

# 热处理炉温场检测方法分析

秦建清

(常熟市产品质量监督检验所,江苏 苏州 215500)

**摘要:**为实现对热处理炉温度均匀性测试,本文从三种常用测试方法中选取一种专用黑匣子测温装置作为测试仪器,在工件表面完成13个测温点的布设,并采用体积法进行热处理炉加工板坯件过程的温度变化量测试。检测结果显示,黑匣子测温装置能够有效满足高温环境下处于连续运动状态下板坯件的温场测试需求,不同测点处的温度数值均符合预设指标,整体温度偏差量控制在 $\pm 8^{\circ}\text{C}$ 范围内,符合工艺设计要求,能为连续炉热处理工艺流程优化与板坯加工质量提供有效测试方法。

**关键词:**热处理炉;温度场;温度均匀性

**中图分类号:** TG115.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-7344(2021)39-0132-02

## 0 引言

热处理炉是基于热处理工艺加工工件的重要生产装置,受制于设备体积庞大、辊道传输特性的影响,采用传统传感器装置无法实现对工艺处理过程中板坯件表面和内部温度的实时探测,且无法为热处理炉温度均匀性测试提供有效数据支持,因此对检测方法的优化与创新提出现实要求。

## 1 常用测试方法分析

### 1.1 专用测温装置

当前常用一种黑匣子测试仪进行热处理炉的炉温测试,该测试仪利用高精度转换电路将热电偶信号转换为温度信号,并存储在软件系统中。在黑匣子内部设有各路测温通道,可兼容不同热电偶传感器,在炉内高温条件下仍具备良好的稳定性,保证测温数据精度达标、采样周期连续可调,且支持连续存储、记录一段较长时间范围内的炉温数据,配备多级热防护箱实现对热处理炉温度、板坯工件温度的跟踪测试,为热处理炉温度均匀性以及热处理工艺效果评价提供参考数据<sup>[1]</sup>。在实际检测过程中,可引入陶瓷抗干扰技术屏蔽电流干扰,保证传感器测试结果的精确度。

### 1.2 红外探测技术

该技术作为一种非接触性测试技术,在高温条件下主要面临背景辐射、反射与烟气微粒散射、吸收、衰减等因素的干扰,对探测仪器的光谱响应特性提出较高要求<sup>[2]</sup>。在实际测试环节,工件在热处理炉内经由加热升温等一系列过程将产生热辐射信号,在此条件下利用双光路光学系统捕捉信号,基于红外光谱模型确定具体红外波段,利用红外线探测器实现感光,并将产生的电信号转换为图像后传输至数字处理系统中生成具体测量结果。

### 1.3 探头推进器技术

该技术在应用环节主要受制于光谱辐照度指标的干扰,需依

次完成器件修正、背景修正,建立光谱辐照度比与温度数值间的正确函数关系,完成校正,并经由温度演算后获取背景温度、辐射率两项测量参数,用于实现对被测工件温度的判断<sup>[3]</sup>。

## 2 检测方法应用结果

### 2.1 项目概况

以某制造公司热处理炉温场检测项目为例,该公司主要从事不锈钢板坯的生产制造,选用连续式热处理炉作为生产装置,由于工件形状和尺寸固定、采用批量化生产模式,在韧性、强度、抗疲劳性与耐腐蚀性等方面的质量要求较高,需确保经由热处理后的板坯能够伴随辊道保持同步移动,对于工件热处理环节的炉温控制精度、温度均匀性以及操作便捷度等均提出更高要求。

### 2.2 检测方法

#### 2.2.1 检测思路与原理

该公司原本使用插入式传感器进行工件热处理环节的温度变化情况测试,但板坯体积较大,伴随辊道保持同步运动,而插入式传感器的测试位置较为固定,因此无法获取到板坯的实时温度变化数据。后续引入红外测温仪进行温度场测试,但该仪器仅适用于测量板坯的表面温度,无法实现对内部温度与热处理炉温度均匀性测试。本项目基于《热处理炉有效加热区测定方法》(GB/T 9452—2012)标准要求,选用一种专用黑匣子炉温测试装置装入炉内,用于实现对板坯热处理过程中炉膛温度的直接测试。该装置主要依托数据分析管理软件提供算法支持,登录软件后可实现对装置采样周期、温度传感器参数、通道补偿等指标的调节,并且提供数据导出与备份服务。在软件界面设计上,温度显示界面主要提供不同测点与位置处的传感器测量温度数据,直观掌握炉内温度分布与变化特征;图形化数据分析界面可提供温度采样周期、具体温度数值等参数,并汇总数据建立温度变化曲线,便于直观呈现温度谷值、温度峰值以及升温速率等

参数。

### 2.2.2 检测条件

该项目中选用的连续式热处理炉尺寸规格为 126m×4.5m×3.2m,采用分区控温模式,共划分出 24 个控温区,涉及预热、加热、均热三个工艺段,整体热处理过程温度控制在 400~1000°C 范围内,精度等级为 C 级,将温度数据允许偏差值控制在±8°C 范围内。在检测条件设计上,分别选取 450°C、750°C、950°C 三个点作为温度测点,选用规格为 6m×3.5m×0.1m 的模具钢作为待测工件,将黑匣子安装在钢坯体上,运用体积法进行炉温均匀性测试。

### 2.2.3 检测过程

基于体积法进行炉温测试,在钢坯体内部划分出横截面 A、横截面 B 和中心横截面作为测温截面,三个截面均保持平行,共布设 13 个测点,在各测点处安装热电偶、确认修正因子(测点布设情况如图 1 所示)。以横截面 A、B 的对角线为基准,沿交叉方向分别设置三个测温点,其中横截面 A 上的测点为 1#、2#、3#,横截面 B 上的测点为 9#、10#、11#;在中心横截面上沿两对角线交叉共布设 5 个测点,其中 4#、6#、8# 三个测点与横截面 A 上的三个测点保持对称,5#、7# 两个测点与横截面 B 上的 11#、9# 测点保持对称;在中心横截面与横截面 A、B 之间各设有 1 个测点,记作 12# 和 13#,分别位于钢坯体的上、下表面。在各测温点的深度设计上,1#、4#、7#、9# 四个测点深度均为 20mm,2#、6#、10# 三个测点深度设为 50mm,3#、5#、8#、11# 四个测点深度均为 80mm,12#、13# 两个测点位于钢坯表面、深度为 0。

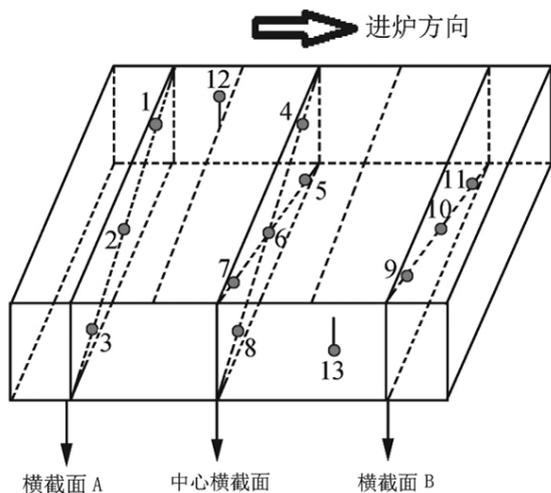


图 1 钢坯体上横截面与测温点布设

在测试程序设计上,在系统中加入修正因子进行温度数值的修正,以 1min 为单位时间进行温度数值的记录。待在钢坯体上完成 13 个热电偶的安装后,将黑匣子与钢坯体连接,记录通道、热电偶的对应关系。将热处理炉上的 24 个温度分区对应的温度值分别划归在 450°C、750°C 和 950°C 区间内,启动处理炉进行预热,待观察到炉温变化幅度保持在稳定区间内后,从辊道将钢坯体送入炉中,基于标准工艺流程进行试验参数设定,保证钢坯体在辊道上保持匀速向前,待钢坯体加工结束后,经过喷淋机冷却处理并就位,此时拆下安装在钢坯体上的黑匣子,将测量数据上传至计算机中,获取到不同时间下各通道的温度测量结果,并

建立温度变化曲线。

### 2.3 检测结果分析

首先将热处理炉的预热、加热、均热三个工艺段温度均设定为 450°C,待热处理炉运行至预设温度值后,保温 0.5h,再将钢坯体从辊道送入炉中,试验结束后测得热处理工艺共耗时 349min。观察升温过程曲线与均热段曲线可知,在钢坯体送入炉中后,炉内温度处于不断升高趋势,待到达预设温度 450°C 后处于均温平衡状态,在温度升高过程中传感器测量数值与升温曲线上的变化量基本保持一致,仅在温度变化速率上存在一定差别,其主要影响因素为测温点的布设位置。在钢坯体温度与炉内环境温度维持在平衡状态下后,将测温点数据与传感器测量结果进行比较,可发现不同测点的温度值偏差基本控制在±8°C 范围内,证实热处理炉的温度均匀性保持在理想程度。

其次将热处理炉不同工艺段温度均设定为 750°C,待热处理炉运行至预设温度后,保温 0.5h,随后送入钢坯体进行测试,试验结束后测得整体工艺处理流程耗时约为 269min。观察升温曲线与均热段曲线可知,在钢坯体从初始温度升高至 750°C 的过程中,传感器记录结果与曲线测试数值变化趋势保持相似,仅升温速率存在一定差别,同样受测温点布设情况的影响。待钢坯体温度与炉温保持平衡后,测得测温点与传感器测量数据的偏差值不超过±8°C,说明热处理炉运行过程中炉温均匀性较高。

最后将热处理炉三个工艺段温度均设定为 950°C,待热处理炉运行至预设温度后,保温 0.5h,再送入钢坯体进行测试,试验结束后测得工艺处理流程耗时约为 205min。观察升温曲线、均热段曲线可知,在钢坯体整体升温过程中,不同工艺段的温度变化范围整体保持一致,仅升温速率存在差异,测温点布设是造成该问题的主要原因。待钢坯体温度与炉内温度维持在平衡状态后,测得传感器记录结果的温差值均不超过±8°C,进一步证明炉温具备良好均匀度。

## 3 结论

通过介绍当前热处理工艺中常用的三种测温方法,结合项目实例选用黑匣子测温装置对选定的三个工作温度点进行温场测试,采用体积法进行炉温均匀性检测。检测结果显示,该测温装置基于预设测试方案与软件应用程序完成钢坯体热处理过程的温度测试目标,测得热处理炉的炉内温度变化具备良好的均匀性,符合板坯加工工艺质量要求,能够为同类热处理炉性能测试与技术验证提供有效借鉴思路。

### 参考文献

- [1] 郝国旺. 国内首次在三排步进式加热炉炉温均匀性测试实践[C]// 2019 钢带质量控制技术研讨会论文集, 2019: 72-77.
- [2] 郭智维, 宋承翰, 刘子成, 等. 不同热处理连续炉用热需求 AI 模型建立与分析[J]. 燃烧季刊, 2020(108): 43-59.
- [3] 周琳琳, 宋舫, 王召宝. 悬挂式转向节回火炉炉温控制及优化[J]. 锻造与冲压, 2019(19): 48-50.

收稿日期: 2021-09-02

作者简介: 秦建清(1970—), 男, 汉族, 江苏常熟人, 本科, 高级工程师, 主要从事热学计量、产品质量检测工作。