

团体标准

T/CI XXX-2022

激光选区熔化 2xxx 铝合金粉末成分与力学性能评判规范

Standard for alloying composition and mechanical properties of 2xxx aluminum alloy powder used for selective laser melting

(征求意见稿)

2022-X-X 发布

2022-X-X 实施

中国国际科技促进会 发布

目 次

前 言.....	III
激光选区熔化 2xxx 铝合金粉末成分与力学性能评判规范.....	1
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 技术要求.....	3
4.1 粉末外观.....	3
4.2 化学成分.....	3
4.3 形貌.....	3
4.4 粉末材料性能.....	3
4.5 成形试样性能.....	4
5 试验方法.....	5
5.1 粉末外观.....	5
5.2 化学成分.....	5
5.3 形貌.....	5
5.4 粉末材料性能.....	5
5.5 成形试样性能.....	5
6 检验规则.....	6
6.1 检验分类.....	6
6.2 定型检验.....	7
6.3 逐批检验.....	8
7 标志、包装、运输、贮存和质量证明书.....	8
7.1 标志.....	8
7.2 包装.....	8
7.3 运输.....	8
7.4 储存.....	9

7.5 质量证明书..... 9

8 测试报告..... 9

附 录 A （规范性） 粉末床熔融工艺制备镍钛粉末材料成形试样..... 10

附 录 B （规范性） 试验方法..... 10

征求意见稿

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。

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。

本文件由华中科技大学提出。

本文件中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：华中科技大学，北京卫星制造厂有限公司，北京电子工程总体研究所，江苏威拉里新材料科技有限公司，中南大学，广东省科学院新材料研究所，山东大学，中车研究院有限公司。

本文件主要起草人：宋波、张金良、文世峰、周燕、史玉升、祁俊峰、李霏、李瑞迪、叶国晨、张利军、闫星辰、韩泉泉、祝弘滨、李敬洋、高建宝、章媛洁、王晓波、张磊。

本文件为首次制定。

激光选区熔化 2xxx 铝合金粉末成分与力学性能评判规范

1 范围

本标准规定了激光选区熔化用 2xxx 铝合金粉末材料的命名规则、技术要求、试验方法、标志、包装、运输和贮存、试验报告等内容。

本文件适用于以惰性气体雾化法、等离子旋转电极法、等离子雾化法、等离子球化法等制取的激光选区熔化用 2xxx 铝合金粉末材料。

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 35351—2017 增材制造 术语

GB/T 20975.25-2020 铝及铝合金化学分析方法 第 25 部分：元素含量的测定
电感耦合等离子体原子发射光谱法

GB/T 20975.3-2020 铝及铝合金化学分析方法 第 3 部分：铜含量的测定

GB/T 20975.16-2020 铝及铝合金化学分析方法 第 16 部分：镁含量的测定

GB/T 20975.7-2020 铝及铝合金化学分析方法 第 7 部分：锰含量的测定

GB/T 20975.12-2020 铝及铝合金化学分析方法 第 12 部分：钛含量的测定

GB/T 20975.15-2020 铝及铝合金化学分析方法 第 15 部分：硼含量的测定

GB/T 20975.24-2020 铝及铝合金化学分析方法 第 24 部分：稀土总含量的测定

GB/T 20975.19-2020 铝及铝合金化学分析方法 第 19 部分：锆含量的测定

GB/T 20975.4-2020 铝及铝合金化学分析方法 第 4 部分：铁含量的测定

GB/T 20975.14-2020 铝及铝合金化学分析方法 第 14 部分：镍含量的测定

GB/T 19077-2016 粒度分析 激光衍射法

GB/T 16913—2008 粉尘物性试验方法

GB/T 1479（所有部分） 金属粉末 松装密度的测定

GB/T 1479.1—2011 金属粉末 松装密度的测定 第 1 部分：漏斗法

GB/T 5162—2021 金属粉末 振实密度的测定

GB/T 1482—2010 金属粉末 流动性的测定 标准漏斗法（霍尔流速计）

GB/T 1031—2009 产品几何技术规范（GPS）表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值

GB/T 4472—2011 化工产品密度、相对密度的测定

GB/T 228.1—2010 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 232—2010 金属材料 弯曲试验方法

GB/T 38769—2020 金属材料 预裂纹夏比试样冲击加载断裂韧性的测定

GB/T 2828.1—2012 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划

GB/T 191—2008 包装储运图示标志

3 术语和定义

GB/T 35351—2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

原材料 **feedstock**

增材制造成形过程中使用的材料。

注：增材制造工艺通常可以使用多种类型的原材料，例如液体、粉末、悬浮体、丝材和薄片等。

[来源：GB/T 35351—2017, 2.5.6]

3.2

原始粉末 **virgin powder; fresh powder**

粉末批中未使用过的粉末。

[来源：GB/T 35351-2017, 2.5.10]

3.3

使用过的粉末 **used powder**

至少在一次成形周期中被使用过的粉末。

[来源：GB/T 35351-2017, 2.5.11]

3.4

粉末材料 **powder material**

材料经过一定加工工艺处理后形成的尺寸在微米及以下级别的离散颗粒聚集体，可以是使用过的粉末、原始粉末或者两者的混合。

3.5

成形试样 as-built sample

在一定工艺条件下，粉末经过粉末床熔融直接获得的具有一定形状、尺寸和性能的试样。

注：成形试样未经任何喷砂、加热固化等后处理。

4 技术要求

4.1 粉末外观

粉末材料外观特征为：无结块、团聚、粘连，无异物、杂质，颜色均一，呈均匀银灰色。

4.2 化学成分

产品按化学成分分为AlCuMgMnTiBScZr，其化学成分如表1所示。

表 1 2xxx 铝合金粉末的化学成分

牌号	化学成分（质量分数/%）								
	主成分							其他元素	
	Al	Cu	Mg	Sc	Zr	Ti	B	单个	总和
AlCuMgTi	余量	1.5-6.0	0.5-5.5	<0.1	<0.1	0.5-1.5	0	<0.1	<0.4
AlCuMgTiB	余量	1.5-6.0	0.5-5.5	<0.1	<0.1	0.5-1.5	0.5-1.0	<0.1	<0.4
AlCuMgScZr	余量	1.5-6.0	0.5-5.5	0.5-1.5	0.3-1.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.4

注1：其他元素一般包括：Fe、Ni、Mn、Si、Zn（该牌号中含有的合金元素应除去）。产品出厂时供方可不检验其他元素，如有特殊要求，需方可在订单中注明。

4.3 形貌

在100倍金相显微镜下，随机选取三个视场观察，其90%以上的粉末应呈无凸角的球形或类似球形的颗粒。

4.4 粉末材料性能

采用惰性气体雾化法、等离子旋转电极法、等离子雾化法、等离子球化法制备的激光选区熔化用2xxx铝合金粉末，其性能应符合表2的规定。

表 2 激光选区熔化用 2xxx 铝合金粉末技术要求

序号	试验项目		单位	激光选区熔化	检验方法
1	粒度分布 15~53	D _{v10}	μm	15±5	按5.4.1条款检验
2		D _{v50}		25±5	按5.4.1条款检验
3		D _{v90}		50±5	按5.4.1条款检验
4	堆积密度		g/cm ³	≥1.05	按5.4.2条款检验
5	松装密度		g/cm ³	≥1.10	按5.4.3条款检验
6	振实密度		g/cm ³	≥1.30	按5.4.4条款检验
7	流动性		s/50g	<40	按5.4.5条款检验
8	安息角		°	≤30	按5.4.6条款检验

注2: D_{v10}指粉末体积百分数累计分布达到10%时所对应的粒径,即粒径小于或等于D_{v10}的粉末的体积百分数为10%。

注3: D_{v50}指粉末体积百分数累计分布达到50%时所对应的粒径,即粒径小于或等于D_{v50}的粉末的体积百分数为50%,也称中位粒径。

注4: D_{v90}指粉末体积百分数累计分布达到90%时所对应的粒径,即粒径小于或等于D_{v90}的粉末的体积百分数为90%。

4.5 成形试样性能

2xxx铝合金粉末材料的激光选区熔化成形件性能的标称值由供需双方协商确定,偏差值应符合表3的规定。

表3 激光选区熔化用 2xxx 铝合金粉末材料成形件的性能偏差技术要求

序 号	性能类别	检验项目	单位	技术要求	检验方法
1	表观性能	表面粗糙度	μm	标称值±10	按5.5.2条款检验
2	物理性能	致密度	%	标称值±5	按5.5.3条款检验
3	力学性能	拉伸强度	MPa	标称值±3	按5.5.4条款检验
		弹性模量	MPa	标称值±50	按5.5.4条款检验
		断裂伸长率	%	标称值±1	按5.5.4条款检验
		弯曲强度	MPa	标称值±3	按5.5.5条款检验
		弯曲模量	MPa	标称值±50	按5.5.5条款检验
		冲击强度	KJ/m²	标称值±5	按5.5.6条款检验
本表并不包含所有的性能指标；表中未涉及的一些参数，如果需要，双方商量。					

注5: 表面粗糙度推荐优先选用能充分反映成形件表面轮廓特征的轮廓算术平均偏差Ra。

5 试验方法

5.1 粉末外观

外观质量采用目视检测法。

5.2 化学成分

铜元素的分析按GB/T 20975.3-2020规定的方法测定，镁元素的分析按GB/T 20975.16-2020规定的方法测定，锰元素的分析按GB/T 20975.7-2020规定的方法测定，钛元素的分析按GB/T 20975.12-2020规定的方法测定，硼元素的分析按GB/T 20975.15-2020规定的方法测定，钕元素的分析按GB/T 20975.24-2020规定的方法测定，锆元素的分析按GB/T 20975.19-2020规定的方法测定，铁元素的分析按GB/T 20975.4-2020规定的方法测定，镍元素的分析按GB/T 20975.14-2020规定的方法测定。

5.3 形貌

产品的形貌采用100倍金相显微镜检测。

5.4 粉末材料性能

5.4.1 粒度分布

按照 GB/T 19077-2016 规定的方法测定。

5.4.2 堆积密度

按照GB/T 16913-2008规定的方法测定。

5.4.3 松装密度

按照GB/T 1479.1-2011规定的方法测定。

5.4.4 振实密度

按照GB/T 5162-2021规定的方法测定。

5.4.5 流动性

按照GB/T 1482-2010规定的方法测定。

5.4.6 安息角

按照GB/T 16913-2008规定的方法测定。

5.5 成形试样性能

5.5.1 成形试样制备方法

按照附录 A 规定的要求进行成形试样的制备。

5.5.2 表面粗糙度

根据供需双方协商选定的表面粗糙度评定参数（Ra、Rz等），确定粗糙度测试仪（接触式、非接触式），在垂直于基准面的各截面上，取GB/T 1031—2009

规定的评定长度缺省值，测定5个取样长度（缺省值）内的粗糙度轮廓参数，取算术平均求得一个平均参数。

5.5.3 致密度

按照GB/T 4472—2011中的固体密度的测定-方法二对成形试样的密度进行测定，按式（1）计算致密度：

$$\rho_r = \frac{\rho_1}{\rho_0} \times 100\%$$

(1)

式中：

- ρ_r —致密度；
- ρ_0 —2xxx 铝合金材料真实密度；
- ρ_1 —成形试样密度。

5.5.4 拉伸强度及弹性模量

按照GB/T 228.1—2010规定的方法测定。

5.5.5 弯曲强度及弯曲模量

按照GB/T 232—2010规定的方法测定。

5.5.6 冲击强度

按照GB/T 38769—2020规定的方法测定。

6 检验规则

6.1 检验分类

产品检验分为型式检验和质量一致性检验（本文件质量一致性检验只包括逐批检验。质量一致性检验由制造厂质量检验部门进行），各类检验项目按表4的规定进行。

表 4 检验项目

序号	检验项目		要求	试验方法	不合格类别			检验分类		
					A类	B类	C类	定型检验	质量一致性检验	AQL
1	粉	外观	4.1	5.1	—	△	—	√	√	4.0
2	末	化学成分	4.2	5.2	△	—	—	√	√	2.5

3		形貌	4.3	5.3	—	△	—	√	√	4.0
4		粒度分布 (Dv10~ Dv90)	表2序号1-3	5.4.1	△	—	—	√	√	2.5
5		堆积密度	表2序号4	5.4.2	△	—	—	√	√	2.5
6		松装密度	表2序号5	5.4.3	△	—	—	√	√	2.5
7		振实密度	表2序号6	5.4.4	△	—	—	√	√	2.5
8		流动性	表2序号7	5.4.5	—	△	—	√	√	4.0
9		安息角	表2序号8	5.4.6	—	△	—	√	√	4.0
10		表面粗糙度	表3序号1	5.5.2	—	—	△	√	—	6.5
11	成形试样	致密度	表3序号2	5.5.3	—	—	△	√	—	6.5
12		拉伸强度	表3序号3	5.5.4	—	—	△	√	—	6.5
13		弹性模量	表3序号3	5.5.4	—	—	△	√	—	6.5
14		断裂伸长率	表3序号3	5.5.4	—	—	△	√	—	6.5
15		弯曲强度	表3序号3	5.5.5	—	—	△	√	—	6.5
16		弯曲模量	表3序号3	5.5.5	—	—	△	√	—	6.5
17		冲击强度	表3序号3	5.5.6	—	—	△	√	—	6.5

6.2 定型检验

6.2.1 型式检验由生产厂家检验部门或国家授权的质量监督检验机构进行。

6.2.2 在下列情况发生时，应进行型式检验：

- 新产品鉴定、定型；
- 型号；老产品转厂生产；
- 材料、生产工艺、设备发生较大变化；
- 停产一年以上后恢复生产；
- 顾客在订货合同中提出检验要求；
- 国家授权的质量检验监督机构提出检测要求时。

6.2.3 型式检验的样本由型式检验部门随机抽取，抽样数量要保证试验要求。

6.2.4 型式检验中如发现有不合格项目，应分析原因，找出问题后，重新提供样本进行检验。重新检验时，如果又发现不合格项，则判为不通过本次型式检验。

6.2.5 型式检验后应提交型式检验报告。

6.3 逐批检验

6.3.1 逐批检验由产品制造单位的质量检验部门负责进行。

6.3.2 逐批检验按 GB/T 2828.1-2012 一次抽样方案的规定进行, 产品的组批和检验水平由产品标准规定; A 类不合格检验项目 $AQL = 2.5$, B 类不合格检验项目 $AQL = 4.0$, C 类不合格检验项目 $AQL = 6.5$ 。

6.3.3 每批产品出厂前, 生产单位质量检测部门应按标准规定检验, 合格后方可出厂。

7 标志、包装、运输、贮存和质量证明书

7.1 标志

产品的外包装箱应标明符合 GB/T 191-2008 的防潮、防晒等标志。标志应包括但不限于以下内容:

- a) 商标;
- b) 生产厂名称、厂址及其联系电话;
- c) 执行标准号;
- d) 产品名称;
- e) 规格型号;
- f) 危险等级;
- g) 安全标示或说明;
- h) 生产日期;
- i) 批号;
- j) 净含量。

7.2 包装

产品应以洁净的塑料包装袋为容器单元, 塑料包装外加纸箱, 包装过程中应避免污染。也可以根据需方需要进行包装。包装容器应保证其在运输过程中的完整性, 且不易破损、受潮或者使产品接触到外来污染物质。

7.3 运输

包装后的产品应能以任何交通工具进行运输。在长途运输时, 不得装在敞开的船舱和车厢中, 中途转运时不得存放在露天仓库中, 在运输过程中不允许和易

燃、易爆、易腐蚀的物品混装，并且产品不允许经受雨、雪或液体物质的淋洗与机械损伤，避免接触明火，包装袋不得损坏。

7.4 储存

包装中的产品应存放于无太阳光直射、通风良好的场所，贮存期限从生产日期起为二年。

7.5 质量证明书

每批产品应附有质量证明书，注明：

- a) 供方名称、地址和联系电话；
- b) 产品名称；
- c) 牌号；
- d) 批号；
- e) 净重和数量；
- f) 各出厂检验项目的分析检验结果；
- g) 质量监督检验部门印记；
- h) 本文件编号；
- i) 出厂日期。

8 测试报告

测试报告应包含但不限于以下信息：

- a) 试样的完整标识，包括型号、批次、来源等；
- b) 试样的制备和加工方法的详细情况和参数；
- c) 状态调节和试验的环境；
- d) 仪器、设备情况；
- e) 检测人员、实验日期；
- f) 试验结果。

附 录

(规范性)

粉末床熔融工艺制备 粉末材料成形试样

. 1 成形前的预 理

每次成形均需使用以前从未用过的原始粉末。成形前，将粉末材料在真空烘箱中保持80-100℃烘制10小时以上。

. 2 粉末床熔融增材制造设备

用于制备成形试样的粉末床熔融增材制造设备可由粉末生产商与客户协商确定，如客户无特殊要求，粉末生产商可自行选择。

粉末床熔融增材制造设备在使用前，应根据设备使用说明书等对设备进行校准、清洁。

. 3 粉末床熔融工艺参数

试样成形过程中所涉及的工艺参数，包括但不限于如下信息：激光功率、层厚、扫描速度、预热温度、扫描间距、扫描策略等。不同的粉末床熔融增材制造设备和粉末材料种类，所使用的工艺参数不同，可由粉末生产商与客户协商确定，如客户无特殊要求，粉末生产商可根据实际加工情况进行优化确定。

. 4 摆放位置和成形方向

成形试样在成形腔中的摆放位置与成形方向可由粉末生产商与客户协商确定，如客户无特殊要求，粉末生产商实际加工情况进行选择。成形方向用语及说明参照GB/T 39252-2020协商确定。

. 5 成形制备

成形试样制备应遵循以下原则：

- a) 除非客户另有规定或者在具体试验方法中另有说明，否则每次成形至少要制备3个有效试样；
- b) 当测试出现异常情况时（如拉伸试样在标距外断裂），需要制备额外试样。额外试样制备应采用与原试样制备所使用的同一批次原始粉末，以及相同的粉末床熔融增材制造设备、工艺参数、摆放位置和成形方向；
- c) 试样成形完成后，使用阶梯降温的方式来减少试样的翘曲变形，取出试样前应充分冷却，清理表面粘附的粉末时应注意不能破坏成形试样。

附 录 B

(规范性)

试验方法

B. 1 旧粉的定义

在粉末床熔融增材制造工艺中,通常只有不到20%的粉末原料转变成为了成形试样,80%以上的粉末原料仍为粉末状,这类粉末称为旧粉,旧粉还可以进一步分为溢出粉和块状粉(成形腔中的粉末)。

B.2 旧粉的回收利用

为降低成本,可对旧粉进行回收利用。但旧粉在粉末床熔融增材制造工艺中经历了长时间的高温过程,发生了不同程度的老化,导致其性能下降,如熔体流动速率显著下降。直接应用旧粉将影响成形制件的物理机械性能、尺寸精度和外观质量。因此,旧粉通常需要与新粉按一定比例混合使用。具体过程与要求如下:

- d) 旧粉过筛:旧粉混合前需要过筛;
- e) 新旧粉混合:新旧粉按一定比例混合,混合设备可选用气动混合器、滚筒类混合设备和转子类混合设备;
- f) 记录新粉的批次号和新旧粉的配比;
- g) 附加记录还应包括粉筛规格,混合设备,混合参数,混合粉末的熔体流动速率和操作员姓名。