



中华人民共和国国家标准

GB/T 39247—2020

增材制造 金属制件热处理工艺规范

Additive manufacturing—Specification for heat treatment process of metal parts

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 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这些专利的责任。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国增材制造标准化技术委员会(SAC/TC 562)归口。

本标准起草单位:北京煜鼎增材制造研究院有限公司、西安赛隆金属材料有限责任公司、广东汉邦激光科技有限公司、中机生产力促进中心、首都航天机械有限公司、珠海天威飞马打印耗材有限公司、湖南华曙高科技有限责任公司、中国航空综合技术研究所、机械科学研究总院集团有限公司、西北工业大学、中国航发北京航空材料研究院、广东省材料与加工研究所、北京航空航天大学、北京工业大学、中国计量大学、浙江亚通焊材有限公司、深圳市威勒科技股份有限公司、北京遥感设备研究所、西北有色金属研究院、山东创瑞增材制造产业技术研究院有限公司、哈尔滨福沃德多维智能装备有限公司。

本标准主要起草人:钱婷婷、朱纪磊、刘建业、薛莲、罗志伟、张涛、陈勃生、孙诗誉、单忠德、于君、梁家誉、黄正华、刘栋、曾勇、杨幽红、李海斌、史金光、徐玄、明宪良、刘楠、吕忠利、刘锦辉。



增材制造 金属制件热处理工艺规范

1 范围

本标准规定了增材制造金属制件热处理工艺的一般要求、过程控制、检验和文件管理。
本标准适用于增材制造金属制件的热处理。

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 4842 氩
- GB/T 7232 金属热处理工艺 术语
- 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 15735 金属热处理生产过程安全、卫生要求
- GB/T 16923 钢件的正火与退火
- GB/T 16924 钢件的淬火与回火
- GB/T 22561 真空热处理
- GB/T 25745 铸造铝合金热处理
- GB/T 32541 热处理质量控制体系
- GB/T 35351—2017 增材制造 术语
- GB/T 37584 钛及钛合金制件热处理
- JB/T 7712 高温合金热处理

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 7232、GB/T 35351—2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 GB/T 35351—2017 中的一些术语和定义。

3.1.1

 **定向能量沉积** directed energy deposition;DED

利用聚焦热能将材料同步熔化沉积的增材制造工艺。

注:聚焦热能是指将能量源(例如:激光、电子束、等离子束或电弧等)聚焦,熔化要沉积的材料。

[GB/T 35351—2017,定义 2.2.2]

3.1.2

粉末床熔融 powder bed fusion; PBF

通过热能选择性地熔化/烧结粉末床区域的增材制造工艺。

注：改写 GB/T 35351—2017，定义 2.2.5。

3.1.3

随炉样品 sample along with part

在零件或实物成形的同时，额外制备的同制造批次样坯或试样。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DED：定向能量沉积(Directed Energy Deposition)

DED-Arc/M：以电弧为能量源、以金属丝材为原材料的定向能量沉积工艺(Directed energy deposition of metallic wires using an electric arc)

DED-EB/M：以电子束为能量源、以金属丝材为原材料的定向能量沉积工艺(Directed energy deposition of metallic wires using an electron beam)

DED-LB/M：以激光为能量源、以金属粉末为原材料的定向能量沉积工艺(Directed energy deposition of metallic powders using a laser beam)

PBF：粉末床熔融(Powder Bed Fusion)

PBF-LB/M：以激光为能量源、以金属粉末为原材料的粉末床熔融工艺(Powder bed fusion of metallic materials using a laser beam)

4 总则

4.1 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处理。

4.2 对于带有基材的粉末床熔融工艺制造的金属制件，若增材部分与基材为同种材料，则按照 6.6 选择热处理制度；若增材部分与基材为非同种材料，可综合评判后采用适宜的热处理制度或按合同要求执行。

5 一般要求

5.1 人员

5.1.1 从事增材制造金属制件热处理生产、技术管理和质量控制的人员应熟知本职业务，具有一定专业理论知识和实践经验。

5.1.2 增材制造金属制件热处理操作人员、仪表员、检验员应按国家和行业相关规定进行培训、考核，取得操作资质。

5.2 设备

5.2.1 增材制造金属制件热处理设备及其控制应符合 GB/T 32541 的规定。加热设备应安装炉温自动控制、记录和报警装置。

5.2.2 根据增材制造金属制件的尺寸、形状、加工余量、后处理工艺及热处理目的，选用适宜规格的热处理设备进行治疗。增材制造金属制件热处理常用的加热与冷却设备、适用标准及特殊要求见表 1。

表 1 增材制造金属制件的热处理设备

设备	适用标准	特殊要求
空气炉	GB/T 16923、GB/T 16924、GB/T 25745、 GB/T 37584、JB/T 7712	宜用于：零件加工余量 ≥ 1 mm
惰性气氛保护炉	GB/T 16923、GB/T 16924、GB/T 25745、 GB/T 37584、JB/T 7712 氩气：GB/T 4842	宜用于： a) 零件加工余量 < 1 mm； b) 钢件表面有脱碳控制要求
真空炉	GB/T 22561 压升率：GB/T 10066.1	
冷处理炉	GB/T 16924	能达到规定温度的冷冻箱
冷却装置	GB/T 16924、GB/T 22561、GB/T 32541	缓冷应配置砂箱、铁箱等；风冷应配置吹风装置

- 5.2.3 应按 GB/T 9452 的规定对热处理设备的炉温均匀性进行定期测定。
- 5.2.4 不同热处理工艺宜参考 GB/T 16923、GB/T 16924、GB/T 22561、GB/T 25745、GB/T 37584、JB/T 7712 等,选取符合 GB/T 32541 中相应类别要求的热处理设备进行治疗。
- 5.2.5 按照 GB/T 32541 的规定对热处理设备进行周期检验。

5.3 安全卫生

增材制造金属制件热处理的安全卫生应符合 GB 15735 的规定。



6 过程控制

6.1 热处理前准备

- 6.1.1 对粉末床熔融工艺制造的金属制件进行治疗前,应对支撑内部粉末、零件内腔粉末进行清理,防止热处理结束后,支撑内部及零件内腔粉末烧结,增加清理难度。
- 6.1.2 使用非真空炉进行治疗前,应对金属制件表面附着的未熔颗粒、半熔化颗粒、氧化皮、表面污染物等进行清理,可采用机械清理、喷砂、砂轮抛磨或机械加工等清理方法。
- 6.1.3 使用真空炉进行治疗前,金属制件表面的氧化皮、指印、油印、水迹或其他任何污染物痕迹应清理干净。工装夹具全部表面的杂质颗粒物、锈蚀产物、脱落氧化皮等可能污染炉膛的污物也应清理干净。同时,应防止在高温和高真空下金属制件与工装夹具因金属间扩散而发生粘连和金属制件表面的合金元素贫化现象。

6.2 金属制件及随炉样品装炉

- 6.2.1 按照合金牌号、几何尺寸和热处理制度分类装炉。
- 6.2.2 应使热处理件全部位于加热设备的有效加热区内,相互之间保持一定的距离,确保炉内气氛能自由流动循环。应使全部热处理件均匀地加热和冷却,应避免热处理件直接与炉底板接触。

6.3 升温及保温

钢制件热处理的升温及保温参照 GB/T 16923、GB/T 16924 等标准的规定执行。钛合金制件热处理的升温及保温参照 GB/T 37584 等标准的规定执行。铝合金制件热处理的升温及保温参照 GB/T 25745

等标准的规定执行。高温合金制件热处理的升温及保温参照 JB/T 7712 等标准的规定执行。真空热处理的升温及保温参照 GB/T 22561、GB/T 25745、GB/T 37584、JB/T 7712 等标准的规定执行。

6.4 冷却

热处理后的冷却参考相应标准,可采用出炉冷却或随炉冷却。出炉冷却可采用空冷、风冷、淬火等方式。

6.5 热处理后金属制件清理

6.5.1 经热处理的金属制件可采用喷砂、砂轮抛磨或机械加工等方法去除表面的氧化皮。

6.5.2 在惰性气氛保护炉或真空炉中热处理的金属制件,表面若存在浅氧化色时,应予以清除。若表面存在严重氧化色时,应对热处理工艺及过程对技术要求的符合性进行检查确认。

6.6 热处理制度

6.6.1 增材制造金属制件所采用的热处理制度,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满足需方的要求。表 2 列出了推荐的增材制造金属制件热处理制度,未列出的材料可参考传统工艺制造金属制件的热处理标准或按合同要求执行。

6.6.2 增材制造成形后的金属制件,宜在 24 h 内进行去应力热处理(例如退火)。

6.6.3 增材制造金属制件热处理的保温时间可根据制件的最大截面厚度按表 2 选取,也可参照 GB/T 16923、GB/T 16924、GB/T 22561、GB/T 25745、GB/T 37584、JB/T 7712 等标准的规定执行。

表 2 增材制造金属制件推荐热处理制度

合金牌号	制造技术	热处理状态	热处理温度	保温时间	冷却方式	要求
TC4	DED-LB/M	去应力退火	550 ℃~800 ℃	0.5 h~6 h	空冷、或炉冷、或炉冷至低温后空冷	
	DED-EB/M	去应力退火	550 ℃~650 ℃	2 h~5 h	空冷或炉冷	
		直接退火	700 ℃~800 ℃	2 h~5 h	空冷或炉冷	
		双重退火	900 ℃~970 ℃	1 h~3 h	空冷	
			700 ℃~760 ℃	1 h~3 h	空冷	
	DED-Arc/M	固溶	900 ℃~960 ℃	1 h~3 h	水淬	建议气氛炉或真空炉
		时效	500 ℃~650 ℃	2 h~8 h	空冷或炉冷	建议气氛炉或真空炉
	PBF-LB/M	退火	800 ℃~840 ℃	2 h~4 h	炉冷或空冷	
		固溶	920 ℃~980 ℃	≥1 h	空冷	
		时效	550 ℃~650 ℃	2 h~6 h	空冷或水淬	
TC11	DED-LB/M	去应力退火	530 ℃~750 ℃	0.5 h~6 h	空冷、或炉冷、或炉冷至低温后空冷	
		双重退火	900 ℃~1 010 ℃	0.5 h~4 h	空冷或风冷	
			500 ℃~600 ℃	2 h~6 h	空冷	

表 2 (续)

合金牌号	制造技术	热处理状态	热处理温度	保温时间	冷却方式	要求
TC11	DED-EB/M	退火	530 ℃～580 ℃	2 h～5 h	空冷或炉冷	
		双重退火	930 ℃～980 ℃	1 h～3 h	空冷	
			530 ℃～580 ℃	4 h～6 h	空冷	
	DED-Arc/M	双重退火	930 ℃～980 ℃	1 h～3 h	空冷	建议气氛炉或真空炉
			530 ℃～580 ℃	2 h～12 h	空冷	
		去应力退火	600 ℃～850 ℃	0.5 h～6 h	空冷	
TA7	DED-Arc/M	退火	700 ℃～850 ℃	1 h～4 h	空冷	建议气氛炉或真空炉
TA15	DED-LB/M	去应力退火	600 ℃～850 ℃	1 h～4 h	空冷、或炉冷、或炉冷至低温后空冷	
		双重退火	860 ℃～1 000 ℃	0.5 h～4 h	空冷或风冷	
			700 ℃～800 ℃	1 h～4 h	空冷、或炉冷至低温后空冷	
A100	DED-LB/M	去应力退火	180 ℃～450 ℃	2 h～4 h	空冷	
		正火	870 ℃～910 ℃	≥1 h	空冷	
		高温回火	670 ℃～690 ℃	≥16 h	空冷	
		淬火	870 ℃～910 ℃	≥1 h	油冷或在 1 h～2 h 内冷至 65 ℃以下	
		冷处理	—78 ℃～—68 ℃	≥1 h	空气中回温	
		回火	472 ℃～490 ℃	5 h～8 h	空冷	
AF1410	DED-LB/M	去应力退火	180 ℃～450 ℃	2 h～4 h	空冷	
		正火	870 ℃～910 ℃	≥1 h	空冷	
		高温回火	665 ℃～690 ℃	≥6 h	风冷	
		淬火	830 ℃～870 ℃	≥1 h	油冷或在 1 h～2 h 内冷至 65 ℃以下	
		冷处理	—78 ℃～—68 ℃	≥1 h	空气中回温	
		回火	500 ℃～515 ℃	≥5 h	空冷	
1Cr17Ni2	DED-LB/M	退火	670 ℃～690 ℃	≥6 h	空冷	
H13	PBF-LB/M	第一次回火	530 ℃～580 ℃	1 h～3 h	空冷	厚壁、大尺寸构件可延长保温时间至 4 h
		第二次回火	580 ℃～640 ℃	1 h～3 h	空冷	
18Ni300	PBF-LB/M	固溶	830 ℃～880 ℃	≥1 h	空冷	
		时效	460 ℃～520 ℃	4 h～6 h	空冷	

表 2 (续)

合金牌号	制造技术	热处理状态	热处理温度	保温时间	冷却方式	要求
GH4169	PBF-LB/M	固溶	930 ℃~980 ℃	≥1 h	空冷	
		时效	680 ℃~740 ℃	6 h~10 h	以 40 ℃/h~60 ℃/h 速率炉冷至 620 ℃	
			580 ℃~640 ℃	6 h~10 h	空冷	
	DED-Arc/M	均匀化	1 070 ℃~1 120 ℃	1 h~3 h	空冷	
		固溶	930 ℃~980 ℃	≥1 h	空冷	
		时效	700 ℃~740 ℃	6 h~10 h	以 40 ℃/h~60 ℃/h 炉冷至 610 ℃~660 ℃ 后炉冷或空冷	
GH3625	PBF-LB/M	去应力退火	850 ℃~900 ℃	≥1 h	空冷	建议气氛炉或真空炉
		固溶	1 050 ℃~1 150 ℃	1 h~4 h	空冷	建议气氛炉或真空炉
GH3536	PBF-LB/M	固溶	1 150 ℃~1 250 ℃	2 h~4 h	空冷	建议气氛炉或真空炉
2219 铝合金	DED-Arc/M	固溶	500 ℃~560 ℃	0.5 h~6 h	水淬	最长淬火转移时间 20 s
		时效	150 ℃~200 ℃	2 h~5 h	炉冷	
AlSi10Mg	PBF-LB/M	退火	280 ℃~330 ℃	2 h~6 h	炉冷	
		去应力时效	150 ℃~200 ℃	2 h~8 h	空冷	
		固溶	500 ℃~550 ℃	1 h~4 h	恒温水冷	水温 45 ℃
		时效	150 ℃~200 ℃	2 h~8 h	空冷	
ZL114A	DED-Arc/M	固溶	500 ℃~560 ℃	6 h~10 h	水淬	最长淬火转移时间 25 s
		时效	125 ℃~200 ℃	5 h~10 h	空冷	

7 检验

热处理对增材制造金属制件的表面状态、致密度、显微组织、力学性能等有影响,应按照需方要求的项目进行检验。

8 文件管理

增材制造金属制件热处理后,应及时填写热处理工艺档案并随件移交。热处理工艺档案应包括但不限于以下信息:

- a) 热处理设备信息；
- b) 热处理制度；
- c) 实施单位及操作人信息；
- d) 热处理炉升温速率、保温温度、保温时间、冷却速率、冷却方式信息；
- e) 热处理件信息；
- f) 检测报告。

相关原始记录按金属制件质量档案保存年限，一般保留时间不少于 5 年。
