



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106378460 B

(45)授权公告日 2018.05.11

(21)申请号 201610841237.1

(22)申请日 2016.09.22

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106378460 A

(43)申请公布日 2017.02.08

(73)专利权人 成都优材科技有限公司  
地址 610000 四川省成都市高新区(西区)  
新文路22号8栋1层5号2楼

(72)发明人 刘睿诚 吴利苹 蒋安琪 曾益伟  
王强 陈玲莉 陈军

(74)专利代理机构 成都希盛知识产权代理有限公司 51226

代理人 武森涛

(51) Int. Cl.  
B22F 9/08(2006.01)

(56)对比文件

CN 205996204 U, 2017.03.08,  
CN 105057689 A, 2015.11.18,  
CN 103769594 A, 2014.05.07,  
US 2015231701 A1, 2015.08.20,  
CN 103801704 A, 2014.05.21,  
JP 2016522734 A, 2016.08.04,

审查员 严墨洋

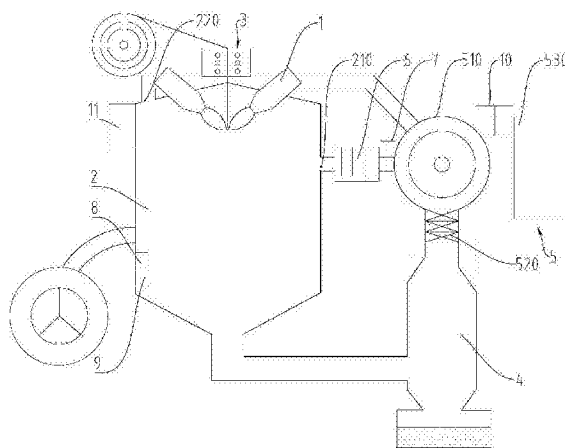
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法及设备

(57)摘要

本发明涉及制备纯钛或钛合金球形粉末的等离子雾化方法及设备,属于钛或钛合金粉末的制备技术领域。本发明提供一种制备纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法,包括如下步骤:a、准备直径为3~20mm的钛丝或钛合金丝;b、在氩气氛围的雾化仓中,采用等离子体炬将钛丝或钛合金丝熔融雾化,得到雾化后的纯钛或钛合金颗粒;c、向雾化仓中通入温度为300~500℃的氩气流,将雾化后的纯钛或钛合金颗粒层流冷却,得到纯钛或钛合金粉末。该粉末球形度好,卫星球少,具有粒径分布均匀、高纯度、高球形、流动性好、低氧含量、夹杂少、无粘接/团聚现象等优点。制备出的钛粉可以广泛应用在金属增材制造、粉末注射成型和热等静压等成型方式中,用于制造高精度的零件。



1. 制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法,其特征在于,包括如下步骤:

a、备料:准备直径为3~20mm的钛丝或钛合金丝;

b、熔融雾化:在惰性气体氛围的雾化仓中,采用等离子体炬将钛丝或钛合金丝熔融雾化,得到雾化后的纯钛或钛合金颗粒;

c、冷却:向雾化仓中通入温度为300~500℃的惰性气流,将雾化后的纯钛或钛合金颗粒层流冷却,得到纯钛或钛合金粉末;

其中,b步骤的惰性气体和c步骤的惰性气流均为氩气或氦气。

2. 根据权利要求1所述的制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法,其特征在于:采用等离子体炬将钛丝或钛合金丝熔融雾化的具体方法为:采用四个均匀分布的等离子体炬,每个等离子体炬喷射方向与丝材的进丝方向呈40°角,等离子体炬喷出的热气流聚焦在同一个加工熔化区,进丝速度为0.05~0.2m/s,等离子体炬功率为20~100kW,等离子体炬口的气流喷出速度为80~250L/min。

3. 根据权利要求1或2所述的制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法,其特征在于:b步骤所述的惰性气体氛围中,氧气含量不超过0.3wt%,氮气含量不超过0.3wt%。

4. 根据权利要求3所述的制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法,其特征在于:b步骤中,先抽真空,再通入惰性气体至常压,使雾化仓中为惰性气氛,然后采用等离子体炬将钛丝或钛合金丝熔融雾化。

5. 根据权利要求1或2所述的制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法,其特征在于:c步骤中,所述惰性气流的进气口处气压为0.2~0.5MPa。

6. 实施权利要求1~5任一项所述的制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法的等离子雾化设备,包括等离子体炬(1)、雾化仓(2)、向雾化仓(2)送料的送料系统(3)、与雾化仓(2)相连的粉末收集装置(4)、与粉末收集装置(4)相连的气体净化循环系统(5);其特征在于:

所述气体净化循环系统(5)包括气体循环动力装置(510);

在雾化仓(2)上设有进气口(210);所述气体循环动力装置(510)与雾化仓(2)的进气口(210)管路连接;在气体循环动力装置(510)与进气口(210)的通路上设有加热器(6)和控制进气口(210)处的进气压的电磁阀(7);在雾化仓(2)上设有排气口(220),所述排气口(220)与进气口(210)相对设置,所述排气口(220)与气体循环动力装置(510)管路连接;进气口(210)处气压为0.2~0.5MPa;通过电磁阀(7)控制进气口(210)处的进气压,使雾化仓(2)内的冷却气体形成层流;加热器(6)对循环流动的冷却气体加热,使冷却气体温度保持在300~500℃。

7. 根据权利要求6所述的等离子雾化设备,其特征在于:所述排气口(220)位于雾化仓(2)的顶部。

8. 根据权利要求7所述的等离子雾化设备,其特征在于:在雾化仓(2)的内壁设有氧氮含量检测仪(8);所述氧氮含量检测仪(8)与控制器通信连接。

9. 根据权利要求8所述的等离子雾化设备,其特征在于:所述气体净化循环系统(5)还包括回收罐(530),所述回收罐(530)与气体循环动力装置(510)相连,在回收罐(530)与气体循环动力装置(510)的连接通路上设有控制阀(10);还设有与控制器通信连接的位于雾化仓(2)内的压力传感器(9)。

10. 根据权利要求6所述的等离子雾化设备,其特征在于:所述等离子体炬(1)上设有计时器(110);所述计时器(110)与报警器连接。

11. 根据权利要求10所述的等离子雾化设备,其特征在于:所述等离子体炬(1)的火炬喷口(101)的外壳上设有水冷装置(120)。

12. 根据权利要求11所述的等离子雾化设备,其特征在于:在雾化仓(2)上安装有监控摄像头(11)。

## 制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法及设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法及设备,属于钛或钛合金粉末的制备技术领域。

### 背景技术

[0002] 纯钛和钛合金因为密度低,比强度高,耐腐蚀性、机械性能好,且生物相容性优异,被广泛应用在航空航天制造、牙科加工和骨科植入加工等领域。但是,钛合金的可加工性能差,切削加工困难,在热加工中,非常容易吸收氢氧氮碳等杂质,抗磨性差,生产工艺复杂。因此金属3D打印、粉末注射成型、热等静压等粉末冶金方式是这些领域中制备高精度零件的最常用方法,但是这些制备方法需要高球形的钛粉,常规的机械破碎、化学气相等方法制备的钛粉无法满足其苛刻要求。

[0003] 纯钛和钛合金因为熔点高,高温下化学活性强,熔融状态下会跟坩埚发生反应,使化学纯度受到影响;在氧气和氮气环境中会被氧化和氮化,甚至燃烧,传统的气雾化方法也无法制备出高纯度的球形钛粉。

[0004] 目前国内外球形钛粉的常见制备方法有水冷铜坩埚气雾化、电极感应熔炼气雾化、等离子球化和等离子旋转电极等。其中水冷铜坩埚气雾化是较早用于制备球形钛粉的方法,水冷铜坩埚虽然能较大程度避免钛在熔炼时引入化学杂质,但是无法完全避免,而且熔炼效率低,熔炼时的过热度不好控制。其中电极感应熔炼气雾化方法(EIGA)是目前制备钛粉的热门技术,该技术将钛材做成棒状,在感应线圈中熔炼,不会接触坩埚;但是电极感应加热熔化后流入气雾化喷嘴,金属液滴应保持稳定持续的流态而不间断,而实际雾化过程中会出现液滴状,或者电极未完全熔化而断裂掉入导流管中,从而造成阻塞,因此保持液流的稳定性是目前EIGA技术的难点。此外,水冷铜坩埚气雾化和电极感应熔炼气雾化都是采用常温的高压氩气去雾化再冷却高温液滴,液滴和氩气之间温差过大,导致小液滴会在极短的时间内冷却为固态粉末,没有足够的时间保证液滴在表面张力作用下收缩为球形,因此最终的粉末球形度不够好,还会产生空心球,内部夹带气体。用这样粉末生产的零件内部会存在气孔,影响成型件的机械性能和疲劳性能。

[0005] 等离子球化技术是将不规则粉末用等离子体重熔转化为球形粉末,制取粉末的粒径与原有不规则粉末相关,而不规则粉末的参数和质量难于像丝材和棒材一样可控;所以生产粉末质量的一致性会受到原材料的影响。而等离子旋转电极法虽然能够制备出球形度较好的钛粉,但是电极的转速难于无限提高,转速直接影响细粉收得率;且成型中因为夹具的存在,会带来污染风险。

[0006] 热等离子体是稠密气体在常压或高压下电弧放电或高频放电而产生的,是一种新兴的高效加工热源。等离子体炬将工作气体电离后产生等离子体,电离后的气体被加热到10000k以上的高温,再把残余气体加热至2000~10000k。电能被转化为动能,产生高速气体。因此热等离子体可以将各种金属在瞬间熔化并用高速气流雾化成粉末,若使用氩气作为工作气体,热等离子体火炬将非常适合制备纯钛和钛合金粉末。

[0007] 专利US5707419公开了一种制备金属粉末和陶瓷粉末的等离子雾化方法,采用对称分布的三个等离子体炬,形成高温等离子体焦点,等离子体炬的功率为20~40KW,氩气为工作气体,可生产高质量超细金属粉末,被雾化的原材料可以是固体(如棒材、丝材)、液体等,采用该方法生产的超细粉末具有纯度高,粒度分布集中,外观呈球形等特征。

[0008] 专利CN103769594A公开了一种等离子雾化制备高纯球形超细/纳米粉末的工艺方法和装备,建立对称等离子体炬,形成高温等离子体焦点,高温等离子体温度可到达10000K,根据工艺要求,可选择氩气等离子体,可以采用棒材、丝材、粉末颗粒为原材料,通过专用原材料送料装置直接送入等离子体焦点最高温区,原料被瞬间熔化或汽化、或者热反应分解合成,雾化制备出超细/纳米金属或者陶瓷粉末。

[0009] 可见,以上方法均是采用等离子雾化法来制备金属粉末,对于雾化后粉末的冷却并未进行深入的研究,由于钛粉的特殊性,采用以上方法来制备钛或钛合金粉末,得到的粉末粒径分布、形貌等均有待进一步提高。

### 发明内容

[0010] 针对以上缺陷,本发明提供制备纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法及设备,用于制备高球形、高纯度、粒径范围分布窄和低成本的钛粉。

[0011] 本发明解决的第一个技术问题是提供一种制备纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法。

[0012] 本发明制备纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法,包括如下步骤:

[0013] a、备料:准备直径为3~20mm的钛丝或钛合金丝;

[0014] b、熔融雾化:在惰性气体氛围的雾化仓中,采用等离子体炬将钛丝或钛合金丝熔融雾化,得到雾化后的纯钛或钛合金颗粒;

[0015] c、冷却:向雾化仓中通入温度为300~500℃的惰性气流,将雾化后的纯钛或钛合金颗粒层流冷却,得到纯钛或钛合金粉末;

[0016] 其中,b步骤的惰性气体和c步骤的惰性气流均为氩气或氦气。

[0017] 作为优选方案,采用等离子体炬将钛丝或钛合金丝熔融雾化的具体方法为:采用四个均匀分布的等离子体炬,每个等离子体炬喷射方向与丝材的进丝方向呈40°角,等离子体炬喷出的热气流聚焦在同一个加工熔化区,进丝速度为0.05~0.2m/s,等离子体炬功率为20~100kW,等离子体炬口的气流喷出速度为80~250L/min。

[0018] 进一步的,b步骤所述的惰性气体氛围中,氧气含量不超过0.3wt%,氮气含量不超过0.3wt%。

[0019] 优选的,b步骤中,先抽真空,再通入惰性气体至常压,使雾化仓中为惰性气氛,然后采用等离子体炬将钛丝或钛合金丝熔融雾化。

[0020] 优选的,c步骤中,所述惰性气流的进气口处气压为0.2~0.5Mpa。

[0021] 本发明解决的第二个技术问题是提供制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化设备。

[0022] 本发明的等离子雾化设备,包括等离子体炬、雾化仓、向雾化仓送料的送料系统、与雾化仓相连的粉末收集装置、与粉末收集装置相连的气体净化循环系统;

[0023] 所述气体净化循环系统包括气体循环动力装置;

[0024] 在雾化仓上设有进气口;所述气体循环动力装置与雾化仓的进气口管路连接;在气体循环动力装置与进气口的通路上设有加热器和控制进气口处的进气压的电磁阀。

[0025] 进一步的,在雾化仓上设有排气口,所述排气口与进气口相对设置,所述排气口与气体循环动力装置管路连接。

[0026] 进一步的,所述排气口位于雾化仓的顶部。

[0027] 进一步的,在雾化仓的内壁设有氧氮含量检测仪;所述氧氮含量检测仪与控制器通信连接。

[0028] 进一步的,所述气体净化循环系统还包括回收罐,所述回收罐与气体循环动力装置相连,在回收罐与气体循环动力装置的连接通路上设有控制阀;还设有与控制器通信连接的位于雾化仓内的压力传感器。

[0029] 进一步的,所述等离子体炬上设有计时器;所述计时器与报警器连接。

[0030] 进一步的,所述等离子体炬的火炬喷口的外壳上设有水冷装置。

[0031] 进一步的,在雾化仓上安装有监控摄像头。

[0032] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0033] 本发明方法制备得到的纯钛或钛合金粉末,球形度好,卫星球少,具有粒径分布均匀、高纯度、高球形、流动性好、低氧含量、夹杂少、无粘接/团聚现象等优点。制备出的钛粉可以广泛应用在金属增材制造、粉末注射成型和热等静压等成型方式中,用于制造高精度的零件。

[0034] 本发明方法可在起始阶段抽真空,雾化过程中将内部气体进行循环,对雾化粉末进行冷却;工作完成后将气体进行回收,极大程度的降低制粉成本。

[0035] 本发明的等离子雾化设备,通过气体循环动力装置使雾化仓中的冷却气体在雾化过程中循环流动,产生层流冷却气流;加热器对循环流动的冷却气体加热,使冷却气体温度保持在300~500℃。层流的冷却气体,使粉末在冷却过程中快速分散,防止液态颗粒团聚和粘附。用高于室温的层流冷却气流冷却粉末,延长液态颗粒冷却为固态颗粒的时间,保证液态颗粒在凝固过程中有足够时间在表面张力的作用下形成球形,防止雾化仓中的液态颗粒冷却过快,影响固态颗粒的球形度,提高了球形的规则程度,减少了卫星球的数量。

## 附图说明

[0036] 图1为本发明结构示意图。

[0037] 图2为等离子体炬结构示意图。

[0038] 图中,等离子体炬1、火炬喷口101、电极102、计时器110、水冷装置120、雾化仓2、进气口210、排气口220、送料系统3、粉末收集装置4、气体净化循环系统5、气体循环动力装置510、气粉分离装置520、回收罐530、加热器6、电磁阀7、氧氮含量检测仪8、压力传感器9、控制阀10、监控摄像头11。

[0039] 图3为监控摄像头拍摄到的丝材熔化状况的图片。

[0040] 图4为实施例1制备的纯钛粉末的微观形貌图。

[0041] 图5为实施例2制备的Ti6Al4V合金粉末的的微观形貌图。

## 具体实施方式

[0042] 本发明制备纯钛或钛合金粉末的等离子雾化方法,包括如下步骤:

[0043] a、备料:准备直径为3~20mm的钛丝或钛合金丝;

[0044] b、熔融雾化:在惰性气体氛围的雾化仓中,采用等离子体炬将钛丝或钛合金丝熔融雾化,得到雾化后的纯钛或钛合金颗粒;

[0045] c、冷却:向雾化仓中持续通入温度为300~500℃的惰性气流,将雾化后的纯钛或钛合金颗粒层流冷却,得到纯钛或钛合金粉末;

[0046] 其中,b步骤的惰性气体和c步骤的惰性气流均为氩气或氦气。

[0047] 进一步的,优选采用等离子体炬将钛丝或钛合金丝熔融雾化的具体方法为:采用四个均匀分布的等离子体炬,每个等离子体炬喷射方向与丝材的进丝方向呈40°角,等离子体炬喷出的高温热气流聚焦在同一个加工熔化区,等离子体炬将氩气电离后产生等离子体,电离后的氩气被加热到11000k的温度,再把残余气体加热至2000~10000k。电能被转化为动能,产生高速气体。

[0048] 原料以丝材形式进入,准确到达等离子体炬加工熔化区。到达熔化区的丝材被等离子体瞬间融化,接着被高速高温的氩气流雾化成球形粉末。

[0049] 其中进丝速度、等离子体炬功率和体炬喷出工作气体的流速是影响丝材熔化状况和雾化效率的关键工艺参数。优选的进丝速度可在0.05~0.2m/s之间调节,等离子体炬功率可在20~100kW之间调节,等离子体炬口的热气流(即氩气)喷出速度可在80~250L/min之间调节。

[0050] 本发明方法,以一定规格尺寸的原料丝,以恒定速率送入,并在雾化仓顶部多个等离子体炬产生的聚焦等离子射流下熔融雾化,形成液相,最后通过控制冷却速率,得到球形粉体。

[0051] 进一步的,为了保证钛粉质量,b步骤所述的惰性气体氛围中,优选氧气含量不超过0.3wt%,氮气含量不超过0.3wt%。可采用氧氮含量检测仪来对氧气以及氮气含量进行监测。

[0052] 优选的,b步骤中,先抽真空,再通入惰性气体至常压,使雾化仓中为惰性气氛,然后采用等离子体炬将钛丝或钛合金丝熔融雾化。

[0053] 进一步的,本发明所述的层流冷却为缓慢通入惰性气流,使雾化仓中的气体保持缓慢的流速,雾化后的金属粉末在重力的作用下缓慢下降并冷却,防止金属粉末间的碰撞以及与雾化仓壁的碰撞,从而影响球形度。

[0054] 本发明的层流冷却可通过如下方法实现:在冷却气流的进气口设置了足够的气压,进气口和出气口位于雾化仓不同的高度,能够实现冷却气流的层间流动,对粉末实现层流冷却。

[0055] 为了实现c步骤中的层流冷却气流,优选所述气流的进气口处气压为0.2~0.5Mpa。

[0056] 层流冷却的惰性气体流动,使粉末在冷却过程中快速分散,防止粉末团聚和粘附。用高于室温的气流冷却粉末,延长液态颗粒冷却为固态颗粒的时间,保证颗粒在凝固过程中有足够时间在表面张力的作用下形成球形,防止雾化仓中的粉末冷却过快,影响球形度和产生卫星球。

[0057] 本发明还提供制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化设备。

[0058] 本发明的等离子雾化设备,如图1所示,包括等离子体炬1、雾化仓2、向雾化仓2送料的送料系统3、与雾化仓2相连的粉末收集装置4、与粉末收集装置4相连的气体净化循环系统5;

[0059] 如图1所示气体净化循环系统5包括采用的是循环风机的气体循环动力装置510;气体循环动力装置510在雾化过程中,使雾化仓2中的冷却气体循环流动,对被等离子体炬1雾化后形成的液态颗粒进行冷却形成固态颗粒,所述液态颗粒即液滴或气雾状粉末。

[0060] 为使气体循环动力装置510能够作用于雾化仓2,故,在雾化仓2上设有进气口210;所述气体循环动力装置510与雾化仓2的进气口210管路连接。而在气体循环动力装置510与进气口210的通路上设有控制进气口210处的进气压的电磁阀7的目的是,通过电磁阀7控制进气口210处的进气压,使雾化仓2内的冷却气体形成层流,在雾化仓2内形成层流冷却气流,对被等离子体炬1雾化后形成的液态颗粒进行冷却,使液态颗粒在冷却过程中快速分散,防止液态颗粒团聚和粘附。而,在气体循环动力装置510与进气口210的通路上设有加热器6,其目的是对循环的冷却气体进行加热,使冷却气体保持300-500℃的温度,延长液态颗粒冷却为固态颗粒的时间,防止在冷却形成球体过程中,表面急剧冷却后造成的球体疏松、空洞等缺陷,提高了球形的规则程度,减少了卫星球的数量。

[0061] 该制备球形纯钛或钛合金粉末的等离子雾化设备,通过气体循环动力装置510使雾化仓2中的冷却气体在雾化过程中循环流动,产生层流冷却气流;加热器6对循环流动的冷却气体加热,使冷却气体温度保持在300-500℃。层流的冷却气体,使粉末在冷却过程中快速分散,防止液态颗粒团聚和粘附。用高于室温的层流冷却气流冷却粉末,延长液态颗粒冷却为固态颗粒的时间,保证液态颗粒在凝固过程中有足够时间在表面张力的作用下形成球形,防止雾化仓2中的液态颗粒冷却过快,影响固态颗粒的球形度,提高了球形的规则程度,减少了卫星球的数量。

[0062] 气体循环动力装置510在雾化过程中,使雾化仓2中的冷却气体循环流动,同时,所述雾化仓2的进气口210处的进气压为0.2-0.5Mpa。那么,在雾化仓2内形成层流冷却的气体流动,使液态颗粒在冷却过程中快速分散,防止液态颗粒团聚和粘附。这样既能保证保护气体的流动实现对液态颗粒的冷却凝固,又不会对液态颗粒的下落运动产生较大的干扰,造成液体颗粒之间的碰撞,形成较多的卫星球,影响最终产品的质量。

[0063] 在上述实施方式中,雾化仓2的出料口可以兼作冷却气体循环流动的流出口,即,雾化仓2内的冷却气体经出料口进入粉末收集装置4,然后经过气粉分离装置520进入气体循环动力装置510,再经过气体循环动力装置510由进气口210进入雾化仓2内。然而,由于液态颗粒温度很高,冷却气体与其接触时,冷却气体温度瞬间升高,因此,需要及时排出温度升高后的冷却气体,若利用出料口排出冷却气体,那么,温度升高后的冷却气体在雾化仓2的滞留时间长。为克服上述问题,故,优选的,在雾化仓2上设有排气口220,所述排气口220与进气口210相对设置,所述排气口220与气体循环动力装置510管路连接。所述排气口220与进气口210相对设置,即,排气口220位于雾化仓2的侧壁或者顶部,且,冷却气体由进气口210流入排气口220的流路穿过粉末区域。

[0064] 优选的,所述排气口220位于雾化仓2的顶部。

[0065] 排气口220位于雾化仓2的顶部,那么,在工作过程中,雾化仓2的冷却气体流向雾化仓2的顶部,经过排气口220排出,而雾化仓2的纯钛或钛合金粉末向雾化仓2的出料口移



动,从而起到一定的分离氩气和粉末作用。

[0066] 由于熔化和在雾化过程在低氧和低氮的环境中进行,为了在整个工作过程中检测氧气和氮气的含量,故,在雾化仓2的内壁设有氧氮含量检测仪8;所述氧氮含量检测仪8与控制箱里的控制器通信连接。氧氮含量检测仪8是在整个工作过程中检测氧气和氮气的含量,当氧氮含量超标时会自动报警并中断工作过程。

[0067] 优选的,所述气体净化循环系统5还包括回收罐530,所述回收罐530与气体循环动力装置510相连,在回收罐530与气体循环动力装置510的连接通路上设有控制阀10,所述控制阀10与控制箱里的控制器电连接;还设有与控制器通信连接的位于雾化仓2内的压力传感器9。在熔化和在雾化过程中,等离子体炬1会向雾化仓2输入一定的氩气等工作气体,影响雾化仓2内的气压,从而影响冷却后的固态颗粒的形状,压力传感器9则用于检测雾化仓2内的气压,当气压超过设定值时,控制器指令控制阀10开启,将雾化仓2中的气体抽入到回收罐530回收利用。控制箱为现有结构,未在图示中表示。

[0068] 由于等离子体炬1的电极102使用寿命有限,等离子体炬1的电极102的工作时长到达临界值时,需要更换电极102。故,优选的,如图2所示,所述等离子体炬1上设有计时器110,所述计时器110与报警器连接。计时器110用于记录等离子体炬1的电极102的工作时长,当工作时长到达临界值时,计时器110会报警提醒操作者提前更换电极102,防止在工作过程中电极102发生故障影响生产。

[0069] 为了对等离子体炬1进行防碳化和防钨化处理,所述等离子体炬1的火炬喷口101的外壳设有水冷装置120。水冷装置120为现有装置,其利用水循环对等离子体炬1的喷口的外壳进行冷却处理,以降低喷口的外壳温度,从而在一定程度上起到防碳化和防钨化作用。同时,所述等离子体炬1的火炬喷口101为高温陶瓷材料制品。利用高温陶瓷材料制品替换传统的金属材料制成的火炬喷口101,克服了金属材料因高温发生碳化和钨化而将带来杂质,影响纯钛和钛合金粉末的纯度的缺陷。

[0070] 优选的,在雾化仓2上安装有监控摄像头11。监控摄像头11能够实时监控金属丝的熔化状况,监控摄像头11将等离子体炬1与金属丝材料作用的画面记录下来,转化为熔化状况。若监控到金属丝熔化时出现未完全熔化或者过熔等情况,可以及时调节雾化制粉的工艺参数,确保金属丝得到合理的熔化,保证生产粉末的质量具有高度的一致性。

[0071] 下面结合实施例对本发明的具体实施方式做进一步的描述,并不因此将本发明限制在所述的实施例范围之内。实施例中均采用本发明的等离子雾化设备。

[0072] 实施例1

[0073] 一、原材料准备阶段

[0074] 选用直径为8mm的圆形纯钛丝材作为制粉原料,每一批原料都有检测材质书,都满足美国材料实验协会ASTM对化学成分的要求。

[0075] 二、雾化仓2抽真空和充氩气阶段

[0076] 熔化和雾化之前,用抽真空设备抽走雾化仓2中的空气,使内部达到40kPa的真空度之后,再往里边充入氩气至常压,使雾化仓2内部的初始氧气和初始氮气含量低于0.1%。整个工作过程中都采用氧氮含量检测仪8检测氧气和氮气的含量,使熔化和雾化过程在低氧和低氮的环境中进行,当氧氮含量超过0.3%时会自动报警并中断工作过程。

[0077] 三、熔化和雾化阶段

[0078] 本专利选用四个均匀分布的等离子体炬1,其中每个等离子体炬1的喷射方向与丝材的竖直进丝方向呈40°角,四个等离子体炬喷出的高温热气流聚焦在同一个加工熔化区。

[0079] 原料以纯钛丝材形式流入,金属丝校直器保证了丝材的直线度,使金属丝能够垂直向下,准确到达等离子体炬加工熔化区。到达熔化区的丝材被等离子体瞬间融化,接着被高速高温的氩气流雾化成球形粉末。

[0080] 其中进丝速度为0.1m/s,等离子体炬功率为30kW,体炬口的热气流喷出速度为15L/min。在熔化和雾化过程中,监控摄像头11会实时监控金属丝的熔化和雾化状况,将等离子体炬与金属丝材料作用的画面记录下来,转化为熔化状况。若监控到丝材熔化时出现未完全熔化或者过熔等情况,整个设备可以及时调节雾化制粉的工艺参数,确保丝材得到合理的熔化,保证生产纯钛粉末的质量具有高度的一致性。

[0081] 四、粉末冷却阶段

[0082] 熔化后的金属熔液被雾化成细小的颗粒后,气体循环动力装置510开始工作,保持进气口210处的气压为0.2Mpa,使雾化仓2中的氩气循环流动,产生层流冷却氩气流;循环氩气加热器6会将循环流动的氩气加热,使通入的冷却气体温度保持在320~330℃。

[0083] 五、氩气回收阶段

[0084] 制粉冷却过程中,氩气一直在循环使用,并保持通入温度在320~330℃;制粉结束后,通过气体循环动力装置510将雾化仓中多余的氩气回收回收罐530中,使氩气在下次工作时还能重复利用,降低制粉成本。纯钛粉末被冷却为固态球形之后,会被循环流动的氩气流带入到粉末回收仓4中储存。

[0085] 制备出的纯钛粉末如图4所示为高球形、颗粒均匀,且卫星球颗粒少。

[0086] 另外制备出的纯钛粉末成分符合ASTM F67对纯钛材料1级的标准,其成分见表1,粉末性能见表3。

[0087] 表1纯钛粉末成分表

[0088]

成分(%)	O	Fe	C	N	H	OET	Ti
纯钛粉末	0.12	0.05	0.08	0.03	0.012	<0.4	Bal.

[0089] 实施例2

[0090] 选用直径为8mm的圆形Ti6Al4V丝材作为制粉原料,采用实施例1的方法,仅改变部分参数,制备得到钛合金粉末。其中,改变的参数为:

[0091] 在雾化仓2抽真空和充氩气阶段,初始氧气和初始氮气含量低于0.08%,当氧氮含量超过0.2%时会自动报警并中断工作过程。

[0092] 在熔融和雾化阶段,进丝速度为0.08m/s,等离子体炬功率为40kW,火炬口的热气流喷出速度为20L/min。

[0093] 在粉末冷却阶段,进气口210处的气压为0.5Mpa,通入的冷却气体温度保持在300~320℃。

[0094] 制备出的Ti6Al4V合金粉末如图5所示,为高球形、颗粒均匀,且卫星球颗粒少。另外制备出的Ti6Al4V合金粉末成分符合ASTM F136对Ti6Al4V材料23级的标准,其成分见表2,粉末性能见表3。

[0095] 表2 Ti6Al4V合金粉末成分表

[0096]

成分 (%)	Al	V	Fe	C	N	H	O	Ti
Ti6Al4V合金粉末	6.0	4.1	0.24	0.02	0.01	0.012	0.09	Bal.

[0097] 对比例1

[0098] 选用直径为8mm的圆形纯钛丝材作为制粉原料,采用实施例1的方法,仅改变部分参数,制备得到钛合金粉末。其中,改变的参数为:在粉末冷却阶段,进气口210处的气压为0.8Mpa。由于进气口压力过大,会在冷却过程中将粉末直接吹到雾化仓侧壁上,缩短了粉末颗粒收缩成球的时间,影响粉末球形度。

[0099] 采用上述方法得到的钛粉,球形度变差,卫星球颗粒增加,影响最终的粉末流动性,其粉末性能见表3。

[0100] 对比例2

[0101] 选用直径为8mm的圆形纯钛丝材作为制粉原料,采用实施例1的方法,仅改变部分参数,制备得到钛合金粉末。其中,改变的参数为:在粉末冷却阶段,进气口210处的气压为0.1Mpa。由于进气口压力过小,无法将粉末吹散,层流冷却的效果不明显,冷却过程中会发生粉末粘附,影响粉末球形度。

[0102] 采用上述方法得到的钛粉,球形度变差,卫星球颗粒增加,细粉收得率增加,其粉末性能见表3。

[0103] 对比例3

[0104] 选用直径为8mm的圆形纯钛丝材作为制粉原料,采用实施例1的方法,仅改变部分参数,制备得到钛合金粉末。其中,改变的参数为:在粉末冷却阶段,通入的冷却气体温度为常温。由于采用常温氩气去冷却,液体颗粒冷却为固态的时间将大大缩短,大部分的颗粒将没有足够时间在表面张力的作用下形成球形。

[0105] 采用上述方法得到的钛粉,粉末球形度变差很明显,影响粉末最终的流动性,其粉末性能见表3。

[0106] 表3纯钛或Ti6Al4V合金粉末性能表

[0107]

实施例或对 比例编号	性能			
	≤75 μm 粒径范围的 粉末比例 (%)	球形度 (%)	卫星球颗粒比例 (%)	霍尔流动性(s/50g)
实施例 1	>80	>92	<5	<42
实施例 2	>80	>93	<5	<43
对比例 1	<65	<80	>15	>45
对比例 2	<60	<75	>25	>48
对比例 3	<45	<70	>20	>50

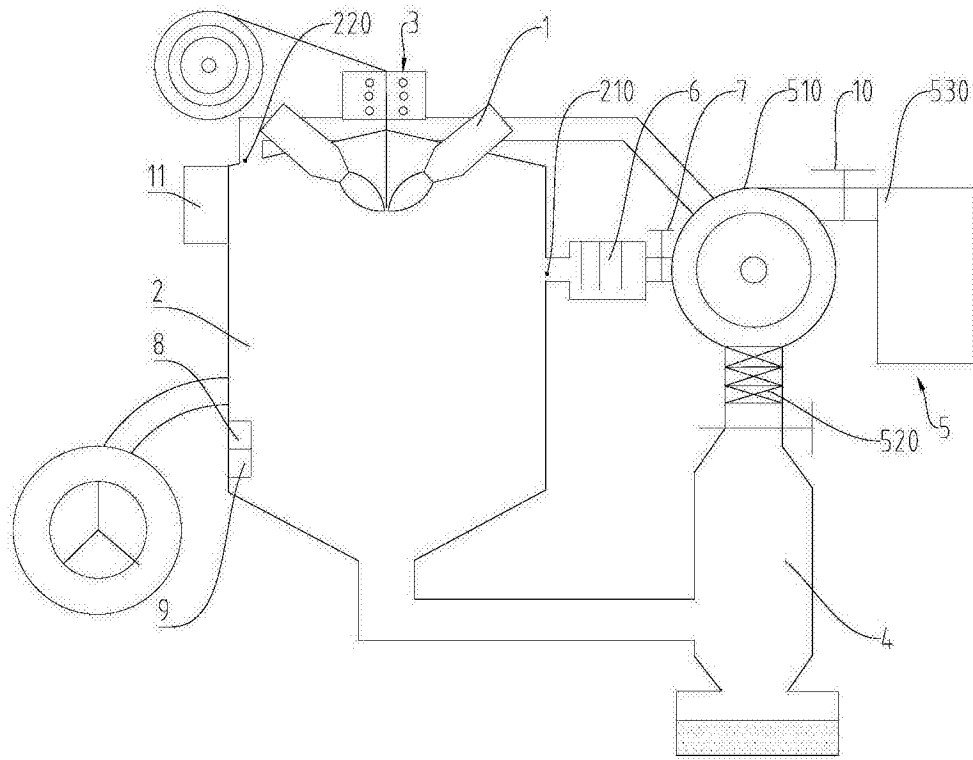


图1

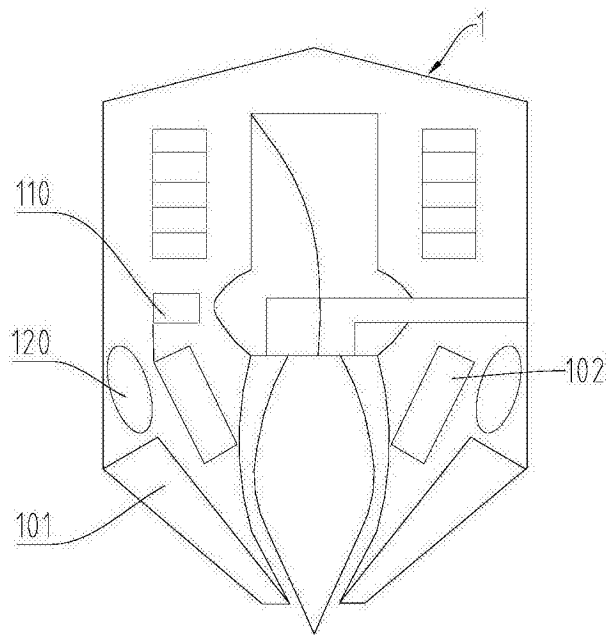


图2

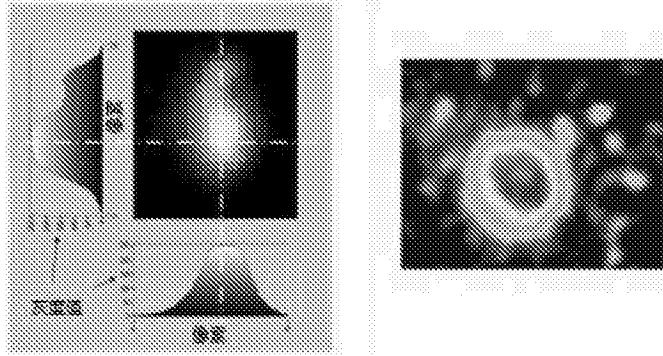


图3

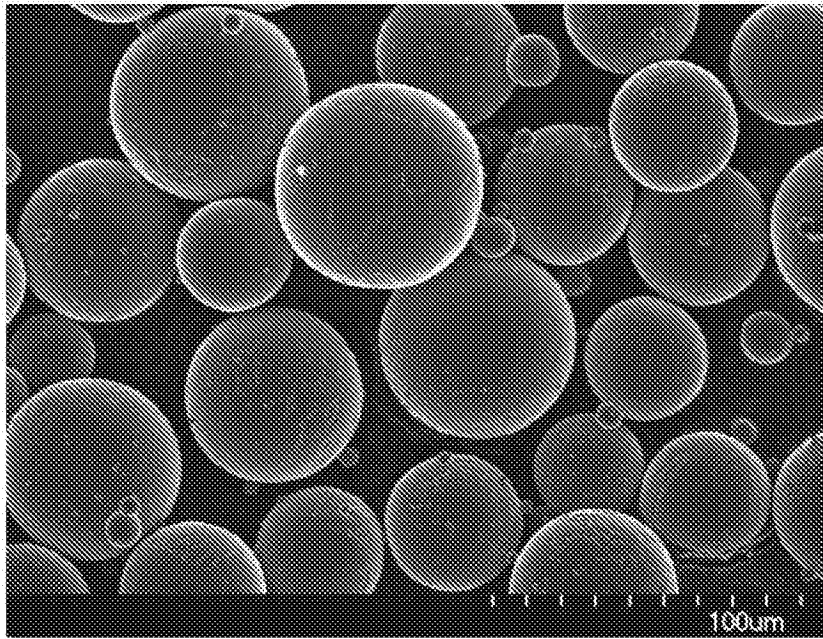


图4

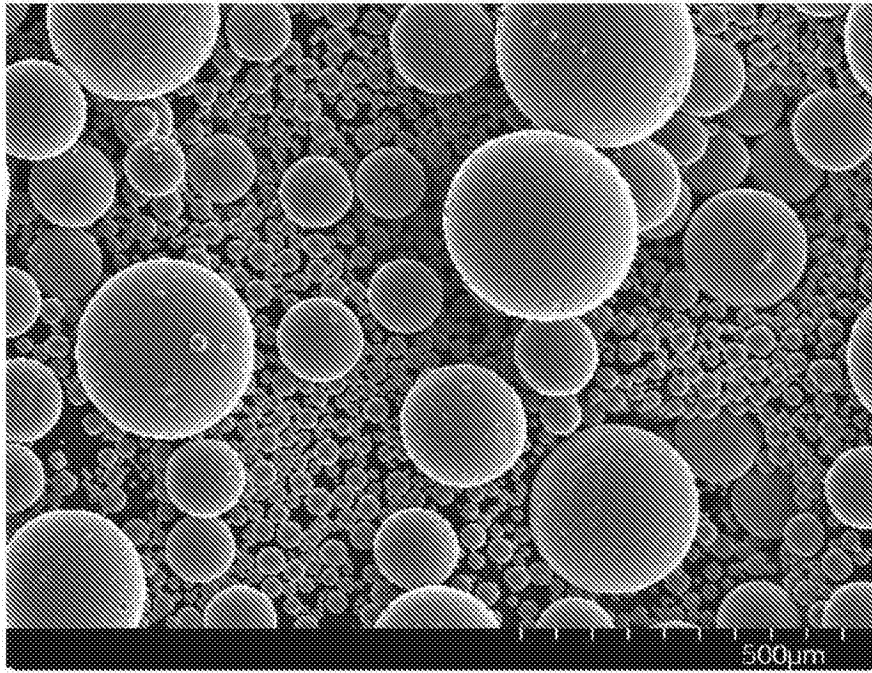


图5