

球形钨粉的制备及应用

周武平¹, 张莹莹², 王学兵¹, 杨怀超², 熊宁², 刘国辉², 王铁军¹

(1. 安泰科技股份有限公司, 北京 100081)

(2. 安泰天龙钨钼科技有限公司, 北京 100094)

摘要: 以不规则形状钨粉颗粒为原料, 采用射频 (RF) 等离子球化技术制备球形钨粉, 并对球形钨粉进行铺粉及成形实验效果评价。在射频等离子球化过程中, 研究球化工艺参数 (送粉速率、送粉位置) 和原料粉末形态对球化结果的影响。在铺粉实验方面, 研究粉末特征和铺粉层厚对铺粉效果的影响。采用扫描电子显微镜、激光粒度分析仪和 BT-100 粉体综合特性测试仪对球化处理前后粉末的形貌、粒度、流动性、松装密度和振实密度进行测试和分析。结果表明: 经过球化处理后, 钨粉颗粒呈规则球形, 表面光滑, 球化率可达 100%, 流动性、松装密度和振实密度得到明显提高。球化率高的粉末流动性好, 铺粉效果好; 随着层厚的增加, 铺粉效果逐渐得到改善; 采用合适粒径的球形钨粉打印的钨薄壁件表面相对光洁, 尺寸精度高。

关键词: 射频等离子球化; 球形钨粉; 铺粉; 层厚

中图分类号: TG146.4⁺11

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2019)08-2594-08

钨及其合金具有熔点高、高温强度高、耐热耐腐蚀性好等优良性能, 广泛应用于航空航天、核电及医疗等领域^[1-3]。传统粉末冶金的方法难以制备结构复杂的钨及其合金制品^[4]。随着材料成形技术的不断发展, 3D 打印技术成为制备小型钨及其合金制品的有效方法^[5,6]。作为 3D 打印制备复杂结构钨制品件的原材料, 球形钨粉的制备是新型钨及其合金制品开发的重要环节。

制备球形钨粉的方法层出不穷, 如卤化法^[7]、旋转电极法^[8]、部分优先氧化碱洗法^[9,10]、仲钨酸铵循环氧化还原法^[11,12]、喷雾干燥法^[13]等, 这些方法各有各的弊端, 未能实现工业化。射频等离子体技术因其能量高度集中、温度梯度大、无电极放电、污染小等优点广泛应用于球形难熔金属粉末 (如钨粉) 的制备领域^[14-18]。该方法制备的粉末球形度高, 流动性好, 平均粒度可低于 20 μm , 是制备高品质球形钨粉的良好途径^[19]。

迄今为止, 球形钨粉的制备一直未实现大规模生产, 且欠缺对球形钨粉的使用评价环节。本工作对射频等离子体制备球形钨粉工作开展相应研究, 并对制备的球形钨粉进行性能评价, 这对于推动小型复杂结构钨制品件的制备具有重要意义。

1 实验

选择不规则形状的粗颗粒钨粉(1#)为原料, 研究球化工艺参数 (送粉速率和送粉位置) 对球化结果的影响, 其原料的激光粒度 $D_{10}=37.403 \mu\text{m}$, $D_{50}=69.572 \mu\text{m}$, $D_{90}=163.219 \mu\text{m}$; 另外, 以激光粒度检测结果 D_{50} 约为 20 μm 、颗粒形状不同的 3 种不规则钨粉(2#、3#、4#)为原料, 研究原料钨粉状态对球化结果的影响。所选原料钨粉均为市售。

采用射频 (RF) 等离子球化设备对原料钨粉进行球化处理, 其设备主要包括等离子体发生装置、送粉装置、收集装置和冷却装置^[20]。该设备以氩气为工作气体建立稳定运行的氩气等离子弧, 同时以氩气为载气, 将原料钨粉经加料枪喷入等离子腔中, 在辐射、对流、传导等传热机制作用下, 使粉末迅速被加热至整体或部分熔化, 熔融的粉末颗粒在表面张力的作用下快速凝固收缩, 形成致密的球形粉末^[21]。射频等离子球化粉末原理如图 1 所示, 钨粉球化实验具体工艺参数列入表 1。

采用射频等离子球化技术制备球形钨粉的实验过程主要分为 4 个步骤:

(1) 原料钨粉的前处理阶段: 将原料粉末放在真

收稿日期: 2019-01-29

基金项目: 国家重点研发计划专项 (2017YFB0306002)

作者简介: 周武平, 男, 1966 年生, 硕士, 教授级高工, 安泰科技股份有限公司, 北京 100081, 电话: 010-62182532, E-mail: zhouwuping@atmcn.com

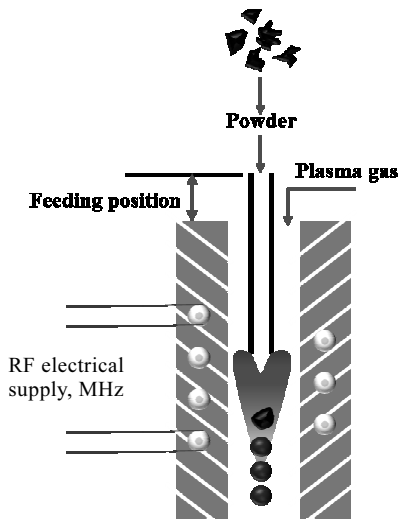


图 1 射频等离子体制备球形钨粉示意图

Fig.1 Schematic illustration of preparing spherical tungsten powder by RF plasma processing

表 1 射频等离子球化工艺参数

Table 1 Experimental parameters for RF plasma processing

Parameter	Value
Carrier gas flow rate (Ar), $Q_1/L \cdot \text{min}^{-1}$	5~7
Center gas flow rate (Ar), $Q_2/L \cdot \text{min}^{-1}$	20~30
Sheath gas flow rate (Ar), $Q_3/L \cdot \text{min}^{-1}$	80~100
Plasma power/kW	50~65
Powder feeding position/mm	35~50
Powder feeding rate/ $\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$	40~200

空干燥箱中于 150 °C 的条件下烘干 10 h, 降低原料粉末颗粒的湿度;

(2) 建立稳定的等离子体炬, 温度场的最高温度可达 10^4 K;

(3) 球形钨粉制备阶段: 将烘干后的原料钨粉经加料枪送入等离子体炬中, 粉末颗粒在等离子体炬内快速经历吸热、熔化和凝固 3 个过程;

(4) 球化结束后球形钨粉的收集及后处理阶段。

在选区激光熔化技术成形过程中, 铺粉效果的好坏直接影响后续成形产品的性能。而粉末的形貌、粒度和粒度分布等因素都会影响到铺粉效果。本实验采用自制的铺粉装置, 选取 2#、2#球化、4#球化和 1#球化 4 种粉末进行铺粉实验, 然后用数码相机拍照, 对于 1#球化后粉末铺粉效果进行扫描电镜观察。

采用 Malvern Scirocco 2000 激光粒度分析仪测试钨粉球化前后的粒度及粒度分布, 通过 Nova Nano SEM450 激光扫描电镜观察粉末颗粒形貌, 球化前后粉末的松装密度、振实密度和流动性的测试在 BT-100 粉体综合特性测试仪上进行测试, 采用 EOS M280 进

行纯钨薄壁件的制备。球化后钨粉颗粒球化率的计算通过激光扫描电镜观察, 统计出经过球化处理后的球形粉末颗粒所占总粉末颗粒的百分比, 每个样品随机取样统计 3 次, 然后求其平均值作为该样品的球化率。

2 结果与讨论

在射频等离子球化技术制备球形钨粉过程中, 多个球化工艺参数影响最终粉末颗粒的球化结果, 尤其是送粉速率、送粉位置和原料粉末颗粒形状^[22]。

2.1 不规则粗颗粒钨粉(1#)的球化

2.1.1 送粉速率对球化结果的影响

从粗颗粒钨粉球化前后图中(图 2)能明显看出, 原料钨粉(图 2a)呈不规则多角形状态存在, 分散均匀, 颗粒的棱角和尖角明显, 粉末颗粒的激光粒度分布从 $37.403 \mu\text{m}$ (D_{10}) 到 $163.219 \mu\text{m}$ (D_{90})。

保持其它球化工艺参数恒定不变, 研究送粉速率对球化效果的影响。不同送粉速率条件下, 原料钨粉经过球化处理后粉末的 SEM 形貌图片如图 2b~2f 所示。当送粉速率为 40 g/min 时(图 2b), 经过等离子球化处理后得到表面光滑、球形度高、分散性良好的球形钨粉, 且球化率可达 100%。当送粉速率为 80 g/min 时(图 2c), 有极少部分原料颗粒明显没有被球化, 少部分原料颗粒的棱角不再明显, 少数颗粒呈现出椭球形, 球化率达 87%。当送粉速率为 120 和 160 g/min 时(图 2d、图 2e), 粒径较大的钨粉颗粒仍然以不规则多角形原料状态存在, 球化率分别为 48% 和 17%。当送粉速率为 200 g/min 时(图 2f), 几乎没有粉末颗粒得到球化, 球化率几乎为 0%。这一结果与其他研究结论一致^[23]。

钨粉的球化率与送粉速率的关系如图 3 所示, 随着送粉速率的增大, 球化率明显下降。在其它球化工艺参数保持恒定的条件下, 等离子体腔内形成稳定的温度场。在一定的送粉速率范围内, 粉末颗粒能实现完全球化。随着送粉速率的增加, 单位时间等离子体炬内通过的粉末颗粒量增多, 需要更多的能量使其球化。而此时温度场提供的能量保持恒定, 不能满足全部粉末颗粒熔化所需的能量要求, 导致部分粉末颗粒未能充分吸热达到完全球化。此外, 送粉速率的增加会导致部分钨粉颗粒在等离子体炬中的运行轨迹偏离高温区, 使粉末吸热不充分, 这也是粉末球化率低的一个原因。

2.1.2 送粉位置对球化结果的影响

送粉位置示意图如图 1 所示。等离子体球化制备球形钨粉的过程中, 由载气 Q_1 携带原料钨粉进入等离子体炬内。送粉装置总长度为一定值不变, 在保持送粉速率和载气量相同的条件下, 送粉位置的高低直接影响原料

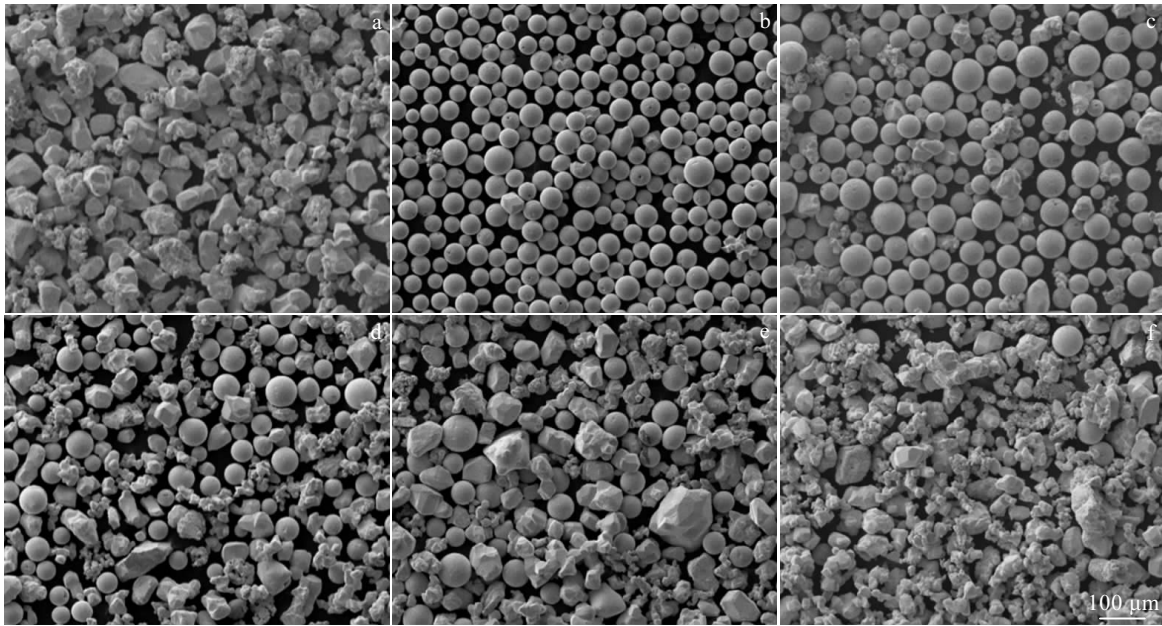


图 2 原料粉末和在不同送粉速率条件下球形钨粉的 SEM 形貌

Fig.2 SEM morphologies of tungsten powder at different feeding rates: (a) raw powder, (b) 40 g/min, (c) 80 g/min, (d) 120 g/min, (e) 160 g/min, and (f) 200 g/min

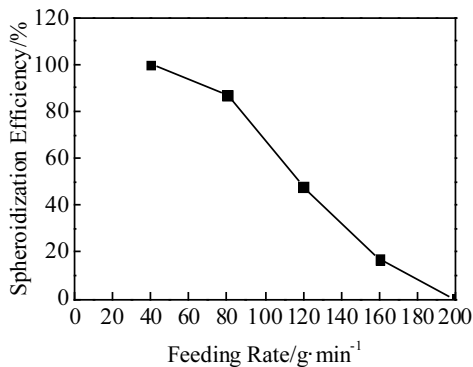


图 3 钨粉的球化率和送粉速率的关系

Fig.3 Spheroidization efficiency as a function of feeding rate for tungsten powder

钨粉在等离子体炬中的运行距离和吸热时间。

保持其它球化工艺参数相同的条件下(能量输入、载气量为一定值),不同的送粉位置,钨粉的球化效果也不同。如图 4a、4b、4c 和 4d 分别是送粉位置为 35、40、45 和 50 mm 球化后钨粉的形貌特征。在送粉位置为 35 mm 处,经过球化后颗粒部分被球化,部分颗粒仍以原料粉末状态存在,颗粒表面的尖角和棱角明显可见,球化率为 48%。在送粉位置为 40 mm 处,球化效果比 35 mm 处得到提高,但仍有部分颗粒呈不规则

的多角形,少数颗粒由于吸热不充分而导致没有被充分球化,球化率为 63%。在送粉位置为 45 mm 处,相对于前 2 组球化结果,球形钨粉颗粒表面光滑,球化率明显提高,达 75%,少数球化颗粒表面存在凹坑或明显熔化不完全现象。在送粉位置为 50 mm 处,绝大多数颗粒表面光滑,呈球形状态存在,球化率接近 100%。

球化率和送粉位置的关系曲线如图 5 所示,随着送粉位置的提高,球化率明显得到提高。这是因为在其他球化工艺参数保持恒定的条件下,送粉位置越高,原料钨粉在等离子体炬内运行的距离就越长,经过高温区的时间越长,所吸收的热量越多,原料钨粉就有更大的可能熔化成球形。鉴于设备安全性考虑,送粉位置范围控制在 50 mm 内。

原料钨粉粒度和粒度分布及送粉速率为 40 g·min⁻¹ 时的球形钨粉粒度和粒度分布如图 6 所示。在送粉速率为 40 g·min⁻¹ 的条件下球化后,与原料钨粉相比,球形钨粉粒径相对减小,粒度分布明显集中。

图 7 为球化工艺参数送粉速率为 40 g·min⁻¹ 时的球形钨粉横截面形貌。球化后的钨粉颗粒内部密实,没有孔洞存在。经过测试,球化前后钨粉的流动性由 14.1 s·(50 g)⁻¹ 提高到 5.9 s·(50 g)⁻¹,松装密度由 5.98 g·cm⁻³ 提高到 10.99 g·cm⁻³。相比于常规形态钨粉颗粒,球形钨粉颗粒堆积时拱桥效应减弱,流动性和松装密度得到明显提高。

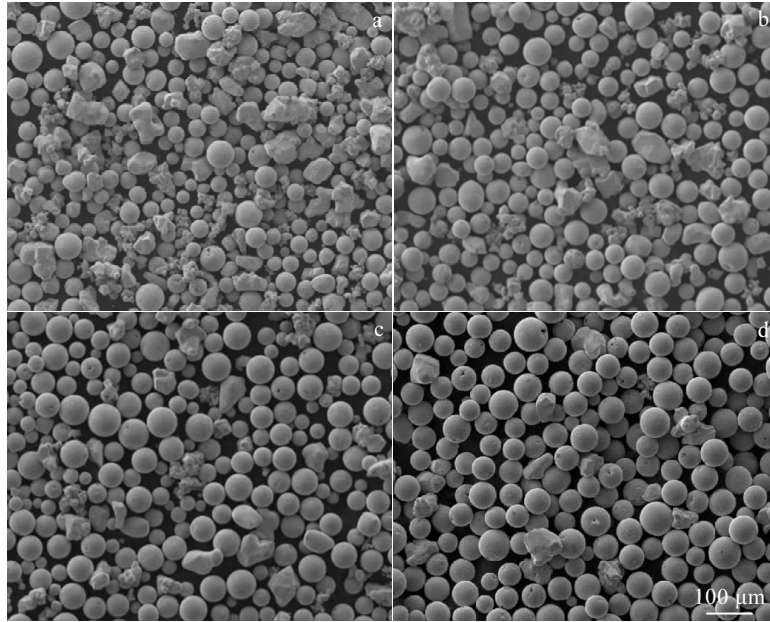


图 4 不同送粉位置条件下制备球形钨粉的 SEM 形貌

Fig.4 SEM morphologies of tungsten powder at different feeding positions: (a) 35 mm, (b) 40 mm, (c) 45 mm, and (d) 50 mm

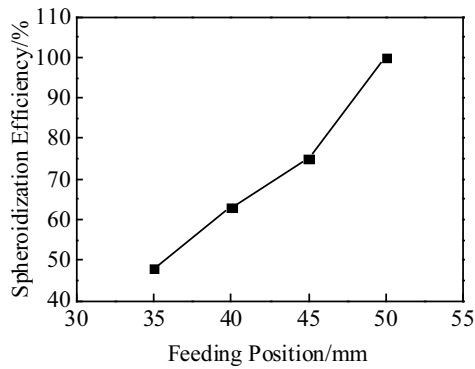


图 5 钨粉的球化率和送粉位置的关系

Fig.5 Spheroidization efficiency as a function of feeding position for tungsten powder

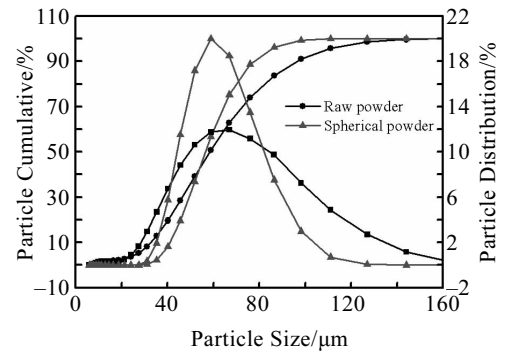


图 6 球化前后钨粉的粒度分布

Fig.6 Particle size distribution of raw and plasma-treated tungsten powder

2.2 3 种不同钨粉(2#、3#、4#)的原料状态对球化结果的影响

选择 3 种激光粒度测定值相近、颗粒形态不同的钨粉 (2#、3#、4#) 在相同球化工艺参数条件下进行球化处理, 球化前后的颗粒形貌如图 8 所示。8a~8c 分别为 3 种原料粉末颗粒的形貌, 8d~8f 为 3 种粉末相应球化后的颗粒形貌。

2#钨粉粒径 D_{50} 为 23.098 μm , 单个颗粒粒径细小, 颗粒彼此间明显存在严重团聚现象, 没有流动性。经过球化后, 球化效果不明显, 粉末颗粒大都没有得到

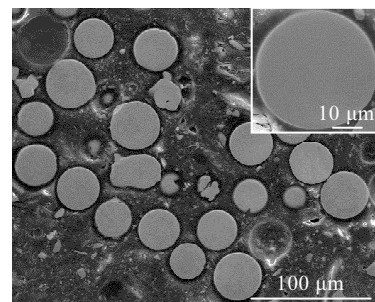


图 7 球化后钨粉的横截面

Fig.7 Cross-section image of plasma-treated tungsten powder

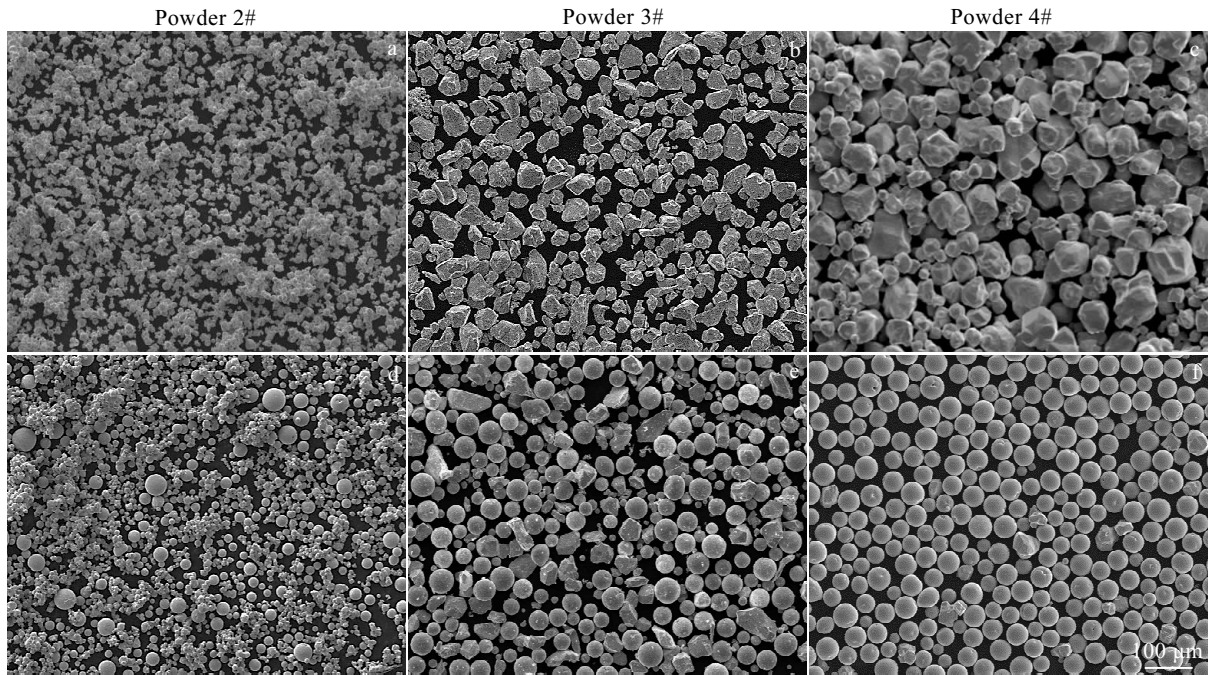


图 8 原料钨粉和球化后的 SEM 形貌

Fig.8 SEM morphologies of raw (a-c) and plasma-treated (d-f) tungsten powder: (a, d) 2#, (b, e) 3#, and (c, f) 4#

球化，只有少数颗粒得到球化，且仍然以团聚状态存在。3#粉末颗粒尖角和棱角较为明显，有较多的片状和棒状颗粒存在，颗粒分散性良好，粒径 D_{50} 为 $21.053 \mu\text{m}$ ，流动性为 $12.04 \text{ s} \cdot (50 \text{ g})^{-1}$ 。经过球化后，多数颗粒呈球形状态，仍有部分颗粒以棒状或片状形态存在，尖角和棱角已经不再明显，球化效果较好。4#粉末颗粒为中颗粒钨粉，形状较为规则，颗粒无团聚现象，粒径 D_{50} 为 $25.901 \mu\text{m}$ ，流动性为 $10.83 \text{ s} \cdot (50 \text{ g})^{-1}$ 。经过球化后，几乎全部颗粒呈球形状态，表面光滑，球化率接近 100%。

射频等离子球化制备球形钨粉的过程中，在原料方面，原料粉末粒度和原料状态影响钨粉的流动性，影响钨粉在等离子体炬内的分散状态。粒度细小的原料钨粉颗粒之间的范德华力较强，彼此相互吸附，倾向于以团聚状态存在，不利于球化处理。同时，粒径相近的棒状和片状颗粒与规则颗粒相比，规则形状的颗粒更易于球化。

球化前后 3 种粉末的松装密度和振实密度如图 9 所示。经过球化处理后，3 种粉末的松装密度和振实密度相比于原料粉末均有一定提高。2#原料粉末颗粒之间相互吸附团聚，彼此间的摩擦力较大，无流动性，经过球化后，粉末部分呈球形，流动性为 $24.01 \text{ s} \cdot (50 \text{ g})^{-1}$ 。3#和 4#粉末的流动性分别由球化前的 12.04 、 $10.83 \text{ s} \cdot (50 \text{ g})^{-1}$ 提高到球化后的 9.89 、 $7.50 \text{ s} \cdot (50 \text{ g})^{-1}$ 。经过球

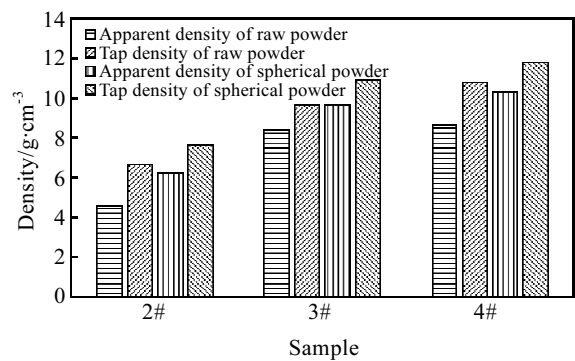


图 9 钨粉球化前后的松装密度和振实密度变化

Fig.9 Variations of apparent density and tap density of raw and spherical powder

化处理后，钨粉颗粒由不规则形状转变为规则的球形，颗粒间拱桥效应减弱，摩擦力减小，流动性得到提高。粉末在堆积时接触面积小，颗粒间的空隙减小，松装密度和振实密度得到提高。

2.3 粉末状态对选区性激光熔化制备成形件的铺粉效果影响

本研究基于选择性激光熔化技术设备 EOS M280 的铺粉原理，设计了模拟铺粉的实验装置，对不同粉末的铺粉效果进行研究。该铺粉实验装置以导轨作为粉末床，用刮板进行铺粉，刮板和导轨示意图如图 10

所示。导轨上沿宽度方向上均匀分布 3 个不同的加工深度 20、50、80 μm ，以分别实现 3 种不同的铺粉层厚。铺粉实验过程将粉末放置于导轨的左端，用刮板在一定的力值作用下从左往右进行铺粉，并对铺粉效果进行观察。

铺粉实验所选择的 4 种粉末 2#、2#球化、4#球化、1#球化的 D_{50} 、流动性、松装密度和振实密度性能如表 2 所示。

2#、2#球化、4#球化、1#球化 4 种粉末所对应的铺粉实验宏观结果如图 11 所示。2#粉末铺粉不均匀，断续现象比较严重，铺粉效果差，在层厚为 80 μm 处

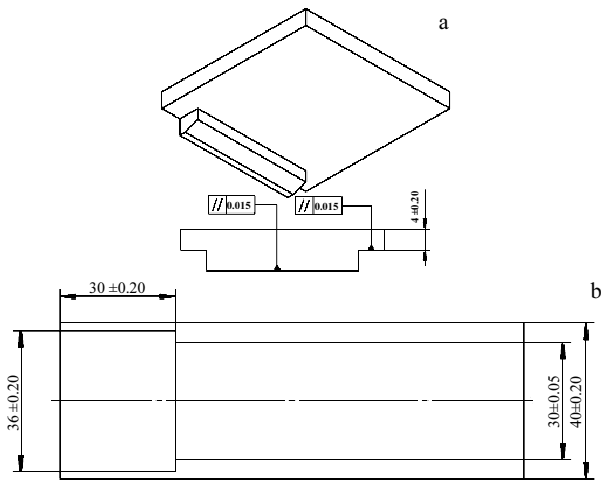


图 10 铺粉模拟装置示意图

Fig.10 Schematic illustration of laying powder simulation device:

(a) scraper blade and (b) guide rail

表 2 4 种粉末的性能

Table 2 Powder properties of four kinds of W powder				
Powder	$D_{50}/\mu\text{m}$	Flowability/ $\text{s}\cdot(50\text{ g})^{-1}$	Apparent density/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Tap density/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
2#	23.098	-	4.54	6.65
2#-spherical	15.347	24	6.18	7.59
4#-spherical	29.003	7.50	10.27	11.76
1#-spherical	49.988	5.90	10.99	12.04

断续现象依然严重。这是因为 2#粉末颗粒呈不规则形状，无流动性，不利于铺粉过程的实现，不适合用于选区激光熔化技术制备成形件。2#球化粉末球化率不高，颗粒存在局部团聚现象，铺粉过程中粉末在层厚为 20 μm 处不能很好地铺散开，但比 2#原料粉末铺粉效果好。在层厚为 80 μm 处铺粉断续现象得到一定的改善。

从宏观上来看，在层厚为 20 μm 处，4#球化粉末铺粉效果好，铺粉较为平整，颗粒之间排列紧密，没有明显的断续现象出现。这是因为 4#球化粉球化率高，流动性好，铺粉效果较好。1#球化粉 D_{50} 为 49.988 μm ，粒径较大，流动性好。在铺粉层厚为 20 μm 处，铺粉不均匀，出现一定程度的断续现象。随着铺粉层厚的增加，当铺粉层厚达到 80 μm 时，铺粉效果变好，可实现均匀铺粉。结合 1#球化后球形粉末颗粒的分布情况下铺粉状态的扫描电镜结果可以明显看出铺粉层厚为 20 μm 时（图 12a），导轨上各粉末颗粒的间隙较大，随着铺粉层厚由 20 μm 增加至 50 μm ，铺粉效果逐渐变好，至铺粉层厚达到 80 μm ，可实现均匀送粉。

2.4 球形钨粉在 3D 打印薄壁钨制品方面的应用

选用 4#球化、1#球化 2 种球形钨粉在 EOS M280

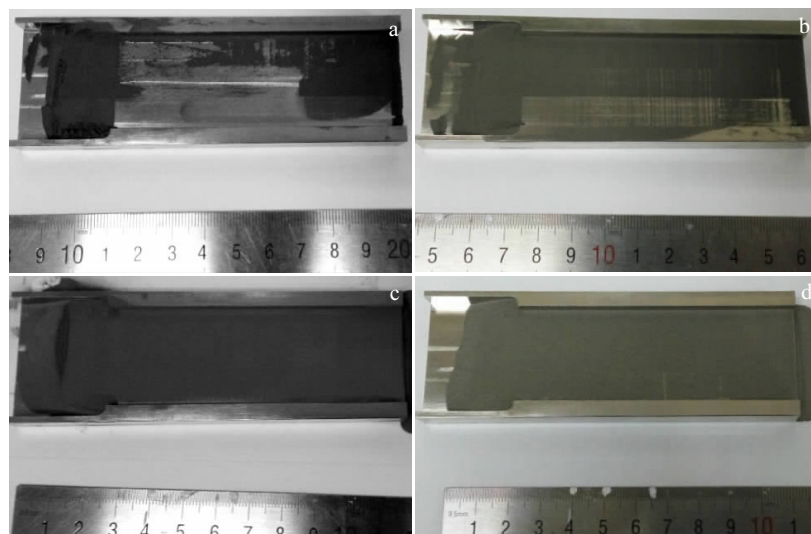


图 11 铺粉实验结果

Fig.11 Experiment results of laying powder: (a) 2#, (b) 2#-spherified, (c) 4#-spherified, and (d) 1#-spherified

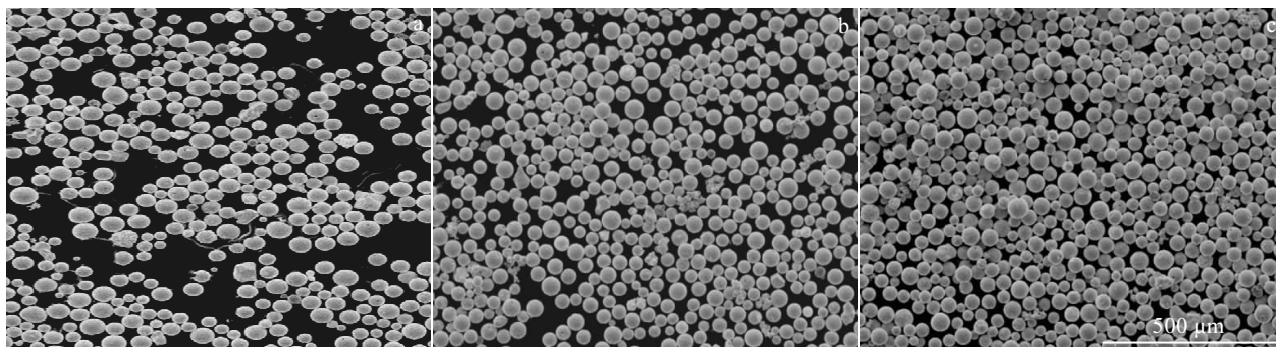


图 12 不同铺粉层厚状态下的 SEM 结果(1#粉末球化后)

Fig.12 SEM images of different layer thickness (1#-spherified): (a) 20 μm, (b) 50 μm, and (c) 80 μm

进行纯钨薄壁件的成形实验。实验在氮气保护下进行，铺粉层厚为 30 μm；激光扫描间隔为 110 μm，扫描功率为 200 W，扫描速率为 300 mm·s⁻¹，基板预热温度为 80 °C，实验结果如图 13 所示。从图 13 可以看出，4#球化粉与 1#球化粉的打印结果相比，1#球化薄壁成形件因粘粉现象导致尺寸精度低，而 4#球化成形件粘粉现象不严重，表面形貌相对光洁，尺寸精度高，适合用于 3D 打印制备薄壁件。

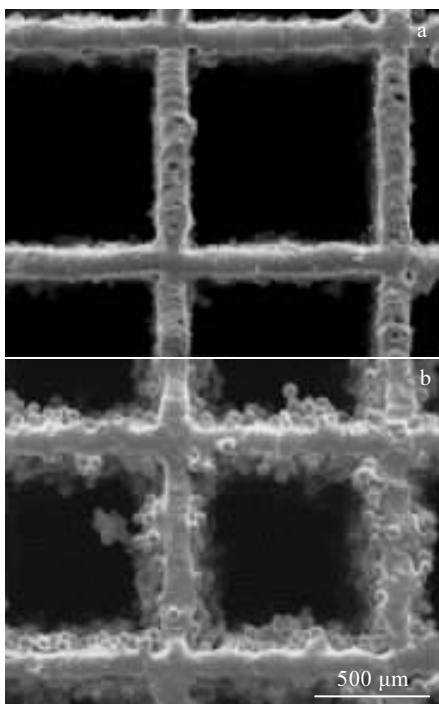


图 13 钨薄壁件的成形结果

Fig.13 Experiment results of tungsten thin wall parts: (a) 4#-spherified and (b) 1#-spherified

3 结 论

1) 在射频等离子球化技术制备球形钨粉过程中，球化工艺参数方面，随着送粉速率的增加，球化率明显下降；随着送粉位置的提高，球化率明显增加；最佳球化工艺参数为送粉速率 40 g·min⁻¹、送粉位置 50 mm。原料钨粉形态方面，粒径相近的条件下，选择分散性好、粉末形态规则的颗粒球化率高。

2) 经过球化后，钨粉颗粒的形貌呈规则球形，颗粒表面光滑，流动性、松装密度和振实密度得到提高。

3) 纯钨粉颗粒的铺粉过程主要受粉末性能和铺粉层厚的影响，粉末的流动性好，铺粉效果好；对于同种粉末来说，随着铺粉层厚的增加，铺粉效果变好，有利于铺粉过程的进行。

4) 采用 4#球化钨粉制备的钨薄壁件表面相对光洁，尺寸精度高。

参考文献 References

[1] Tong J B, Lu X, Liu C C *et al.* *Applied Thermal Engineering* [J], 2016, 100: 1198

[2] Han C, Na H, Kim Y *et al.* *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*[J], 2015, 53: 7

[3] Murugan K, Chandrasekhar S B, Joardar J. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*[J], 2011, 29(1): 128

[4] Luo T G, Qu X H, Qin M L *et al.* *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*[J], 2009, 27(3): 615

[5] Rejeski D, Zhao F, Huang Y. *Additive Manufacturing*[J], 2018, 19: 21

[6] Liu Caili(刘彩丽), Zhao Yongqing(赵永庆), Tian Guangmin (田广民) *et al.* *Materials China*(中国材料进展)[J], 2015,

- 34(2): 163
- [7] Stephen W H. *Tungsten Sources, Metallurgy, Properties and Application*[M]. New York: Plenum Press, 1979: 168
- [8] Huang Peiyun(黄培云). *Principle of Powder Metallurgy*(粉末冶金原理)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2013: 108
- [9] Qiu W T, Li Z, Xiao Z *et al. Powder Technology*[J], 2012, 228: 187
- [10] Ramachandran C S, Balasubramanian V, Ananthapadmanabhan P V. *Surface & Coatings Technology*[J], 2012, 206(13): 3017
- [11] Fu Xiaoming(傅小明). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2010, 39(S1): 468
- [12] Wu Xiaodong(吴晓东), Liu Xingguo(刘兴国), Chai Yongxin(柴永新). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2007, 36(S3): 460
- [13] Cui Yuntao(崔云涛), Wang Jinshu(王金淑), Liu Wei(刘伟) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2011, 40(3): 507
- [14] Gu Zhongtao(古忠涛), Ye Gaoying(叶高英), Liu Chuandong(刘川东) *et al. Powder Metallurgy Technology*(粉末冶金技术)[J], 2010, 28(2): 120
- [15] Lu Xin(路新), Liu Chengcheng(刘程程), Zhu Langping(朱郎平) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2013, 42(9): 1915
- [16] Wang Yuming, Hao Junjie, Sheng Yanwei. *Rare Metal Materials and Engineering*[J], 2013, 42(9): 1810
- [17] O'Dell J S, Schofield E C, Mckechnie T N *et al. Journal of Materials Engineering and Performance*[J], 2004, 13(4): 461
- [18] Enneti R K. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*[J], 2015, 53: 111
- [19] Wang Jianjun, Hao Junjie, Guo Zhimeng *et al. Rare Metals*[J], 2015, 34(6): 431
- [20] Wang Linzhi, Wu Jiaojiao, Zhang Daijun. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*[J], 2017, 67: 90
- [21] Jiang X L, Boulos M. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2006, 16(1): 13
- [22] Dai Zhen, Cao Yongge, Ma Chaoyang *et al. Rare Metal Materials and Engineering*[J], 2017, 46(2): 333
- [23] Gu Zhongtao(古忠涛), Ye Gaoying(叶高英), Liu Chuandong(刘川东) *et al. Nuclear Fusion and Plasma Physics*(核聚变与等离子体物理)[J], 2010, 30(2): 178

Preparation and Application of Spherical Tungsten Powder

Zhou Wuping¹, Zhang Yingying², Wang Xuebing¹, Yang Huaichao², Xiong Ning², Liu Guohui², Wang Tiejun¹

(1. Advanced Technology & Materials Co. Ltd, Beijing 100081, China)

(2. ATTL Advanced Materials Co. Ltd, Beijing 100094, China)

Abstract: The spherical tungsten powder was prepared by radio frequency plasma system with irregular tungsten powder as raw materials and the effect of spherical tungsten powder was evaluated by laying powder and forming result. In the process of preparing spherical tungsten powder, the effects of process parameters (feeding rate, feeding position) and raw tungsten powder on spheroidization results were studied. In the aspect of laying powder experiment, the effects of powder characteristics and layer thickness on laying powder effect were studied. The morphologies, particle size distribution, flowability, apparent density and tap density of the tungsten powder before and after spheroidization were characterized by scanning electron microscopy (SEM), laser micron sizer, BT-100 multifunctional powder physical property tester. The results show that tungsten powder is regularly spherical and has smooth surface after spheroidization, and the spheroidization rate can reach 100%. And the flowability, apparent density and tap density are improved obviously. The better the flowability of spherical tungsten powder with high spheroidizing rate, the better the effect of laying powder. With the increase of layer thickness, the effect of laying powder is improved gradually. And the thin-walled parts prepared by spherical tungsten powder with suitable particle size have low surface roughness and high dimensional accuracy.

Key words: radio frequency plasma; spherical tungsten powder; laying powder; layer thickness

Corresponding author: Zhou Wuping, Master, Professor, Advanced Technology & Materials Co. Ltd, Beijing 100081, P. R. China, Tel: 0086-10-62182532, E-mail: zhouwuping@atmcn.com