钢铁, 2007, 42(5): 55.
- [7] 有田一豊, 高田贵嗣, 富野贵义. 轧制电工钢板的可逆轧机[J]. 上海金属, 2007, 29(5): 37.

收稿日期: 2012-11-14

作者简介: 王彦锋(1977-), 男(汉族), 北京人, 高级工程师, 硕士, 主要从事宽厚板产品的研发工作。

大力值、轧制力传感器及其控制
(福建)莆田市力天量控有限公司
Tel: 0594-2695245 2636151 2636152