ICS 03.100.99
C43

团 体 标 准

T/CHTA XXX-XXXX

真空热处理炉检测规范

Test specification for vacuum heat treatment furnaces

（征求意见稿）

2023-**-**发布 2023-**-**实施

中国热处理行业协会 发布

目　　次

前言 II
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　（一般或通用）检测项目和要求 1
5　检测仪表 2
6　检测方法 3
7　检测报告 9

表 1　真空热处理炉检测用温度传感器 3
表 2　检测温度与工作温度范围的对应关系 7
表 3　绝缘耐压试验的试验电压 9

前　　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国热处理行业协会标准化工作委员会提出。

本文件由中国热处理行业协会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

真空热处理炉检测规范

1 范围

本文件规定了真空热处理炉（一般或通用）的检测项目、检测要求、检测仪表、检测方法、检测报告等通用检测规范。

本文件适用于各类实验用和工业用真空热处理炉。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1598 铂铑10-铂热电偶丝、铂铑13-铂热电偶丝、铂铑30-铂铑6热电偶丝

GB/T 2614 镍铬-镍硅热电偶丝

GB/T 2900.23 电工术语 工业电热装置

GB/T 5977 电阻温度计用铂丝

GB/T 9452 热处理炉有效加热区测定方法

GB/T 10066.1 电热和电磁处理装置的试验方法 第1部分：通用部分

GB/T 10066.4 电热设备的试验方法 第4部分:间接电阻炉

GB/T 16839.2 热电偶 第2部分：允差

GB/T 30825 热处理温度测量

AMS 2750 Pyrometry（高温测量）

3 术语和定义

GB/T 2900.23 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

真空热处理炉 vacuum heat treatment furnaces

可施行元件的真空加热，然后在油中淬火或在常压和加压气体中淬火的冷壁式炉子。

3.2

真空系统 vacuum system

为真空热处理炉提供真空，由炉室（真空室）、抽气系统以及测试和控制真空等元件组成的真空装置。

4 （一般或通用）检测项目和要求

4.1 工作区尺寸

真空热处理炉工作区尺寸检测应符合GB/T 10066.4的相关规定。

4.2 真空试验

真空热处理炉真空试验应符合GB/T 10066.1的规定，真空试验项目应包括：

a) 极限真空度的测量；
b) 真空检漏；
c) 空炉抽气时间的测量；
d) 压升率的测量；
e) 工作真空度的测量。

4.3 升温试验

真空热处理炉升温试验应符合GB/T 10066.4和ASM 2750的规定，试验项目应包括：

a) 空炉升温时间的测量；
b) 最高工作温度的测量；
c) 温度均匀性的测量；
d) 系统精度的测量；
e) 炉壳表面温升的测量；
f) 冷却水温升的测量。

4.4 安全检查。

真空热处理炉安全检查应符合GB/T 10066.1和GB/T 10066.4的规定，应包括：

a) 绝缘电阻的测量；
b) 绝缘耐压试验；
c) 安全联锁和报警系统的试验。

5 检测仪表

5.1 一般要求

检测所用的所有检测仪表和传感器应是合适和经校验的。检测时应严格遵守检测仪表的操作说明。所有检测仪表的准确度应符合本文件和有关特殊试验方法标准的规定，无规定时，应由制造厂和用户商定。

5.2 真空试验检测仪表

按真空热处理炉真空度的高低和测量范围分别用电离真空计、电阻真空计等测量。仪表的测量准确度应在所测真空度值的25%范围内。

5.3 升温试验检测仪表

检测用温度传感器应符合GB/T 1598、GB/T 2614、GB/T 5977、GB/T 16839.2及相关标准的规定，温度均匀性和系统精度的检测应选用铠装热电偶，热电偶精度应符合表1的规定。

表1　真空热处理炉检测用温度传感器

温度传感器名称	分度号	等级	使用温度 ℃	允差[a] ℃	检定周期[b] 月
铂铑10-铂	S	Ⅰ	0～1 100	±1	12
			1 100～1 600	±[1+0.003×（t-1 100）]	
		Ⅱ	0～600	±1.5	6
			600～1 600	±0.25%t	
镍铬-镍硅	K	Ⅰ	0～375	±1.5	6
			375～1 000	±0.4%t	
		Ⅱ	-40～333	±2.5	
			333～1 200	±0.75%t	
镍铬硅-镍硅	N	Ⅰ	0～375	±1.5	6
			375～1 000	±0.4%t	
		Ⅱ	-40～333	±2.5	
			333～1 200	±0.75%t	
铂电阻	PRT	A	-100～450	±（0.15+0.2%t）	6
		B	-196～600	±（0.30+0.5%t）	

[a] t为被测温度的绝对值。

[b] 允许按实际需要缩短检定周期。

5.4　安全检查检测仪表

除非制造厂和用户特殊商定，真空热处理炉安全检查检测仪表准确度应达到1.0级。

6　检测方法

6.1　工作区尺寸

应根据产品标准和设计图样规定用量具对真空热处理炉工作区尺寸进行测量。

6.2　真空试验

6.2.1　极限真空度的测量

在空炉冷态情况下，用真空热处理炉本身配套的真空系统进行试验。按正常工作条件启动真空泵，直到炉内压力达到最低值。真空炉应能达到产品标准中所规定的极限真空度值。

6.2.2　真空检漏

6.2.2.1　一般要求

检漏人员应在制造、安装、调试过程中，判断漏与不漏，确定漏率大小和漏孔的位置，并在真空设备使用过程中监视其可能发生的漏泄及其变化。检漏时一般应先进行总漏率的测定工作，当总漏率超出允许值时，再进行漏孔的定位工作。

注1：任何真空系统或真空容器的漏气是绝对的，不漏气是相对的。真空热处理炉属于动态真空系统，该装置的最大允许总漏率随其不同应用而异，如对真空脱气和浓缩为 10^{3} Pa•L/s，对真空冶炼为 10^{-4} Pa•L/s，只要主真空室的平衡压力能达到所要求的工作压力就行。对于大多数真空系统、真

空容器来说，如果其真空抽不上去，首先判断漏气是不是其主要因素，然后确定是否需要进行检漏。

注 2：真空检漏是用一定的手段将示漏物质加到被检对象的器壁的某一侧，然后用仪器或某一方法在另一测怀疑有漏的地方检测通过漏孔逸出的示漏物质，从而达到检测目的。

注3：一般找出漏孔位置比漏率测量更困难一些。但这并非绝对，它与漏孔大小及具体的检漏方法有关，例如用气泡法可容易检找出较大漏孔的位置，却难测定其总漏率。

6.2.2.2 检漏方法和仪器

6.2.2.2.1 检漏方法的分类

检漏方法按被检容器所处的状态可分为压力检漏法与真空检漏法两大类，也可根据所用仪器分类，如氦质谱检漏仪法。

a） 压力检漏法

将被检容器充入一定压力的示漏物质，若容器上有漏孔，示漏物质便从漏孔漏出，用一定的方法或仪器在容器外检测出从漏孔中漏出的示漏物质，从而判定漏孔的存在、漏孔的具体位置及漏率大小。真空热处理炉常用的有气泡法和氦质谱仪吸入检漏法。

b） 真空检漏法

被检容器与检漏仪器的敏感元件均处于真空中，示漏物质施加在被检容器外面某处，若被检容器该处有漏孔，则示漏物质便通过漏孔进入容器供敏感元件检测，从而判定泄漏的情况。真空热处理炉常用的有静态升压法和氦质谱仪喷吹检漏法。

6.2.2.2.2 气泡检漏法

气泡检漏法适用于允许承受正压的容器、管道、零部件等的气密性检验，该法简单、方便、直观、经济。在被检件内充入一定压力的示漏气体后放入液体中，气体通过漏孔进入周围的液体形成气泡，气泡形成处即漏孔位置，根据气泡形成的速率、气泡大小以及所用的气体和液体的物理性质，可以大致估算出漏孔的漏率。常用的有打气试漏法和皂泡法。

a） 打气试漏法

本法大多用水作显示液体，空气作示漏气体，灵敏度可达10^{-4} Pa•L/s～10^{-3} Pa•L/s。试验时，将被检容器充入3个大气压的空气，然后浸入水中进行检漏。最小可检漏率可达10^{-2} Pa•L/s～10^{-3} Pa•L/s，当累积试验24 h时可达10^{-6} Pa•L/s。

检漏时的注意事项：

——被检件应能承受试验时所加的正压；

——检验前要清洗焊缝，清除焊渣、油污和粉尘；

——现场光线要好，水槽内背景要暗，水要清透；

——被检件一定要先充气并用听音法检查，在排除大漏后再放入水中；否则会影响小漏孔的检测；

——漏孔处产生的气泡是有规律、连续不断出现的，应排除表面可能吸附气泡的假象；

——被检部位应尽可能接近水面。

b） 皂泡法

本法为打气试漏法的一种，适用于不便放入水槽内的管道和容器。试验时，先在被检件内充入3个大气压的气体，然后在疑有漏孔处涂抹肥皂液，形成肥皂泡处即漏孔所在。

检漏用的肥皂液应稀稠得当，太稀了易流动和滴落而造成误检；太稠了透明度差易漏检且混入的气体也可能形成泡沫而造成误检。此法的灵敏度为10^{-3} Pa•L/s，最小可检漏率可达6.7×10^{-3} Pa•L/s。

6.2.2.2.3　静态升压法

本法可判断容器是否有漏并能测出总漏率，只要用真空泵、阀门、真空计等普通的设备或真空热处理炉自身配套的真空系统，但无法确定漏孔的位置。其灵敏度与容器的本底压力有关，除气越好，本底压力越低，可检出的漏孔漏率就越小，最小可检漏率可达10^{-2} Pa•L/s～10^{-3} Pa•L/s。本法特别适用于真空系统组装后的真空室和真空管道的初步检漏以了解真空系统各部分的泄漏概况，然后再用氦质谱仪喷吹检漏法找出漏孔位置和大小。

6.2.2.2.4　氦质谱检漏仪法

本法是用氦做示漏气体，采用自带小抽气系统的能对真空殘余氦气进行分析的质谱检漏仪进行检漏的方法，是真空检漏中灵敏度最高（即可检漏率最小）、性能稳定和用得最普遍的一种方法。常用的有氦质谱仪喷吹检漏法和氦质谱仪吸入检漏法。

a)　氦质谱仪喷吹检漏法

本法属真空检漏法。用于真空热处理炉检漏时，可用其自配抽气系统作为检漏仪的辅助抽气系统，检漏仪接在被检容器(如主真空室)高真空一侧或其抽气系统的前级低真空一侧(前者适用于被污染的容器，要在有大漏情况下找出小漏时；后者适用于清洁又无大漏的容器)，其具体位置应使进入检漏仪中的氦浓度较高。检漏时将被检容器抽空并将氦气喷吹到被检容器外壁疑有漏孔处。若有漏孔，则氦气就通过它进入检漏系统，系统内各处氦的分压开始上升，直到稳定状态，即进入的氦气量等于被抽走的量。喷吹时间越长，氦气浓度越高，检漏灵敏度就越高，但检漏速度越慢，它可根据要求的检漏灵敏度来合适确定。此外，喷嘴直径与喷嘴移动速度和喷吹时间呈正比关系。本法的最小可检漏率可达10^{-9} Pa•L/s～10^{-11} Pa•L/s。

本法检漏中应注意以下问题：

——实际的检漏灵敏度可能比计算值低得多，其原因是：喷嘴喷出的氦气流是散开的并掺有一定数量的空气，使氦气浓度降低；喷出气流的方向不可能完全对准漏孔；凹缺处所存在的空气会使得进入漏孔的氦气浓度降低；

——检漏次序应从被检件的上方至下方，由靠近检漏仪处向远离检漏仪处逐点进行喷吹；

——粗检时用大口径喷嘴使氦气流的覆盖面积较大些，找到漏孔所在区域后再改用小口径喷嘴去寻找漏孔的准确位置；

——检出的大漏孔要经修补后再去找小漏孔；

——当存在两个相距很近的可疑漏孔点时，应先把一个点盖住，再用最细的喷嘴喷吹另一点；

——当喷吹某点时，如果检漏仪指示有变化，但其上升速度很慢且指示值不稳定，这表明邻近处有大漏孔；

——检漏场地要有良好的通风，但不应影响喷嘴喷出的氦气气流的方向。

b)　氦质谱仪吸入检漏法

本法属压力检漏法。使用时，将被检容器充入压力高于环境大气压的的氦气(或氦与氮或空气的混合气体)，用氦质谱检漏仪的吸嘴在被检件外壁疑有漏孔的表面以一定速度移动，若有漏孔，则泄漏氦气的一部分就被吸入检漏仪，指出漏孔的存在，但漏孔不一定正好在吸嘴所对的部位，此时应在发现漏孔的范围内降低吸嘴移动速度、减小吸嘴与被检容器的距离并反复查找，以找到漏孔的准确位置，在吸嘴正好对准漏孔，吸嘴不移动时，检漏仪指示的漏率可能等于或接近漏孔的实际漏率。

本法的灵敏度受很多因素限制，如漏孔的形状、吸嘴相对于漏孔的距离、吸枪相对于漏孔的夹角和移动速度、吸嘴的形状和尺寸、吸枪的吸气能力以及大气中氦气本底浓度大小及稳定情况等。本法的最小可检漏率可达 10^{-5} Pa•L/s～10^{-7} Pa•L/s。

本法检漏中应注意的问题是：

——灵敏度受连接管道的流导限制，在有辅助泵时还受辅助泵分流作用的影响；

——初检时，一般应先向被检件内充以低压力、低浓度的氦气，在检出大漏并加以修补后，再充入高压力、高浓度的氦气，对小漏孔进行检查；否则遇到大漏孔时会造成氦气较大浪费并让氦气到处扩散给检漏仪带来很大干扰；

——检漏完毕后，应将氦气回收或放空，并注意检漏场地通风。

6.2.3 空炉抽气时间的测量

从炉内压力为大气压时开始到炉内真空度达到产品标准中规定的极限真空度为止的时间，即为空炉抽气时间。

注1：油扩散泵和油增压泵的预热时间不包括在空炉抽气时间之内。

注2：为了减少主真空室内部件的放气对抽气时间的影响，建议连续做2次并取第二次测量值为测量结果。

6.2.4 压升率的测量

用关闭法测量。关闭真空腔各通气口的真空阀门，并关停真空泵。压升率按式(1)计算：

$$\Delta p = (p_2 - p_1)/\Delta t \quad \text{.....} \quad (1)$$

式中：

$\triangle p$——压升率，单位为帕每小时（Pa/h）；

p_1——第一次读数时真空腔内的压力，单位为帕（Pa）；

p_2——第二次读数时真空腔内的压力，单位为帕（Pa）；

$\triangle t$——两次读数的时间间隔，单位为小时（h）；$\triangle t$应不小于0.5 h。

第一次读数的时间应按产品标准的规定；产品标准中未规定时，为关闭真空阀门后15 min。两次读数应当用同一只真空计的同一测量档。

为减少炉内构件放气或吸气对压升率的影响，试验宜在炉内没有耐火绝热炉衬的情况下进行。如果不可能做到这一点，则应每隔一定时间(不小于0.5 h)读取真空腔内的压力值，并绘制压力对时间的关系曲线，以曲线最后直线上升段的斜率作为压升率的测定值。

试验一般用真空热处理炉本身配套的抽气系统进行。但对低真空(压力10^2 Pa～10^5 Pa)和中真空(压力10^{-1} Pa～10^2 Pa)热处理炉，也允许用非本身配套的抽气系统。各抽气系统本身都应分别经过检漏以及极限真空度和压升率的测量，并确认其压升率不致影响整台炉子达到规定压升率指标。

6.2.5 工作真空度的测量

在真空热处理炉型式检验、工艺检验或工业运行检验中，按制造厂和用户商定的炉料和工艺，用真空热处理炉本身配套的仪表在正常工作状态下测量，或按产品标准的规定。测量真空度的仪表应符合5.2的规定。

6.3 升温试验

6.3.1 空炉升温时间的测量

试验前真空热处理炉应已充分干燥，在空炉冷态情况下接上电源，测出炉温上升到最高工作温度的时间。用秒表测量。

6.3.2 最高工作温度的测量

在空炉升温时间测量之后，用真空热处理炉本身配备的温度仪表或其它合适的仪表测量。

6.3.3 温度均匀性的测量

6.3.3.1 测量要求

真空热处理炉有效加热区的测定，一般情况下采用空载试验，有特殊要求时可以装载试验（半载试验或满载试验）。炉子气氛应是生产中使用的正常气氛。对于工艺气氛会污染测量温度传感器（例如渗碳、渗氮、吸热性和放热性气氛），或其气氛会造成安全危险（例如含氢气或氨气）的炉子可以用空气或惰性气氛代替。真空热处理炉的真空度应是在生产中使用的最低真空度。

6.3.3.2 检测点数量和位置

真空热处理炉的检测点数量和位置应按GB/T 9452和GB/T 30825的相关规定。检测点的位置在高度、长度、宽度或圆周方向应均衡布置。

6.3.3.3 检测温度

以常用的工艺规定温度为工作温度范围，检测温度应根据工作温度范围确定，检测温度与工作温度范围的对应关系见表2。

表2 检测温度与工作温度范围的对应关系

工作温度范围 ℃	检测温度
≤1000	最高和最低温度间的任意温度
＞1000	原则为最高温度和最低温度

6.3.3.4 测量步骤

用适当的方法按需要将温度传感器端牢固地绑扎在测温架的每个检测点位置上。平面法测量连续炉温度均性时，温度传感器测量端应在检测点76 mm以内。

6.3.4 系统精度的测量

系统精度用6.3.3中控温点上所测的温度按式（2）或式（3）计算：

$$\delta = |\theta - \theta_p| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

式中：

δ——系统精度，单位为摄氏度（℃）；

θ_p——控温传感器（或监控传感器）测得的温度读数的算术平均值，单位为摄氏度（℃）；

θ——试验期间大于 θ_p的最大温度读数或试验期间小于 θ_p的最小温度读数，单位为摄氏度（℃）。

$$\Delta\theta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}(\theta_i - \theta_p)^2}{m-1}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

式中：

θ_i——控温传感器（或监控传感器）测得的温度读数，单位为摄氏度（℃）；

θ_p——控温传感器（或监控传感器）测得的温度读数的算术平均值，单位为摄氏度（℃）。

注：对多控温区，应分别求出各控温区的系统精度。

6.3.5 炉壳表面温升的测量

在真空热处理炉最高工作温度下的热稳定状态时用表面温度计或其它能给出可靠读数的测温装置，先测出在真空热处理炉的表面温度，然后减去测量时的环境温度即得到表面温升。

测量点的位置应在炉门（或炉盖）、炉壳（炉顶、炉侧、炉后），操作手柄（或手轮）等外表面任意点上，但距炉门口和炉盖口附近及加热元件和热电偶引出孔的边缘和炉衬穿透紧固件中心75 mm的范围内除外。距非金属加热元件引出孔和观察窗边缘90 mm的范围内也除外。

6.3.6 冷却水温升的测量

冷却水温升的测量应在炉子运行在额定工作状态的热态下进行，流量为制造厂的规定值。冷却水的温度应在炉子冷却水回路的进出口处用温度计测量或用传感器监测。进、出口处的温差即为冷却水的温升值。试验中出口温度和温升应在制造厂的规定内。

注：建议取多个读数，如每5 min读一次，以确定炉子已处于热稳定状态下。

6.4 安全检查

6.4.1 绝缘电阻的测量

测量在电热和电磁处理装置与供电电网及加热器都断开的情况下进行，并且仅对与电网直接连接的带电部分进行测量。

电热和电磁处理装置的额定电压低于500 V时，用500 V交流或直流兆欧表测量；500 V~1000 V时，用1000 V交流或直流兆欧表测量；高于1000 V时，用2500 V交流或直流兆欧表测量。

兆欧表应分别接在电热和电磁处理装置正常工作时带电的两个不同带电体之间，以及各带电体与所有外露的金属结构件之间，后者应连接在一起并接地。

当电容器的外壳接地时，应注意在电源线和地间存在的电容。

对于可能经由炉衬短路的电热和电磁处理设备，在测量绝缘电阻之前应把炉衬充分烘干并冷却到环境温度。

带电体用水冷却的电热和电磁处理装置，其绝缘电阻的测量应在电热和电磁处理装置未接水冷系统的情况下进行。测量时应将会形成电通路的冷却水管断开。

真空炉的绝缘电阻应在炉子未抽气之前测量。

6.4.2 绝缘耐压试验

所加试验电压应是工频正弦波。此电压应施加在电热和电磁处理装置正常工作时带电的两个不同带电体之间以及各带电体与所有外露的金属结构件之间，后者应连接在一起并接地。

除非另有规定，试验电压U_t应在10 s内从$U_t/2$逐渐升到U_t，然后在这电压下保持1 min，试验期间不应有击穿或闪络现象。不同电路的试验电压按表3规定。

表3的试验电压仅适用于新电热和电磁处理装置或新电热和电磁处理设备的第一次试验。对重复性试验，或对运行后的电热和电磁处理装置或其部件的试验，试验电压可由制造厂和用户商定。

表3　绝缘耐压试验的试验电压

额定绝缘电压U_i（交流有效值或直流） V	试验电压U_t V
U_i≤60	500
60＜U_i≤125	1000
125＜U_i≤250	1500
250＜U_i≤500	1500[a] 2000
U_i＞500	2U_i+1000
[a]该试验电压仅适用于间接电阻炉，并分别施加在各相加热元件之间以及加热元件与炉壳间。	

对某些特殊的工作条件例如电压、频率、粉尘、沾污、烟尘，以及绝缘材料或特殊的结构要求如较小的间隙和爬电距离，可以由制造厂和用户商定采用其他的试验电压。

对与其他导电件的距离很小的感应器，如工作在中频或高频的感应退火线圈，可能有必要采用较低的试验电压。

除电阻炉外，绝缘耐压试验应在电热和电磁处理设备没有砌筑耐火炉衬之前进行。对于带电体用水冷却的电热和电磁处理装置，本试验应在电热和电磁处理装置未接水冷系统情况下进行。试验时应将会形成电通路的冷却水管断开。

对真空炉，本试验应在非真空状态下进行。

对不能经受试验电压的电气元器件，如电容器和电子元器件等，在试验时应拆除或短路。

试验变压器的1 h额定容量规定为：试验电压值每1000 V应不小于0.5 kVA。

6.4.3　安全联锁和报警系统的试验

可根据实际情况在各机构进行试验时进行试验。

试验前应具备以下基本条件：

——机械限位装置、联锁装置、电气限位开关和电信号发生器已先经过检验并安装就位；

——已通过试验确认电气联锁电路接线正确；

——监测装置已设定在其规定值上；

——监测装置已输人模拟值或数据进行了摸拟试验。

试验应证实联锁和监测电路的功能正常，它们的作用符合规定。

用模拟信号或设备本身的电器，观察报警是否正常工作，联锁是否可靠，限位是否正确。

7　检测报告

7.1　报告封面

报告封面至少应包括：

a）　报告编号；

b）　检测项目名称；

c）　委托单位；

d）　受检单位；

e）　检测类别；

f）　检测日期。

7.2　报告正文

报告正文至少应包括：

a） 检测背景：检测负责单位、检测地点、检测时间、检测单位等；

b） 检测项目：包括工作区尺寸、真空试验、升温试验、安全检查等；

c） 检测条件：环境条件、检测参数、检测仪表及精度、测点布置、检测方法、检测人员等；

d） 数据处理步骤：检测的原始数据、计算方法、计算结果；

e） 检测结果分析：根据检测结果、检测内容进行比较和分析，并对检测过程中遇到的问题加以说明；

f） 检测结论：根据检测结果对相关性能指标作出评价。