

# 连铸坯全自动低倍检验工艺设计及实验室建设

马飞跃<sup>1,2</sup>

(1. 中冶赛迪工程技术股份有限公司 公用设计部, 重庆 401122;

2. 重庆赛迪热工环保工程技术有限公司 公用设计部, 重庆 401122)

**摘要:**对连铸坯全自动低倍检验的各个工序进行了研究,制定了全自动低倍检验工艺流程,对涉及到酸蚀方法、扫描成像、环保装置等方面的全自动低倍检验工艺进行了设计,并对低倍实验室设计和建设提出了建议,以供钢铁企业质量管理人員和从事钢铁冶金实验室建设的工程人員参考。

**关键词:**低倍检验; 试样加工; 酸蚀法; 实验室建设

中图分类号: TF777; TG115.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-4012(2022)04-0004-04

## Process design and laboratory construction of automatic low magnification inspection for continuous casting billet

MA Feiyue<sup>1,2</sup>

(1. Department of Utilities, CISDI Engineering Co., Ltd., Chongqing 401122, China;

2. Department of Utilities, CISDI Thermal & Environmental Co., Ltd., Chongqing 401122, China)

**Abstract:** The various processes of automatic low-magnification inspection of continuous casting billet were studied, and the automatic low-magnification inspection process was formulated. The automatic low-magnification inspection process involving acid etching method, scanning imaging and environmental protection device was designed. Suggestions for the design and construction of low-magnification laboratory were put forward, which could provide reference for quality management personnel of steel enterprises and engineering personnel engaged in the construction of iron and steel metallurgical laboratory.

**Keywords:** low-magnification inspection; sample processing; acid etching method; laboratory construction

全自动检测工艺在国内钢铁企业的检化验设计中的应用越来越广泛。在原料取制样领域,采用机械手的全自动码头取制样系统<sup>[1]</sup>、全自动成品烧结矿取制样系统、全自动焦炭取制样系统逐渐发展起来。在冶炼分析领域<sup>[2]</sup>,采用机械手的全自动炉前快速分析系统已应用多年。在成品检验领域<sup>[3]</sup>,采用机械手+AGV(Automated Guided Vehicle)小车将试样加工和检测连为一体,以尽可能地实现全自动化。

长期以来,低倍检验属于冶炼分析和成品检验的中间地带,其自动化发展受重视程度不够。据公开文献报道,国内仅有少数钢厂<sup>[4]</sup>投入使用了自动

试样加工、酸蚀、扫描成像一体化的低倍检验系统。

笔者对连铸坯全自动低倍检验的各个工序进行了研究,制定了全自动低倍检验工艺流程,并对低倍实验室设计和建设提出了建议,以供钢铁企业质量管理人員和从事钢铁冶金实验室建设的工程人員参考。

### 1 全自动低倍检验工艺设计

目前,检验钢的低倍组织缺陷的方法主要有酸蚀检验法、断口检验法、塔型发纹检验法及硫印检验法等。酸蚀检验法包括热酸腐蚀法、冷酸腐蚀法(含枝晶腐蚀法)及电解腐蚀法等。

虽然国内不少钢厂和设备制造商在试样加工和酸蚀试验的自动化方面进行了一定研究,且在国内有一些个别成功的应用案例,但在试样转运、扫描成像环节仍然需要人工介入,无法实现真正意义上的全自动化。笔者以酸蚀检验法为研究对象,对试样转运、

收稿日期: 2021-08-23

作者简介: 马飞跃(1984-),男,硕士,高级工程师,主要从事钢铁企业检化验工程设计和咨询工作, feiyue.ma@cisdi.com.cn

试样加工、酸蚀方法、扫描成像、环保装置等涉及到低倍检验全流程的各方面工艺进行了设计研究。

### 1.1 工艺总体设计要求

连铸坯全自动低倍检验工艺需要具备以下功能。

(1) 坯料、试样、废料、碎屑等物料的上料、下料、转运环节尽量实现自动化。无需人工干预,或最多需要人工采用叉车或行车上料,后续工序全自动完成。

(2) 试样加工环节尽量实现自动化。消除热影响区、粗加工下料的锯切工序必须实现自动化;铣削和磨削工序必须实现自动化;为防止毛刺掉落影响后续工序的稳定运行,尽量能在线自动去除毛刺;要能自动清除和处理上述锯切、去毛刺、铣削、磨削环节产生的铁屑。

(3) 酸蚀环节尽量实现自动化。无论采用热酸腐蚀、冷酸腐蚀还是电解腐蚀,均应实现自动夹紧、自动腐蚀、自动清洗和自动烘干。

(4) 扫描成像环节尽量实现自动化。采用可移动的扫描机构、数码相机等对试样表面进行扫描拍照,生成图像自动上传。

(5) 环保装置尽量实现自动化。实现酸液自动循环、废酸自动收集、酸雾自动收集、自动液位检测和报警、尾气监测和报警等功能。

(6) 上述各工序的自动化控制系统。控制系统需具备生产管理、运维管理、报表管理等模块,采用视觉识别、激光打标等先进手段,实现信息流与全厂检化验 L2 系统的连接。

系统整体可以实现编码匹配、自动传送上料、打码、传送、低倍样坯加工、试样酸蚀、扫描成像、下料等一系列工序。全程为无人值守操作。

### 1.2 物料转运工艺

#### 1.2.1 地轨小车

为减小人工叉车作业的范围,可使用带地轨的平板车用于上料。将连铸坯推到定位台进行定位,便于后续工序抓取。另外,在锯切工位和去毛刺工位也可设置地轨小车,用于将铁屑收集后自动开出到指定工位。

#### 1.2.2 桁架机械手

板坯来料质量可达 500 kg 以上,且其需要在多个粗加工设备之间转运,这超出常用关节机械手的有效载荷或者抓取范围,而桁架机械手<sup>[5]</sup>具有高承载比、工作空间大、桁架结构整体强度高等优点,适

用于板坯料的粗加工。

#### 1.2.3 导轨机械手

样品从精加工设备到酸蚀设备的运行范围可达十几米,如采用六轴机械手则工作半径无法满足要求,如采用两台及以上六轴机械手则投资费用较高,而采用带导轨的七轴机械手可以将样品直线运行于精加工设备和酸蚀试验设备之间,且工作效率可以满足低倍检验的需求。

### 1.3 试样加工工艺

#### 1.3.1 全自动高速圆盘锯切机

要达到生产效率高、产出量大、尺寸误差小、切割表面品质高的要求,高速圆盘锯床是首选,可以用于连铸板坯试样的粗加工下料,或者直接用于电解腐蚀等对表面粗糙度要求不高的酸蚀试验中。

高速圆盘锯床主要由上料平台、机床床身、横梁、锯切机构、龙门上压机构、出料平台、液压系统、控制系统、电气系统、润滑系统、排屑系统、冷却系统、安全防护系统等组成。在配合机器人上料后,装夹、切割、工作台铁屑清理等整个切割流程全部为无人操作的连续化全自动控制过程。

#### 1.3.2 全自动板坯去毛刺机

由于板坯试样大多数采用在线氧切割方式送至实验室,其切割面两侧的毛刺对于全自动检验系统的运行有不良影响,所以应在加工环节配置去毛刺机。

去毛刺机主要由床身、工作台、立柱、横梁、推削装置、冷却装置、液压夹紧装置、上料装置、下料装置、数控系统、电气系统、排屑装置、润滑装置、防护装置、液压站等组成。

采用两套专用推削装置,在一块带有火切渣坯料的上下角同时进行加工;外侧配置有挡屑罩,其能有效将长屑、飞溅的碎屑挡于罩内;设置专用刮屑板,当完成毛刺清理后,启动刮屑装置,把板坯侧端面残留铁渣刮除;推屑加工产生的碎屑、长屑由导屑装置导入水平链板式铁屑输送机,并送入铁屑破碎机内。粉碎铁屑后,将其直接排入系统排屑器内,就不会导致铁屑堆积。通过以上技术手段,可实现自动去毛刺,并满足连铸坯试样后续加工的要求。

#### 1.3.3 全自动板坯铣磨床

作为精加工的核心设备,端面铣削研磨机床在低倍试样加工领域的应用已经较为普及<sup>[6]</sup>。为了适应自动化系统,需要对其控制系统和排屑装置进行改造。

机床采用定梁龙门式布局,其主要由床身、工作台、龙门立柱、横梁、自动找平装置、铣削装置、砂带磨削装置、刮削装置、风冷装置、数控系统、液压夹紧装置、电气系统、排屑装置、润滑装置、防护装置、液压站等组成,可以完成自动换刀、自动定位、自动夹紧、自动清屑、自动铣削、自动磨削等工作。

恒压力随动磨削技术可以有效解决加工过程中砂带恒力磨削不断带的问题。另外,在加工时,除被加工的试样外,其余部位均被防护装置遮盖,以确保铁屑不落入工作台内,且工作台上设有高压强风装置,将切削的铁屑吹入到排屑器中,以保证磨削砂带不断带。

#### 1.3.4 全自动低倍强力铣床

同样地,也可用强力铣床代替铣磨床进行精加工。强力铣床主体为龙门框架定梁式结构,由床身、工作台、龙门立柱、横梁、调平装置、铣削装置、冷却装置、数控系统、液压夹紧装置、电气系统、排屑装置、润滑装置、防护装置、液压站等组成。加工过程采用刀具自动更换系统,实现先粗铣、再精铣的全过程精度控制,保证试样尺寸加工精度及表面粗糙度不大于  $1.6\ \mu\text{m}$ ,仅通过铣削就可以满足低倍试样的检测要求。

### 1.4 酸蚀工艺

#### 1.4.1 全自动热酸腐蚀试验装置

由于热酸腐蚀法适用范围广,且被国标推荐为仲裁检验方法,因此研究全自动热酸腐蚀试验技术有重要指导意义。

全自动热酸腐蚀试验装置由样品传输系统、自动热酸腐蚀槽、酸液循环加热罐、沉淀罐、新酸罐、碱液罐、废液罐、热水系统、干燥系统及电控系统等组成。热酸腐蚀槽的盖子与槽体的接触面密封,盖子由气缸驱动,由工控台控制槽盖开启与关闭,负压式侧吸风。

整套装置通过自吸泵实现酸液、碱液和废液在各罐体和工位之间的流转,通过控制系统实现设备控制、顺序控制、自动位置控制、速度控制、各种操作界面、故障报警、数据采集及与各机电一体化设备接口统一集成通信等实时控制功能。

其试样转运可与试样加工环节的机械手联合使用,确保整个试验流程一体化。

#### 1.4.2 全自动电解腐蚀试验装置

全自动电解腐蚀试验装置<sup>[7]</sup>具有效率高、操作简单、消耗低、环保友好等特点,在同类产品中具有

一定的领先优势。

该装置主要由上下料承载转运平台、试样翻转装置、酸液循环冷却装置、电解腐蚀箱体、清洗装置、烘干装置等组成。

系统实现无人值守自动化作业。试样由导轨机器人运送至翻转机构内,执行翻转  $180^\circ$  程序;行走机构执行取试样程序;主机腐蚀行走小车夹持试样,执行酸腐蚀、酸洗、碱洗、吹风等步骤;另一台行走机构在出料口下方接收到试样之后,运送至另一台翻转结构处,执行翻转  $180^\circ$  程序,为后续扫描成像工序做准备。

### 1.5 扫描成像工艺

扫描成像装置由进料系统、调平系统、测厚装置、相机运动系统、扫描相机、直线导轨、计算机等系列部件组成。为保证试样拍照面的平行度,设置调平装置,内置自动测高仪,可实现相机自动调整焦距。

在酸蚀后,将试样运送至等待工位。工业摄像头通过线性装置移动到等待位置,相机自动调整焦距后,工业相机随着线性机构运动连续拍摄高清图像,软件自动记录图像信息,形成一张完整板坯图像并上传。远端计算机对图片自动编辑,将图片剪切成同试样规格尺寸一致的图片,同时计算机与上端数据库通讯,读取坯样完整编号。

### 1.6 环保装置

为改善操作人员的工作环境,提高环保合规性,全自动低倍检验系统应具备完善的环保处理能力,采用全封闭式酸洗或电解工艺,酸洗过程无泄漏、无挥发,确保腐蚀机外与室内没有酸液和酸雾污染。无论热酸腐蚀、冷酸腐蚀还是电解腐蚀,环保装置主要体现在酸雾自动处理和废液自动处理两方面。

#### 1.6.1 热酸腐蚀环保装置

(1) 酸雾自动收集和处理:对酸雾进行自动抽风,并在酸雾处理塔内进行喷淋酸碱中合,气体净化后经烟囱排入大气。

(2) 废液自动收集和处理:酸洗装置和酸雾处理装置产生的废液均用废液罐收集,定期进行加药中和处理,接入全厂中水系统或由罐车定期运走。

系统同时具备酸浓度监测、新酸和碱液流量监测、自动液位检测和报警、尾气监测和报警等功能。

#### 1.6.2 电解腐蚀环保装置

(1) 酸雾自动收集和处理:对酸雾进行自动抽风,气体被腐蚀试验机上方的吸风罩收集后,由管道送入 SDG(干式酸气吸附剂)吸附装置,经过 SDG

吸附剂吸附净化后,气体可达到环保排放标准,酸雾出口 HCl 的排放浓度小于 10 mg/m<sup>3</sup>,由风机送入排气筒排放。在排气筒上安装 HCl 浓度实时监测设备,对 HCl 排放浓度监测并预警。

(2) 废液自动收集和处理方式与热酸腐蚀的方

式类似。

### 1.7 全自动低倍检验工艺流程

笔者结合钢厂已经应用的案例和正在参与设计和建设的国内某大型钢厂的低倍实验室方案,制定了全自动低倍检验工艺流程(见图 1)。

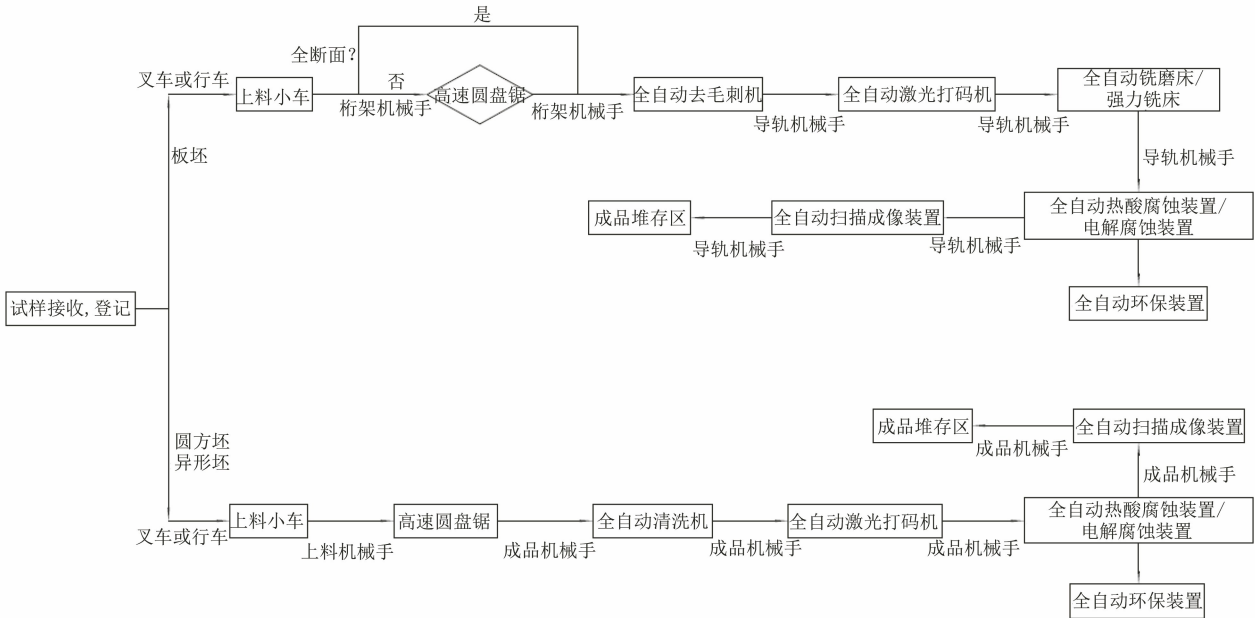


图 1 全自动低倍检验工艺流程图

## 2 全自动低倍实验室建设

### 2.1 工厂设计建议

#### 2.1.1 工艺总体布局

全自动低倍检验系统可整体布置在厂房内,厂房类似物理加工车间。考虑到上料方便,整个系统的上料系统应靠近主通道和大门布置。试样加工设备、酸蚀设备宜布置在导轨机械手两侧,形成椭圆形布局,以提高机械手的运行效率。原则上,厂房可不再设置起重机,但为了检修和吊装方便,也可保留。如设置起重机,要保证腐蚀装置排气管道、桁架机械手等不和起重机相互干涉。

环保装置宜在厂房外单独占地,并尽量靠近酸蚀装置,以方便新酸、废液、排风装置连接。室外还需预留除尘设施、废屑收集装置、空压机等公辅设施的位置。

#### 2.1.2 对土建的要求

为防止不均匀沉降对机械手运行精度的影响,要设计整体基础,针对沿海沿江布局的钢厂,主体设备还需打桩。为防止振动较大设备对周边设备的影响,可设计减震沟。

#### 2.1.3 对配管的要求

为保证全自动实验室的美观整洁,宜对各设备

的用电、压缩空气、生活水配管等进行暗装,可采用埋管和开地沟的方式。建议不要在地面上布置电缆保护槽。

#### 2.1.4 对控制系统的要求

设备集成商自带的控制系统要能与检化验 L2 系统连通,建议设置集中控制室,在集控室可远程控制,也可监控设备的运行状态。

### 2.2 实验室管理建议

#### 2.2.1 加大低倍组织缺陷自动评级软件的研发力度

针对疏松、偏析、裂纹等常见的低倍组织缺陷,在酸蚀试验过程标准化的基础上,各实验室可积累大量的电子图片,这些特定工艺参数、特定试验条件的图片数据库对于自动评级十分重要。钢厂实验室应加大与智能化部门、科研院所的合作力度,在收集大量照片的基础上,请专家判定,建立专家库,力争提升人工智能(AI)图像识别系统的比对成功率,最终开发出可大规模市场推广的 AI 低倍组织缺陷评级系统,彻底打通全自动低倍检验的最后一环。

#### 2.2.2 建立自动化集控系统

搭建 L1.5 系统(将 L2 系统的信息再进行细化,转化为指令传递至不同厂家、不同功能的每一台加

(下转第 12 页)

表3 某钢厂高炉全自动在线取制样与检测系统技术指标

有效 容积/m <sup>3</sup>	利用系数/ (t·m <sup>-3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	平均产量/ (t·d <sup>-1</sup> )	风压/MPa	风温/℃	风量/Nm <sup>3</sup>	顶压/MPa	燃料比/ (kg·t <sup>-1</sup> )	煤比/ (kg·t <sup>-1</sup> )	富氧率/%
1 860	3.7	6 891.2	0.46	1 220	4 302	0.26	510.8	145.6	6.09

先进的原燃料全自动在线取制样与检测系统能够准确、及时地指导高炉生产,真实反映入炉原燃料的质量情况,便于高炉操作者根据原燃料的质量波动情况,快速、精准地做出判断,进而采取合理的生产操作制度。该系统自动化、智能化程度高,应用范围覆盖烧结矿、球团矿、块矿、熔剂、焦炭等高炉冶炼所用的所有原燃料。

**参考文献:**

[1] 朱仁良,王跃飞,鲁健,等. 宝钢大型高炉操作与管理[M]. 北京:冶金工业出版社,2015.  
 [2] 赵蕴智,张懋功. 钢铁原燃料质量检验[M]. 香港:香

港文汇出版社,2006.

[3] 高海潮. 马钢炼铁技术与管理[M]. 北京:冶金工业出版社,2018.  
 [4] 项钟庸,王筱留. 高炉设计:炼铁工艺设计理论与实践[M]. 北京:冶金工业出版社,2014.  
 [5] 林成城. 高炉原燃料条件劣化的技术对策[J]. 炼铁, 2008,27(6):3-6.  
 [6] 王志堂,刘卯. 马钢 2 500 m<sup>3</sup> 高炉原燃料劣化条件下降低焦比的生产实践[J]. 中国冶金,2014,24(7):48-54.  
 [7] 魏功亮,黎均红,宋明明,等. 重钢高炉原燃料劣化的技术管理对策探讨[J]. 重钢技术,2016(2):6-12.

(上接第7页)

工、试验设备),该系统可搭载状态跟踪预警系统、集控室终端、远程移动终端等,最终形成智能总控。

**3 结语**

智慧检测、绿色检测在提升试验精度、改善劳动环境、提高劳动效率、环保合规等方面有明显的优势,随着自动换刀、自动除铁屑、自动去毛刺、自动评级这4个技术难点逐渐被攻克,研究全自动工艺在连铸坯低倍检验领域的应用,并早日建成一批自动化程度高的低倍检验实验室具有重大意义。

对于特殊钢、宽厚板等低倍检验试样量较大的钢铁企业,在投资预算允许的前提下,建议充分调研目前已建成或在建的同类实验室的现状,分析其优势和不足,积极研究推进连铸坯全自动低倍检验系统的实施。

另一方面,企业要结合实际情况,如果连铸坯试样的规格尺寸较多、材料种类复杂,则要充分考虑全自动检验系统的适用性。如果连铸坯低倍检验试样

数量较少,则要充分考虑全自动检验系统的经济性。

**参考文献:**

[1] 李晓曼,耿小红,乐金涛. 长流程钢铁企业检化验设施的现代化设计[J]. 中国冶金,2017,27(5):69-74.  
 [2] 曾宪春. 现代快速自动化分析实验室进展[J]. 理化检验(化学分册),2014,50(7):887-891.  
 [3] 金再柯,乐金涛. 钢铁企业成品性能检测流程自动化建设工作思考与探索[J]. 理化检验(物理分册), 2018,54(12):857-861,890.  
 [4] 苏群,王威,李晓昕. 低倍酸洗自动化系统的应用[J]. 甘肃冶金,2019,41(2):107-110.  
 [5] 王齐帅,刘晓峰,蔡国平. 可变结构空间桁架机械臂的动力学建模[J]. 力学季刊,2016,37(3):441-446.  
 [6] 周立富. 试样加工技术的创新与发展[J]. 物理测试, 2011,29(增刊1):109-114.  
 [7] 彭勃,李春阳. 全自动电解腐蚀技术在连铸坯低倍检验中的应用[J]. 理化检验(物理分册),2015,51(12):858-862,866.