

# 团 体 标 准

T/GMES XXXX—202X

## 增材制造 钛及钛合金绿色回收再生指南

Additive manufacturing—Guidelines for green material recycling and regeneration of titanium and titanium alloys

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布



中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：[www.cmes.org](http://www.cmes.org) 联系人：袁俊瑞 电子信箱：[yuanjr@cmes.org](mailto:yuanjr@cmes.org)

## 目 次

前 言.....	1
1 范围.....	2
2 规范性引用文件.....	2
3 术语和定义.....	2
4 缩略语.....	3
5 回收物料的分类和分级.....	3
6 回收物料的检验及要求.....	4
7 回收物料绿色再生工艺.....	4
8 再生产品分类分级及技术要求.....	7
9 检验方法.....	8
10 标志、包装、运输和贮存.....	9

中国机械工程师协会标准



# 增材制造 钛及钛合金绿色回收再生指南

## 1 范围

本文件规定了增材制造钛及钛合金粉末制备及使用等过程中产生的可回收物料的分类和分级、要求、检验及要求、绿色再生工艺、再生产品分类分级及技术要求、检验方法、标志、包装、运输和贮存等。

本文件适用于增材制造钛及钛合金绿色回收再生，合金牌号为 TA1、TA15、TC4、TC11 及 TC18，其他牌号参照使用。

## 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（包括所有的更改单）适用于本文件。

GB/T 228 金属材料拉伸试验方法

GB/T 1480 金属粉末干筛分法测定粒度

GB/T 3620.1 钛及钛合金牌号和化学成分

GB/T 4698 海绵钛、钛及钛合金化学分析方法

GB/T 8180 钛及钛合金加工产品的包装、标志、运输和贮存

GB/T 35351 增材制造 术语

GB/T 39251 增材制造 金属粉末性能表征方法

## 3 术语和定义

GB/T 35351 和 GB/T 39251 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**绿色回收再生 green material recycling and regeneration**

通过熔炼、热等静压、氢化脱氢、化学处理等方法对回收物料进行回收的过程。

### 3.2

**切头 crop**

PREP、EIGA 使用棒材制粉前切割下来的块状物料。

### 3.3

**料头 stub bar**

PREP、EIGA 使用棒材制粉后剩余的块状物料。

### 3.4

**氢化脱氢粉末 hydrogenated dehydrogenation powder**

通过氢化脱氢方法制备的粉末。

### 3.5

**再生粉末 recycled powder**

通过回收物料及各种回收方法重新制备的粉末

### 3.6

**再生棒材 recycled rod**

通过回收物料及各种回收方法重新制备的棒材。

## 3.7

**再生板材 recycled plate**

通过回收物料及各种回收方法重新制备的板材。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件：

EIGA: 电极感应气雾化 (Electrode induction melting gas atomization)

HIP: 热等静压 (Hot isostatic pressing)

HDH: 氢化脱氢 (Hydride-dehydrate)

PREP: 等离子旋转电极工艺 (Plasma rotating electrode process)

PA: 等离子雾化 (Plasma atomization)

PS: 等离子球化 (Plasma spheroidization)

MIM: 金属注射成形 (Metal Injection Moulding)

## 5 回收物料的分类和分级

钛及钛合金回收料按形状分为粉状、屑状和块状三类，按品质分为一级、二级和三级，见表 1。

表 1 回收物料分类和分级

物料类别	来源	分级		
		一级	二级	三级
粉状物料	1. 制粉过程中产生的非目标粉； 2. 成形过程中的回收粉； 3. 粉末检测样品； 4. 增材制造其它粉状回收物料。	1. 氧含量 $\leq 0.15\%$ 。 2. 推荐检测氮、氢等指标，氮含量 $\leq 0.02\%$ ，氢含量 $\leq 0.01\%$ 。	1. $0.15\% < \text{氧含量} \leq 0.26\%$ 。 2. 推荐检测氮、氢等指标， $0.02\% < \text{氮含量} \leq 0.03\%$ ， $0.01\% < \text{氢含量} \leq 0.02\%$ 。	氧含量 $> 0.26\%$ 。
屑状物料	1. 增材制造零件机加工屑料； 2. 棒材制备过程中产生的屑料； 3. 增材制造其它屑状回收物料。			
块状物料	1. 切头、料头； 2. 增材制造检测样品； 3. 增材制造不合格件； 4. 增材制造支撑； 5. 增材制造其它块状回收物料。			

## 6 回收物料的检验及要求

- 6.1 应对钛及钛合金回收物料进行检验,按照表 1 规定要求分类和分级进行回收、保管,不应混杂。不同牌号回收物料不应相混。
- 6.2 粉状物料应使用有盖的桶/盒/罐/袋进行包装,包装内壁不应有杂物掺入以免污染;屑状物料可使用铁皮桶包装;块状可使用箱子包装。
- 6.3 回收物料应干燥,表面洁净,无油污。
- 6.4 相关单位应结合实际情况,制定回收物料管理制度。

## 7 回收物料绿色再生工艺

### 7.1 熔炼回收工艺

#### 7.1.1 制备电极棒

将回收物料采用焊接和压机钢模压制的方法制备成标准尺寸的电极棒,具体尺寸规格应根据企业自身用的真空自耗炉进行规定。

#### 7.1.2 真空自耗熔炼

采用真空自耗熔炼炉,将制备好的电极棒熔炼制备成标准尺寸的金属锭,具体尺寸规格应根据企业自身用的熔炼设备进行规定。

### 7.2 热等静压回收工艺

#### 7.2.1 模压预成型

采用热等静压工艺回收再生的物料为粉状物料或屑状物料。屑状物料应按照设计尺寸模压预成型成锭坯。

#### 7.2.2 包套制作及装填

按照所需规格设计包套,将粉状物料或模压预成型锭坯装入包套,振实后装填密度宜达到理论密度的 55%以上,对装填好的包套进行真空除气、密封。

#### 7.2.3 HIP

密封包套放入热等静压设备中,进行热等静压成形,经 HIP 成形后去除包套。表 2 为常见牌号的 HIP 推荐参数。

表 2 HIP 推荐参数

牌号	温度/℃	压力/MPa	时间/min
TA1、TA15、TC4、TC11、TC18	910~950	110~150	90~240

### 7.3 氢化脱氢工艺

#### 7.3.1 氢化

在大于 1 个大气压的特定气压范围内及高纯氢气氛下进行氢化反应。反应温度可依据具体的回收物料牌号及状态进行选择,并在氢化反应期间保证氢气持续循环流通。氢化反应后,回收物料由延性状态变成脆性的氢化物状态,以便于后续进行破碎处理。表 3 为常见牌号的氢化工艺推荐参数。

表 3 氢化工艺推荐参数

牌号	温度/℃	保温时间范围/h	气压/MPa
TA1	500-700	2-4	0.1-0.5
TA15	600-750	2-4	0.1-0.5
TC4	550-700	1.5-3	0.1-0.3
TC11	650-750	2-4	0.2-0.5
TC18	500-650	1.5-4	0.1-0.4

### 7.3.2 破碎

采用机械、物理等方式，对脆性的钛氢化物进行破碎。依据用户需求，调整关键处理参数，以获得合适的粉体粒径范围。破碎过程可根据具体情况，采用真空、惰性气体保护，或在环境气氛下进行。环境气氛下的破碎有利于提高生产效率，但有可能需要额外的除氧处理。

### 7.3.3 脱氢

在高真空条件及特定温度范围下进行脱氢反应，将钛的氢化物重新转变成为钛及钛合金，脱氢处理温度一般要大于或等于氢化温度，低于钛合金 $\beta$ 转变温度。脱氢后粉末氢含量要求低于0.03%。表4为常见牌号的脱氢工艺推荐参数。

表 4 脱氢工艺推荐参数

牌号	温度/℃	保温时间范围/h	真空条件/Pa
TA1	650-800	4-7	$\leq 6.7 \times 10^{-2}$
TA15	700-850	4-7	$\leq 5 \times 10^{-3}$
TC4	600-750	4-7	$\leq 1.4 \times 10^{-2}$
TC11	700-850	5-10	$\leq 5 \times 10^{-3}$
TC18	700-800	4-10	$\leq 6.7 \times 10^{-2}$

### 7.3.4 球形化及除氧工艺

脱氢处理后，采用机械整形、PS等方式对粉体进行球形化处理。球形化处理后，粉末的球形度一般要求 $\geq 86\%$ ，霍尔流速 $\leq 46\text{s}/50\text{g}$ 。球形化处理时，应该采用适当工艺以控制氧氮含量增量，或采用特殊工艺降低氧氮含量，球化处理时氧含量增量一般要求 $\leq 0.1\%$ ，氮含量增量一般要求 $\leq 0.01\%$ 。

## 8 再生产品分类分级及技术要求

### 8.1 分类及分级

钛及钛合金再生产品按形状分为再生粉材、再生棒材和再生板材三类，按品质分为一级、二级和三级，见表4。

表 4 再生产品分类和分级

物料类别	分级		
	一级	二级	三级
再生粉材	1. 氧含量 $\leq 0.15\%$ 。 2. 推荐检测氮、氢等指标，氮含量 $\leq 0.02\%$ ，氢含量 $\leq 0.01\%$ 。	1. $0.15\% < \text{氧含量} \leq 0.26\%$ 。 2. 推荐检测氮、氢等指标， $0.02\% < \text{氮含量} \leq 0.03\%$ ， $0.01\% < \text{氢含量} \leq 0.02\%$ 。	氧含量 $> 0.26\%$ 。
再生棒材			
再生板材			

## 8.2 化学成分

再生产品主要成分范围应符合表 5 的规定，其余产品范围按 GB/T 3620.1 执行。

表 5 化学成分

合金牌号	化学成分（质量分数）/%									
	主要成分						杂质，不大于			
	Ti	Al	Mo	V	Zr	Cr	Si	Fe	C	其余单个
TA1	余	-	-	-	-	-	-	0.25	0.10	0.10
TA15	余	5.5-7.1	0.5-2.0	0.8-2.5	1.5-2.5	-	0.15	0.25	0.08	0.10
TC4	余	5.5-6.75	-	3.5-4.5	-	-	-	0.30	0.08	0.10
TC11	余	5.8-7.0	2.8-3.8	-	0.8-2.0	-	0.2-0.35	0.25	0.08	0.10
TC18	余	4.5-5.5	4.5-5.5	4.5-5.5	-	0.8-1.2	0.15	0.3	0.08	0.10

## 9 检验方法

### 9.1 化学成分

再生产品的化学成分测试按 GB/T 4698 的规定进行。

### 9.2 粒度及分布

筛分粒度的测定按照 GB/T 1480 的规定进行。

### 9.3 力学性能

再生产品的力学性能按 GB/T 228 的规定进行。

### 9.4 外观质量

外观质量采用目视检查。

## 10 标志、包装、运输和贮存

### 10.1 标志

再生产品应标明牌号和原材料级别，建议进行碳足迹认证和再生工艺标识（如 RL 熔炼法、RD 热等静压法、QH 氢化脱氢法）。

## 10.2 包装

再生产品应分牌号、类别进行保管，不同牌号不应相混。

## 10.3 运输和贮存

运输和贮存按 GB/T 8180 的相关规定执行。

## 10.4 质量证明书

每批回收重制粉末及相关的回收物料应负有本标准要求的质量证明书，其上注明：

- a) 供方名称；
- b) 回收物料类别、来源、分级；
- c) 再生产品牌号、规格；
- d) 批重；
- e) 检验结果及质检部门印记；
- f) 本标准编号；
- g) 检验日期。

中国机械工程学标准

参 考 文 献

- [1] GB/T 15073 铸造钛及钛合金牌号和化学成分
  - [2] GB/T 20927 钛及钛合金废料
  - [3] GB/T 38981 烧结金属注射成形材料
  - [4] HB/Z 234 钛合金铸件热等静压工艺
  - [5] T/CSTM 01118 增材制造 金属制件热等静压处理规程
- 

中国机械工程学会标准