

热轧带钢表面质量检测系统的工程设计与实践

刘 钟¹, 吴 杰¹, 张 华²

(1. 上海宝钢工程技术有限公司, 上海 201900; 2. 宝钢股份公司, 上海 200941)

摘要: 由于受工艺条件、生产环境的制约, 热轧带钢表面缺陷识别一直是困扰生产厂提高产品质量和生产率, 减少用户质量异议的瓶颈问题。文章介绍了热轧带钢表面质量检测系统的原理与构成, 并介绍了宝钢热轧厂两条生产线的带钢表面质量检测装置及其配套设施的工程设计。

关键词: 热轧带钢; 表面检测; 缺陷; 识别

中图分类号: TP216 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-0716(2005)06-0057-05

Design and Practice of the Hot Strip Surface Quality Inspection System

LIU Zhong¹ WU Jie¹ ZHANG Hua²

(1. Shanghai Baosteel Engineering & Equipment Co., Ltd, Shanghai 201900, China;

2. Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 200941, China)

Abstract: The online recognition of the surface defects of a full coil of hot strip has always been a "bottleneck" problem which puzzles manufacturers in improvement of their product quality, increase of productivity and decrease of complaints about product quality from customers due to restrains of technological conditions and production environment. The principle and composition of the hot strip surface inspection system are introduced, together with hot strip surface inspection devices for two production lines of Baosteel Branch Hot Rolling Plant, and the engineering design for auxiliary facilities.

Key Words: hot strip, surface inspection, defect, recognition

1 前言

热轧带钢表面质量检测通常只对带钢尾部一段采用目视检查方式。一般情况下, 从卷取机下线的热卷, 通过检查线的开卷机打开带钢尾部, 切取一段钢板, 在输出辊道上人工检查带钢上下表面质量, 如发现连续性质量缺陷则采取相应措施。这种只对带钢尾部很短的一段区域进行表面质量抽检的检测方式, 不能及时反映带钢表面质量的全貌, 给下道工序生产带来困难, 造成用户质量异议。另外, 由于缺乏有效的带钢表面质量检测手段, 无法提供轧辊更换优化指导, 不能进行准确的产品质量等级判定, 造成不必要的产品降级。与冷轧线和镀锌线相比, 热轧线上进行带钢表面质

量在线检测并非容易, 因为其环境更为恶劣, 主要表现为: 带钢温度高, 辐射热量大; 表面状态复杂, 缺陷类型多; 下表面检测受辊缝宽度制约; 轧制过程中水滴、灰尘影响缺陷识别; 轧制速度变化大; 带钢浪形和中心位置不断变化。

尽管如此, 源于生产的需求, 近年来国内外一些研究机构都致力于热轧带钢表面质量在线检测系统的研制, 并成功推出各自的产品。以 VAI SIAS 为代表的线扫描摄像机检测系统和以 Parsytec 为代表的面扫描摄像机检测系统都已在热轧线上成功应用。由于面扫描摄像机检测系统能克服带钢上下抖动和左右摆动给检测带来的影响, 因此热轧带钢表面质量检测一般采用面扫描摄像技术, 但相应设备安装难度大, 投资较高。

宝钢分公司热轧厂为了保证热轧产品表面质量, 满足下道工序生产和市场对高质量产品的需

刘 钟 博士 1968 年生 1997 年毕业于西北大学 现从事工业自动化专业 电话 66786678-2144

求,经调研比较,于 2003 年,在 2050mm 热轧线上安装了一套 Parsytec 公司的带钢表面质量在线检测装置,取得了良好的使用效果。2004 年又在 1580mm 热轧成功投入运行一套带钢表面质量检测装置,为热轧厂产品质量控制提供了高效的控制手段。两套带钢表面检测装置的核心设备由 Parsytec 公司提供,系统总体设计及其配套辅助设施的设计由宝钢工程技术公司承担。本文介绍了 Parsytec 带钢表面质量在线检测装置的设计及工

程实践。

2 表面检测系统原理与构成

Parsytec 公司的带钢表面质量在线检测装置采用 CCD 高速摄像系统,其主要设备包括上、下表面检测单元,图像数据转换单元,图像数据处理单元,图像数据记录单元,网络设备,配电系统,操作终端,系统调整终端,打印设备及开发维护设备,辅助设备等。表面检测系统见图 1。

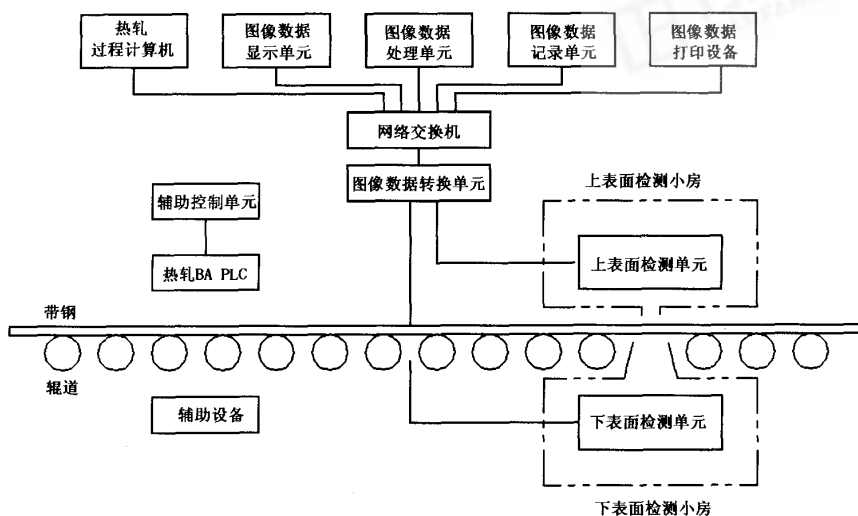


图 1 表面检测系统图

Fig. 1 Flowchart of the surface inspection system

表面检测系统通过设置在热轧辊道上、下方的面扫描 CCD 高速摄像系统,将移动带钢表面质量数据输入图像处理系统。如遇带钢表面质量异常时,系统进入缺陷识别程序。通过采用图像处理和模式识别技术,自动识别带钢上、下表面缺陷,并按照系统定义的分类,将缺陷归类至其所属类型,根据其严重程度,采取不同的报警措施。

检测系统可在多台终端上显示和记录带钢的缺陷图像和数据。表面检测系统通过热轧基础自动化系统和过程计算机系统,获取带钢的代码、状态、钢种、速度、宽度和长度等数据,结合表面质量检测结果,最终形成每卷带钢完整的质量信息。

3 表面检测系统工程设计

3.1 检测系统硬件

系统上、下表面检测单元各包含若干摄像头和频闪照明灯。热轧带钢表面检测采用“明场”照明方式,即摄像头安装位置处于照明光线的反

射光路上。相对检测中心线来说,频闪灯安装在迎着带钢速度的方向,摄像头安装在带钢速度的同向。摄像头的数量是由待检测带钢横向的最大宽度决定的。检测系统在带钢宽度上的分辨率为 $500\ \mu\text{m}$,每幅图像为 $768\text{Pixel} \times 240\text{Line}$ 。对于 1[#] 热轧线和 2[#] 热轧线,带钢最大宽度为 1 900 mm 和 1 450 mm,表面检测单元分别选用 6 个和 5 个摄像头,可以覆盖的带钢宽度分别为 $768 \times 0.5 \times 6 = 2\ 304\ \text{mm}$ 和 $768 \times 0.5 \times 5 = 1\ 920\ \text{mm}$,考虑图像重叠的情况(为了保证检测到带钢全貌,每相邻两幅图像都有重叠),即使在轧制极限宽度带钢时,仍然能检测到带钢全貌。

考虑到检测系统应反映热轧带钢的最终质量状况,选择将系统安装在热轧层流冷却系统与卷取机之间,并为上、下表面检测装置分别设置测量小房。

3.2 检测系统辅助设施

为了满足检测设备安装需求,需要新建或配

套改造一些轧线上相关的设备,主要包括用于检测设备安装的上、下测量小房及上测量小房防撞框架,带钢导向翻板装置和保护翻板装置,压缩空气吹扫装置及内冷辊道的改造等内容。

上、下表面测量小房为钢结构框架。上测量小房横跨在卷取机前辊道上(1580mm 热轧小房尺寸为长 10 m×宽 3 m×高 2.75 m, 2050mm 热轧小房尺寸为长 9.4 m×宽 4 m×高 3 m),小房底部设防撞框架,其基础与小房完全分开,堆钢时可有效避免对测量小房内检测设备的冲击。另外,为了便于上测量小房下方的辊道检修,在防撞框架上安装了检修葫芦,可方便地将辊道移出。

带钢扫描图像的横向分辨率与带钢宽度和摄像头的数量有关,纵向分辨率与带钢速度和辊缝宽度有关。1580mm 热轧带钢最大宽度为 1 450 mm, 2050mm 热轧带钢最大宽度为 1 900 mm,在分辨率达 1.0 mm(带钢轧制方向)×0.5 mm(横向)时,分别采用上、下表面各设置 5 个和 6 个摄像头,并通过调整摄像头与带钢的距离来满足这一分辨率的要求。在带钢轧制方向,两条轧线上都拆除一根辊子保证辊缝宽度,以

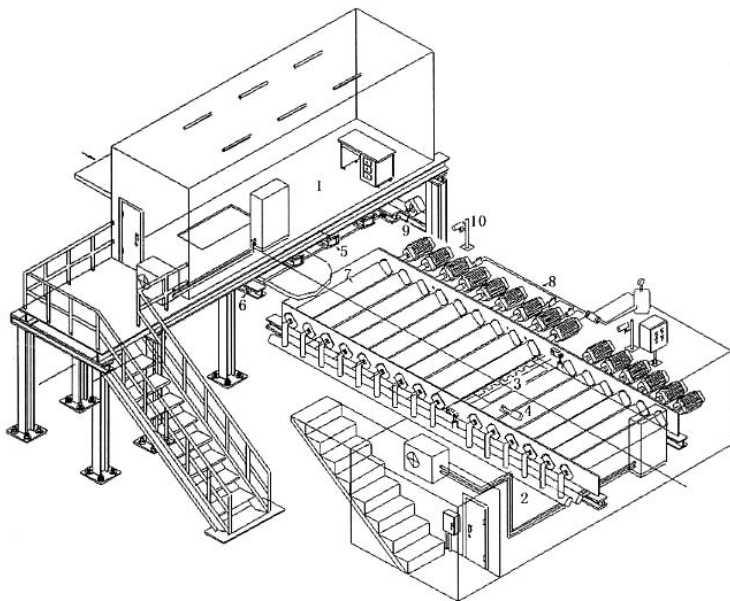
便下表面检测有足够的检测视区。1580mm 热轧和 2050mm 热轧分别可以提供 300 mm 和 340 mm 的检测视区。

为了使带钢能够顺利通过拆除了一根辊子的辊道段,在设计中考虑设置带钢导向翻板装置。根据带钢位置自动翻转成水平或垂直状态(检测位置)。另外,为了防止辊道检修时杂物损伤下表面检测设备,在下表面检测小房顶部设置保护翻板装置。

由于检测系统安装在层流冷却系统之后,外冷辊道冷却水及层流冷却系统冷却水的存在直接影响缺陷识别效果,故通过设置内冷辊道、压缩空气吹扫装置和轴流风机去除水雾带来的不利影响。

下表面检测环境更为恶劣,系统采用单独风机吹扫,每个摄像头都自带风机吹扫管道和冷凝水导流管道,以保证检测系统不受外部环境因素干扰。

热轧带钢表面质量在线检测系统辅助设施示意图如图 2。



1 为上表面测量小房;2 为下表面测量小房;3 为导向翻板装置;4 为保护翻板装置;5 为防撞框架;6 为手动行车;
7 为内冷辊道;8 为压缩空气吹扫装置;9 为轴流风机;10 为热金属检测器。

图 2 检测系统辅助设施示意图

Fig.2 Sketch of the accessory facility of the inspection system

3.3 检测系统电气控制

检测系统除了对检测设备状态、系统启动等

进行检测与控制外,还需要对带钢导向翻板装置、空气吹扫装置等进行自动控制。对于带钢保护翻

板装置,由于只是在热轧设备检修时才有翻板状态的改变,所以用 1 只二位五通电磁阀和 1 只气缸驱动,采用现场操作方式,通过现场操作箱来控制。

导向翻板用 1 只二位五通电磁阀和 2 只并联的气缸驱动,根据带钢位置自动翻转换成水平或垂直状态。利用在导向翻板后的热金属检测器信号控制翻板动作。当带钢通过检测位置时,检测器发出的 ON 信号作为导向翻板的控制信号,ON 的上沿控制导向翻板翻下,ON 的下沿控制导向翻板复位。导向翻板的翻转状态可通过装在气缸上的极限开关来监视。当导向翻板驱动信号与状态信号不一致时,表明导向翻板故障,在精轧操作室 CRT 操作画面和导向翻板报警器上进行报警。

系统利用导向翻板前的热金属检测器控制压缩空气吹扫装置。当带钢头部通过时,由检测器发出的信号控制空气吹扫阀打开。当带钢完全通过导向翻板后,设置在导向翻板后的热金属检测器发出的 OFF(下沿)信号关闭空气吹扫阀。

3.4 表面检测装置的标定

带钢表面质量检测装置的摄像头安装在带钢宽度方向上,理想情况是相邻采集图像之间既无间隙又无重叠,以保证对带钢表面检测完整。这就要求系统对每个摄像头有很高的定位精度。Parsytec 公司的热轧带钢表面检测系统采用面扫描 CCD 高速摄像系统与频闪光照系统,有效克服了带钢上下抖动和左右摆动对所捕捉图像质量的影响。每两个相邻摄像头采集的图像均有重叠(以 1580mm 热轧为例,上表面检测系统每相邻两幅图像重叠 33 mm,下表面重叠 69 mm),图像的整体拼接在后续的处理中由软件实现。每个摄像头在带钢宽度方向的定位是通过系统标定实现的。

4 数据处理系统

表面检测系统数据处理的核心在于缺陷图像的正确识别与分类。通过对缺陷图像的预处理、图像分割、二值化、特征提取等处理,对各种带钢表面缺陷进行识别和分类,为带钢质量检测提供依据。Parsytec 公司的表面检测分析软件 HTS4.2,包含从全球 40 多条热轧线采集的缺陷数据样本,并以此建立缺陷分类。用户根据需要可以选择在系统预置缺陷分类器 Instant Classifier 或根据轧线缺陷产生的具体情况,自行建立缺陷

数据库。

4.1 缺陷数据库的建立

表面检测系统对缺陷的识别分为离线学习和在线识别两个阶段。在离线学习阶段,大量的缺陷样本将用于系统训练,以便系统记忆各种缺陷及其分类。训练后的系统用于在线识别缺陷,系统自动将识别出的缺陷归类到所属缺陷类型。

在进行系统调试时,需要采集本轧线上相当数量的缺陷样本,并且由专业人员将缺陷定义在不同缺陷类型中。所采集缺陷的代表性、分类定义的准确性将直接影响表面检测系统的识别精度。

4.2 缺陷的在线识别

系统按照缺陷的不同特性分为单一缺陷、区域性缺陷和周期性缺陷。对不同的缺陷类型,系统给出的缺陷参数各自不同。对单一缺陷,可记录缺陷位置、大小、严重程度和类别;对周期性缺陷,除可记录缺陷位置、大小、严重程度外,还可给出两缺陷间距(周期性缺陷都属于严重缺陷,需要报警处理);对区域性缺陷,则记录缺陷横向和纵向位置,并给出缺陷的严重程度。带钢表面质量监视画面如图 3 所示。

从 1580mm 和 2050mm 热轧带钢表面质量自动检测系统的运行情况来看,系统缺陷识别率和缺陷分类准确率两个指标还是令人满意的。

5 结束语

热轧带钢表面质量自动检测系统的投入,为操作人员提供了带钢表面缺陷的可视图像,改变了传统的热轧带钢表面质量抽检模式,使得带钢表面质量数据有了完整记录,为带钢质量级别确定提供了依据,保证了带钢最终用户的满意。同时,表面检测系统的投入,为热轧工艺优化创造了条件。

热轧带钢表面质量检测一方面要求系统能够准确识别缺陷,另一方面要为缺陷在二维空间准确定位。表面缺陷在带钢横向的定位可以由检测系统标定实现,但在带钢速度方向,缺陷准确定位与系统是否能提供准确的带钢速度有关。目前在宝钢的两条热轧线上,检测系统使用的带钢速度是由卷取 PLC 通过精轧机组出口速度和卷取机的卷取速度由程序自动判断出的,并非带钢真实速度。要形成完整、精确的热轧带钢表面质量报告,带钢速度还需准确测定。另外,缺陷的识别精

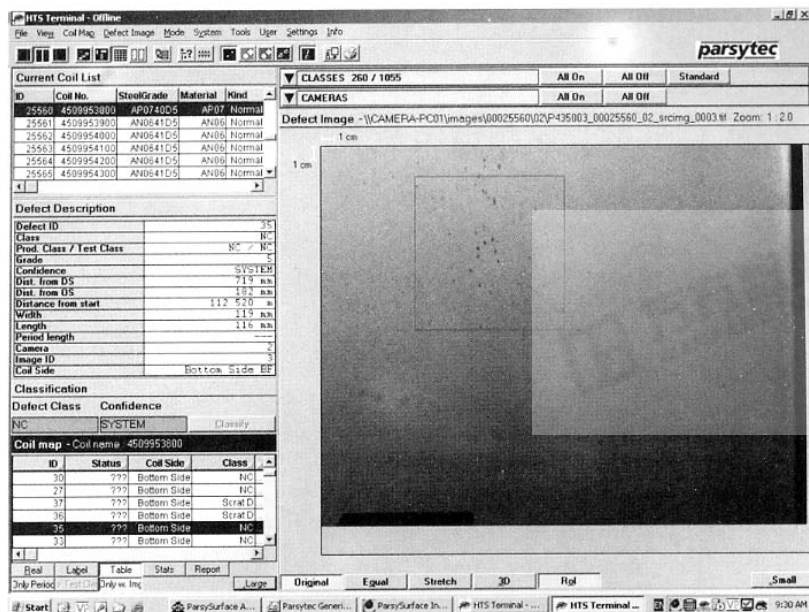


图3 带钢表面质量监视画面

Fig.3 A picture of monitoring strip surface quality

度与系统训练样本直接相关。要提高系统的实用性还需要针对不同的轧线,大量采集缺陷样本,不断充实缺陷样本库内容,这是一个长期的工作。

编辑 王仁意

(收稿日期:2005-01-19)

(改稿日期:2005-04-28)

(上接第30页)

(1)生产操作结果表明,随小块焦比提高大块焦比线性下降。当小块焦增加到 60 kg/t 时,焦比最低下降到 273 kg/t。小块焦比由 20 kg/t 提高到 60 kg/t,燃料比约上升 2~3 kg/t,变化不大。通过高炉上下部调剂,燃料比控制在 494~496 kg/t 的较好水平。

(2)实际操作中,小块焦比在 50 kg/t 以下时,小块焦可同比替代大块焦。计算结果表明,小块焦比提高到 55 kg/t 时,置换比超过 1.0,小块焦比为 60 kg/t 时,置换比下降到 0.97。高小块焦比操作仍保持了高的置换比。

(3)分析认为,小块焦硫高、灰分和灰中 Al_2O_3 含量偏高,使渣比增加,特别是其在炉内大量粉化造成的高炉炉尘碳损失增加,是 55~60 kg/t 高小块焦比操作时燃料比升高及置换比下降的主要原因。通过加强小块焦槽下筛分,采取高顶压和控制边缘气流操作,可有效控制炉尘灰量,提高 CO 利用率,降低顶温,降低焦比。通

过造渣制度调整可抵御小块焦比提高对渣铁成分带来的不良影响,保持炉渣成分、流动性和铁水 S 含量正常。

(4)由于小块焦相比冶金焦有明显价格优势,随小块焦比提高,高炉吨铁燃料成本下降。经计算,4~5 月试验期间,扣除其他因素影响,直接降成本合计 327.1 万元。如小块焦资源充足,长期高比例操作,年经济效益可达上千多万元,具有较大经济效益。

参 考 文 献

- 刁日升,刘树芳,杨志远.攀钢高炉焦丁混装入炉生产实践.钢铁钒钛,2000,21(1):45~49.
- 武川正博.大量使用小块焦实现高利用系数低燃料比稳定操作.材料 & プロセス,1999,(12):92~94.

编辑 任燕

(收稿日期:2005-04-26)