

国 家 市 场 监 督 管 理 总 局

国 家 标 准 化 管 理 委 员 会 发布

202×-××-××实施

202×-××-××发布

热等静压致密化处理通则

General rules for hot isostatic pressing (HIP) densification

（审定稿）

GB/T XXXX—20XX

中华人民共和国国家标准

ICS 77.020

H39

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。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）提出并归口。

本文件起草单位：安泰科技股份有限公司、钢研昊普科技有限公司、北京钢研高纳科技股份有限公司、有研亿金新材料有限公司、北京航空材料研究院股份有限公司、常州钢研极光增材制造有限公司、河北钢研德凯科技有限公司、涿州钢研昊普科技有限公司、钢铁研究总院有限公司、西安欧中材料科技有限公司、宁波热等静压技术有限公司、大连远东高新材料科技有限公司、宁波江丰电子材料有限公司

本文件主要起草人：XXX

# 热等静压致密化处理通则

1 范围

本文件规定了热等静压（HIP）致密化处理的人员、环境、设备与仪表、工艺材料、工艺过程、质量控制、文件控制、安全防护等要求。

本文件适用于铸造、3D打印、注射成型、喷射成型等制备的内部具有气孔、缩孔、缩松、微裂纹、偏析等缺陷制件的热等静压致密化。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 394.1 工业酒精

GB/T 4842 氩气

GB/T 6026 工业用丙酮

GB 15735 金属热处理生产过程安全、卫生要求

GB/T 30429 工业热电偶

GB/T 35388 无损检测 X射线数字成像检测 检测方法

GJB 509B 热处理工艺质量控制

HB 30043 钛及钛合金铸件热等静压工艺

3 人员

3.1 从事热等静压生产、技术、质量控制的人员应熟悉本职业务，具有一定的专业理论知识和实践经验。

3.2 热等静压操作人员、仪表员和检验员应经过培训，取得合格证，持证上岗。

4 环境

4.1 热等静压厂房的条件应符合GB 15735的要求。

4.2 热等静压控制、监测机房应与厂房隔离。

5 设备与仪表

5.1 设备

5.1.1 热等静压设备的构成部件、骨架、加热元件和隔热部件等宜采用钼材（钼丝或钼条）、钢、镍基合金以及氧化铝等材料制作，也可以根据需要采用石墨或石墨复合材料作为加热材料。

5.1.2 热等静压设备应配备温度测量和监控仪器，每个加热区均应具有独立的温度控制回路。热等静压设备的温度均匀性和测量周期应不低于GJB 509B第5章中IV类炉的规定。

5.1.3 热等静压设备的最高温度及最高工作压强应满足工艺要求。

5.1.4 热等静压设备的升温速度、加压速度应可调节。

5.2 仪表

5.2.1 测温和控温仪器的准确度不超过±1.1℃或读数的0.2%（以最大值为准）。

5.2.2 测量和控制压强仪表的示值准确度不超过输出量程的±2%。

5.2.3 炉温均匀性测量的准确度不超过±1.1℃或读数的0.2%（以最大值为准）。

5.2.4 露点仪的测量范围下限不大于-70℃，上限不小于-30℃，准确度不超过±4℃。

5.3 设备鉴定

5.3.1高压容器的类型/鉴定

5.3.1.1高压容器应包括惰性气体加压、内热式冷壁压力容器。

5.3.1.2除非另有规定，否则惰性气体一般采用氩气，符合GB/T 4842 氩气的规定。当使用除氩气以外的气体时，类型和纯度水平应事先由供需双方协商确定。

5.3.2 温度的均匀性

5.3.2.1 在使用典型操作参数对制件进行热等静压处理时，以最长不超过12个月的时间间隔对每台热等静压设备进行温度均匀性测量检测；

5.3.2.2 对于新设备及大修后设备的温度均匀性测量，温度均匀性测量周期应为3个月，温度均匀性测量连续合格次数达到3次后温度均匀性测量周期可调整为6个月；对于正常使用设备的温度均匀性测量，若出现温度均匀性测量不合格时，温度均匀性测量周期应调整为3个月。

5.3.2.3 当出现下列情况时，均应重新进行温度均匀性测量：

a) 在可能改变加热特性的设备改造、移位或者修理后；

b) 在热等静压过程中，若记录或指示的温度超出±15℃的温度容差要求；

c) 改变了原标准的使用温度；

d) 控温热电偶改变位置。

5.3.2.4 热等静压设备的高压容器中每个加热区至少应放置两个热电偶，安放在有效工作区内，来确定温度均匀性，一支热电偶接记录仪表，另一支热电偶接控温仪表（需要时对该热电偶指示的温度进行记录），其中至少应有一块仪表应具有报警功能并接报警保护装置。对炉温控制有特殊要求的热等静压设备，每个加热区推荐放置两支以上热电偶。

5.3.3 温度的测量和控制

5.3.3.1 高压容器必须放置温度测量装置（热电偶），对整个循环期间的温度做记录保存。

5.3.3.2 进行温度均匀性测量的热电偶，按照工业热电偶GB/T 30429规定进行校准。

5.3.3.3 应按照设备设计要求（设备说明书）来确定每个仪器的准确度。

5.3.3.4 对于生产热等静压循环，当接近热平衡时，任何负载监测热电偶的温度均不得超过需方规定的允许公差。达到热平衡后，任何负载监测热电偶的温度变化不得超过需方规定的允许公差。

5.3.3.5 初次鉴定（计量校准）后，每台温度测量仪器的校准周期为3个月。

5.3.4 压力的测量和控制

5.3.4.1 应按照热等静压设备设计要求对压力传感器进行测量校准。

5.3.4.2 设备性能应在设备设计要求的范围内。

5.3.4.3 初次鉴定（计量校准）后，每台压力测量仪器应每6个月重新校准一次。

6 工艺材料

6.1 用于热等静压的氩气或氮气初始纯度应≥99.99%。

6.2 清洗用工业酒精或工业用丙酮应分别符合GB/T 394.1、GB/T 6026的规定。

7 工艺过程

7.1 工艺流程

制件热等静压的典型工艺流程见图1。

准备工作

热等静压

装炉

出炉

图1 制件热等静压典型工艺流程

7.2 准备工作

7.2.1 来料检查

对需方来料进行检查并记录，将制件表面连通的孔洞类缺陷和暴露在制件表面超过相关技术条件要求的缺陷排除后，再进行处理。

7.2.2 表面清洗

热等静压前，应采用工业酒精或工业丙酮清除制件表面的油污、油脂或其他污物。如有无法清理的污物，应及时与需方联系。

7.2.3 设备准备

根据制件的尺寸、数量和重量选用合适的热等静压设备，热等静压设备控温与测温应由制件材质和设备的实际状态确定。

7.2.4 气体准备

压力介质一般采用氩气，首次使用的氩气初始纯度应≥99.99%；允许对气体进行稀释、补充、再利用，氩气的总杂质含量不大于200ppm时，可重复使用。根据需求，可采用氮气或其它惰性气体。

7.2.5 工装准备

对于易变形制件，在热等静压前，应根据制件的材质和大小设计、制作专用工装。若需方提供专用工装，则使用专用工装进行操作。设计工装时应考虑：

1. 可以设计为固定装置、板、托盘、垫片、悬挂器、容器和吊篮等；
2. 在工艺温度下，待处理制件与工装不应发生反应，不可避免发生反应时，工装需容易剥离；
3. 工装热胀和冷缩不应对待处理制件的尺寸产生影响；
4. 避免对待处理制件造成污染或变形；
5. 不应对设备产生影响。

7.2.6 工作台、工装应保持清洁，避免污染待处理制件。

7.3 装炉

7.3.1 搬运制件时，应佩戴棉质无线头的洁净手套，避免污染制件。

7.3.2 将制件摆放在清洁好的工装上面，制件不应挤压、叠放，保持独立不受压状态，并装入炉中。

7.3.3 随炉试样热等静压时，应与待处理制件同时装入炉中。

7.4 热等静压

7.4.1 工艺参数

根据材料代号/牌号、装炉量，以及制件尺寸制定热等静压工艺。

7.4.2 抽真空

启动抽真空系统，对热等静压炉内进行抽真空操作，真空度抽至低真空状态，抽真空结束。

7.4.3 预充气

对炉内进行充气，直至炉内与气瓶组中压力基本相等。

7.4.4 增压加热

依据制定的工艺要求，设定并执行增压、加热程序。

当压强达到平衡状态时，压强应在设定值的±5MPa的范围内变化。

在热等静压过程中，应对温度、时间和压强进行监控和记录。

7.4.5 保温保压

增压、加热至待处理制件热等静压工艺要求的范围，并保持温度、压强至工艺要求的时间。以控制热电偶达到设定温度或温度最低的一支监控热电偶达到保温温度的下限时且压强到达设定值，开始计算保温保压时间。

保温保压过程，压强应在设定值的±5MPa的范围内变化，温度应在设定值的±10℃的范围内变化。

7.4.6 冷却

冷却方式按照制定的热等静压工艺进行。

7.4.7 气体回收

当设备最高温区温度降至规定的温度时，将设备内惰性气体回收至气瓶组中。

7.5 出炉

7.5.1 炉内气体与大气压相同，并满足制定的热等静压工艺出炉温度要求时，方可出炉。

7.5.2 出炉时应使用洁净工具，操作人员应佩戴棉质无线头的洁净手套，避免污染制件。

8 质量控制

8.1 制件热等静压后，目视检验制件表面应颜色无异常、无碰伤。

8.2 随炉试样

重要的制件热等静压时，通过对与制件同材料、同批次、同状态的随炉试样进行物理、化学、力学等性能的检验，检验结果应符合制件技术标准的要求。

8.3 采用石墨加热体的热等静压设备处理时，经供需双方协商一致，可对制件进行碳含量检验，其含量不应超过制件技术标准或协议的要求。

8.4 记录

对热等静压过程应及时做出详细齐全的记录。记录内容如下：

1. 需方名称；
2. 制件数量和名称；
3. 材料牌号（种类）；
4. 热等静压设备；
5. 使用的气体类型；
6. 装炉明细；
7. 气体纯度（若需要）；
8. 热等静压处理工艺参数：时间、温度和压力；
9. 热等静压炉批号；
10. 处理日期；
11. 操作人员姓名；
12. 工艺变化记录；
13. 质量检验记录；
14. 其它（若需要）。

9 文件控制

9.1 热等静压(HIP)工艺应具有控制文件，且文件具有可追溯性；

9.2 生产工艺中每台热等静压设备的操作参数、热等静压工艺的原始数据（包括温度、时间、压力、日期、操作者等），均应记录并归档保存（可电子归档）；

9.3 热等静压（HIP）整个过程每道工序，供方需填写数据记录卡，在制件的首次加工检验合格、双方认可之后，工艺过程固化，形成内部工艺文件。如果有任何的改变，改变包含车间的任何改变、设备大修或操作程序的更改，必须执行正式的制造更改程序。

9.4 用于加压或淬火的气体，气体稀释、补充、再利用的方法，以及气体净化方法和纯度都应做好记录。

10 安全防护

10.1 热等静压生产过程的安全、卫生要求应符合GB 15735规定。

10.2 操作人员应穿着工作服、防护手套和防护鞋。

10.3 设备操作应严格按照设备操作规程进行。

10.4 热等静压生产使用的各种气体的放置和保管应符合国家标准或行业技术安全条例规定。

10.5 热等静压生产过程中产生的工业酒精、工业用丙酮或其他有机清洗剂废液等的排放和处理应符合国家相关环境保护要求。