

热处理炉工艺温度仪表系统的校准与调整

■ 柴俊彬, 王军, 张荣

摘要: 热处理炉的炉温控制关系到热处理的质量, 实现热处理炉的炉温度控制的主要元件是热电偶和仪表, 热电偶和仪表有周期性的校验, 系统精度测试是一种简便的行之有效的方法, 可以监控热电偶和仪表的使用情况, 确保热处理温度控制和记录正确。

关键词: 热处理炉; 热电偶; 仪表; 系统精度测试

热处理工艺是指将零件在某一加热介质中加热至一定温度, 在该温度下保温一段时间, 然后以一定方式冷却从而得到一定的组织和性能的热加工方法。温度、时间及冷却方式是热处理过程中的三个主要因素, 其中工艺温度是关键, 热处理炉是提供符合热处理工艺温度要求的设备, 炉子上配置的工艺温度仪表系统用于热处理温度的控制、监测和记录。

热处理工艺质量判断时, 工艺温度仪表显示和记录的数据是最重要的依据。美国宇航标准AMS2750E《高温测量》根据工艺温度仪表系统的复杂程度, 将热处理炉的工艺温度仪表分为A、B、C、D、E等5种类型, 国内的HB5425《航空制件热处理炉有效加热区测定方法》和GB/T30825《热处理温度测量》也给出了同样的规定。本文着重介绍工艺温度仪表系统校准和调整的方法。

一、工艺温度仪表系统校准的必要性

1. 工艺温度仪表系统校准

工艺温度仪表系统由热电偶(或热电阻)、连接导线和温度二次仪表组成。工艺温度仪表系统校准是指工艺温度仪表(含引线、传感器)的读数或值进行现场比较, 以便确定已测量的温度偏差是否均在有关要求范围内的一组操作。在AMS2750E中也称为“系统精度测试(SAT)或探针检查”, 其目的是确保炉子的温控系统及每个控制区的记录仪表系统的准确度符合要求。

国内外相关技术标准要求, 新购置或大修后的热处理炉, 使用前除了对工艺温度传感器和仪表进行校准外, 还需要完成两项更重要的工作: 一是进行工艺温度仪表系统校准, 以确定该系统的偏差是否符合要求; 二是进行有效加热区温度均匀度的检测, 确定热处理炉具有符合工艺要求

的工作空间。在温度均匀度检测过程中, 若检测结果表明整体温度偏高或偏低, 则需要对工艺仪表进行调整。使用中的热处理炉也需要按规定的时间间隔进行工艺温度仪表系统校准, 这是保证热处理满足工艺要求的重要手段之一, 不可或缺。

2. 变化的工艺温度仪表系统

炉温均匀度是考核炉子能否满足工艺温度要求的关键指标。炉温均匀度检测是一个复杂、使用传感器多、检测时间长且在非生产状态下进行的过程, 无法经常性或短周期进行。

炉温均匀度是否可靠, 主要取决于热处理炉内加热元件的发热特性和工艺温度仪表系统的测量与控制能力。在稳定的控制条件下, 加热元件产生的热量以及形成的温度分布状态具有较好的重复性。假若工艺温度仪表系统是相对稳定的, 炉温均匀度也会在上次检测结果的较小范围内变

化,有效实现工艺温度的控制。因此,在两次温度均匀度检测之间进行多次工艺温度仪表系统校准是对炉温进行控制的一个好办法,尽管这不是保证炉温均匀度符合工艺要求的唯一方法,却是比较容易操作的方法。

那么,是什么原因导致工艺温度仪表系统变化呢?可从以下几个方面进行分析。

(1) 设备现场环境条件的影响,特别是环境温度的变化,使得工艺温度传感器、连接导线和工艺温度仪表的计量特性处在不断变化之中。

(2) 热电偶在炉内气氛中被加热和冷却,会导致电偶的电极晶粒长大、氧化、腐蚀或成分挥发等,使得热电偶的热特性发生变化。

(3) 工艺温度仪表自身老化导致的计量特性变化。这些变化会导致工艺温度仪表系统的变化,使热处理炉的温度控制点发生偏离,炉子的实际温度偏离工艺温度。在使用现场、使用过程中经常性进行工艺温度仪表系统校准,使其综合偏差控制在一个可接受的范围内,可保证工艺温度在一个合理的范围变化。

AMS2750E规定,工作用廉金属热电偶作为工艺传感器,仅需在首次使用前校验,之后无需再校准。根据历次工艺温度仪表系统校准结果的变化,确定是否需要更换工艺传感器。

二、工艺温度系统校准方法

在AMS2750E、GJB509B和GB/T30825中给出了近似的规

定。GJB509B没有给出具体的操作要求。综合不同标准的规定,在工艺温度仪表系统校准时,应符合以下几个方面的要求。

1. 校准装置

校准装置是由校准用温度传感器(热电偶或热电阻)、连接导线和校准仪表组成,它应该是一个稳定的、经过校准已知误差的系统。

校准用传感器的示值误差应符合 $\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 或0.4%读数,其测量端与工艺传感器测温端之间的距离不大于76mm,越近越好,以便减少空间距离对校准结果的影响。在此后的校准中,校准用传感器安装的位置和方向应保持不变,以确保历次校准数据之间的可比较性。

允许在进行校准的当时安装校准用传感器,也允许采用驻留校准用传感器的方法。采用驻留校准用传感器存在一定的风险,因为在热处理炉的加热和冷却过程中,任何类型温度传感器的计量特性都会发生变化,这种变化无疑会反映在校准结果中,使得校准结果不可靠。

校准仪表的示值误差应符合 $\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 或0.4%读数,具有较高的分辨力和适应热处理炉子工作现场环境条件的能力。应尽量减少连接导线对校准结果的影响,当以热电偶为校准用传感器时,应采用与传感器和仪表相同分度号的经过校准的补偿导线;当以热电阻为校准用传感器,引线电阻则是考虑的关键因素。

2. 校准温度的选择

校准可以在热处理工艺过程

中进行,工艺温度作为校准温度,使得校准工作不影响生产进度。也可以单独进行,可以选择近期常用的工艺温度或具有代表性的温度作为校准温度。不必在多个温度进行校准,因为校准仅是对工艺温度仪表系统准确度的验证,只要能够表明系统没有较大的偏离或保持了必要的稳定性即可。

3. 校准温度差值的计算

测量数据的获取和处理是工艺温度仪表系统符合性判断的重要环节。在读取工艺温度仪表和校准仪表的读数时,需要满足两个条件:

其一,读数应在炉温处于稳定状态下进行,若工艺温度仪表显示值是稳定的或呈周期性变化,则表明炉温达到稳定状态。

其二,应同时读取工艺仪表和校准仪表的读数,或在最短时间内完成读数的操作,这样可以减少炉温波动对工艺温度仪表系统校准结果的影响。

在进行测量数据处理时,为了准确获得工艺温度仪表系统的偏差,校准仪表的读数需要根据校准用传感器和仪表校准证书上给出的误差进行修正。对于工艺仪表读数而言,因为工艺仪表中可能存在由于仪表校准、工艺温度仪表系统校准和炉温均匀度检测的调整值,情况略显复杂,这些调整值改变了工艺仪表的读数。根据调整值来源方式不同,分为以下几种情况进行说明。

(1) 若热处理炉日常使用或温度均匀度检测时,工艺仪表设定值以及显示和记录的数据需

要根据工艺传感器和仪表的校准误差进行修正的，在SAT数据处理时，也应根据最近一次工艺传感器和仪表的校准误差进行修正；若热处理炉日常使用或温度均匀度检测时，工艺仪表设定值以及显示和记录的数据不需要根据工艺传感器和仪表的校准误差进行修正，在SAT数据处理时，不对工艺传感器和仪表的校准误差进行修正。

(2) 工艺温度仪表校准时，由于示值误差超过了规定的允许误差，应对工艺仪表读数进行调整。调整的目的是为了使仪表的示值符合规定，SAT数据处理时，该调整值不用于工艺仪表读数的修正。

(3) 工艺温度仪表系统校准时，若校准结果超出了范围或接近边界，应对工艺仪表读数进行调整。调整的目的是为了使工艺温度仪表系统的偏差符合规定的要求，SAT数据处理时，该调整值不用于工艺仪表读数的修正，否则，合格的结果将重新回到不合格状态。

(4) 炉温均匀度检测时，由于控制点与实际温度均匀性检测结果的中心点存在偏差，应对工艺仪表读数进行调整。调整是额外施加给工艺温度仪表系统的，并非系统自身的偏离而实施的调整，SAT数据处理时，该调整值需要在工艺仪表读数中予以修正。

4. 校准间隔的规定

AMS2750E、GJB509B、GB/T30825中给出了不同类别和不同仪表类型热处理炉工艺温度

仪表系统的时间间隔。时间间隔与温度均匀度的允许范围有关，允许偏差越小，间隔越短；时间间隔与仪表类型有关，配置更多的工艺温度仪表系统，可通过这些测量数据之间的比较验证确定工艺温度的稳定性，可以采用较长的间隔。时间间隔与工艺传感器的稳定性有关，若使用了铂电阻、贵金属热电偶以及N型等较稳定的工艺传感器，也可以延长时间间隔。若炉子额外增加了工艺温度仪表系统，其他系统使用了稳定的传感器或多工艺传感器进行及时更换，并对不同系统得到的数据及时进行相互验证，也可以免除工艺温度仪表系统校准。

5. 需校准的工艺温度仪表

不同类型仪表的热处理炉配置不同数量的工艺传感器和仪表，凡是数据用于热处理质量判断的工艺温度仪表系统，均应进行校准；凡是数据不用于热处理质量判断的工艺温度仪表系统，则不必进行校准，如仅用于超温报警的仪表系统。对于控制传感器而言，不仅需要对控制仪表的读数进行校准，还要对记录仪表的读数进行校准。对于其他的附加系统，如负载热电偶，有效加热区上次检测确定的高温传感器和低温传感器等系统，需要进行工艺温度仪表系统校准。

三、校准结果分析

工艺温度仪表系统校准的目的是考核它的稳定性，我们需要一个稳定的系统。即使其有较大的偏差，也可以通过修正或对

其读数调整来消除这样的偏差，而一个不稳定的系统是无法控制的。

热处理炉的类别以及同一类别的不同温度，AMS2750E和GJB509B、GB/T30825给出了不同的工艺温度仪表系统偏差的要求，这是判断是否符合要求的依据。温度均匀度允许范围越大，或工艺温度越高，工艺温度仪表系统偏差的允许范围也越大，这符合测量系统的一般特征。

保证工艺温度仪表系统可靠，也取决于系统校准结果的可靠性。校准装置的稳定性、校准方法的合理性、实际操作的规范性都是保证校准结果可靠的重要环节，数据处理和结果的正确表示也是不可忽略的。

四、工艺温度仪表的调整

若工艺温度仪表系统校准结果不符合要求，需从不同环节查找原因。针对不同情况，进行不同的调整或更换。

若怀疑工艺传感器存在问题，一种情况是工艺传感器超差，可在炉温稳定状态下验证，即使用校准仪表分别测量工艺传感器和校准用传感器的读数，它们之间的差别若不超过工艺传感器允许误差的要求，说明该传感器的示值符合要求，若超出了允许误差的要求，则应更换工艺传感器。另一种情况是工艺传感器的安装位置发生变化，这种移动显然改变了工艺温度仪表系统的偏差。证明工艺传感器被移动的证据可以是工艺传感器安装位置的标记，也可以是校准用传感器

和工艺传感器之间的距离。若确实属于这种情况，应将工艺传感器恢复到原有的位置。

若怀疑工艺仪表存在问题，可利用温度校准仪给工艺仪表输入标称温度值，若工艺仪表读数与标称温度之差不超过允许误差要求，说明仪表的示值误差符合规定；相反说明仪表的示值误差可能超出了规定的范围，应按照规定重新校准仪表，确实不合格的，应进行调整或更换。

若以上的原因都不存在，超差是综合因素作用的结果，此时需要对工艺仪表的显示或记录调整。调整应做好记录，调整后应重新进行工艺温度仪表系统校准。

工艺仪表的调整也包括工艺温度控制参数的调整，如控制方式（位式控制、时间比例控制、PID控制等）、控制参数（切换差、比例带、PID参数等）、输

出功率以及抑制超调系数的调整等。这种调整不是经常的，若炉温均匀度检测结果不符合要求，且不能通过仪表偏置量的调整解决问题时，可以考虑调整仪表的控制参数。若发生了控制传感器类型或插入深度改变、控制仪表类型改变、炉子结构改变、加热元器件或保温材料改变、炉子工作温度范围或有效加热区大小改变，以及其他一些可能改变炉温均匀度的变化，也需要进行控制参数的调整。

进行任何调整前，都要做细致的分析和研究，不要轻易对工艺仪表的偏置量或控制参数进行调整，并在调整后重新进行校准或检测，以表明调整后的状态符合要求。

五、结语

为了保证工艺温度满足热处理的要求，除了进行工艺温度仪

表系统校准外，还应按规定的时间间隔对工艺传感器和仪表进行校准，还应按规定的时间间隔进行温度均匀性检测。对历次的校准结果和检测数据进行分析研究，掌握这些数据的变化规律，采取合理有效的措施，才是保证热处理质量的根本。

作者简介：柴俊彬，中国航发西安航空发动机有限公司计量中心，高级工程师，国防科工局和陕西省国防科工办计量主考人；王军，中国航发西安航空发动机有限公司工艺中心，研究员级工程师，热处理专家；张荣，中国航发西安航空发动机有限公司计量中心，高级工程师，国防科工局和陕西省国防科工办计量主考人。

MW 20170518

《金属加工（冷加工）》2017年第19期要目

系统集成化生产模式初探

新松6轴机器人打磨轴承盖方法研究

CGMT2017：聚焦智能制造自动化

雄克小批量自动化生产解决方案

用中国大脑装备中国制造

烟台环球机床成功举办第十届师父节

德国阿库已成为高端产品保障的代名词

高档数控机床专项成果评价指标体系的建立

磨削机床砂轮修整专利技术分析

蓝宝石数控加工工艺优化

万向节球体数控多轴加工工艺改进

应用并管法与拉线法检测长形管材直线度

附件铣头在多面体加工中的应用

挡板夹具的制作及使用

叶轮叶片五轴联动加工解决方案

不锈钢的切削加工

NPT圆锥内螺纹的数控铣削加工

智能机器人清洗机的研发

使用宏程序精简螺杆铣床找正方法

提高机床主轴组件旋转精度的措施

KC65型轮式拖拉机前驱动桥桥壳生产线改进

车床I轴分油环的改进