

GB/T 30825—2014《热处理温度测量》应用解读

董小虹¹, 徐跃明², 王广生³, 梁先西¹, 陈志强¹, 吴友维¹

(1. 广东世创金属科技股份有限公司, 广东 佛山 528232; 2. 北京机电研究所, 北京 100083;
3. 北京航空材料研究院, 北京 100095)

摘要: 热处理是通过加热、保温、冷却三个主要过程达到改变材料和零件组织性能, 实现提高机械装备性能和寿命目的, 所以热处理与温度紧密相关联。温度的准确测量和控制是热处理成败的关键。GB/T 30825—2014《热处理温度测量》从热处理设备和仪表系统分类、系统精度校验、温度均匀性测量、温度传感器、仪表、管理等方面提出了要求。为满足热处理的温度准确控制更多和更高要求, 在我国热处理标准中首次提出了对热处理设备的仪表系统的要求。热处理炉仪表系统类型根据温度控制、记录和监控仪表及其温度传感器配置分为 A、B、C、D、E、F 型。标准还系统完善和规定了热处理设备的温度系统精度校验, 对热处理设备温度均匀性、热电偶和仪表提出了更高要求, 标准总体水平与 AMS 2750E 相当, 以适应装备制造业与国际接轨对热处理高要求和国际合作发展的需求。

关键词: 有效加热区; 温度传感器; 温度均匀性; 仪表系统; 系统精度

中图分类号: TG155 **文献标志码:** B **文章编号:** 0254-6051(2016)12-0199-10

Explanation of GB/T 30825—2014 “Pyrometry for heat treatment”

Dong Xiaohong¹, Xu Yueming², Wang Guangsheng³, Liang Xianxi¹, Chen Zhiqiang¹, Wu Youwei¹

(1. Guangdong Strong Metal Technology Co., Ltd., Foshan Guangdong 528313, China;
2. Beijing Research Institute of Mechanical & Electrical Technology, Beijing 100083, China;
3. Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

Abstract: Heat treatment is the way to change components and material's microstructure in order to enhance equipment's performance and lifecycle by the process of heating, heat preservation and cooling. Therefore, temperature is closely related and its accurate measurement and control is the key to success of heat treatment. GB/T 30825—2014—“Pyrometry for heat treatment” raises out requirement for classification of heat treatment furnace, system accuracy test, temperature uniformity surveys, temperature sensors, instrumentation, and management. To satisfy more and higher requirement for temperature control in heat treatment, it was the first time to have request on heat treatment equipment's instruments, categorizing types of A, B, C, D and E according to temperature regulation, recording and monitoring devices and temperature sensor. The standard also systematically provides regulations of temperature system accuracy test and higher requirement for temperature uniformity, thermocouple and instruments. It has overall equivalent level as AMS 2750E, matching for high standard for equipment industry and international cooperation in heat treatment.

Keywords: effective heating zone; temperature sensor; temperature uniformity; instrument system; system accuracy

热处理是通过加热和冷却的方法改变材料的组织、性能及内应力状态的一种热加工工艺, 是机械制造业中提高产品的性能、使用寿命和可靠性的关键环节^[1]。热处理主要有加热、保温、冷却 3 个过程, 因此与温度紧密相关。温度的准确测量和控制是热处理成败的关键。先进工业国家很早就在这方面制定了一系列标准, 如美国波音公司早在 1955 年就有 BAC 5621 “材料工艺过程温度控制”标准, 麦道公司 60 年代也有 DPS 5.00-8 “钢的热处理—高温测量”和后来 DPS 1.700 “高温测量”, 日本制定了日本工业标准 JIS Z

8710 “测量温度方法总则”、JIS Z 8704 “温度测量方法—电气方法”、JIS B 6901 “金属热处理设备—有效加热区测试方法”。德国 2000 年颁布了 DIN 17052-1—2000 “热处理炉温度均匀性要求”等。我国自 20 世纪 80 年代以来, 引进并吸收了热处理全面质量的概念, 于 1986 年以后陆续制定了一些“热处理质量控制”方面的标准, 虽然标准中也涉及到一些热处理温度测量的内容, 但技术内容和要求不全面、不系统, 与国外相比有很大差距。

美国宇航材料规范 AMS 2750 “高温测量”于 1980 年发布, 并且不断更新换代, 一直保持先进性、权威性。随着热处理的进步和发展不断更版, 增加了不少新内容, 2005 年 9 月改版为 SAE AMS 2750D, 2012 年 7 月又改版为 SAE AMS 2750E。这项标准不仅美国热处

收稿日期: 2016-09-20

作者简介: 董小虹(1964—), 男, 高级工程师, 主要从事材料热处理及表面强化技术等方面的研究和应用, E-mail: dxh@strongmetal.com.cn

doi: 10.13251/j.issn.0254-6051.2016.12.042

理行业都采用,而且欧洲、美洲、大洋洲、亚洲等世界范围都认同这项标准,在国际合作中热处理都以这项标准为依据,成为热处理加工企业资质考核 Nadcap 认证的依据。我国在航空工业国际合作和转包生产中已采用了 AMS 2750D,大约有一半以上企业通过 Nadcap 认证。在汽车热处理生产推行的 AIAG CQI-9 热处理系统评估中要求按 AMS 2750D 规定执行,其他行业如风力发电、轴承等行业国际合作或产品出口也要求执行 AMS 2750D。航空企业及汽车零部件加工、风电、轴承一些企业在贯彻 AMS 2750D 过程中,积累了很多经验。国内热处理设备制造厂也生产了很多符合 AMS 2750D 标准的热处理装备,满足了国内热处理加工企业实施 AMS 2750D 标准的需求。为了提高我国热处理水平,以高水平标准促进热处理迅速发展,2014 年全国热处理标准化委员会组织编制了与 AMS 2750E 水平相当的《热处理温度测量》国家标准,编号 GB/T 30825—2014,从而完善了我国热处理标准体系。本文重点介绍 GB/T 30825—2014《热处理温度测量》主要内容,通过实例说明主要条款的含意和采取措施,以此推动这项标准宣贯实施,促进我国热处理发展。

1 《热处理温度测量》适用范围

GB/T 30825—2014《热处理温度测量》适用于高要求热处理和国际合作中热处理,包括高要求的材料和零件热处理,不适用于单纯加热和材料生产过程中的中间热处理。随着科学技术进步和发展,有不少零件使用状态和性能在材料生产厂已完成或部分完成,如铝合金、钛合金、沉淀硬化不锈钢、高温合金、模具钢等,所以必须控制原材料的热处理。《热处理温度测量》标准中包括了原材料的最终热处理要求,但不包括单纯加热和材料生产过程中的中间热处理。在各种热加工工艺中温度测量都很重要,所以其他热加工工艺如焊接、表面处理、复合材料、金属胶接、铸锻工艺等也可参考使用。

2 热处理炉分类

表 1 为各类标准对热处理炉的分类情况,其中 GB/T 30825—2014 对热处理炉按有效加热区的温度均匀性分为 7 类。

与国内现行 JB/T 10175—2008《热处理质量控制要求》、GJB 509B—2008《热处理工艺质量控制要求》

表 1 各标准中热处理炉分类
Table 1 Heat treatment furnace class in different standard

GB/T 30825—2014 GB/T 9452—2012		HB 5425—2012 HB 5354—1994 GJB 509B—2008 JB/T 10175—2008		AMS 2750E		JIS B 6901		DIN 17052-1-2000	
类别	温度均匀性/℃	类别	温度均匀性/℃	类别	温度均匀性/℃	类别	温度均匀性/℃	类别	温度均匀性/℃
I	±3	I	±3	1	±3	1	±3	03A	±4
II	±5	II	±5	2	±6	2	±5	03B	±6
III A	±8	—	—	3	±8	3	±7.5	07A	±8
III	±10	III	±10	4	±10	4	±10	03C 07B 10A	±10
IV	±15	IV	±15	5	±14	5	±15	07C 10B 13A	±15
V	±20	V	±20	6	±28	6	±20	10C 13B	±20
VI	±25	VI	±25	—	—	7	±25	13C	±30

与 HB 5354—1994《热处理工艺质量控制》比较,GB/T 30825—2014 增加了一种 ±8℃ 的炉型。主要是因为近年来我国研究和发展的很多高性能材料,如沉淀硬化不锈钢、高合金超高强度钢等,采用的热处理工艺要求是温度允差 ±8℃。另外,AMS 2750E、JIS B 6901:1998、DIN 17052-1-2000 都有 ±8℃ 或 ±7.5℃ 这个级别的炉型,所以 GB/T 30825 中增加了 ±8℃ 炉型,但

为了保持我国传统的热处理炉类别体系,把这种炉型定为 III A 类。III A 类型炉子的控温仪表、记录仪表、有效加热区测定周期、仪表检定周期等技术要求均与 III 类型炉子相同。这样就与 GB/T 9452—2012《热处理炉有效加热区测定方法》保持一致^[2],同时也与 AMS 2750E、JIS B6901、DIN17052-1-2000 等一致。如 AMS 2750 E 的 1~4 类炉与 GB/T 30825—

2014 中的 I ~ III 类炉对应, AMS 2750E 5 类炉可选择 GB/T 30825—2014 标准 III 或 IV 类炉型, AMS 2750E 6 类炉选 GB/T 30825—2014 标准 VI 类炉型。生产中一般根据热处理工艺温度允许公差值选择热处理设备。

3 仪表系统分类

关于热处理炉仪表系统类型, GB/T 30825—2014

中根据温度控制、记录和监控仪表及其温度传感器配置分为 A、B、C、D、E、F 型, 如表 2 所示。其中将冷处理及淬火设备仪表系统定义为 F 型, 这样分别与 AMS 2750E 六种类型对应。

GB/T 30825—2014 规定, 对于 A、B、C 型仪表系统的真空炉, 在确定最高温度、最低温度及载荷温度传感器时, 有效加热区体积 $\leq 6.4 \text{ m}^3$ 可视为一个控制区; 有效加热区体积 $> 6.4 \text{ m}^3$ 可视为由若干个有效加

表 2 仪表系统类型比较
Table 2 Comparison of the instrument system type

标准	仪表类型	每个控制区传感器配置
GB/T 30825—2014 《热处理温度测量》	A 类	共 5 支, 1 支用于控制、记录; 最高温度点和最低温度点各 1 支用于记录; 载荷 1 支用于记录; 超温保护 1 支用于超温保护系统。最高温度点的传感器也可以用作超温保护传感器。
	B 类	共 3 支, 1 支用于控制、记录; 载荷 1 支用于记录; 超温保护 1 支用于超温保护系统。
	C 类	共 4 支, 1 支用于控制和记录; 最高温度点和最低温度点各 1 支用于记录; 超温保护 1 支用于超温保护系统。最高温度点的传感器也可以用作超温保护传感器。
	D 类	共 2 支, 1 支用于控制和记录; 1 支用于超温保护系统。
	E 类	共 1 支, 用于显示和控制。
	F 类	共 1 支, 传感器用于控制, 有要求时增加记录

热区体积 $\leq 6.4 \text{ m}^3$ 的区域组成, 每个有效加热区体积 $\leq 6.4 \text{ m}^3$ 可视为一个控制区。GB/T 30825—2014 还规定, 实验室炉用于按材料规范进行热处理试验, 一般按 B 型仪表系统配置。如果用于工件或原材料的热处理, 按生产设备进行配置和测量。这些要求与 AMS 2750E 保持一致。

按 GB/T 30825—2014 规定, 每个控制区都要按上述要求配置。对于多区加热情况, 要求配置热电偶数量很大, 对小型热处理炉和真空炉实施比较困难。可以采取联动控制方案将多区变为单区, 一般以中间区为基准, 其他区跟基准协调和控制, 以减少热电偶数量。对于工件转移的炉型, 载荷热电偶、最高最低点热电偶如何布置是一个困难又必须解决的问题, 不同情况有不同解决方案, 一般可采用直插法。

值得注意的是, 由于近年随着冷处理和深冷处理工艺应用的不断增加, 对设备要求不断提高, GB/T 30825—2014 提出冷处理设备应有一个温控仪和温度传感器, 有时间要求时要配记录仪。另外对淬火槽应配 $\leq \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ 的测温指示仪表, 对淬火液有温度控制要求应配温度控制、记录仪表和温度传感器。

4 系统精度校验(SATs)

4.1 系统精度校验要求

热处理炉的温度测量系统应具有足够的精度、可

靠性和稳定性, 能准确反映出真实温度。温度测量系统包括热电偶、补偿导线及仪表, 它们都应符合相应标准的要求, 并定期检定合格。另外各温度测量系统偏差组合后应能达到一定准确度, 使温度测量系统准确反映出真实温度。现场使用的温度测量系统, 由于环境气氛和温度的影响, 可能老化或变质, 但热电偶或温度仪表性能的任何变化都会影响炉温准确性。为了使现场使用的温度测量系统能准确反映热处理炉温度, 应对温度测量系统准确程度进行初始和定期检验, 称之为“系统精度校验”。系统精度校验需再装一支检验热电偶, 系统精度校验温度传感器可以是临时插入的, 也可以是固定的。检验热电偶热端与温度测量系统热电偶热端的距离应不大于 76 mm, 这样可以避免测温位置的影响。检测应采用精度较高的仪表在炉子处于热稳定状态下进行, 一般在热处理保温阶段测试。

系统精度校验对象包括温度控制和记录系统及 A、B、C 型仪表系统的监测仪表系统。热处理设备仪表系统应在使用前和影响系统校验精度的任何维护后进行系统精度校验, 还要定期进行系统精度校验。工艺仪表系统精度、校验周期及最大允许调整量要求如 GB/T 30825—2014 中表 3 和表 4 所示, 对冷处理设备、淬火槽提出了系统精度校验要求, 应 $\leq \pm 2.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

4.2 系统精度校验实施

在测试温度下, 分别读取被校验仪表系统和测试

仪表系统的直接温度读数。对测试仪表系统直接温度读数进行修正,测试仪表系统直接温度读数与相应温度传感器和仪表修正值代数相加,求得修正读数为实际测试温度。被校验仪表系统无任何内部调整时不必修正,采用直接温度读数作为实际温度;如进行内部调

整时,应将直接温度读数与人工使用的温度传感器修正值、人工使用的仪表修正值代数相加,求得修正读数作为实际温度。被校验温度系统(包括温度传感器、补偿导线和仪表)的实际温度与测试仪表系统的实际测试温度之间的差值,作为系统精度误差。举例如表 3 所示。

表 3 系统精度校验修正计算实例
Table 3 Example of system accuracy test revised count

项目条件	例 1	例 2	例 3	例 4	例 5
最近温度均匀性测量(TUS) 使用的补偿	否	否	否	仪表程序补偿 +2 °C	仪表程序补偿 +3 °C
最近系统精度校验(SAT) 使用的补偿	否	否	否	否	仪表程序补偿 -1.5 °C
生产中使用的仪表修正系数(B _{inst})	否	手动	B _{inst} 设定进仪表程序	B _{inst} 设定进仪表程序	B _{inst} 设定进仪表程序
生产中使用的传感器修正系数(B _{tc})	否	手动	B _{tc} 设定进仪表程序	B _{tc} 设定进仪表程序	B _{tc} 设定进仪表程序
数据和计算					
仪器读数(A)	800 °C	511 °C	1225 °C	802 °C	1103 °C
人工使用的仪表校验的修正系数(B _{inst})		+3 °C	不适用	不适用	不适用
人工使用的热电偶校验修正系数(B _{tc})		-1 °C	不适用	不适用	不适用
控制或记录仪表因温度均匀性测量(TUS) 补偿产生的修正系数(B _{TUS})				-2 °C	-3 °C
A + B _{inst} + B _{tc} + B _{TUS} = 已修正的控制或记录仪表温度(C)	800 °C	513 °C	1225 °C	800 °C	1100 °C
测试仪表读数(未修正) (D)	805.0 °C	513.3 °C	1220.0 °C	805.0 °C	1106 °C
测试热电偶修正系数(E)	-1.0 °C	-1.0 °C	-1.0 °C	-1.0 °C	-1.4 °C
测试仪表修正系数(F)	+0.2 °C	+0.2 °C	+0.2 °C	+0.2 °C	+0.4 °C
(D) + (E) + (F) = 实际测试温度(G)	804.2 °C	512.5 °C	1219.2 °C	804.2 °C	1105.0 °C
系统精度校验(SAT) 偏差 = (C) - (G)	-4.2 °C	+0.5 °C	+5.8 °C	-4.2 °C	-5.0 °C

例 1: 在最近一次温度均匀性测量(TUS) 或系统精度校验(SAT) 中没用使用补偿,仪表或传感器没有使用修正系数。

例 2: 在最近一次温度均匀性测量(TUS) 或系统精度校验(SAT) 中没用使用补偿;仪表和传感器校准得到的修正系数由操作者在生产过程中以人工方式加上。

例 3: 在温度均匀性测量(TUS) 或之前的系统精度校验(SAT) 中没有使用补偿;仪表和传感器校准得到的修正系数直接设定入控制或记录仪表的程序中——这个“修正过”的读数在实际生产中也使用。

例 4: 在之前的系统精度校验(SAT) 中没有使用补偿,仪表和传感器校准得到的修正系数和根据最近一次温度均匀性测量(TUS) 的补偿值直接设定入控制或记录仪表的程序中,这个“修正过”的读数在实际生产中也使用。在这个例子中,最近一次温度均匀性测量(TUS) 显示,对比控制传感器,炉温有一个 +2 °C (温度向更高方向) 的偏差,所以,在控制仪表的程序中应用了一个 +2 °C 的补偿,以便控制器能显示工作区实际温度。

例 5: 在之前的系统精度校验(SAT) 中使用了一个 -1.5 °C 的补偿,并已设定入仪表的程序中。仪表和传感器校准得到的修正系数和根据最近一次温度均匀性测量(TUS) 的补偿值直接设定入控制或记录仪表的程序中,这个“修正过”的读数在实际生产中也使用。在这个例子中,最近一次温度均匀性测量(TUS) 显示,对比控制传感器,炉温有一个 +3 °C (温度向更高方向) 的偏差,所以在控制仪表的程序中应用了一个 +3 °C 的补偿,以便控制器能显示工作区实际温度。

某航空厂为适应航空工业高质量热处理要求,购置了一条 φ900 mm × 1500 mm 底装料立式多用炉生产线。该生产线由一台渗碳淬火炉、一个油槽、一个盐槽及盐回收装置、两台回火炉、两台清洗机(油清洗、盐清洗)、一台自动装卸料车和两个装卸料台等组成,要求符合航空标准和 AMS 2750E(GB/T 30825—2014) 中 C 类仪表各项要求。于是对底装料立式多用炉生产线进行了温度系统精度校验;对渗碳淬火炉进行了 800、900、930 和 950 °C 的温度系统精度校验;对两台回火炉分别进行了 200、340、480、610 和 750 °C 的温度

系统精度校验;对盐槽进行了 200、350 和 390 °C 的温度系统精度校验;对油槽进行了 30、50、80 和 100 °C 的温度系统精度校验。

测试结果表明,该多用炉生产线各加热炉的温度

系统精度均小于 ±1.1 °C,淬火槽的温度系统精度均小于 ±2.8 °C,符合 AMS 2750E(GB/T 30825—2014)标准的 C 类仪表各项要求。对渗碳淬火炉 950 °C 温度系统精度校验测试结果如表 4 所示。

表 4 渗碳淬火炉 950 °C 系统精度检验(SAT)测试结果
Table 4 SAT test result of carburizing quenching furnace at 950 °C

时间	工艺仪表系统					测量系统				误差/°C C - G	
	热电偶 编号	示值/ °C	调整/ °C	控制传感器 修正系数/°C	C/ °C	测试仪 表示值/°C	测试偶 修正值/°C	测试仪表 修正值/°C	实际温度/ °C		
		A	B	B	C = A + B + B'	D	E	F	G = D + E + F		
14: 28	N-11	949.9	—	—	949.9	951.7	-2.5	+0.2	949.4	+0.5	
	N-31	949.7	—	—	949.7	952.3	-3.2	+0.2	949.3	+0.4	
	N-19	949.9	—	—	949.9	952.2	-2.8	+0.2	949.6	+0.3	
	CH03	949.6	—	—	949.6	951.7	-2.5	+0.2	949.4	+0.2	
	CH04	949.4	—	—	949.4	952.3	-3.2	+0.2	949.3	+0.1	
	CH05	949.2	—	—	949.2	952.2	-2.8	+0.2	949.6	-0.4	
	CH06	952.6	—	—	952.6	954.4	-3.0	+0.2	951.6	+1.0	
	CH07	950.6	—	—	950.6	952.4	-2.0	+0.2	950.6	0.0	
	CH08	950.2	—	—	950.2	952.3	-2.7	+0.3	949.9	+0.3	
	CH09	949.9	—	—	949.9	951.0	-2.4	+0.3	948.9	+1.0	
	CH10	949.1	—	—	949.1	950.9	-2.5	+0.2	948.6	+0.5	
CH11	947.5	—	—	947.5	950.1	-2.7	+0.3	947.7	-0.2		
14: 38	N - 11	950.0	—	—	950.0	951.8	-2.5	+0.2	949.5	+0.5	
	+0.1	N-31	949.6	—	—	949.6	952.5	-3.2	+0.2	949.5	
	+0.4	N-19	949.6	—	—	949.6	951.8	-2.8	+0.2	949.2	
	+0.1	CH03	949.6	—	—	949.6	951.8	-2.5	+0.2	949.5	
	0.0	CH04	949.5	—	—	949.5	952.5	-3.2	+0.2	949.5	
	-0.2	CH05	949.0	—	—	949.0	951.8	-2.8	+0.2	949.2	
	+0.8	CH06	952.7	—	—	952.7	954.7	-3.0	+0.2	951.9	
	-0.3	CH07	950.4	—	—	950.4	952.5	-2.0	+0.2	950.7	
	+0.4	CH08	950.3	—	—	950.3	952.3	-2.7	+0.3	949.9	
	+0.8	CH09	949.7	—	—	949.7	951.0	-2.4	+0.3	948.9	
	+0.3	CH10	949.2	—	—	949.2	951.2	-2.5	+0.2	948.9	
-0.4	CH11	947.5	—	—	947.5	950.3	-2.7	+0.3	947.9		
14: 48	N-11	949.9	—	—	949.9	951.9	-2.5	+0.2	949.6	+0.3	
	+0.3	N-31	949.9	—	—	949.9	952.6	-3.2	+0.2	949.6	
	+0.7	N-19	950.2	—	—	950.2	952.1	-2.8	+0.2	949.5	
	0.0	CH03	949.6	—	—	949.6	951.9	-2.5	+0.2	949.6	
	0.0	CH04	949.6	—	—	949.6	952.6	-3.2	+0.2	949.6	
	0.0	CH05	949.5	—	—	949.5	952.1	-2.8	+0.2	949.5	
	+0.9	CH06	952.8	—	—	952.8	954.7	-3.0	+0.2	951.9	
	-0.1	CH07	950.6	—	—	950.6	952.5	-2.0	+0.2	950.7	
	+0.3	CH08	950.7	—	—	950.7	952.8	-2.7	+0.3	950.4	
	+0.8	CH09	950.2	—	—	950.2	951.5	-2.4	+0.3	949.4	
	0.0	CH10	948.8	—	—	948.8	951.1	-2.5	+0.2	948.8	
CH11	947.4	—	—	947.4	950.1	-2.7	+0.3	947.7	-0.3		
最大偏差值											
1 区			2 区				3 区				
控制 N-11	记录 CH03	高点 CH06	低点 CH07	控制 N-31	记录 CH04	高点 CH08	低点 CH09	控制 N-19	记录 CH05	高点 CH10	低点 CH11
+0.5 °C	+0.2 °C	+0.1 °C	-0.3 °C	+0.4 °C	+0.1 °C	+0.4 °C	+0.1 °C	+0.7 °C	-0.4 °C	+0.5 °C	-0.4 °C
允许误差: ±1.1 °C						结论: 合格					

4.3 纠正措施和补救方法

当系统精度校验不合格时可以采取如下纠正措施和补救方法:

- 1) 如果全部或部分原因是由于被测试温度传感器从归档记录的位置移动,应将温度传感器恢复到原来的位置;
- 2) 对控制和记录仪表进行 GB/T 30825—2014 中表 3 和表 4 规定的最大允许调整量范围内的人工或内部调整;
- 3) 更换超差的热电偶、补偿导线;
- 4) 重校超差的仪表;
- 5) 用比系统精度校验周期相同或更短的周期替换被校验温度传感器,检查并缩小补偿导线和仪表组合偏差,使两者平衡,综合结果达到 GB/T 30825—2014 的表 3 和表 4 要求;
- 6) 分别测试温度传感器、补偿导线、仪表组合偏差,根据三者偏差值配对,综合结果达到 GB/T 30825—2014 中表 3 和表 4 要求。

5 温度均匀性测量(TUS)

5.1 GB/T 30825—2014 与相关标准的关系

GB/T 30825—2014《热处理温度测量》中温度均匀性测量是为满足高要求热处理、国际合作中热处理而提出来的。它与 GB/T 9452—2012《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》不同,但互相有联系,各有侧重,互相补充,形成我国标准体系。GB/T 9452—2012 主要为 JB/T 10175—2008、GJB 509B—2008 及相关工艺标准技术支持和配套。HB 5425—2012 主要为 HB 5354—1994《热处理工艺质量控制》和 GJB 509B—2008《热处理工艺质量控制》中高端产品热处理及相关工艺标准技术支持和配套。GB/T 9452—2012、HB 5425—2012 和 GB/T 30825—2014 中温度均匀性测量是三个不同档次的标准,GB/T 9452—2012 是基础,是基本要求,HB 5425—2012 侧重于航空工业特殊要求,GB/T 30825—2014 中温度均匀性测量适应高要求热处理和国际合作中热处理,要求更高。在编制《热处理温度测量》国家标准过程中既考虑了发挥 GB/T 9452—2012 基础性作用,如温度均匀性要求、实施条件、检测装置、检测方法、检测报告等内容,GB/T 30825—2014 在温度均匀性测量方面更高要求反映在测量周期、检测点数量和位置、测量温度、数据采集频率和时间,以及替代方法、补充辐射测量等方面。

另外,GB/T 30825—2014 温度均匀性测量部分与

AMS 2750E 相比,有如下不同:

- 1) 检测点位置借鉴 GB/T 9452—2012 采用图示法表示,如 GB/T 30825—2014 表 9 和表 10 所示,表达更清楚明了,便于操作。
- 2) 数据采集频率和时间借鉴 GB/T 9452—2012 的表格形式,如 GB/T 30825—2014 表 11 所示,更简洁,容易掌握。

根据 GB/T 13324—2006《热处理设备术语》,浴炉包括盐浴炉、液态金属浴炉、油浴炉及其他温度受控的液体介质加热炉,把 AMS 2750E 中盐炉、温度控制液体炉合并为浴炉。

5.2 温度均匀性测量分类和测量周期

GB/T 30825—2014 中温度均匀性测量分为初始测量和周期测量。初始测量实施条件按 GB/T 9452—2012 有关规定执行。温度均匀性初始测量一般在工作温度范围的最高温度和最低温度下进行;如工作温度范围超过 335 °C,则应增加测量温度点,使其间隔不大于 335 °C。周期测量分为正常测量周期和延长测量周期,温度均匀性正常测量连续合格一定次数后可以适当延长测量周期,可按延长测量周期执行。温度均匀性周期测量应在工作温度范围内的任一温度下进行。对于使用温度范围超过 335 °C 的单一操作温度范围炉子温度均匀性周期测量,测量温度应在操作温度上下限 170 °C 范围内,并且两个测量温度间应不超过 335 °C。每年还应进行一次初始测量。温度均匀性周期测量应符合 GB/T 30825—2014 中表 5 和表 6 的规定。

由表 5 可见 GB/T 30825—2014 正常测量周期比 GB/T 9452—2012 短一些,但延长测量周期与 GB/T 9452—2012 周期测量相当。

表 5 GB/T 30825—2014 和 GB/T 9452—2012 对温度均匀性测量要求

Table 5 TUS measure comparison of GB/T 30825—2014 and GB/T 9452—2012

标准	温度均匀性测量周期
GB/T 30825—2014	I、II 类炉 A~D 型仪表 1 月, D 型仪表延长测量周期 2 月; III A~V 类炉 A~D 型仪表 3 月, 延长测量周期 6 月; VI 类炉 E 型仪表 12 月
GB/T 9452—2012	I、II 类炉 2 月; III A~V 类炉 6 月; VI 类炉 12 月

另外,考虑到热处理生产周期、热电偶和仪表检定周期等与温度均匀性测量不能完全协调一致的实际情况,温度均匀性测量周期允许的适当超时,温度均匀性测量周期允许的超过时间见表 6。

表 6 测量周期允许的超过时间
Table 6 Permitted calibration/test interval extension

测量周期/月	允许的超过时间/天
1 周	1
2 周	2
1	3
3	4
6	6
12	12

GB/T 30825—2014 规定对冷处理设备、淬火槽不需要进行温度均匀性测试。

5.3 温度均匀性测量方法

GB/T 30825—2014 对周期式炉温度均匀性测量方法规定采取体积法,连续炉温度均匀性测量可以采取体积法、单元体积法或平面法检测,与 GB/T 9452—2012 一样,只是检测点布置有差异。

GB/T 30825—2014 规定,对浴炉和流态粒子炉的替代检测方法允许用移动的单支或多支测试探头代替体积法测试传感器,连续炉或有炉罐的炉子的代替检测方法有直插法和性能评价法。

而对于铝合金固溶处理的空气炉,当其热源(如电热元件或燃气辐射管)位于炉壁情况下,应在炉子温度均匀性鉴定合格的最高使用温度进行补充热辐射测试。

此外,GB/T 30825—2014 规定,温度均匀性测量判定依据为:测量周期内,温度均匀性测量温度传感器读数、控制或监测温度传感器读数不超过温度允许偏差上限。保温期间所有温度均匀性测量温度传感器读数和控制或记录温度传感器读数在相应表 5 或表 6 规定的温度容差要求内。达到恢复、稳定或重复温度图形要求的时间不超过相应工艺规范规定的时间限制。温度均匀性测量应在要求的最少时间内完成。如果符合上述要求,则测量是合格的。

5.4 案例

某航空工厂对 $\phi 900 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm}$ 底装料立式多用炉生产线各种加热炉和淬火盐槽的温度均匀性进行了全面测试。包括渗碳淬火炉 800、900、930 和 950 °C 的炉温均匀性;两台回火炉 200、340、480、600 和 750 °C 的炉温均匀性;盐槽 200、350 和 390 °C 的温度均匀性。采用 9 点测温,热电偶按 AMS 2750D 或 GB/T 30825—2014 规定布置,如图 1 所示。测试仪表为 HF2000 温场自动检测系统,准确度 $\pm 0.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$;测试热电偶为 $\phi 3 \text{ mm}$ I 级 K 型铠装热电偶。

测试结果表明,底装料立式多用炉生产线的渗碳淬火炉炉温均匀性为 $+1.08 \sim -4.28 \text{ }^{\circ}\text{C}$,回火炉炉温均匀性为 $+4.43 \sim -4.43 \text{ }^{\circ}\text{C}$,淬火盐槽的温度均匀性为 $+3.95 \sim -1.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$,均小于 $\pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,符合 AMS 2750D 和 GB/T 30825—2014 的要求。渗碳淬火炉 950 °C 炉温均匀性测试结果如表 7 所示。

6 温度传感器

为了提高 GB/T 30825—2014 的实用性和可操作性,在温度传感器一章要求温度传感器和补偿导线执行国标和相应的检定、校准规程,必须检定合格,并提供误差修正值,在有效期内使用。与 AMS 2750E 相比有如下不同:

- 1) 去掉热电偶和补偿导线组分、颜色编码的有关规定,提出了补偿导线使用高质量级;
- 2) 保留热电偶成卷校准的规定,但提出前提条件是“经验证热电偶丝材质量稳定性和均匀性优良”;
- 3) 增加了铂电阻温度计内容,以适应冷处理、深冷处理和冷藏不断增加的需要;
- 4) 增加“一般采用耐久型热电偶或热电阻温度计作控制、监测和记录温度传感器”的规定。

GB/T 30825—2014 与 JB/T 10175—2008 对热电偶要求比较如表 8 所示。

从表 8 可以看出,首先,GB/T 30825—2014 对热电偶要求比 JB/T 10175—2008 要高,并且根据炉子类型和用途分类选用。例如对热处理炉配套的控温、记录、监测热电偶,GB/T 30825—2014 中的 I 类、II 类炉子要求公差 $\pm 1.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $0.4\%t$,高温热电偶可选国内 S 型 II 级或 B 型 II 级热电偶,中低温热电偶选择国内 I 级热电偶。又如系统精度校验要求使用更高精度的热电偶,要求廉金属偶 $\pm 1.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.4\%t$,贵金属偶 $\pm 0.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 0.1\%t$ 。对比国产热电偶,高温热电偶只能选国产标准级热电偶,中低温热电偶只能选标准级更高等级热电偶。

第二,与 GB/T 30825—2014 相比,JB/T 10175—2008 推荐热电偶种类不全,高温热电偶无 R 型,中温热电偶无 N 型,低温热电偶无 J 型。

第三,从校准周期看,GB/T 30825—2014 要求更高。温度均匀性测量和系统精度校验用热电偶校准周期 S、R、B 型为 6 个月, J、N 型为 3 个月,其他偶不能校准。载荷热电偶使用廉金属偶时不允许校准使用。而 JB/T 10175—2008 中热电偶都是可校准使用的,校准周期也较长。因此在贯彻 GB/T 30825—2014 标准中建议使用 S、R、B 型和 J、N 型热电偶。

表7 渗碳淬火炉950℃炉温均匀性测试结果

Table 7 Furnace temperature uniformity test results of carburizing queching furnace at 950℃

加热炉型号 底装料立式多用炉生产线			炉膛尺寸: 直径900mm × X 高1500 mm			检测点温度: 950℃		检测日期: 2013-10-24			
加热炉编号 X15			使用单位: 12K			允许偏差: ±5℃		下次检测日期: 2013-11-23			
控温仪指示温度/℃						记录仪指示温度/℃					
I 区	II 区	III 区	I 区	II 区	III 区	I 区高	I 区低	II 区高	II 区低	III 区高	III 区低
946.10	949.90	949.00	946.60	949.40	948.40	951.80	947.70	947.20	946.20	948.70	947.00
948.40	950.30	950.00	947.90	947.70	949.70	952.40	949.40	949.50	948.90	950.00	948.20
948.90	950.50	950.10	948.40	949.90	949.70	952.70	949.70	950.00	949.40	949.60	947.80
949.00	950.10	950.20	948.60	949.60	949.70	952.30	949.70	950.20	949.50	950.00	948.30
949.60	950.20	950.30	949.10	949.80	949.80	952.50	950.10	950.50	949.90	949.30	947.60
950.00	949.90	950.20	949.30	949.50	949.40	952.50	950.60	950.20	949.70	949.00	947.60
950.00	949.50	949.80	949.60	949.40	949.00	952.70	950.70	950.20	949.60	948.50	946.80
950.01	950.20	950.00	949.60	949.50	949.90	952.60	950.80	950.60	950.00	948.90	947.50
949.90	949.80	949.80	949.50	949.50	949.60	952.40	950.60	950.20	950.00	948.70	947.90
950.10	950.20	950.00	949.50	949.40	949.50	952.00	950.10	950.30	950.10	948.90	947.60
950.00	949.90	949.80	949.40	949.30	949.60	952.30	950.10	950.20	950.00	948.80	947.80
最大值 950.50 最小值 946.10			最大值 952.70			最小值 946.20					
时间	测试热电偶采集温度(修正后读数)/℃										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14:00	945.63	942.95	944.72	944.15	945.39	943.00	941.34	940.27	942.39		
14:02	948.96	946.75	947.84	946.82	948.14	945.72	944.30	942.73	944.88		
14:04	949.96	947.38	948.92	947.95	949.15	947.19	945.82	944.01	946.46		
14:06	950.57	948.15	949.39	948.50	949.34	947.96	946.79	944.75	947.23		
14:08	950.94	948.59	949.75	948.91	949.65	948.19	947.04	945.21	947.89		
14:10	950.97	948.63	949.82	949.08	949.60	948.65	947.54	945.42	948.11		
14:12	950.83	948.75	949.73	948.72	949.29	948.52	947.49	947.42	948.01		
14:14	950.89	948.37	949.64	948.76	949.47	948.60	947.49	945.51	948.35		
14:16	950.97	948.50	949.77	948.69	949.64	949.16	948.18	946.01	948.60		
14:18	950.58	948.37	949.45	948.53	949.43	949.10	947.96	946.04	948.62		
14:20	950.71	948.19	949.70	948.63	949.80	949.17	948.32	946.25	948.91		
14:21	950.98	948.45	949.79	948.76	949.81	949.32	948.58	946.32	948.96		
14:23	950.99	948.90	949.85	948.77	949.72	949.43	948.50	946.37	948.95		
14:25	950.54	948.06	949.46	948.55	949.55	949.41	948.48	946.48	949.05		
14:27	950.62	948.40	949.61	948.48	949.74	949.34	948.54	946.43	949.09		
14:29	950.58	948.42	949.59	948.57	949.56	949.19	948.23	946.13	948.85		
14:31	951.01	948.38	949.85	949.00	949.94	949.23	948.40	946.36	949.21		
14:33	950.62	948.53	949.60	948.58	949.75	949.35	948.44	946.43	949.05		
14:35	950.54	948.01	949.46	948.49	949.46	949.06	948.18	946.08	948.99		
14:37	950.96	948.86	949.95	948.89	949.95	949.45	948.50	946.31	949.17		
14:39	950.58	948.42	949.65	948.69	949.64	949.26	948.55	946.38	949.05		
14:41	950.97	948.58	949.83	948.88	949.63	949.28	948.34	946.21	949.04		
14:43	950.85	948.81	949.93	948.69	949.98	949.48	948.70	946.41	949.23		
14:45	950.85	948.46	949.83	948.73	949.75	949.32	948.51	946.12	949.19		
14:47	950.95	948.49	949.72	948.55	949.60	949.17	948.36	945.93	949.02		
14:49	950.38	948.38	949.55	948.35	949.67	949.22	948.45	946.04	949.12		
14:51	950.97	948.54	949.84	948.82	949.84	949.40	948.62	946.08	949.22		
最大值	951.01	948.90	949.95	949.00	949.98	949.48	948.70	946.48	949.23		
最小值	950.38	948.01	949.46	948.35	949.46	949.06	948.18	945.93	948.85		
结论	合格										

表 8 GB/T 30825—2014 和 JB/T 10175—2008 对温度传感器要求
Table 8 Requirement for temperature sensor in GB/T 30825—2014 and JB/T 10175—2008

GB/T 30825—2014				JB/T 10175—2008					
名称	类型	允差	校准周期	名称	分度号	等级	使用温度/℃	允许偏差/℃	校准周期/月
控制、记录和监测传感器	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	I 类或 II 类炉: ±1.1℃或±0.4%t; III A 类至 VI 类炉: ±2.2℃或±0.75%t	首次使用前	标准铂铑 10-铂	S	II	—	±0.9	12
				检测镍铬-镍硅	K	I	0~400 400~1100	±1.6 ±0.47%t	3
载荷传感器	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	±2.2℃或±0.75%t	首次使用前 重新校准: B、R 或 S 型 6 个月; 廉金属不允许	铂铑 10-铂	S	I	0~1100 1100~1600	±1 ±[1+(t-1100)×0.003]	12
						II	0~600 600~1600	±1.5 ±0.25%t	
系统精度校验传感器	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	廉金属: ±1.1℃或±0.4%t; 贵金属: ±1.0℃; R、S 型或±0.25%t; B 型或±0.5%t。	首次使用前 重新校准: B、R 或 S 型贵金属 6 个月; J 或 N 型 3 个月; 其它廉金属不允许	铂铑 30-铂铑 6	B	II III	600~1700 800~1700	±0.25%t ±0.5%t	6
				镍铬-镍硅	K	II	0~400 400~1100	±3.0 ±0.75%t	6
温度均匀性测量传感器	廉金属或 B、R 和 S 型贵金属	±2.2℃或±0.75%t	首次使用前; 重新校准: B、R 或 S 型贵金属 6 个月; J 或 N 型 3 个月 其它廉金属不允许	铜-康铜	T	II III	-40~350 -200~40	±1.0 ±1.0 或 ±1.5%t	6
				镍铬-康铜	T	I II	-40~800 -40~900	±1.5 或 ±0.4%t ±2.5 或 ±0.75%t	6

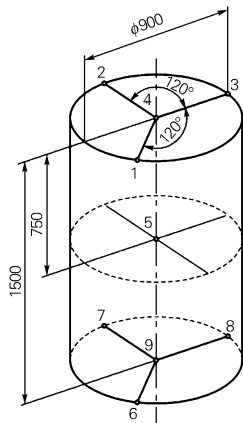


图 1 炉温均匀性测试热电偶布置图
Fig. 1 Thermocouple distribution layout for temperature uniformity surveys

7 仪表

近年仪器仪表发展很快,在数字化、智能化方面有很大进步和发展,所以 GB/T 30825—2014 规定可以使用数字仪表、电子数据记录仪或数据采集系统,但电子记录必须是一次性写入、只读的、仅检测不能修改的记录。为提高《热处理温度测量》标准的实用性和可操作性,仪表除满足技术要求之外,还应符合 GB/T 3386.1—2007《工业过程控制系统用电动或扭

动模拟记录仪第 1 部分:性能评价方法》检定有关规定。

GB/T 30825—2014《热处理温度测量》和 JB/T 10175—2008《热处理质量控制》对仪表要求见表 9。

GB/T 30825—2014 对仪表精度要求普遍提高,热处理炉测量、控制、记录仪表 ±1.1℃,淬火槽、冷处理设备 ±3℃。对记录仪分辨率和走纸速度要求也高,数字仪表要求分辨率 1℃。仪表校准周期与使用炉子类别有关,检定周期普遍比较短。在实际使用中要注意热电偶、仪表检定和系统精度校验、炉温均匀性测量周期的一致性。

GB/T 30825—2014 对现场测试仪表——温度均匀性测量、系统精度校验等提出了严格要求,要求精度 ±0.6℃或读数的 ±0.1%;而 JB/T 10175—2008 温度均匀性测量仪表精度要求高于或等于生产中使用的仪表的精度,大部分为 0.5 级。在校验周期方面,GB/T 30825—2014 要求 3 个月,JB/T 10175—2008 没有明确规定。

8 管理

GB/T 30825—2014《热处理温度测量》第 9 章为管理,包括记录保存规定和保证措施两部分。各种规

表9 GB/T 30825—2014 和 JB/T 10175—2008 对仪表的要求比较
Table 9 Requirement for instrument in GB/T 30825—2014 and JB/T 10175—2008

项目	GB/T 30825—2014			JB/T 10175—2008				
现场测试仪表	温度均匀性测量仪表精度要求 $\pm 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或读数的 $\pm 0.1\%$,以大者为准 校准周期 3 个月			温度均匀性测量仪表精度要求高于或等于生产中使用的仪表精度 ,大部分为 0.5 级 ,在校验周期方面没有明确规定				
控制、记录和监测仪表	精度要求	数字仪表	电动机械仪表	机械或热敏元件仪表	控温仪表	记录仪表		
		$\pm 1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或读数的 $\pm 0.2\%$	$\pm 1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或读数的 $\pm 0.3\%$	$\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (限于冷处理设备 和淬火系统)	I 类炉 $\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ II 类炉 $\pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ III 类炉 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ IV 类炉 $\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ V 类炉 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ VI 类炉 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.2 级 0.5 级 0.5 级 0.5 级 0.5 级 0.5 级		
	检定周期 / 月	炉型	数字仪表	电动机械仪表	I 类炉 3 个月 II ~ IV 类炉 6 个月 V、VI 类炉 12 月			
		I 类炉 II 类炉 III A 类炉 III 类炉 IV 类炉 V 类炉 VI 类炉 冷处理设备和淬火槽	1 3 3 3 6 6 6 6	1 1 3 3 3 3 3 6				
	记录仪分辨率			记录纸刻度				
		炉型	每毫米的度数 / ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{mm}^{-1}$)	每间增量 / ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{线}^{-1}$)	I 类炉 $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ II 类炉 $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ III 类炉 $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ IV 类炉 $6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ V 类炉 $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ VI 类炉 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}$			
		I 类炉 II 类炉 III A 类炉 III 类炉 IV 类炉 V 类炉 VI 类炉 冷处理设备和淬火槽	1.1 3.3 3.3 5.5 5.5 5.5 7.7 3.3	1 3 3 5 5 5 5 3				
	打印或走纸速度							
	记录仪类型	打印间隔	走纸速度					
	圆周记录仪	$< 15\text{ min}/\text{次}$;	温度循环 $< 1\text{ h}$ 时 , $\leq 8\text{ h}/\text{圈}$	温度循环 $\geq 1\text{ h}$ 时 , $\leq 24\text{ h}/\text{圈}$				
长图记录仪	$\geq 6\text{ 次}/\text{循环}$	温度循环 $< 1\text{ h}$ 时 , $\geq 50\text{ mm}/\text{h}$	温度循环 $\geq 1\text{ h}$ 时 , $\geq 25\text{ mm}/\text{h}$					
数字式	—	不适用						

定记录需保存 5 年以上。加工方负责 GB/T 30825—2014 规定的测试和校准 ,委托方有权查验; 仪表、温度传感器测量必须符合 GB/T 30825—2014 ,否则不得使用; 任何测量失效或超差及纠正措施都必须有记录 ,对最后一次合格之后处理的产品进行评估 ,并对纠正措施应进行相应的符合性测量 ,以保证热处理产品质量。

9 结束语

我国改革开放不断深入发展 ,经济迅速发展和国际化 ,迫切要求提高标准水平并与世界接轨。在综合分析国际标准基础上制定了先进的国家标准 GB/T

30825—2014《热处理温度测量》,有助于推动热处理进步和水平提升 ,促进装备制造业向世界强国的发展。

参考文献:

- [1] 潘健生,胡明娟. 热处理工艺学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [2] 董小虹,徐跃明,李 俏,等. GB/T 9452—2012《热处理炉有效加热区测定方法》标准的解读和实践 [J]. 金属热处理, 2015, 40 (3): 214-220.
Dong Xiaohong, Xu Yueming, Li Qiao, et al. National standard GB/T 9452—2012 “Testing method for work zone of heat treatment furnace” explanation and practice [J]. Heat Treatment of Metals, 2015, 40 (3): 214-220.