

ICS XX.XXX.XX

CCS X XXX

团体标准

T/CPMA XXXXX-2022T/CSTM XXXXX—2022

增材制造 金属制件热等静压处理规程

Additive manufacturing- Hot isostatic pressing treatment procedure of metal parts

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

粉末冶金产业技术创新战略联盟

中关村材料试验技术联盟

联合发布

前 言

本标准按照 GB/T1.1-2020 给出的规则起草。

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。

本标准由 XXXX 提出。

本标准由 XXXXX 归口。

本文件为首次发布。

增材制造 金属制件热等静压处理规程

1 范围

本标准规定了增材制造金属制件热等静压处理的一般要求、工艺过程控制、质量检验及文件管理等要求。

本标准适用于增材制造金属制件的热等静压处理，通过释放应力和致密化，改善制件综合性能，提高制件可靠性。

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 7232-2012 金属热处理工艺 术语
- GB11651 劳动防护用品选用规则
- GB12801 生产过程安全卫生要求总则
- GB 15735 金属热处理生产过程安全卫生要求
- GB/T 30825 热处理温度测量
- GB/T 35351-2017 增材制造 术语
- GB/T 39247-2020 增材制造 金属制件热处理工艺规范
- JB/T 13116-2017 钢丝缠绕式热等静压机

3 术语、定义

GB/T7232、GB/T 35351 及 GB/T39247 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热等静压 hot isostatic pressuring; HIP

通过惰性气体使制件保持在较高的等静压和足够高的温度下发生蠕变以获得所需性能的固态过程。

3.2

在线采样气体分析 On-Line Gas Analysis

分析从工艺气体中采集的样品，其中传感元件未直接暴露在工艺气体的工作温度和压力下。

3.3

保温holding; soaking

在规定的热等静压温度和压力公差之间保持一定时间的操作。当压力和所有监控的温度值进入约定的公差范围内时，开始保温时间计时。

4 一般要求

4.1 通则

增材制造金属制件及随炉样品经初步检验合格后方可进行热等静压处理。

4.2 热等静压设备及工装夹具

4.2.1 热等静压机应为惰性气体内热式加压型冷壁压力容器，应该包括一个内部加热系统和一个温度和压力监测系统。其技术条件应符合 JB/T 13116-2017 的规定。

4.2.2 应根据需要提供合适的夹具、托盘、吊篮、吊架、机架、工具、吸气剂材料或其它夹具（以下简称工装夹具），以便于在热等静压工艺之前和期间搬运和定位零件或材料。所有工装夹具应由合适的材料制成，该材料应与工艺温度相匹配，且应与待热等静压处理的零件或材料兼容，或充分隔离，以防止发生不良反应或机械变形。

4.3 人员

4.3.1 热等静压生产、技术和质量控制人员应熟悉本职业务，具有一定专业理论水平和实践经验。

4.3.2 热等静压操作人员、仪表员、检验员应按国家和行业相关规定进行培训、考核，取得合格证，持证上岗。

4.4 安全卫生

4.4.1 金属制件进行热等静压处理的安全卫生应符合和 GB15735 的相关规定。

4.4.2 热等静压作业场地应制定安全、卫生防护技术措施，并应达到 GB12801 的基本要求。

4.4.3 应定期向热等静压操作人员发放劳动防护用品，防护用品应符合 GB11651 的规定。

4.4.4 应在设备维修进入受限空间之前，进行强制通风，确保氩气指标保持在对人体无害的水平，确保空气含氧量大于 19.5%。应穿戴适宜的个体防护用品。人员进入受限空间时，需有人看护，并积极监控区域内的安全性。

5 热等静压工艺制度

增材制造金属制件所采用的热等静压处理制度，应充分考虑增材制造工艺和成形态组织特点，以保证处理后的金属制件能够满足需方要求。表1列出了推荐的增材制造金属制件热等静压处理制度，未列出的材料看参考传统工艺制造金属制件的热等静压处理标准或按合同要求执行。

表1 增材制造金属制件推荐热等静压制度

合金类型	合金牌号	热等静压温度	热等静压压力	保温时间
高温合金	K4169	1120℃~1185℃	100MPa~200MPa	3h~4h
	Rene88 DT	1150℃~1170℃	195MPa~205MPa	2~2.5h
	GH4742	1140℃~1160℃	145MPa~155MPa	3~3.5h
	K4536	1050℃~1180℃	110MPa~180MPa	1h~4h
	Hastelloy X	1125℃~1175℃	100MPa~150MPa	1h~4h
	GH742Y	1120℃~1140℃	135MPa~145MPa	2~2.5h

不锈钢	S22253	1140℃~1160℃	120MPa~140MPa	2.5~3.5h
	S22053	1140℃~1160℃	120MPa~140MPa	2.5~3.5h
	S25073	1140℃~1160℃	120MPa~140MPa	2.5~3.5h
	316L	1125℃~1163℃	100MPa~137MPa	3h~4h
钛合金	TC4/TC4 ELI	900℃~960℃	120MPa~160MPa	2h~4h
	TA15	850℃~920℃	120MPa~160MPa	2h~4h
铝合金	Al-6016	570℃~590℃	95MPa~105MPa	1~1.5h
	ZL114A	530℃~540℃	120MPa~140MPa	2~2.5h
	AlSi10Mg	450℃~520℃	100MPa~150MPa	2~2.5h

6 工艺过程控制

6.1 热等静压前准备

热等静压前准备按GB/T39247要求执行。

6.2 制件及随炉样品装炉

6.2.1 按照制件及随炉样品几何尺寸和热等静压制度分类装炉。系列制件应可根据其位置（装载图）进行示意图追踪。应使用干净的手套搬运增材制造的零件。

6.2.2 应使热等静压处理件相互之间保持一定的距离，允许使用钛或钽等吸气剂材料，但要有足够的预防措施，防止与部件和设备相互作用。

6.2.4 制件应进行必要的固定和支撑，以防止在热等静压过程中变形或损坏。

6.3 热等静压工艺过程

6.3.1 总则

6.3.1.1 应按照在热等静压处理之前为每个零件制定的书面作业指导书进行热等静压处理。作业指导书应涵盖准备程序和所有关键参数，包括但不限于温度和公差、压力和公差以及温度和公差下的保持时间。

6.3.1.2 除非另有规定，可以任何速度升到所要求的温度和压力。然而，使用的速率应避免可能发生的温度和压力超调。

6.3.1.3 当监测传感器表明温度最低的传感器已达到所需的最低温度，且压力监测仪器表明已达到最低要求压力时，应启动保温时间的计时。

6.3.1.4 除非另有规定，应采用随炉冷却方式。

6.3.2 压力控制和记录要求

6.3.2.1 热等静压机应配备仪表，用于连续监测和记录整个热等静压过程中的压力。在加热和保温期间，每个传感器的压力读数应以不超过五分钟的间隔进行记录。

6.3.2.2 压力传感器的校准精度应符合制造商的说明，或者如果未定义，则应在使用范围的±2%范围内。

6.3.2.3 压力传感器的校准间隔应不超过半年。

6.3.3 温度控制和记录要求

6.3.3.1 热等静压机的仪表系统配置至少应满足 GB/T30825 规定的 IV 级炉子、D 型系统配置。用于转动件、关键结构件的热等静压炉，其仪表系统配置推荐采用 GB/T30825 规定的 B 型仪表系统配置或在 D 型仪表系统配置的基础上增加一支载荷热电偶。

6.3.3.2 每个加热区应有独立的温度控制和温度监测仪器。温度控制系统应有超温保护。

6.3.3.3 应对控制系统进行监视，以检测可能导致后续无法达到温度要求的任何事件或条件。

6.3.3.4 在整个热等静压处理过程中，应在通电后立即开始监测温度。温度读数应以至少 5 分钟的间隔记录。在包括冷却在内的整个周期内连续记录温度，在加热期间间隔不超过 15 分钟，在 $\leq 700^{\circ}\text{C}$ 的冷却期间间隔 5 分钟记录温度。如果根据材料规格有冷却速率要求，那么冷却期间的记录间隔不应大于 1 分钟。

6.3.3.5 应最少使用两个热电偶来确定热等静压机工作体积内每个加热区的温度均匀性，一个位于中心线，另一个位于加热区外径。如果需要，可以使用两个以上的热电偶。

6.3.3.6 热等静压机使用的温度控制仪、记录仪、保护及报警仪、热电偶（包括负载热电偶）及补偿导线的精度等级，使用要求及校准周期按照 GB/T30825 的规定执行。

6.3.3.7 热等静压机的有效加热区炉温均匀性要求按照 GB/T30825 的规定执行。

6.3.3.8 热等静压机的系统精度、有效加热区炉温均匀性测试方法及测试周期按照 GB/T30825 的规定执行。

6.3.4 气体

6.3.4.1 应使用氩气给热等静压机加压。氩气的总杂质含量不允许超过 200ppm，单项杂质最大允许水平如表 2 所示。

表 2 氩气的最大允许杂质水平

项目	最大体积分数/ppm
氢	125
氧	25
氮	50
碳氢化合物（甲烷） ^a	25
一氧化碳 ^a	10
水分 ^b	66
注： 气体总杂质含量应 $\leq 200\text{ppm}$ 。	
^a 综合测定时，总和不得超过 25 ppm。	
^b 或者露点为 -46°C 或更低。	

6.3.4.2 在加热开始之前，用于对 HIP 容器加压的惰性气体应进行在线采样气体分析。当气体要回收时，必须在出口进行在线采样气体分析，提取气体的位置应尽可能靠近容器入口。分析应使用气相色谱仪或等效品和连续在线采样方法进行。进气分析应满足表 2 的要求。

6.3.4.3 允许对气体进行稀释、补充、再利用。气体满足入口气体纯度要求时，可重复使用。

6.4 热等静压处理的中止及再运行

6.4.1 如果无法达到或保持最低保温温度和/或保温压力，则应中止热等静压处理。但是，如果工艺参数公差可以在 15 分钟内恢复，则可以继续热等静压处理。应记录中止热等静压处理的原因，并重新运行

热等静压处理。

6.4.2 在压力和温度同时升高的热等静压处理过程中，当处于加热阶段但温度低于设定温度的 50%时，可以中止热等静压处理并重新开始，而不考虑对最终材料性能的影响。

6.5 热等静压后处理

制件经热等静压处理后，应按照 GB/T39247-2020 或其它相关标准进行相应热处理。

7 质量检验

7.1 通则

热等静压处理对制件的表面状态、致密度、显微组织和力学性能等有影响，应按照需方要求的项目进行检验或按照供需双方约定进行检验。

7.2 外观

外观质量一般采用目视或不大于 10 倍的放大镜进行观察。制件热等静压处理后表面不应存在裂纹以及技术文件规定的其它不得出现的表面缺陷。

7.3 金相检验

样品低倍（200×）金相检验应符合表3中规定的验收标准。更高的放大倍数可用于澄清观察结果或测量以确定合规性。

表 3 金相检验项目要求

项目	上限
晶间腐蚀	0.015mm
合金贫化	0.03mm
初熔	不准许
非表面孔隙率	0.25%

7.4 力学性能

热等静压处理增材制造件的力学性能应按照需方要求的项目进行检验。

8 文件管理

金属制件热等静压处理后，应及时填写热等静压处理工艺档案并随件移交。热等静压工艺档案应包括但不限于以下信息：

- a) 热等静压设备信息及炉次；
- b) 热等静压制度；
- c) 实施单位及操作人信息；
- d) 热等静压炉升温速率、保温温度、保温时间、冷却速率、冷却方式信息；
- e) 热等静压制件信息，必要时包括制件摆放图；
- f) 露点测量记录、在线气体分析读数或报告（如适用）；
- g) 加压及气体回收过程记录；

- h) 热等静压处理日期;
- i) 检测报告 (如适用)。

应保持记录,以便为每个序列化部件提供可追溯性。每个部件都应溯源到特定的热等静压处理日期、时间、热等静压炉和炉内的位置 (如适用)。相关原始记录按制件质量档案保持年限,一般保留时间不少于10年。

附录 A
(资料性)
起草单位和主要起草人

本文件起草单位：钢研昊普科技有限公司，常州钢研极光增材制造有限公司，无锡飞而康新材料科技有限公司

本文件主要起草人：XXXXX