

# 球磨法制备高流动性铝合金粉末技术研究

疏敏, 刘鹏, 黄秋良, 霍冬亮

(内蒙古旭阳新材料有限公司, 内蒙古 霍林郭勒 029200)

**摘要:** 目的: 研究球磨法制备高流动性铝合金粉末技术。方法: 以 AlSi0Mg 为试验原材料, 采用多步球磨法制备高流动性铝合金粉末。结果: 随球磨时间的增加, 铝合金粉末粒度呈先减小后增大的趋势; 随球磨转速的提升, 铝合金粉末粒度整体呈下降状态; 不同球料比下, 铝合金粉末粒度存在较大差异。结论: 当球磨时间为 16h、球磨转速为 300r/min、球料比为 12: 1 时, 得到最佳流动性的铝合金粉末。

**关键词:** 球磨法; 高流动性铝合金粉末; 制备技术; 球磨转速;

**中图分类号:** TB331 **文献标识码:** A

## 0 引言

球形金属粉末是金属增材制造的重要保障, 其流动性、成分等物理特性对金属增材制造过程的稳定性至关重要。随着我国 3D 打印技术的日益成熟, 对铝合金粉末的流动性与松装密度要求逐渐严格, 我国在 3D 打印中主要采用上送粉的连续送粉模式, 这种模式对粉末流动性要求较高, 如果铝合金粉末的流动性较差, 就会发生落粉不均匀现象, 从而影响打印质量, 所以铝合金粉末的制备技术对于我国金属增材制造而言意义重大。一般来说, 铝合金粉末具有密度轻、形貌难控等特点, 所以其制备流程较为复杂, 普通制备技术无法突破铝合金粉末流动性不佳、松装密度较低的技术难题。因此, 本文以铝合金粉末为研究对象, 探究使粉末流动性较高的制备工艺, 为推动我国 3D 打印技术做参考。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料与仪器

铝合金粉末因其优越的耐磨性能, 被广泛应用于我国机械、造船等领域, 同时铝合金粉末成本低廉, 越来越多行业用它取代铜合金材料。然而, 铝合金也具有塑性差、尺寸稳定性低等缺陷, 所以其制备技术非常关键。在此背景下, 本文采用球磨法, 进行高流动性铝合金粉末的制备试验<sup>[1]</sup>, 首先需要确定试验材料, 铝合金材料采用下表所示的 AlSi0Mg 为主要研究材料<sup>[2]</sup>:

表 1 AlSi0Mg 原材料的化学成分

化学成分	占比
Al	Bal.
Si	9.5~10.5
Mg	0.3~0.4
Zn	≤0.08
Ti	≤0.12
Sn	≤0.02
Pb	≤0.02

Ni	≤0.04
Mn	≤0.08
Cu	≤0.06
Fe	≤0.3

AlSi0Mg 是目前我国增材制造领域中用量最多的铝合金材料, 所以本文以此作为研究对象, 同时使用甲醇、甲苯、无水乙醇等基本试剂来辅助本次高流动性铝合金粉末的制备试验。然后确定本次试验的试验仪器, 如下表所示:

表 2 高流动性铝合金粉末制备试验仪器

仪器名称	型号	生产厂家
卧式行星球磨机	UBE-V0.2L	长沙市德科仪器设备有限公司
激光粒度仪	CLPA-1500	上海精密仪器仪表公司
分析天平	FA1004B	上海精密仪器仪表公司
红外烤灯	ES-D30L	广州市羽星光电科技有限公司
超纯水机	LK-S01	深圳市莱克智能精密仪器有限公司
冷冻离心机	Allegra V-15R	贝克曼库尔特国际贸易(上海)有限公司
磁力搅拌器	ZNCL-GS	河南爱博特科技发展有限公司
超声波清洗器	KQ-218	济宁鑫欣超声电子设备有限公司
真空干燥箱	DZF-6210	天津坐科仪器设备有限公司

超声波细胞粉碎机	DFT-C	无锡杰瑞安仪器设备有限公司
低温冷却循环泵	10000FDA	上海比朗仪器制造有限公司
隔膜真空泵	SHZ-95B	郑州华辰仪器有限公司

在本次球磨法制备高流动性铝合金粉末试验中,将上述试验材料与仪器准备好之后,需要检查好各材料的活性以及仪器是否正常可用,检查无误后正式开始高流动性铝合金粉末制备试验。

### 1.2 试验方法与过程

本文在制备高流动性铝合金粉末时,主要采用多步球磨法<sup>[3]</sup>,首先对 AlSi0Mg 原材料进行预处理,把 AlSi0Mg 原材料放入烧杯中,并在烧杯中加入一定量的 NaOH 溶液,搅拌均匀后进行加热,1 小时后停止加热,将溶液冷却至室温,通过去离子水洗涤溶液,将其放在真空干燥箱中,以 80℃ 的温度进行真空烘干。再将 AlSi0Mg 原材料作分散处理<sup>[4]</sup>,在干燥后的 AlSi0Mg 原材料中添加适当乙醇溶液,并用超声波振荡器将 AlSi0Mg 材料的团聚体打散,让其以相对均匀、稳定的状态分布于乙醇溶液中,同样需要放入真空干燥箱,进行干燥处理。在做好 AlSi0Mg 原材料的预处理工作之后,开始正式进行球磨,本次球磨制备高流动性铝合金粉末主要分为两个步骤,一步球磨时<sup>[5]</sup>,根据下表所示的磨球规格与数量来确定球料比:

表 3 磨球规格与数量

磨球规格/mm	磨球数量
3mm	20
5mm	50
8mm	50
10mm	30
15mm	30
20mm	20

根据表 3 数据,即可确定本次高流动性铝合金粉末制备试验中的球料比,再根据球料比,采用天平称取 AlSi0Mg 原材料的重量,将其放入卧式行星球磨机的高能球磨罐中,同时装入选定的磨球,为提升球磨效率,本次试验还在球磨罐中加入一定乙醇溶液作为助剂。然后将球磨罐密封装机,开启卧式行星球磨机开始 AlSi0Mg 原材料的球磨,以 240℃ 的温度高能球磨 10 小时后,进行 1 小时的真空热处理,然后再以室温进行 6 小时的球磨,此时取出铝合金粉末放入真空干燥机进行烘干处理,一步球磨结束。在一步球磨的基础上,选定高流动性铝合金粉末制备试验的定量与变量,按照同样的方法流程进行多步球磨试验,在得到全部球磨粉末

后,球磨结束停机,对粉末性能进行分析。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 球磨时间对粉末粒度的影响

在球磨法制备高流动性铝合金粉末试验结束后,本文为判断球磨制备技术的参数与粉末流动性之间的关系,首先以球磨转速和球料比为定量,试验过程中改变球磨时间,此时得到铝合金粉末粒度受球磨时间的影响结果,如下图所示:

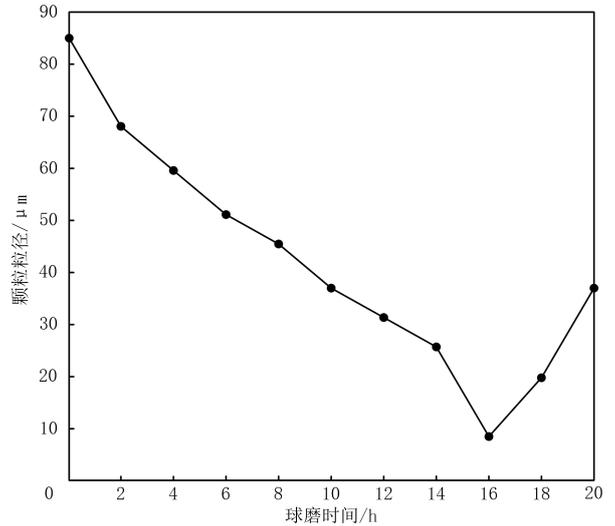


图 1 不同球磨时间下铝合金粉末颗粒尺寸变化图

由图 1 可知,在球磨转速与球料比一定时,随着球磨时间的不断增加,AlSi0Mg 粉末颗粒的平均尺寸呈先下降后上升的状态,当球磨时间为 16h 时,AlSi0Mg 粉末颗粒粒径达到最小值 9.2  $\mu\text{m}$ ,这主要是因为 AlSi0Mg 原材料开始进行球磨时,原材料颗粒会被磨球反复碾碎,从而形成细化的复合颗粒,并随着球磨时间的增加,颗粒形态变化越大,然而如果球磨时间过长,超过了 16h,部分 AlSi0Mg 粉末颗粒在过剩的碾压力的作用下,组成了较为牢固的凝聚体,从而增大粉末粒度,同时这类趋向于团粒的 AlSi0Mg 粉末颗粒,其摩擦力较大,很难从碰撞体间排出,导致粉末流动性较差。所以 AlSi0Mg 粉末颗粒的粒度与球磨时间之间存在直接联系,在使用球磨法制备高流动性铝合金粉末时,需要严格控制球磨时间,只有球磨时间为 16h 时,铝合金粉末的粒度最佳,其流动性较高。

### 2.2 球磨转速对粉末粒度的影响

本章以球磨时间和球料比为定量,试验中改变球磨转速,此时得到铝合金粉末粒度受球磨转速的影响结果,如下图所示:

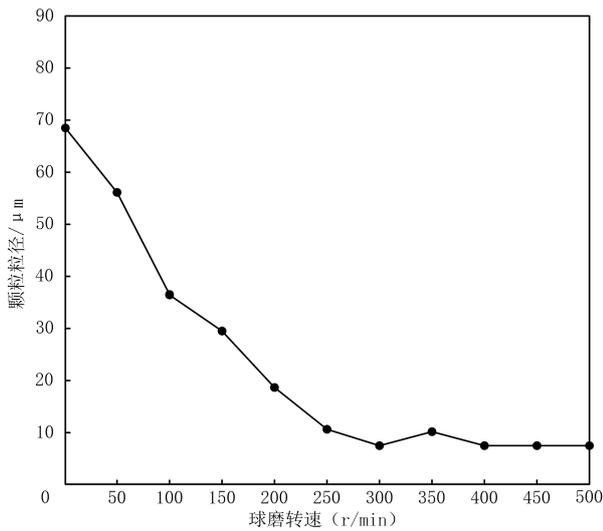


图 2 不同球磨转速下铝合金粉末颗粒尺寸变化图

由图 2 可知，在球磨时间与球料比一定时，随着球磨转速的增大，AlSi0Mg 粉末颗粒的平均尺寸呈不断下降的状态，最终达到 8.3 μm 后趋于稳定。这主要是因为 AlSi0Mg 原材料球磨之前，主要表现为表面凹凸不平的不规则颗粒，在球磨过程中，受球磨应力作用，AlSi0Mg 颗粒晶体结构发生改变，表面逐渐光滑，导致颗粒粒径迅速减小，直至 AlSi0Mg 颗粒结构稳定成片状结构，无论球磨速度增加至多少，AlSi0Mg 粉末的粒度均不在改变。所以，在实际球磨法制备高流动性铝合金粉末中，仅需将球磨速度控制在 300r/min 左右，即可得到最佳流动性的粉末，过高的球磨速度不利于铝合金粉末制备的经济性。

### 2.3 球料比对粉末粒度的影响

最后，将球磨时间和球磨转速当作定量，试验中改变球料比，得到铝合金粉末粒度受球料比的影响结果，如下表所示：

表 4 不同球料比下铝合金粉末颗粒尺寸变化

球料比	粉末颗粒平均粒径 / μm
1:1	74.6
5:1	58.3
8:1	12.9
12:1	8.7
15:1	38.4
18:1	29.7
20:1	48.2

由表 4 可知，在球磨时间与球磨转速一定时，对比不同的球料比，AlSi0Mg 粉末颗粒的平均尺寸存在较大差异，只有球料比为 12:1 时，才能保证 AlSi0Mg 原材料得到充分研磨，颗粒明显细化，流动性最高。一般来说，在球磨法制备高流动性铝合金粉末过程中，大尺寸

的磨球主要粉碎粗矿铝合金原材料颗粒，而小尺寸的磨球负责磨细大颗粒，所以在球磨时间与球磨转速一定时，球料比至关重要，如果磨球尺寸过大，可能会导致铝合金粉末中等级颗粒的产率大，也就是出现磨不细的情况；反之，如果磨球尺寸过小，因为原始粗矿粒无法被小磨球粉碎，就会出现欠磨现象，所以在进行高流动性铝合金粉末制备时，各级别磨球的配比至关重要。

### 3 结束语

本文利用球磨法，进行了高流动性铝合金粉末制备试验，得到以下结论：球磨时间从 2h 增加到 20h 时，AlSi0Mg 粉末颗粒粒径在 16h 时达到最小值为 9.2 μm，此时 AlSi0Mg 粉末流动性最高；球磨转速从 50r/min 提升至 500r/min 时，AlSi0Mg 粉末颗粒粒径由 69.6 μm 减小至 8.3 μm，当球磨转速为 300r/min 时性能最佳；当球料比为 12:1 时，AlSi0Mg 原材料可以得到充分研磨，取得最小粒径 8.7 μm。综上，球磨时间 16h、球磨转速 300r/min、球料比 12:1 为球磨法制备高流动性铝合金粉末的最佳技术参数，可以得到流动性与致密度符合我国 3D 打印技术的铝合金粉末样件。

### 参考文献

- [1]刘英杰,胡强,赵新明,等.增材制造用高流动性铝合金粉末制备技术研究[J].稀有金属材料与工程,2021,50(05):1767-1774.
- [2]唐卫岗,胡岭,黄世盛,等.高能球磨法制备微米银片的工艺研究[J].材料导报,2021,35(S2):428-432.
- [3]石蕊,陶冲,谭振亚,等.添加剂对高能球磨法制备CaCO<sub>3</sub>晶型和形貌的影响[J].陶瓷学报,2023,44(01):132-139.
- [4]卢海峰.高性能铝合金晶粒细化剂Al-Ti-B研究及制备技术综述[J].轻金属,2021(07):42-46.
- [5]张东亮,宋杰光,廖江萍,等.球磨电瓷废料制备透水砖粉体原料[J].粉末冶金技术,2023,41(01):84-89.