

ICS 77.16/25.030

CCS H 72

T/GDMRS

广东省材料研究学会团体标准

T/GDMRS XX—20XX

增材制造 镁合金再制造技术规范

Additive manufacturing—Technical specifications for magnesium alloy
remanufacturing

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

广东省材料研究学会 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 工艺设计	2
5 工艺过程	2
6 质量检测	3
7 安全	5
8 检验、标识、包装	5

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。

本文件由广东省材料研究学会提出并归口。

本文件起草单位：广东省科学院新材料研究所、天航装备技术有限公司、唐山威豪镁粉有限公司、北京市春立正达医疗器械股份有限公司、天津理工大学、福建医科大学附属第一医院、成都国营锦江机器厂、北京工商大学、北京科技大学。

本文件主要起草人：

本文件指导专家：

本文件为首次发布。

征求意见稿

增材制造 镁合金再制造技术规范

警示——本文件不支持处理所有安全问题，仅可能包含制造过程相关的问题。本文件的使用者负责在使用前应采取适当的安全和健康措施，并保证符合国家有关法规规定的文件。

1 范围

本文件规定了应用增材制造技术对镁合金零件进行再制造的工艺设计、工艺过程、质量检测、检验、标识、劳动安全。

本文件适用于激光增材制造、电弧增材制造，其他增材制造工艺参考执行。

本文件适用于用镁合金为原材料生产的存在损伤或缺陷的零件，损伤或缺陷包括铸造缺陷（气孔、夹杂等）、加工过程中的超差、使用过程中吊耳、螺纹孔等部位的破坏、气密性的失效、产生贯穿性缺陷等。

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 191 包装储运图示标志

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 4296 变形镁合金显微组织检验方法

GB/T 5153 变形镁及镁合金牌号和化学成分

GB/T 6388 运输包装收发货标志

GB/T 11651 个体防护装备选用规范

GB 15577 粉尘防爆安全规程

GB/T 27611 再生利用品和再制品通用要求及标识

GB/T 28619 再制造 术语

GB/T 35351 增材制造 术语

GB/T 36589 铸件 工业计算机层析成像（CT）检测

GB/T 39251 增材制造 金属粉末性能表征方法

GB/T 39252 增材制造 金属材料粉末床熔融工艺规范

GB/T 39254 增材制造 金属制件机械性能评价通则

T/CMES 34003 增材再制造技术规范

ISO/TR 26946 热喷涂涂层孔隙率的测定（Standard method for porosity measurement of thermally sprayed coatings）

3 术语和定义

GB/T 35351、GB/T 28619、T/CMES 34003界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

供应状态 Supply condition

交货产品的最终热处理、表面处理的状态。

4 工艺设计

4.1 再制造性评估

- 4.1.1 在对损伤零件进行性能测试及工况指标分析的基础上,综合考虑技术、经济、环境、资源等因素,进行再制造评估。评估一般包括再制造零件的失效分析、宏观缺陷分析、剩余寿命评估、环境影响分析、资源利用及成本分析、能效分析等。
- 4.1.2 供方应进行技术可行性分析,通过分析原零件的加工工艺、材料、结构、失效情况、宏观缺陷分布情况、性能要求等,判断技术上是否可进行再制造。
- 4.1.3 原零件若已经通过氩弧焊、堆焊等大热影响区的焊接方式进行过修复,应尽可能将热影响区域去除掉,且再制造次数不宜超过1次。
- 4.1.4 承受大载荷零件的再制造次数不宜超过2次,承受中等及低载荷的零件,可以经技术负责人评估后进行多次再制造。

4.2 原材料、工艺选择

- 4.2.1 根据损伤零件基体材料及性能要求选择再制造原材料,其成分应与母材成分一致或主要成分一致或主要性能指标满足要求。再制造用原材料应由供需双方协商确定。
- 4.2.2 根据零件结构特点、缺陷种类及再制造原材料的性能特点,选择适用的增材制造工艺和设备。
- 4.2.3 选择选区激光熔化技术应满足其设备成形尺寸及水平向上增材制造的限制。保证损伤、缺陷、热影响区域的完全去除。
- 4.2.4 对于内腔、内沿或者盲孔区域,在保证枪头可达性的前提下,可以选择内孔式的激光熔覆方法进行再制造。
- 4.2.5 在原材料、工艺选择时,进行试样验证,对整个工艺做系统性工艺评定,以此确认镁合金零件再制造的可行性。

4.3 技术文件制定

经过系统性的工艺评定,制定再制造技术文件,包含工艺、检验技术文件等。

5 工艺过程

5.1 再制造前的检测及预处理

- 5.1.1 测量、记录零件的相关尺寸、形位公差。
- 5.1.2 宜采用无损检测确认零件的损伤或缺陷位置、深度,用机械方法完全去除。为确保缺陷完全去除,要求:
 - (a) 确认再制造部位近表层区域的缺陷得到完全清理;
 - (b) 因存在检测精度影响,一般在现有标定损伤、缺陷的基础上设定额外清除余量,避免可能的裂纹等缺陷的存留;
 - (c) 受氩弧焊、堆焊等大热影响的热影响区域应清除掉;
 - (d) 去除要求应在工艺技术文件中详细规定。
- 5.1.3 采用选区激光熔化技术,一般将破损、缺陷区域完全切除成一个平面,进行喷砂处理,要求喷砂等级达到Sa2.5级或表面粗糙度 $45\mu\text{m}\sim 75\mu\text{m}$,再在上面进行嫁接打印。
- 5.1.4 通过机械或化学方法去除零件待再制造部位的油污、锈蚀、氧化膜及其他杂质。

5.2 再制造

5.2.1 设计、制作工装夹具，按工艺技术文件，对经过预处理的零件进行增材。

5.2.2 固定零件的工装材料的选择应考虑结构刚度，保证热应力引起的基材、工装变形在允许范围内。

5.3 后处理

供需双方协商选择后处理方式，具体以满足需方及性能要求为主，主要包含以下：

- a) 进行热处理，制定热处理制度，进行去应力或恢复性能热处理；
- b) 进行表面处理，如：喷涂、镀膜、电镀等，使表面硬度、摩擦磨损、腐蚀等性能达到技术要求；
- c) 进行机加工，使零件尺寸、表面粗糙度等达到技术图样要求。

6 质量检测

6.1 镁合金原材料

增材再制造用镁合金原材料，包括但不限于粉末、丝材等，其化学成分符合 GB/T 5153 的规定，镁合金粉的氧含量、外观、粒度、松装密度、振实密度、流动性、球形率等应满足要求，镁合金丝材的外形尺寸及其允许偏差、外观质量应满足要求。具体要求由制造商确定并进行检验。

化学成分测试按照 GB/T 5153 规定的方法进行。其余性能测试按照 GB/T 39251 给出的方法进行。

6.2 再制造层

6.2.1 总则

根据性能要求，选择下列部分或全部检测项目进行检验，一般致密度与相对密度选择其一即可。

- a) 表面质量；
- b) 致密度；
- c) 相对密度；
- d) 内部质量；
- e) 力学性能；
- f) 结合强度；
- g) 腐蚀性能；
- h) 尺寸、形位公差

6.2.2 表面质量

6.2.2.1 再制造部位表面应结合良好、无缺损、掉块等缺陷。再制造的部位与基体存在色差情况由供需双方协商确定是否可接受。

6.2.2.2 再制造层表面可进行荧光渗透检验。具体要求为：产品表面应无凹坑、裂纹、划痕等缺陷，其余可接受缺陷由供需双方协商确定。

6.2.2.3 荧光渗透检验按GB/T 18851.1的规定进行。

6.2.3 致密度

6.2.3.1 试样致密度 $\geq 98.0\%$ 。

6.2.3.2 致密度检测采用金相灰度法测试，孔隙率测定按ISO/TR 26946规定执行。按ISO/TR 26946测试孔隙率，应在试样的中心位置取样，镶样、磨样、抛光后，用金相显微镜，在放大倍数为100×(物镜20×)下测定孔隙率，一般选择5个区域测试，取平均值。按公式(1)计算致密度(%)。

$$D = 1 - P \dots\dots\dots \text{公式 (1)}$$

式中：

D——试样致密度，单位为百分号(%)；

P——试样平均孔隙率，单位为百分号(%)。

6.2.3.3 致密度也可以选择X射线CT检测方法，按GB/T 36589规定执行。

6.2.4 相对密度

6.2.4.1 试样相对密度≥98.0%。

6.2.4.2 检测方法按GB/T 3850的规定进行。液体选择无水乙醇，丙酮等有机溶剂。试样需要经过打磨、抛光、超声清洗、干燥处理。

6.2.5 内部质量

6.2.5.1 再制造层可进行金相检测和X射线照相检测、X射线CT检测等无损检测。具体要求：再制造界面结合良好，界面及内部应无裂纹、未熔合等线性缺陷或穿透性缺陷，可接受气孔、夹杂类缺陷由供需双方协商确定。

6.2.5.2 金相检测按GB/T 4296执行，X射线照相检测按照HB 20160执行，X射线CT检测按GB/T 36589执行。

6.2.6 力学性能

6.2.6.1 力学性能包括硬度、拉伸强度、延伸率以及用户指定的其他性能等，选区激光熔化制造的镁合金再制造层的室温拉伸性能、硬度应符合表1的要求。其他供应状态及工艺制备的再制造层的力学性能由供需双方协商确定，并在合同(订货单)、技术文件中注明。

6.2.6.2 力学性能检测按照GB/T 39254第6章给出的方法执行。

表1 室温力学性能

牌号	供应状态	抗拉强度, R _m /MPa X、Y、Z轴方向 ≥	规定塑形延伸强度 R _{p0.2} /MPa X、Y、Z轴方向 ≥	断后伸长率A/% X、Y、Z轴方向 ≥	维氏硬度 HV ≥
AZ91D	成形态	300	250	7	90
WE43	成形态	200	200	5	80
ZK61	成形态	150	120	3	50
其他牌号镁合金的室温力学性能由供需双方协商确定。					

6.2.7 结合强度

6.2.7.1 结合强度一般应不低于原零件规定拉伸强度的70%，同时不应断在结合面；如果是断在基体的话，则满足要求；如果是断在结合面的话，那么断裂在再制造层的面积占比不低于80%，或与客户协商确定。结合强度要求也可以由供需双方协商确定。

6.2.7.2 检测参照GB/T 228.1执行。

6.2.8 腐蚀性能

腐蚀性能由供需双方协商确定，满足使用要求。

6.2.9 尺寸、形位公差

再制造产品进行尺寸、形位公差测量，满足技术图样要求。产品的尺寸采用相应精度的量具测量，检验位置及方法由供需双方协商确定。

7 安全

7.1 劳动安全

作业人员应考虑以下安全问题：

- a) 应考虑镁合金粉易燃易爆的性质，制定相应安全措施。
- b) 应配置相应的设备、设施保证安全，激光选区熔化设备满足GB/T 39252 4.5的要求。
- c) 应考虑噪音、光辐射、粉尘、气味、空气循环等对人身的影响，采取相应的安全措施。
- d) 作业人员按照GB/T 11651的规定使用劳动保护用品。

7.2 运输、贮存安全

运输、贮存应考虑以下安全问题：

- a) 应考虑镁合金熔点、沸点、燃点低的问题，制定相应安全措施。
- b) 应考虑镁合金与周围环境可能的反应，制定相应安全措施。

8 检验、标识、包装

8.1 产品由供方进行检验，保证产品符合本文件及供方制定的技术文件的规定，并附上质量检验证明书，含供方名称、产品名称，供应状态、产品数量、各项分析检测结果，质量检测部门印记、出厂日期等。

8.2 产品应明示再制造标识。标识应符合GB/T 27611的规定。

8.3 包装应符合GB/T 191和 GB/T 6388标准的规定。
