

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.04.15

浅谈热处理炉有效加热区测定中的几个时间点

冯维华

(中国航发西安航空发动机有限公司计量中心, 陕西 西安 710021)

摘要: 掌握热处理炉性能的主要手段是热处理炉的有效加热区的测定。目前, 国内存在不同的测定方法技术规范。理解测定过程中时间和温度参数间的关系, 可以了解到这些规范的侧重点。理解并掌握了规范, 才可在实际工作中灵活使用规范, 进而体现有效加热区测定的意义。

关键词: 热处理炉; 有效加热区; 测定方法; 阶跃响应

中图分类号: TB94

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)04-0061-03

Introduction on Several Time Points in Determining the Working Zone of Heat Treatment Furnaces

FENG Weihua

(AECC XI'AN AERO-ENGINE LTD., Xi'an 710021, China)

Abstract: It is a major way to determine the working zone of a heat treatment furnace for understanding the heat treatment furnace performance. At present there are different technical specifications on the determination methods in China. After understanding the relation between time and temperature parameters in the determination of the working zone, we can be familiar with these specifications, better in understanding and grasping the specifications, able to use the specifications flexibly in practical work, and understand the significance of the test about the working zone.

Key words: heat treatment furnace; working zone; testing method; step response

0 引言

热处理炉是热加工过程中的关键设备, 其主要参数就是它所提供的有效加热区(也可称“温度场”)的性能, 有效加热区是合理和正确选用热处理炉的前提, 因此对热处理炉有效加热区的测定是热加工的基础, 具有非常重要的意义。

目前, 国内对热处理炉有效加热区测定常用的方法主要有 GB/T 9452-2003《热处理炉有效加热区测定方法》、HB 5425-2012《航空制件热处理炉有效加热区测定方法》、JJF 1376-2012《箱式电阻炉校准规范》等, 部分单位为了外贸加工的要求还依据美国宇航标准 AMS 2750E《高温测量法》等国外标准进行有效加热区测定。这些方法虽然在测定过程的侧重点不同, 但不论依据了哪一个标准, 都是通过不同时间测量热处理炉内各点温度, 确定被测热处理炉的技术参数进而用以指导加工, 因此, 理解这些技术规范中与时间有

关的内容对准确掌握和使用规范是很有必要的。

1 自动控制的阶跃响应理论

热处理的温度控制时, 将炉温从一个温度点控制到下一个目标温度, 实际上是一个典型的阶跃响应的控制过程。为了比较全面地了解这个过程, 先简单介绍一点关于阶跃响应的理论基础, 图1为典型温度控制阶跃响应曲线。

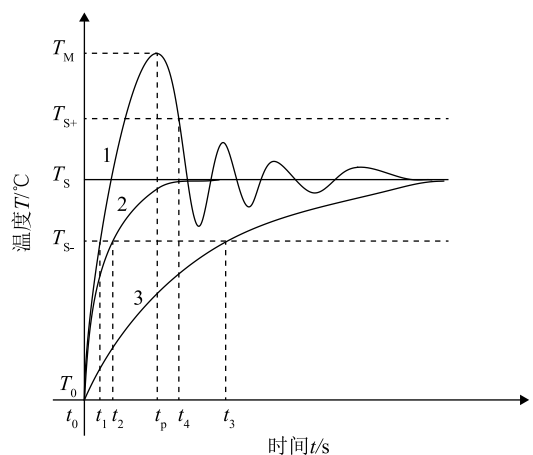


图1 典型温度控制阶跃响应曲线

收稿日期: 2017-04-20

作者简介: 冯维华(1972-), 男, 陕西人, 高级工程师, 主要从事力学、热学计量技术与计量管理工作。

图1中 T_0 为当前温度； T_s 为目标温度； T_{s+} 为允许温度偏差上限； T_{s-} 为允许温度偏差下限； T_M 为最大超调温度； t_0 为当前时间； t_1, t_2, t_3 为上升时间； t_p 为最大超调时间； t_4 为恢复时间。

图1中所示的曲线是实际控制过程中的3种典型的响应过程曲线。曲线1属于欠阻尼控制结果，有超调，存在一定的振荡，响应速度快，但是存在过超调（过冲）的概率大；曲线3属于过阻尼控制结果，基本不会超调，但是响应速度慢，需要的响应时间长；曲线2属于微欠阻尼控制结果，无超调且响应速度快，是比较理想的响应结果。在此需要清楚的是上升时间 t_r （图中 t_1, t_2, t_3 ）、最大超调时间（ t_p ）、恢复时间（ t_4 ）所代表的含义。

有些热处理炉为了达到一定的控制效果，采用分步步进随动的控制方式，但是它的每一个小的步进仍是一个阶跃控制的过程，并且整体也呈现阶跃响应的结果，控制结果依然符合上面典型阶跃控制的规律。

2 热处理有效加热区测定的温度响应

为了达到控温的目的，一台热处理炉一般配置1块或多块控温仪表进行温度调节，但是它们控制的只是有局限性的空间点，使炉子的整体温度接近设定值。在进行有效加热区测定时，需要根据规范的规定和被测炉子的有效加热区几何尺寸选择一些测量点，这些点分布在炉膛内不同的位置，由于每个测量点所处的环境不同，周围的加热器件的功率、保温性、热辐射程度、热对流的通路等许多因素的影响，会呈现出不同的响应特性，各点自成一种响应特性，所以在一台热处理炉内的有效加热区测定时，就可能会同时出现典型温度控制阶跃响应的3种曲线效果。有效加热区的测定过程也就是对这些测量点的响应过程的单个判定和整体评价的过程。

3 有效加热区测定时的时间参数

3.1 测量点温度响应曲线

为了便于说明，将有效加热区测定时不同测量点可能的响应曲线绘制成图2。图中曲线1和曲线2存在超调，曲线4属于慢响应，图的右侧的曲线(4)部分是曲线4的一种后续可能情况，将在后面讨论。

3.2 起始采样时间

除了JJF 1376-2012《箱式电阻炉校准规范》规定“当炉温达到校准温度，并处于热稳定状态后开始读数”外，其它的测定方法都要求“所有测量传感器中，

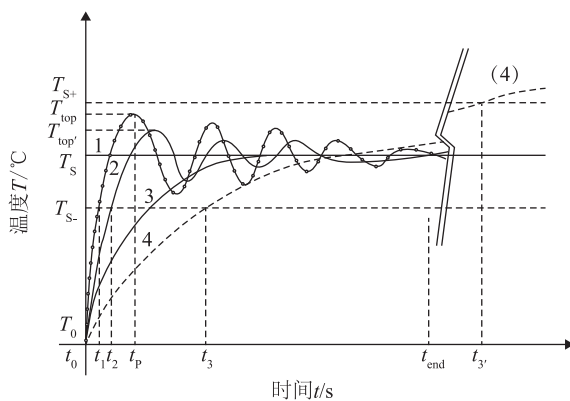


图2 有效加热区测定时部分测量点温度响应曲线

第一支达到设定温度及其要求的均匀性允许偏差下限之前开始采集数据”。也就是说JJF 1376-2012规定的开始测量时间为 t_3 ，而其它规范规定的开始测量时间为 t_1 前，也就是在所有测量点的响应曲线中，最快上升时间段内就应当开始采样监测。在 $t_1 \sim t_3$ 之间的部分，由于测量点的温度还未进入恒温区，因此这段时间属于调整阶段。

同时，GB/T 9452-2003要求不能预先将炉温升到高于检测温度后再降到检测温度，在AMS 2750中也有同样的要求。对预热式的热处理炉，HB 5425-2012规定在测温架放入炉内后立即记录测量数据。这些规范都希望观察到炉子升温到预定值时的控制效果，而JJF 1376-2012没有类似要求。

从 t_1 前开始采样记录，可以观测到整个到达设定温度前的稳定过程（ $t_1 \sim t_3$ ）炉内温度变化情况，以及最大超调出现的时间和最大超调量，这些对有特定使用要求的炉子来说可能是非常重要的技术指标之一。

3.3 采样时间间隔

采样一旦开始，必须按照规定的采样频率不间断的测量，直至该温度点测定结束。采样时间间隔对不同工作方式的热处理炉有不同的要求，对于普通的箱式炉、井式炉、真空炉等一般要求采样周期不超过2 min，除非需要的测量记录时间长且工艺允许才可以适当延长采样周期；而采用类似截面法测量时，由于在每个截面需达到热平衡，采样间隔可能会更长一些。

3.4 结束记录时间

校准规范JJF 1376-2012规定开始采样后测量60 min，GB/T 9452-2003没有具体的规定，而HB 5425-2012和AMS 2750要求在所有测量点的温度达到设定温度均匀性允许偏差之内后再测量30 min，也就是图2中的 $t_{end} - t_3 \geq 30 \text{ min}$ 。

除了 JJF 1376 - 2012 外, 其它的规范都要求, 一般情况下一个温度点的测定不能超过 2 h, 即图 2 中 $t_{\text{end}} - t_1 \leq 2 \text{ h}$ 。这在实际应用中很有必要, 有的人员为了保证升温过程的最大超调不至于突出允许偏差上限, 采用小步步进随动控制方式无限延长升温时间, 这样虽然可以使超调得到控制, 但过长的升温时间会严重降低设备利用率和工作效率, 达不到使用需求。

另外, 在 AMS 2750E 中要求检测过程中应观察所有测量点的温度都有一个下降的过程或测量时长时间稳定。在测量过程中, 如果有任何一点温度一直呈上升趋势就必须注意(比如图 2 中的曲线 4), 以防出现类似曲线(4)的 t_3 处的超出允许偏差上限的情况。如果未检测到下降过程, 则有必要延长检测时间观察趋势直到该趋势出现方可结束。

3.5 最大超调时间

图 1 中, 曲线 1 在 t_p 时出现最大超调, 且该超调量已超出允许偏差上限 T_{s+} , 在这种情况下, 除了以校准规范 JJF 1376 - 2012 作为测定依据外, 选用其它检测规范时就可以宣布检测失败, 后面的测量意义不大, 所以前面的讨论都是基于所有曲线不存在图 1 曲线 1 的前提下的, 图 2 曲线 1 和曲线 2 虽然也有超调, 但最大超调量 $T_{\text{top}} < T_{s+}$, 测量数据有效, 所以在有效加热区测定过程中必须关注最大超调量。

4 工艺时间

有效加热区测定的最终目的是检验热处理设备是

否满足生产的使用要求, 所以生产工艺对热处理炉的一些要求也应在有效加热区测定过程中充分考虑。比如有的工艺过程需要限定升温时间, 有的需要长时间的保温过程, 特别是有时需要同时进行工艺试验。这些在开始测定前都必须了解清楚, 从而确定测量的时间点、测量周期、采样时间间隔、测量总时长等重要时间参数, 对于这些特殊的要求都应该在记录中予以记载。

5 结束语

热处理炉有效加热区测定还涉及炉子结构、装载量、工作气氛等许多参数, 时间只是其中的主要参数之一, 通过对这些时间点背后意义的分析, 可以在热处理有效加热区测定过程中灵活掌握技术标准的精髓。在实际工作中依据客户的需求选择适宜的测定方法, 才能更好的服务用户, 这是有效加热区测定的实际意义。

参考文献

- [1] 夏德铃. 自动控制理论: 上[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [2] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 9452 - 2003 热处理炉有效加热区测定方法[S]: 北京: 中国计量出版社, 2003.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. JJF 1376 - 2012 箱式电阻炉校准规范[S]: 北京: 中国计量出版社, 2012.
- [4] 国家国防科技工业局. HB 5425 - 2012 航空制件热处理炉有效加热区测定方法[S]: 北京: 中国计量出版社, 2012.
- [5] AMS 2750 E(R) Pyrometry[S]. 2012.



2018 年国际计量单位制将重新定义

影响了人类半个世纪的国际计量体系, 即将发生重大变革。

国际单位制(SI)是全球统一的计量单位制, 是构成国际计量体系的基石。国际单位制的核心是 7 个基本单位, 即时间单位“秒”、长度单位“米”、质量单位“千克”、热力学温度“开尔文”、电流单位“安培”、发光强度单位“坎德拉”和物质的量单位“摩尔”。自 1971 年以来, 这 7 个基本量, 一直作为国际单位制的基本单位。

近年来, 随着量子技术与互联网技术的结合, 相关工作取得重要进展。在此基础上, 国际度量衡委员会目前正在起草关于重新修订 SI 的草案, 该草案有望于 2018 年被国际计量大会采纳。

更正

本刊 2017 年第 3 期(总第 225 期)出版过程中, 排版人员在生成出版文件时字体转换设置有误, 致使第 14、第 16 等 7 个页面中部分公式的括号出现乱码, 影响了读者对文章的阅读理解。在此谨向各位读者表示诚挚的歉意! 在今后的出版工作中, 本刊将进一步严格规范出版流程, 努力为广大读者提供更加优质、专业的内容!

《计测技术》编辑部

2017 年 8 月 28 日