

# 气雾化压力对粉末粒径的影响

关书文, 刘世昌, 时 坚, 岳 野, 高 鹏, 魏彦鹏, 成京昌, 于 波

(沈阳铸造研究所有限公司 高端装备轻合金铸造技术国家重点实验室, 辽宁沈阳 110022)

**摘要:** 使用计算流体力学 (CFD) 软件对气体雾化制粉进行了数值模拟研究, 分析了雾化气体压力对气雾化制粉过程中雾化流场和金属粉末粒度分布的影响。结果表明, 雾化气体压力为3.5 MPa、4.0 MPa、5.0 MPa时, 雾化粉末中值粒径分别为79.3  $\mu\text{m}$ 、64.5  $\mu\text{m}$ 、41.6  $\mu\text{m}$ , 与试验得到的粉末中值粒径87.63  $\mu\text{m}$ 、70.13  $\mu\text{m}$ 、53.93  $\mu\text{m}$ 对比, 误差为9.5%、8.0%、22.8%。综合分析, 增大雾化气体压力可以细化粉末粒径、提高细粉收得率。

**关键词:** 金属粉末; 气雾化; 粉末性能; 气体压力

金属粉末作为增材制造的关键原材料, 其品质很大程度上决定了产品最终质量。随着增材制造技术的快速发展及其工艺特殊性, 对金属粉末的质量要求越来越高, 如球形度高、流动性好、气体及杂质含量低等要求。同时随着增材制造应用领域的不断扩大, 需要的金属粉末种类也越来越多<sup>[1]</sup>。气雾化制粉技术所制备的粉末具有球形度高、流动性好、O、N、H含量低等优势, 粉末粒度分布可调控范围大, 已成为生产高性能球形金属粉末的主要方法<sup>[2]</sup>。

气雾化制粉是一个多相流耦合的复杂物理过程, 气体流场结构影响着气雾化过程的稳定性以及粉末粒径大小和粒度分布, 常规的实验检测手段难以表征<sup>[3]</sup>。随着计算机技术的快速发展, 数值模拟常被应用于研究流体的运动。数值模拟在流体领域的研究被称为计算流体力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD), 是研究流动特性以及重现气雾化制粉过程的有效方法<sup>[4]</sup>。学者利用CFD软件对气体单相流场进行数值模拟, 研究雾化流场结构。Aydin等<sup>[5]</sup>利用商用流体力学软件Fluent分析了雾化气体压力对金属熔液导流管出口压力的影响, 并解释了熔液在导流管末端产生径向分离现象的原因和影响因素。Zhao等<sup>[6]</sup>通过数值模拟和实验验证的方法, 得出了雷诺应力湍流模型 (RSM) 比 $k-\varepsilon$ 湍流模型对紧耦合雾化器流场的预测更为准确的结论; 并且随着拉瓦尔 (Laval) 喷嘴扩张段角度的增大, 气体流场散射角呈先增大后减小的趋势。

采用CFD软件中的多相流和破碎模型可以计算整个雾化过程, 结合实验数据可以有效指导粉末的高效生产<sup>[7]</sup>。Kaiser等<sup>[8]</sup>在喷嘴出口附近的不同位置注入单个粗液滴来分析不同路径下气流流场和液滴破碎特性, 结果表明, 存在有利于液滴破碎的最优路径, 且气流激波不利于减小粉末尺寸。夏敏等<sup>[9]</sup>采用VOF (Volume of Fluid) 多相流模型再现了粉末高温合金的主雾化过程, 利用不稳定破碎雾化模型 (TAB模型) 对大液滴的二次雾化进行了数值模拟, 并通过试验验证了模拟结果的准确性。Shi等<sup>[10]</sup>采用Realizable  $k-\varepsilon$ 湍流模型和DPM (Discrete Phase Model) 离散相模型相结合的方法, 对铁基非晶粉末的高压气雾化过程进行了数值模拟, 并通过实验验证了模拟的准确性。

综上所述, 大部分对气雾化制粉技术的数值模拟研究主要集中于比较不同模型的优缺点和对两阶段雾化过程模拟两个方面。随着增材制造技术的快速发展, 对高质量、低成本金属粉末的需求日益迫切。由于限制式喷嘴具有生产粉末粒径细小等优点, 因此研究对象多集中于限制式喷嘴<sup>[11]</sup>。相较于限制式喷嘴, 非限制喷嘴具

## 作者简介:

关书文 (1995-), 男, 硕士生, 研究方向为特种合金先进制造技术。E-mail: 22614662@qq.com

## 通讯作者:

于波, 男, 研究员, 博士, 博士生导师。电话: 024-25852311-268, E-mail: yub@chinasrif.com

中图分类号: TF123

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977 (2022)

07-0814-07

## 基金项目:

机械科学研究总院基金项目 (170219ZS01)。

## 收稿日期:

2022-04-27 收到初稿,

2022-05-27 收到修订稿。

有高生产稳定性、更低的设计难度等优势<sup>[12]</sup>，然而针对非限制式自由落体喷嘴制粉过程的模拟研究并不充分，各工艺参数对提高细粉收得率的研究工作也鲜有报道。

因此，本研究基于现有非限制式自由落体喷嘴进行建模，采用计算流体力学的手段，数值模拟了初次雾化和二次雾化的完整制粉过程，预测气雾化制粉过程中雾化气体压力对超音速单相气体流场、温度场和粉末粒径的影响，并结合气雾化试验结果，分析其对粉末粒径分布和细粉收得率的影响，从而对制粉过程进行优化和参考。

## 1 研究方法及过程

在气雾化过程中，熔液液柱转变为细小液滴的过程分为两个阶段：初次雾化和二次雾化。首先进行了网格无关性验证，然后考虑两阶段雾化过程的特点，利用SST  $k-\omega$  湍流模型模拟了雾化气体压力对单相流场和温度场的影响；使用VOF多相流模型模型和DPM离散相模型分别对两个雾化过程进行数值模拟，分析两阶段雾化过程具体细节和气液两相作用机理。

### 1.1 计算模型参数及方法

雾化喷嘴和雾化室具有旋转对称性，在不影响计算精度的前提下，使用二维轴对称模型进行模拟，可以减少计算量，加快模拟收敛速度<sup>[13]</sup>，如图1所示。该模型由喷嘴和雾化室两部分组成，喷嘴依据实际尺寸建模，将喷嘴边界作壁面处理（Wall），气体进口设置为压力入口边界（Pressure inlet），根据雾化气压的大小输入相应的数值。由于实际雾化设备的雾化室尺寸巨大，需要考虑的只有喷嘴出口下方很小的一部分，参考文献[10]对计算域的选择，设置喷嘴下方（100 mm × 60 mm）作为计算域。选择下边界作为二维轴对称模型的对称轴，雾化室的上边界和右边界与大气连通，设置为压力出口（Pressure outlet）。在雾化过程中，金属熔液通过导流管以一定速度落入雾化

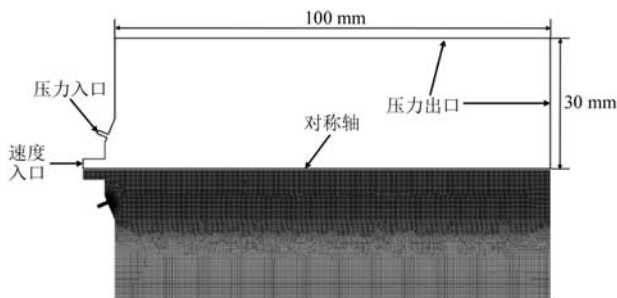


图1 计算网格以及雾化区域

Fig. 1 Calculation grids and the area of atomization

室，将金属熔体入口视为速度入口（Velocity inlet）。根据实际的导流管长度和熔液自由落体速度公式，计算得到入口速度为1.2 m/s。雾化室的左边界与真实金属外壁相对应，设置为壁面边界条件（Wall）。采用非结构化网格对喷嘴出口以及对称轴附近区域进行局部加密，可保证模型的收敛性。使用氩气作为雾化气体，气体属性设置为等熵可压缩理想气体，氩气物理参数如表1所示。模拟材料选用某牌号低合金钢，使用高温熔体的粘度、表面张力等参数在数据库中建立相应材料。进气口温度和工作环境温度均设置为300 K，工作环境压力为一个大气压，出口表压为0。湍流模型采用SST  $k-\omega$  模型，初次雾化使用VOF多相流模型，二次雾化使用DPM离散相模型，压力与速度的耦合求解器采用压力基隐式算法，进行瞬态求解计算。

表1 氩气物理参数  
Table 1 Physical parameters of argon

比热容 $/(J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$	热导率 $/(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$	粘度 $/(kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1})$	分子量 $/(kg \cdot kmol^{-1})$
520.64	0.015 8	$2.125 \times 10^{-5}$	39.948

### 1.2 网格无关性验证

在利用计算流体力学软件进行数值模拟时，网格的质量直接影响模拟准确性，高质量的网格对于提高模拟可信度至关重要<sup>[14]</sup>。一般来说，网格数量越多，模拟准确性越高，但网格数量不是越多越好，当到达某一临界值时，继续增加网格数量也不会对模拟结果造成太大的影响，而且网格生成难度和迭代计算时间会随着网格数量变多而显著增加。为了综合考虑计算成本和精度要求，寻找临界网格数量，进行网格无关性验证很有必要<sup>[15]</sup>。

网格无关性验证的相关设置如下：

- (1) 对二维模型进行非结构化网格划分；
- (2) 湍流模型采用SST  $k-\omega$  模型，压力与速度的耦合求解器采用压力基PISO算法，进行稳态求解计算。
- (3) 设置不同的网格单元基本尺寸，将模型分别划分出3 487、12 104、19 583、34 258、76 130、93 632和118 416个网格。

(4) 利用上述网格进行模拟，边界条件一致，记录每套网格收敛时长，计算完毕后处理结果，在曲线图上显示速度沿轴线方向的分布情况，将不同曲线进行对比，表2所示为网格划分控制方法。

图2为不同网格数所对应轴向速度对比图。可以看出，网格数3 487、12 104的曲线与其他的差异较大，网格数大于19 583的曲线分布近乎一致，网格数三万到十万的曲线几乎重叠。七万以上网格划分时长较长，收敛也比较费时。因此综合考虑，在此二维模型中，

表2 网格划分控制  
Table 2 Grid division method

序号	网格数量	网格划分时长/s	计算收敛用时/s
1	3 487	4	10
2	12 104	11	11
3	19 583	20	13
4	34 258	39	19
5	76 130	107	37
6	93 632	158	47
7	118 416	189	63

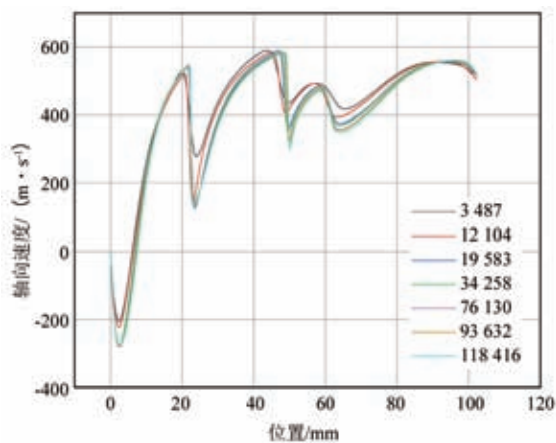


图2 不同网格数模型轴线速度对比图

Fig. 2 Comparison of axial velocities of models with different grid numbers

网格数设置为三万左右比较合适。

### 1.3 试验装置及方法

本研究以低合金钢铸锭为原材料，采用非限制性环孔喷嘴雾化器进行气雾化制粉试验。气雾化试验设备主要由熔炼系统、气雾化装置、高压气体输送装置、粉末收集系统和控制系统组成，如图3所示。

试验采用环孔雾化器，型号为 $\Phi 0.8 \text{ mm} \times 22$ （即孔径为0.8 mm，孔数为22个），喷孔形状为直孔，雾化角度为 $40^\circ$ ，雾化气体压力分别为3.5、4和5 MPa。采用陶瓷导流管，出口孔径为4.5 mm。每一组粉末用70目的筛子进行粗筛，取三组粉末样品各100 g进行检测分

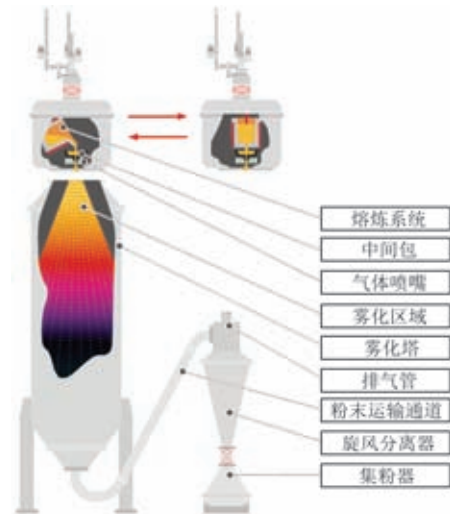


图3 气雾化试验设备示意图

Fig. 3 Schematic diagram of gas atomization experimental equipment

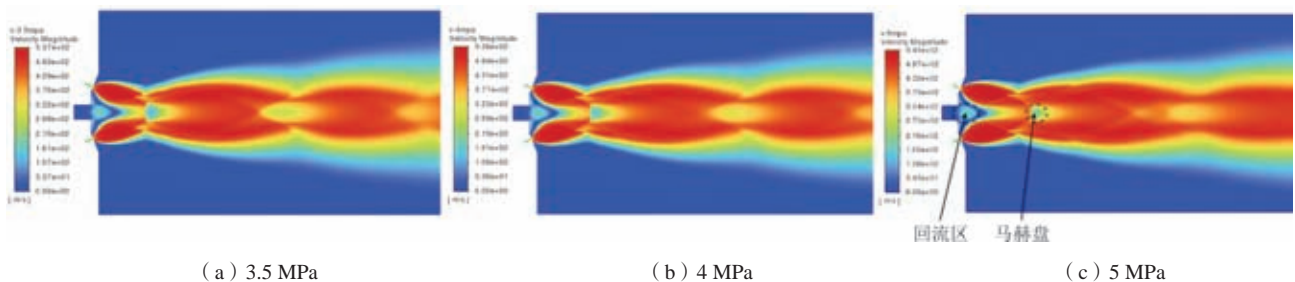
析。利用激光粒度分析仪与标准振动筛进行粉末的粒度分析，包括特征尺寸、粒度分布、粉末收得率等。

## 2 结果与讨论

### 2.1 气体单相流场结构

雾化压力是影响气体流场以及粉末粒度分布的重要因素之一<sup>[16]</sup>。图4为不同雾化压力下气流速度场云图，高压气体在喷嘴出口处迅速膨胀形成高速膨胀气流，速度达到500 m/s以上。由图可知，随着雾化气压的增大，气流最大速度逐渐增加，依次为537、538、541 m/s。流场轴线下均出现气流速度为0的滞点，形成倒三角结构的回流区，在回流区中速度与原始气流方向相反，气流经过回流区后重新汇入膨胀气流边界层，图5为回流区局部速度矢量图。流场中的马赫盘位置随着雾化气压的增大逐渐右移，超音速膨胀气流的长度和宽度增大，有利于金属熔液的二次破碎，这与Shi等<sup>[10]</sup>的研究结果一致。

图6所示为不同雾化气体压力下轴线速度对比图，结合图4可知，雾化气压的改变对回流区位置和大小几乎无影响。气流穿过回流区后，沿轴线的速度逐渐增大，在到达马赫盘时达到最大值。随着雾化气压的增



(a) 3.5 MPa

(b) 4 MPa

(c) 5 MPa

图4 雾化气体压力对流场分布影响

Fig. 4 Effect of gas pressure on flow field distribution

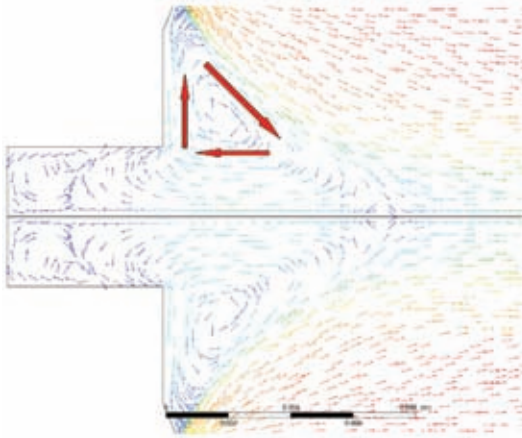


图5 雾化气压为5 MPa时回流区矢量图

Fig. 5 Vector diagram of the reflux area at 5 MPa

大, 马赫盘的位置逐渐右移, 且最大气流速度逐渐变大, 从334 m/s增加到373 m/s、418 m/s。金属熔液在导流管出口处的回流区进行初次破碎, 在马赫盘位置进行二次破碎, 速度越大气流动能越强, 更有利于液滴的二次破碎, 细粉收得率也越高<sup>[17]</sup>。气流通过马赫盘后, 速度继续增大直到最大值, 随后以约400 m/s的速度振荡。

## 2.2 计算域温度场分析

图7所示为雾化气压对气体温度场的影响。高压气体在喷嘴出口处快速膨胀, 气体内能转化为动能, 导致喷嘴出口处气温急剧下降<sup>[18]</sup>。随着雾化气压的增加, 流场内最低温度逐渐减小, 从23 K减小到22 K、19 K, 低温区域的长度和宽度逐渐增加, 理论雾化区域的平均温度逐渐减小, 有利于细粉的制备。随着膨胀流和压缩流交替产生, 温度场也呈交替振荡, 直到离开模拟区域。

## 2.3 气液两相交及粒度分析

使用VOF多相流模型模拟初次雾化过程。初次雾化不同阶段高温熔体的流动形态如图8所示。计算开始1 ms后, 液柱开始流出导流管, 受到第一回流区反向气体的压力, 从而在下落的过程中向径向流动, 形成圆锥状液流(5.3 ms)。当遇到膨胀激波湍流边界的气流

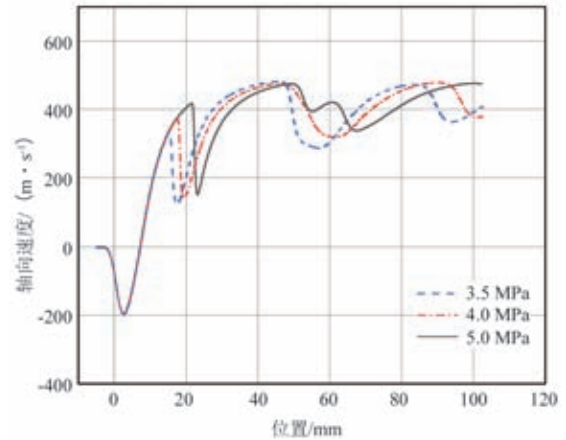


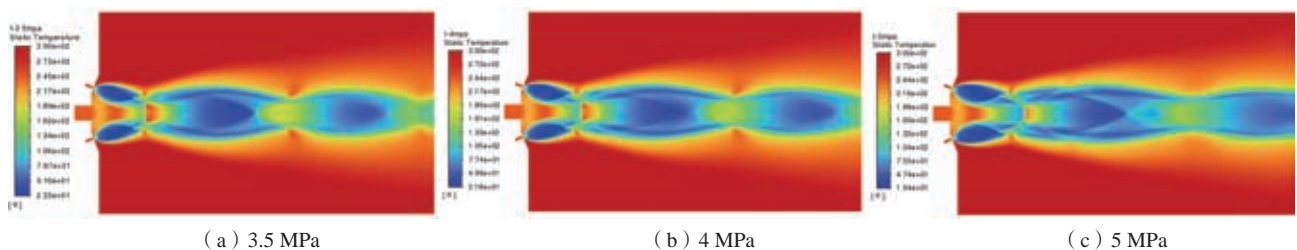
图6 不同雾化压力下轴线速度对比图

Fig. 6 Comparison of axial velocity under different atomization pressures

之后, 金属液流两端的向下流动受到抑制, 只有轴线位置的液流能够继续向下流动, 形成倒三角形态液流(8.8 ms)。此时, 气流对于金属液流有两个方向相反的作用力, 滞止点处的压力向上, 而抽吸压力因负压的缘故, 促使金属熔液流出回流区继续向下, 在气流压力的作用下挤压金属液流横向扩展, 金属液流在抽吸压力与驻点压力的共同作用下径向扩展, 进而形成了撑伞机制(12.1 ms)。根据图8f-i, 熔体破碎过程是动态平衡的, 高温金属熔体的流动形态呈倒三角状-伞状-倒三角状-伞状, 连续循环发生一次破碎。在伞状结构边缘, 金属熔体开始从连续熔体中剥离出来, 在表面张力的作用下发生球形, 成为较大的金属液滴, 大液滴随后将继续发生二次破碎。

使用DPM离散相模型模拟二次雾化过程。图9为二次雾化液滴分布图。直径较大的红、橙、黄三个初始液滴在超音速流场激波的作用下被破碎成更小的液滴(图中的深蓝色、浅蓝色和青色粒子), 金属小液滴在自身表面张力的作用下发生球形, 并被气流裹挟着向下流动。最后, 初始液滴不断地被破碎成细小粒子, 这些(深蓝色、浅蓝色和青色)粒子随气流向下游流动, 分散在整个雾化室下方, 经过下方的出口边界逃逸出计算域, 实际制粉过程中, 这些细小颗粒最后会收集于储粉罐内。

统计出口边界逃逸粒子信息, 得到了不同雾化



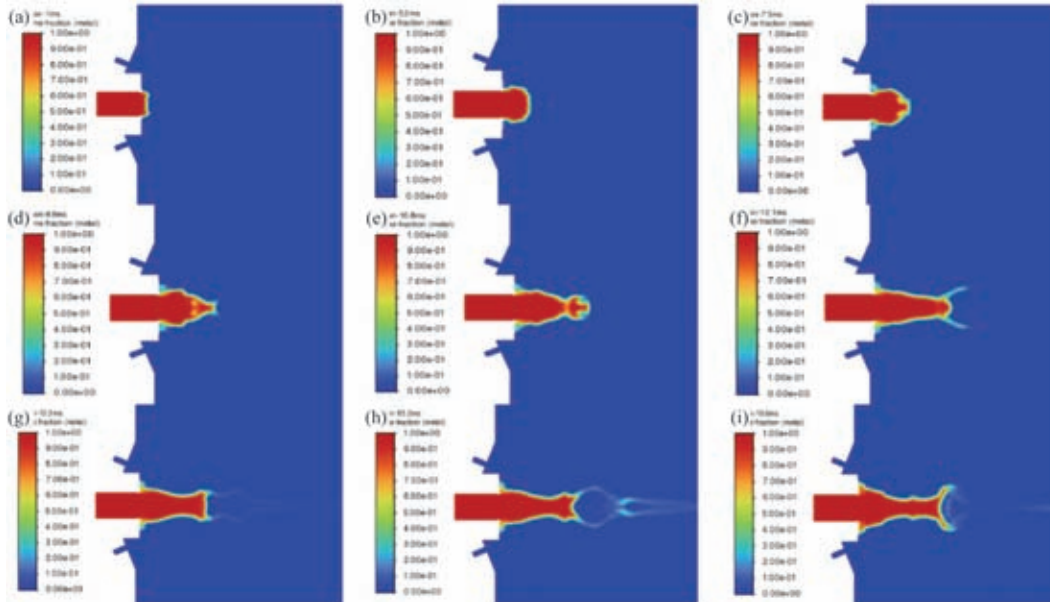
(a) 3.5 MPa

(b) 4 MPa

(c) 5 MPa

图7 雾化气体压力对温度场分布影响

Fig. 7 Effect of gas pressure on temperature field distribution



(a) 1.0 ms; (b) 5.3 ms; (c) 7.5 ms; (d) 8.8 ms; (e) 10.8 ms; (f) 12.1 ms; (g) 13.3 ms; (h) 15.2 ms; (i) 19.6 ms

图8 初次雾化过程中不同流动时间高温熔体云图

Fig. 8 Cloud diagram of high temperature melt at different flow times during initial atomization

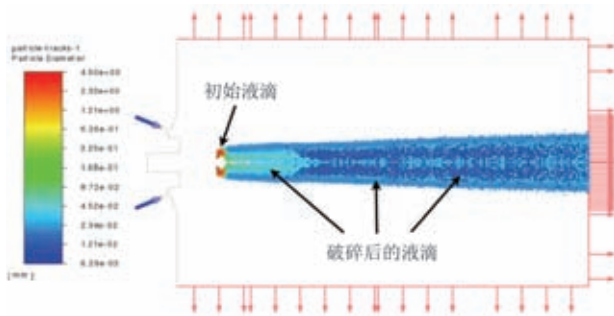


图9 二次雾化液滴分布图

Fig. 9 Secondary atomization droplet distribution map

气压条件下液滴二次雾化后粉末粒度分布,如图10所示。可以看出,随雾化气压的增大,粉末粒径分布范围逐渐变窄,粉末粒径分布柱状图最高峰粒径逐渐向左移动,即粉末平均粒径逐渐减小。雾化气压为3.5 MPa

时,粉末粒径分布范围较宽,分布在50~200  $\mu\text{m}$ 范围的最多,但有少量粒径为200~250  $\mu\text{m}$ 的粉末存在,如图10a所示。当雾化气压为4.0 MPa时,粉末粒径分布范围与气压为3.5 MPa时相同,但粒径为200~250  $\mu\text{m}$ 的粉末含量明显减少,粉末粒径主要分布在50~250  $\mu\text{m}$ 之间,如图10b所示。当雾化气体压力为5.0 MPa时,粉末粒径分布范围较气压为4.0 MPa时明显变窄,主要分布在25~100  $\mu\text{m}$ 之间,如图10c所示。当雾化压力由3.5 MPa逐渐增大到4.0 MPa、5.0 MPa时,粉末中值粒径逐渐减小,分别为79.3、64.5、41.6  $\mu\text{m}$ 。

## 2.4 试验验证

使用和模拟条件相同的参数设置,进行了气雾化制粉试验。图11所示为不同雾化气体压力所制得的粉末粒径分布曲线。从曲线中可以看出,随着气体压力

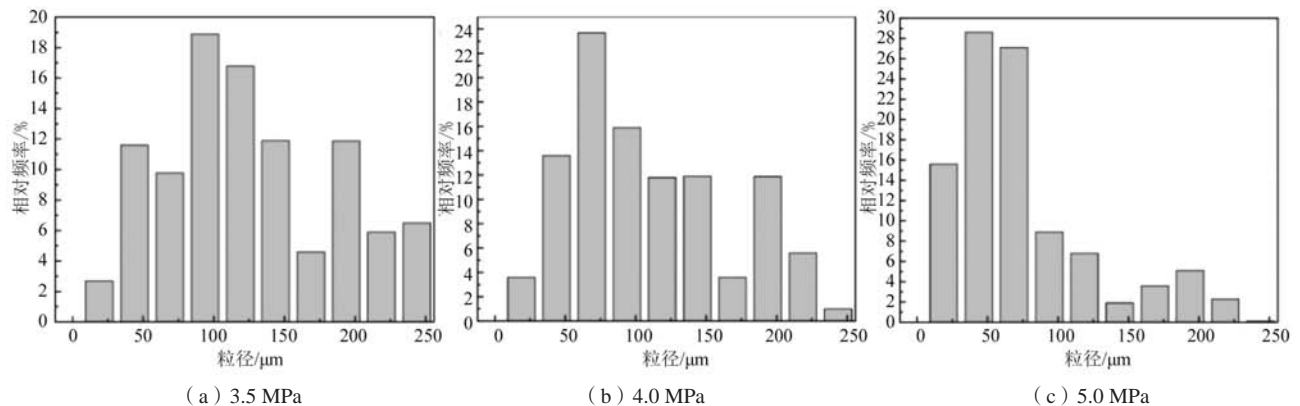


图10 不同雾化压力条件下粉末粒径分布图

Fig. 10 Powder particle size distribution under different atomization pressure conditions

的增大,粉末粒径分布范围逐渐变窄,粉末粒径分布柱状图逐渐向左移动,最高峰逐渐减小,代表粉末平均粒径逐渐减小。当雾化气压为3.5 MPa时,粉末中值粒径( $D_{50}$ )为87.63  $\mu\text{m}$ ,粒径主要分布在70~150  $\mu\text{m}$ 范围内,占比达到41%,跨度范围较大。当雾化气压为4 MPa时, $D_{50}$ 减小到70.13  $\mu\text{m}$ ,粉末粒径主要分布在65~140  $\mu\text{m}$ 之间,占比达到40%,粒径最高分布区间为100~113  $\mu\text{m}$ 。当雾化气压为5 MPa时,粉末粒径分布范围相比较前两者明显左移,表示粉末平均粒径显著减小,粒径分布主要在40~90  $\mu\text{m}$ 之间,占比37%,中值粒径进一步减小到53.93  $\mu\text{m}$ ,说明随着雾化气压的增加,制粉试验所得粉末的平均粒径和中值粒径逐渐减小。表3所示为不同雾化压力制备小于53  $\mu\text{m}$ 粉末的

细粉收得率,随着雾化气压从3.5 MPa增大到4 MPa,细粉收得率由26.93%提高到31.66%;雾化气压增大到5 MPa时,细粉收得率大幅提高到50.67%,与气体流场模拟结果一致。

表4所示为不同雾化气体压力所制得粉末的中值粒径,图12为三者粒径累积分布曲线的对比图。从表中数据可得,随着雾化气体压力的升高,粉末的中值粒径逐渐减小,由87.63  $\mu\text{m}$ 降低到70.13  $\mu\text{m}$ 、53.93  $\mu\text{m}$ 。从图中曲线可以看出,粉末粒径累积分布曲线随着雾化气压的增大逐渐向左移动,说明粒径分布宽度变小,粉末的中值粒径逐渐变小。对比模拟结果79.3  $\mu\text{m}$ 、64.5  $\mu\text{m}$ 、41.6  $\mu\text{m}$ ,误差分别为9.5%、8.0%、22.8%。模拟对比试验结果比较吻合。

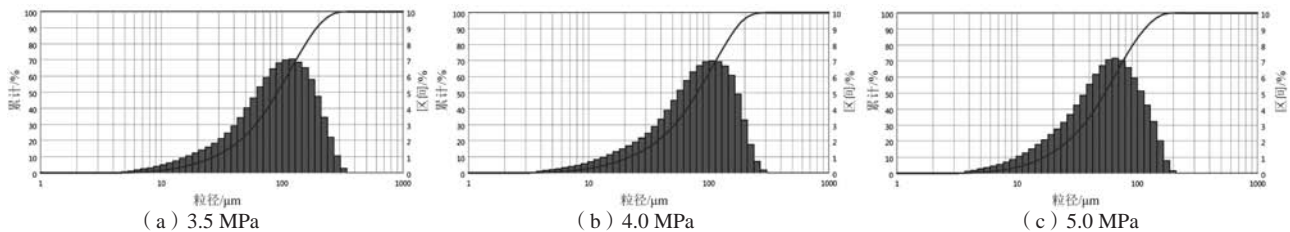


图11 不同雾化压力下粉末粒径分布图

Fig. 11 Powder particle size distribution at different atomization pressures

表3 不同雾化压力制备粉末的细粉收得率  
Table 3 Fine powder yield of powders prepared by different atomization pressures

雾化压力/MPa	细粉收得率/%
3.5	26.93
4	31.66
5	50.67

表4 不同雾化压力制备粉末的中值粒径  
Table 4 Median particle size of powders prepared at different atomization pressures

雾化压力/MPa	$D_{50}/\mu\text{m}$
3.5	87.63
4	70.13
5	53.93

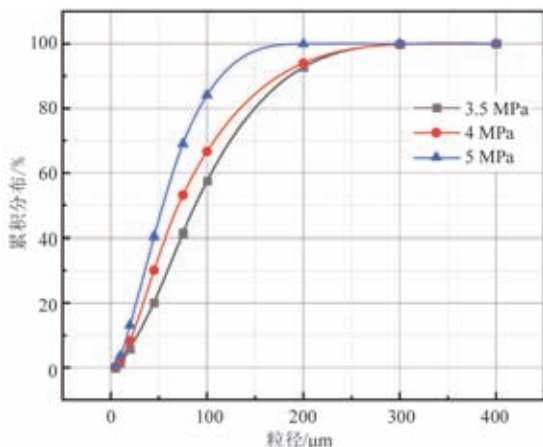


图12 不同气体雾化压力的粉末粒径累积分布

Fig. 12 Cumulative distribution of powder particle size with different gas atomization pressures

### 3 结论

(1) 随着雾化气体压力的增加,气流场最大速度

逐渐增大,马赫盘处最大速度依次为334、373、418 m/s,有利于液滴的二次破碎,提高细粉收得率。流场内最低温度随着雾化气压的增大而逐渐减小,从23 K减小到22 K、19 K,低温区域的长度和宽度逐渐增加,理论雾化区域的平均温度逐渐减小,有利于细粉的制备;

(2) 初次雾化中,熔体破碎过程是动态平衡的,高温金属熔体的流动形态呈倒三角状-伞状,连续循环发生一次破碎。二次雾化中,初始液滴在超音速流场激波的作用下破碎成细小液滴,在表面张力的作用下球形化形成细小粉末;

(3) 随着雾化气压的增大,雾化试验所得的粉末粒径越来越细小,中值粒径从87.63  $\mu\text{m}$ 减小到70.13  $\mu\text{m}$ 、53.93  $\mu\text{m}$ ,对比模拟结果,误差分别为9.5%、8.0%、22.8%,试验结果与模拟理论分析基本一致,验证了模拟的合理性和准确性。

## 参考文献:

- [1] 黄培云. 粉末冶金原理 [M]. 2版.北京: 冶金工业出版社, 1997.
- [2] 欧阳鸿武, 陈欣, 余文焘, 等. 气雾化制粉技术发展历程及展望 [J]. 粉末冶金技术, 2007 (1): 53-58, 63.
- [3] ANDERSON I E, WHITE E M, TIARKS J A, et al. Fundamental progress toward increased powder yields from gas atomization for additive manufacturing [C]//Proceedings of the Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials, Las Vegas, NV, USA, 2017: 13-16.
- [4] KASSYM K, PERVEEN A. Atomization processes of metal powders for 3D printing [J]. Materials Today: Proceedings, 2020, 26: 1727-1733.
- [5] AYDIN O, UNAL R. Experimental and numerical modeling of the gas atomization nozzle for gas flow behavior [J]. Computers & Fluids, 2011, 42 (1): 37-43.
- [6] ZHAO W, CAO F, NING Z, et al. A computational fluid dynamics (CFD) investigation of the flow field and the primary atomization of the close coupled atomizer [J]. Computers & Chemical Engineering, 2012, 40: 58-66.
- [7] 黎兴刚, 刘畅, 朱强. 面向金属增材制造的气体雾化制粉技术研究进展 [J]. 航空制造技术, 2019, 62 (22): 22-34.
- [8] KAISER R, LI C, YANG S, et al. A numerical simulation study of the path-resolved breakup behaviors of molten metal in high-pressure gas atomization: With emphasis on the role of shock waves in the gas/molten metal interaction [J]. Advanced Powder Technology, 2018, 29 (3): 623-630.
- [9] 夏敏, 汪鹏, 张晓虎, 等. 电极感应熔雾化制粉技术中非限制式喷嘴雾化过程模拟 [J]. 物理学报, 2018, 67 (17): 41-51.
- [10] SHI Y, LU W, SUN W, et al. Impact of gas pressure on particle feature in Fe-based amorphous alloy powders via gas atomization: Simulation and experiment [J]. Journal of Materials Science & Technology, 2022, 105: 203-213.
- [11] ANDERSON I E, WHITE E M H, DEHOFF R. Feedstock powder processing research needs for additive manufacturing development [J]. Current Opinion in Solid State and Materials Science, 2018, 22 (1): 8-15.
- [12] 刘文胜, 彭芬, 马运柱, 等. 气雾化法制备金属粉末的研究进展 [J]. 材料导报, 2009, 23 (3): 53-57.
- [13] LI X G, FRITSCHING U. Process modeling pressure-swirl-gas-atomization for metal powder production [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2017, 239: 1-17.
- [14] 刘畅. 气体雾化制粉过程中金属熔体在导流管内的流动与传热机理研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
- [15] QUAATZ J F, GIGLMAIER M, HICKEL S, et al. Large-eddy simulation of a pseudo-shock system in a laval nozzle [J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2014, 49: 108-115.
- [16] TING J. Optimizing melt tip geometry for high-pressure gas atomization [J]. Metal Powder Report, 1998, 53 (5): 40.
- [17] BECKERS D, ELLENDT N, FRITSCHING U, et al. Impact of process flow conditions on particle morphology in metal powder production via gas atomization [J]. Advanced Powder Technology, 2020, 31 (1): 300-311.
- [18] YANG C C, HANG C J L, WENG C J, et al. Preparation of high-entropy AlCoCrCuFeNiSi alloy powders by gas atomization process [J]. Materials Chemistry and Physics, 2017, 202: 151-158.

## Effect of Gas Pressure on Powder Particle Size

GUAN Shu-wen, LIU Shi-chang, SHI Jian, YUE Ye, GAO Peng, WEI Yan-peng, CHENG Jing-chang, YU Bo

(Shenyang Research Institute of Foundry Co., Ltd., State Key Laboratory of Light Alloy Casting Technology for High-End Equipment, Shenyang 110022, Liaoning, China)

### Abstract:

A numerical simulation study on the gas atomization was carried out by using of the computational fluid dynamics (CFD) software, and analyzed the effect of the atomized gas pressure on the atomization velocity field and the metal powder particle size distribution during the powder manufacturing process with gas atomization. The results show that, when the atomized gas pressures are 3.5 MPa, 4.0 MPa and 5.0 MPa, the mid-value diameters of the atomized powder particles are 79.3  $\mu\text{m}$ , 64.5  $\mu\text{m}$ , 41.6  $\mu\text{m}$ , respectively, and the errors are 9.5%, 8.0% and 22.8%, respectively, compared with the 87.63  $\mu\text{m}$ , 70.13  $\mu\text{m}$  and 53.93  $\mu\text{m}$  mid-value diameters of the powder particles obtained through tests. Comprehensively analyzing, the powder particle size can be reduced and the fine powder yield can be improved by using of the increase of the atomized gas pressure.

### Key words:

metal powders; gas atomization; powder performance; gas pressure