



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111712342 A

(43)申请公布日 2020.09.25

(21)申请号 201880061307.9

(22)申请日 2018.07.23

(30)优先权数据

62/535,730 2017.07.21 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2020.03.20

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/CA2018/050889 2018.07.23

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2019/014780 EN 2019.01.24

(71)申请人 加拿大派罗杰尼斯有限公司

地址 加拿大魁北克省

(72)发明人 克里斯托弗·亚历克斯·多瓦尔戴恩

弗朗索瓦·普罗克斯

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 黄霖 严小艳

(51)Int.Cl.

B22F 9/14(2006.01)

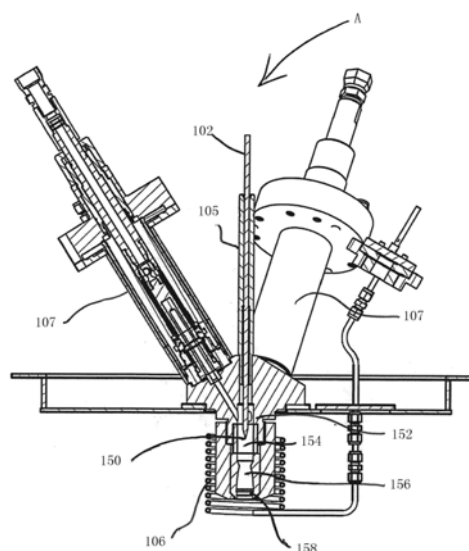
权利要求书3页 说明书6页 附图6页

(54)发明名称

用于使用推力器辅助等离子体雾化以大规模成本有效地生产超细球形粉末的方法

(57)摘要

金属粉末等离子体雾化工艺和设备包括至少一个等离子体炬、封闭腔室、位于封闭腔室的下游的喷管以及位于喷管的下游的扩散器。喷管将由所述至少一个等离子体炬产生的液体金属颗粒以及等离子体气体加速至超音速,以使得液体金属颗粒被剪切成更细的粉末。分散器为等离子体气体提供激波以升高等离子体的温度以避免在喷管的出口处形成钟乳石。该工艺提高了金属粉末的生产率和 $-45\mu\text{m}$ 金属粉末的产量。



1. 一种用于通过等离子体雾化由原料生产粉末的设备,所述设备包括:
 - 至少一个等离子体炬,所述至少一个等离子体炬用于将所述原料雾化成液体颗粒;以及
 - 用于加速热气体和等离子体中的至少一者的混合物以及所述液体颗粒的装置,所述装置适于将所述液体颗粒剪切成更细的液体颗粒。
2. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述加速装置包括喷管。
3. 根据权利要求1和2中的任一项所述的设备,其中,所述设备包括推力器,所述推力器适于加速所述等离子体至超音速并且适于将所述液体颗粒剪切开。
4. 根据权利要求3所述的设备,其中,所述推力器的下游端部处设置有扩散器,所述扩散器适于基本上防止钟乳石大致在所述喷管的出口处的形成,和/或适于在所述出口处重新升高等离子体温度。
5. 根据权利要求4所述的设备,其中,所述扩散器适于迫使射流产生激波,从而在所述出口处重新升高所述等离子体温度,以例如避免钟乳石形成。
6. 根据权利要求1至5中的任一项所述的设备,其中,所述加速装置适于通过超音速气流加速所述液体颗粒至所述颗粒离开雾化区并且不产生卫星颗粒引发区域的程度。
7. 根据权利要求1至6中的任一项所述的设备,其中,所述加速装置包括德拉瓦尔喷管。
8. 根据权利要求7所述的设备,其中,可以通过改变气体-金属比和所述德拉瓦尔喷管的形状来调节粒度分布。
9. 根据权利要求1至8中的任一项所述的设备,其中,所述加速装置的上游设置有封闭腔室,所述原料、比如线材适于在所述封闭腔室中熔化并首先雾化成粗液滴。
10. 根据权利要求9所述的设备,其中,所述封闭腔室的上游设置有汇聚盖。
11. 根据权利要求9所述的设备,其中,设置有三个等离子体炬,并且其中,所述封闭腔室的上游设置有汇聚盖,所述汇聚盖适于将所述三个炬的等离子体一起引入所述封闭腔室中。
12. 根据权利要求1至11中的任一项所述的设备,其中,氩用作等离子体气体。
13. 根据权利要求1至12中的任一项所述的设备,其中,等离子体气体包括至少一种添加剂以调节所述等离子体的性能,比如将氦或氢添加到氩等离子体以用于改善所述等离子体的导热性。
14. 根据权利要求1至13中的任一项所述的设备,其中,所述原料包括线材、粉末、棒料、锭料和熔融进给物中的至少一者。
15. 根据权利要求1至14中的任一项所述的设备,其中,设置五个等离子体炬中的三个等离子体炬。
16. 一种用于通过等离子体雾化由原料生产粉末的设备,所述设备包括:
 - 至少一个等离子体炬,所述至少一个等离子体炬用于将所述原料雾化成液体颗粒;以及
 - 封闭腔室,所述封闭腔室设置在喷管的上游,所述封闭腔室是热的并且适于使所述原料在进给至所述喷管之前熔化。
17. 根据权利要求16所述的设备,其中,所述喷管包括超音速喷管。
18. 根据权利要求16和17中的任一项所述的设备,其中,所述设备包括推力器,所述推

力器位于所述封闭腔室的下游并且适于加速所述等离子体至超音速并适于将所述液体颗粒剪切开。

19. 根据权利要求18所述的设备,其中,在所述推力器的下游端部处设置有扩散器,所述扩散器适于基本上防止钟乳石大致在所述喷管的出口处的形成,和/或适于在所述出口处重新升高等离子体温度。

20. 根据权利要求19所述的设备,其中,所述扩散器适于迫使射流产生激波,从而在所述出口处重新升高所述等离子体温度,以例如避免钟乳石形成。

21. 根据权利要求18至20中的任一项所述的设备,其中,所述推力器适于通过超音速气流加速所述液体颗粒至所述颗粒离开雾化区并且不产生卫星颗粒引发区域的程度。

22. 根据权利要求16至21中的任一项所述的设备,其中,所述喷管包括德拉瓦尔喷管。

23. 一种用于通过等离子体雾化由原料生产粉末的设备,所述设备包括:

-至少一个等离子体炬,所述至少一个等离子体炬用于将所述原料雾化成液体颗粒和/或液滴;以及

-用于通过热气体加速所述液体颗粒至超音速的装置,所述装置适于将所述液体颗粒和/或液滴剪切成更细的液体颗粒和/或液滴。

24. 一种由根据权利要求1至23中的任一项所述的设备生产的颗粒。

25. 一种用于通过等离子体雾化由原料生产粉末的工艺,所述工艺包括:

-将所述原料雾化成液体颗粒;并且

-加速热气体和等离子体中的至少一者的混合物以及所述液体颗粒,以便将所述液体颗粒剪切成更细的液体颗粒。

26. 根据权利要求25所述的工艺,其中,设置有喷管以加速所述液体颗粒。

27. 根据权利要求25和26中的任一项所述的工艺,其中,所述等离子体被加速至超音速以便将所述液体颗粒剪切开。

28. 根据权利要求27所述的工艺,其中,设置有推力器以用于将所述等离子体加速至超音速。

29. 根据权利要求28所述的工艺,其中,在所述推力器的下游端部处设置有扩散器,所述扩散器适于基本上防止钟乳石大致在所述喷管的出口处的形成,和/或适于在所述出口处重新升高等离子体温度。

30. 根据权利要求29所述的工艺,其中,所述扩散器适于迫使射流产生激波,从而在所述出口处重新升高所述等离子体温度,以例如避免钟乳石形成。

31. 根据权利要求25至30所述的工艺,其中,所述液体颗粒适于通过超音速气流加速至所述颗粒离开雾化区并且不产生卫星颗粒引发区域的程度。

32. 根据权利要求25至31中的任一项所述的工艺,其中,设置有德拉瓦尔喷管以用于加速所述液体颗粒。

33. 根据权利要求32所述的工艺,其中,可以通过改变气体-金属比和所述德拉瓦尔喷管的形状来调节粒度分布。

34. 根据权利要求26至30中的任一项所述的工艺,其中,所述喷管的上游设置有封闭腔室,所述原料、比如线材适于在所述封闭腔室中熔化并适于首先雾化成粗液滴。

35. 根据权利要求34所述的工艺,其中,所述封闭腔室的上游设置有汇聚盖。

36. 根据权利要求34所述的工艺,其中,设置有三个等离子体炬,并且其中,所述封闭腔室的上游设置有汇聚盖,所述汇聚盖适于将所述三个炬的等离子体引入所述封闭腔室中。

37. 根据权利要求25至36中的任一项所述的工艺,其中,氩用作等离子体气体。

38. 根据权利要求25至37所述的工艺,其中,等离子体气体包括至少一种添加剂以调节所述等离子体的性能,比如将氦或氢添加至氩等离子体,以用于改善所述等离子体的导热性。

39. 根据权利要求25至38中的任一项所述的工艺,其中,所述原料包括线材、粉末、棒料、锭料和熔融进给物中的至少一者。

40. 根据权利要求25至39中的任一项所述的工艺,其中,设置有五个等离子体炬中的三个等离子体炬。

41. 一种用于通过等离子体雾化由原料生产粉末的工艺,所述工艺包括:

-将所述原料雾化成液体颗粒;并且

-在喷管的上游设置封闭腔室,所述封闭腔室是热的并且适于使所述原料在进给至所述喷管之前熔化。

42. 根据权利要求41所述的工艺,其中,所述喷管包括超音速喷管。

43. 根据权利要求41和42中的任一项所述的工艺,其中,设置有推力器,所述推力器位于所述封闭腔室的下游并且适于加速所述等离子体至超音速并且适于将所述液体颗粒剪切开。

44. 根据权利要求43所述的工艺,其中,在所述推力器的下游端部处设置有扩散器,所述扩散器适于基本上防止钟乳石大致在所述喷管的出口处的形成,和/或适于在所述出口处重新升高等离子体温度。

45. 根据权利要求44所述的工艺,其中,所述扩散器适于迫使射流产生激波,从而在所述出口处重新升高所述等离子体温度,以例如避免钟乳石形成。

46. 根据权利要求43至45中的任一项所述的工艺,其中,所述推力器适于通过超音速气流加速所述液体颗粒至所述颗粒离开雾化区并且不产生卫星颗粒引发区域的程度。

47. 根据权利要求41至46中的任一项所述的工艺,其中,所述喷管包括德拉瓦尔喷管。

48. 一种用于通过等离子体雾化由原料生产粉末的工艺,所述工艺包括:

-将所述原料雾化成液体颗粒和/或液滴;并且

-通过热气体加速所述液体颗粒至超音速,以便将所述液体颗粒和/或液滴剪切成更细的液体颗粒和/或液滴。

49. 一种由根据权利要求25至48中的任一项所述的工艺生产的颗粒。

50. 一种颗粒,所述颗粒用于3D打印、金属注射成型(MIM)和冷喷涂沉积应用中的至少一者。

用于使用推力器辅助等离子体雾化以大规模成本有效地生产超细球形粉末的方法

[0001] 对相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2017年7月21日申请、现未决的美国临时申请No. 62/535,730的优先权,该申请通过参引并入本文中。

技术领域

[0003] 本主题涉及细金属粉末的生产和材料的等离子体处理。

背景技术

[0004] 45 μm 以下的细和超细球形金属粉末被用作不同制造工艺的原料,比如3D打印(增材制造)、金属注射成型(MIM)和冷喷涂沉积。时至今日,等离子体雾化似乎仍是该范围内提供最佳产量的优质粉末的技术。此外,通过等离子体雾化生产的粉末由于其极高的球形度、小粒径、高颗粒密度、出色的纯度和流动性而被认为是市场上最好的粉末之一。另一方面,由于下面提到的原因,通常认为等离子体雾化是一种操作起来昂贵的技术。

[0005] 最初,等离子体雾化工艺具有非常低的生产率(对于Ti-6Al-4V而言,在0.6kg/h至1.2kg/h之间)和较粗的粒度分布(D_{50} 在80 μm 至120 μm 之间)。参见题为“通过等离子体雾化生产金属和陶瓷粉末的方法”并且授权给Pegasus Refractory Materials&Hydro-Quebec的美国专利No. 5,707,419【参考文献1】。然而,在过去的10年中,为优化生产率汇聚了许多努力,在一定程度上取得了成功(5kg/h至13kg/h之间),并将重点转向使粒度分布转移到较细侧(从最大-106 μm 减少到-45 μm)【参考文献 1至4】。这两个参数确实直接影响了这种技术的商业盈利能力。这些增量的改进主要集中在以下方面:1)在雾化区之前使线材原料预热以用于提高生产率;以及2)增加气流和压力,以便使粒度分布转移到较细侧。麻烦的是,通常观察到增加雾化系统的生产率将与粒度分布向较粗侧的转移强烈相关。由于市场上需要较细的颗粒,因此这可能是不被期望的。

[0006] 即使在进行了这些改进之后,考虑到仅使用了部分引入到系统的功率,等离子体雾化族的工艺仍然非常低能效。例如,典型的等离子体雾化器可以使用3个每个功率设定为45kW的等离子体炬和8kW的预热源,以便以5kg/h的速度雾化Ti-6Al-4V线材。这表示用143kW的原始功率来处理5kg/h,这转化为28.6kW \cdot h/kg的比热功率输入。这表示大于82倍的理论比热功率输入需求(0.347kW \cdot h/kg)。

[0007] 就机械能传递而言,考虑到3个400m/s的等离子体射流,每个等离子体射流输送0.0192kg/s,这表示1.5kW的动能。假设线材相对于炬成30度角,则大约一半仅用于加速液滴。然后,将初始颗粒从400 μm 分解为例如低至25 μm 所需的动能理论上应该可以忽略不计(约0.1W)。然而,在实践中,将整个分布转移到45 μm 以下仍然很困难。

[0008] 尽管在机械功率方面的这种低效没有被直接测量,但是确实对该工艺的经由气体消耗方面的盈利能力和可销售产品的产量具有直接影响。氩气是通常用于使金属雾化的气体的示例,因为氩气是化学惰性的并且相对便宜。由于其低效率,因此典型的等离子体雾化

工艺每生产单位质量的粉末消耗大量的氩气。气体/金属质量比通常在20至30之间,而理论上这些值可能会更接近1。

[0009] 因此,即使经过了这些年以及在等离子体雾化器的设计上的迭代,等离子体雾化仍然是一种昂贵且低效的工艺。

[0010] 因此,期望提供一种设备和/或工艺,以用于以大容量生产具有最少卫星颗粒并且具有高产量的-45 μm 的范围内的细粉末的超细球形粉末。

发明内容

[0011] 因此,期望提供一种新颖的设备和/或工艺,以用于使用等离子体推力粉碎法大规模生产超细球形粉末。

[0012] 在本文中所描述的实施方式一方面提供了一种通过等离子体雾化由原料生产粉末的设备,该设备包括:

[0013] -至少一个等离子体炬,所述至少一个等离子体炬用于将原料雾化成液体颗粒;以及

[0014] -用于加速液体颗粒以及热气体和等离子体中的至少一者的混合物的装置,所述装置适于将液体颗粒剪切成更细的液体颗粒。

[0015] 此外,本文中所描述的实施方案在另一方面提供了一种用于通过等离子体雾化由原料生产粉末的设备,该设备包括:

[0016] -至少一个等离子体炬,所述至少一个等离子体炬用于将原料雾化成液体颗粒;以及

[0017] -封闭腔室,该封闭腔室设置在喷管的上游,该封闭腔室是热的并且适于在进料到喷管之前熔化原料。

[0018] 此外,本文中所描述的实施方案在另一方面提供了一种用于通过等离子体雾化由原料生产粉末的设备,该设备包括:

[0019] -至少一个等离子体炬,所述至少一个等离子体炬用于将原料雾化成液体颗粒和/或液滴;以及

[0020] -用热气体将液体颗粒加速至超音速的装置,所述装置适于将液体颗粒和/或液滴剪切成更细的液体颗粒和/或液滴。

[0021] 此外,本文中所描述的实施方案在另一方面提供了通过等离子体雾化由原料生产粉末的工艺,该工艺包括:

[0022] -将原料雾化成液体颗粒;并且

[0023] -加速液体颗粒以及热气体和等离子体中的至少一者的混合物,以便将液体颗粒剪切成更细的液体颗粒。

[0024] 此外,本文中所描述的实施方案在另一方面提供了一种通过等离子体雾化由原料生产粉末的工艺,该工艺包括:

[0025] -将原料雾化成液体颗粒;并且

[0026] -在喷管的上游提供封闭腔室,该封闭腔室是热的并且适于在进料到喷管之前熔化原料。

[0027] 此外,本文中所描述的实施方案在另一方面提供了通过等离子体雾化由原料生产

粉末的工艺,该工艺包括:

[0028] -将原料雾化成液体颗粒和/或液滴;并且

[0029] -用热气体使液体颗粒加速至超音速,以便将液体颗粒和/或液滴剪切成更细的液体颗粒和/或液滴。

[0030] 此外,本文中所描述的实施方案在另一方面提供了用于3D打印、金属注射成型(MIM)和冷喷涂沉积应用中的至少一者的颗粒。

附图说明

[0031] 为了更好地理解本文中所描述的实施方式并更清楚地示出它们如何能够发挥作用,现在仅以示例的方式参照示出了至少一个示例性实施方式的附图。

[0032] 图1是具有感应预热并使用旋转球法兰的传统炬角度调节机构的截面图;

[0033] 图2是根据示例性实施方式的推力器辅助等离子体雾化设备的截面图;

[0034] 图3是根据示例性实施方式的在正常操作期间推力器辅助等离子体雾化的示图。

[0035] 图4是根据示例性实施方式的等离子体雾化设备的推力器和扩散器的截面放大示意图;

[0036] 图5是根据示例性实施方式的在腔室和推力器内部的等离子体和颗粒的速度分布的曲线图;

[0037] 图6是根据示例性实施方式的沿着腔室和推力器的韦伯数分布的曲线图;

[0038] 图7是根据示例性实施方式的由本推力器辅助等离子体雾化工艺和设备产生的粉末的示例的照片;

[0039] 图8是根据示例性实施方式的由本推力器辅助等离子体雾化工艺和设备产生的粉末的示例的照片;以及

[0040] 图9是通过根据示例性实施方式的由本推力器辅助等离子体雾化工艺和设备生产的粉末的粒度分布的曲线图。

具体实施方式

[0041] 当前的主题显示出相对于参考文献1和2、即美国专利No.5,707,419 和PCT公开文本No.WO 2016/191854中所公开的现有等离子体雾化工艺的显著改进,两者均通过参引并入本文。在本主题中,在顶点区域处添加了“推力器”,这显著提高了生产率(从4.5kg/h至5kg/h提高到9kg/h至 10kg/h)和-45 μ m粉末的产量(从~45%提高到~90%)。将有价值的产品的生产率和产量翻番大致意味着将该工艺的盈利能力翻两番。

[0042] 在详细描述本主题之前,现在将描述用于由PCT公开文本No.WO 2016/191854的线材生产球形粉末的等离子体雾化设备。参照图1,PCT 公开文本No.WO 2016/191854的等离子体设备基本上使用三个等离子体炬,所述三个等离子体炬通过德拉瓦尔(De Laval)喷管爆射超音速等离子体射流。线材在于顶端处被雾化之前,先在石墨套管中通过感应预热。

[0043] 更特别地,在PCT公开文本No.WO 2016/191854的等离子体设备中,设置在金属线材卷上的线材2从金属线材卷中解开,然后通过线进给器和矫直机进给。直的线材2穿过贯通法兰进给。然后,线材2在其顶点处(该顶点是线材2和三个炬7的交汇点)被三个等离子体炬7雾化之前进入被感应线圈6包围的线材引导件5。如此产生的粉末穿过孔板9,并在粉末

落下到反应器时冷却。

[0044] 一旦被预热,线材2接着就到达顶点,该顶点是线材2和三个等离子体炬7交汇以用于雾化的区域。当熔化的雾化颗粒落下到反应器腔室中时,熔化的雾化颗粒冻结回到固态。然后将粉末气动输送至旋风分离器。旋风分离器将粉末从其气相中分离出来。粉末被收集在罐的底部处,而清洁气体则经由出口发送至更精细的过滤系统。罐可以通过气密隔离阀与旋风分离器隔离。

[0045] 在PCT公开文本No.WO 2016/191854的等离子体设备中,感应线圈6用于预热线材2,该感应线圈6使用单个电源并且作为热源不妨碍顶点区域。在该构型中,线材预热来自单个均匀而紧凑的来源。可以通过调节感应功率来控制线材温度,感应功率是感应线圈6中电流的函数。

[0046] 贯通法兰由非导电材料制成,以确保整个反应器与线圈绝缘。贯通法兰具有两个气密孔,所述两个气密孔配备有压缩配件,该压缩配件用于将感应线圈6的引线22穿入反应器中。

[0047] 线材引导件5可以被设计成对感应有反应或对感应透明。例如,线材引导件5可以由对感应透明的氧化铝或氮化硅制成。线材引导件5也可以由对感应有反应的碳化硅或石墨制成。在后一种情况下,通过感应加热的热的线材引导件将会把热量辐射回线材中。

[0048] 图1中示出了PCT公开文本No.WO 2016/191854的可调节炬角机构,该机构包括旋转球法兰30。三个等离子体炬7使用旋转球法兰30附接至反应器头部的本体上。每个球法兰30包括彼此配合的2个法兰,即底部法兰31和上部法兰32,它们可以相对于彼此旋转。连接至反应器头部的底部法兰31是固定的,而上部法兰32可以在每个轴线上旋转多达 4° 的角度。假设反应器头部设计成具有 30° 的标准角度,这意味着等离子体炬7可以覆盖 26° 至 34° 之间的任何角度。

[0049] 现在转到本主题,如图2中所示,已经将核心件添加到上述技术(即 PCT公开文本No.WO 2016/191854)中。参照使用德拉瓦尔喷管概念的火箭发动机,该核心件可以被描述为“推力器”。

[0050] 在本主题中,德拉瓦尔喷管用于使用加速至马赫速度的高温热等离子体将例如线材的高熔点固体材料粉碎成非常细的液滴。在图2中,本推力器辅助等离子体雾化设备由附图标记A表示。线材由附图标记102表示,而线材引导件由附图标记105表示,感应线圈由附图标记106表示,并且三个等离子体炬由附图标记107表示。

[0051] 核心件基本上位于三个等离子体羽流与线材102交汇的顶点150处(线材102的交汇点)。线材102被引入汇聚盖152的顶部,该汇聚盖152用于将来自三个等离子体炬107的等离子体与线材102接合在封闭腔室154中。线材102在封闭腔室154中熔化并首先雾化成粗液滴。封闭腔室154允许将顶点150限制在很小的空间中,在该空间中线材102将被熔化并迫使组合的射流通过超音速喷管离开并加速至若干马赫速度。

[0052] 实际上,在封闭腔室154的下游设置有推力器156,在该推力器156中,等离子体被加速至超音速,并且液体颗粒被切开。在推力器156的出口处,设置有扩散器158,该扩散器158迫使射流产生激波以在该点处重新升高等离子体温度,从而避免形成钟乳石。产生的粉末像在常规雾化工艺中那样被喷射到冷却室中。

[0053] 感应线圈106可以如图2所示位于底部处或如图1中所示位于顶部处。

[0054] 图3示出了正常操作期间的该主题,其中,可以看到超音速射流,其中流出非常细的粉末的流。该概念允许在热能和动能两个方面的效率方面都进行重大改进。

[0055] 熔化的液滴和等离子体在雾化发生的汇聚分散喷管(推力器156)中加速。在加速期间,等离子体羽流的温度显著下降,这可能导致雾化的材料冻结并积聚在等离子体推力器156的出口处,从而形成钟乳石状结构。为避免该问题,在喷管(推力器156)的端部处增加了上述扩散器158,如图4中所见。用于使雾化的气体和金属进入推力器156中的通道由附图标记160表示。

[0056] 扩散器158产生激波162,该激波162突然将动能转换回热能,从而形成高温区。这会在喷管的出口处产生明亮的浮动区域,该区域的温度远高于雾化金属的熔点,这使该区域保持足够的温度,使得钟乳石无法形成。换句话说,在推力器156的出口处的超音速扩散器158将气体温度升高至金属熔点以上,从而防止金属在喷管的端部处积聚。在该激波162之后, Prandtl-Meyer膨胀波164进一步增加了气体速度以减少颗粒附着。图4中的附图标记166指的是钻石形激波。

[0057] 图5显示了穿过腔室154和推力器156的等离子体和颗粒的速度分布,其中 $\sim 0.08\text{m}$ 对应于推力器156的喉部168(图4)。该图由该工艺的数值模拟产生。可以看出的是,等离子体急剧地加速至马赫速度,然后颗粒由等离子体射流经由拖拽力加速;然而,两种介质之间的速度差仍然显著。两种流体之间的速度差异是导致颗粒破裂的原因。

[0058] 图6示出了腔室154和推进器156内的韦伯数分布,其中 $\sim 0.08\text{m}$ 对应于推进器156的喉部168。韦伯数用于预测是否会有颗粒破裂。韦伯数在14以上通常意味着将发生破裂。在图6中,韦伯数达到非常高的值(特别是在喉部168处),其对应于灾难性的破裂状态(当液体颗粒一次性全部爆炸成非常细的物体时)。这可以解释在实验中获得的非常细的粉末。

[0059] 就在工业用途背景下的实际可行性而言,推力器和封闭腔室需要由能够维持该条件的材料制成。在实验中,选择石墨作为封闭腔室154和汇聚盖152,因为它不会熔化,具有很高的升华点、约3900K,并且对热冲击表现出很强的抵抗力。石墨也是负担得起的、易于获得并且能够容易地加工。尽管石墨对氧化很敏感,但是在惰性或轻微还原环境下,石墨在非常高的温度下仍然表现得很好。对于推力器156,需要高熔点和非常高的抗机械侵蚀性的组合。在目前的情况下,虽然也可以使用许多其他材料、在此仅列出比如钨、碳化钨和碳化钽,但仍选择了碳化钛。

[0060] 所进行的实验全部专门针对以下原料:原料中的1/4" Ti-6Al-4V线材。在这些条件下,每个炬使用230slpm至250slpm的氩气以9kg/h至10kg/h 的速度生产出非常高质量的粉末,并且偶尔在等离子体气体中添加氦气。

[0061] 图7和图8示出了使用本主题以9kg/h生产的粉末的示例。从这些照片可以看出,用新方法/设备A生产的粉末的卫星颗粒含量非常低。据信,由于颗粒的动量增加而推动颗粒进一步在腔室沉积,这减少了已知与卫星颗粒的产生有关的在腔室内的细粉末再循环。此外,超音速射流周围的 $\sim 200\text{nm}$ 边界层使周围的气体与所产生的新粉末隔离,这也可以有助于防止卫星颗粒的形成。

[0062] 通过本推力器辅助等离子体雾化工艺/设备A生产的粉末的粒度分布也特别窄,该分布的 $\sim 90\%$ 在 $2\mu\text{m}$ 至 $30\mu\text{m}$ 之间(参见图9)。

[0063] 然而,清楚的是,推力器156在等离子体线材雾化工艺中的集成允许其他可能性。

例如,该方法的变型在于,该概念不应当仅限于线材。由于推力器辅助等离子体雾化由使要雾化和粉碎的材料与极端温度等离子体之间的接触最大化的腔室组成,因此要粉碎的材料尺寸和形状的影响就不那么关键了。该方法似乎不仅简单地适用于线材,而且适用于任何类型的材料,只要可以将其正确地送入推力器入口室即可。这包括粉末、棒料、锭料以及熔融进给物等。

[0064] 尽管在大多数情况下,氩等离子体就足够了,但实际上也可以将等离子体气体与某些添加剂混合以调节等离子体性能。例如,向氩等离子体中添加氦或氢来改善等离子体的导热性。

[0065] 可以使用在德拉瓦尔喷管的喉部周围添加感应线圈来向系统添加能量。由于推力器部件的作用是将热能转化为动能,因此更多的热量可以转化为更高的速度。从实验中示出了感应器106可以如图1中所示(即参考文献2)放置在线材引导件2上,也可以如图2中所示放置在推力器156 周围。

[0066] 有趣的是,与参考文献1和2相比,为了使系统工作,等离子体炬喷管不再需要超音速。现在有利的是具有一种较宽松的喷管,该喷管不会阻塞等离子体,以便节省等离子体射流内的最大能量。这对增加炬的寿命及其功率效率具有积极的间接影响。

[0067] 应当注意的是,本主题不限于使用三炬构造。实际上,设备A可以适于5炬或甚至单个炬的构造,这也将同样起作用。

[0068] 尽管以上描述提供了实施方式的示例,但是将理解的是,在不脱离所描述实施方式的精神和操作原理的情况下,所描述实施方式的一些特征和 /或功能容许修改。因此,上面已经描述的内容旨在说明实施方式而不是限制性的,并且本领域技术人员将理解的是,在不脱离所附的权利要求中所限定的实施方式的范围的情况下,可以做出其他变型和改型。

[0069] 参考文献

[0070] 【1】Pegasus Refractory Materials&Hydro-Quebec,美国专利No. 5,707,419——“通过等离子体雾化生产金属和陶瓷粉末的方法”

[0071] 【2】PyroGenesis Canada Inc.,PCT公开文本No.WO 2016/191854——“用于以大容量生产高质量球形粉末的等离子体设备”

[0072] 【3】AP&C Advanced Powders&Coatings Inc.,PCT公开文本No.WO 2011/054113 A1——“用于制备球形粉末的方法和设备”

[0073] 【4】AP&C Advanced Powders&Coatings Inc.,PCT公开文本No.WO 2017/011900 A1——“等离子体雾化金属粉末的制造工艺及其系统”。

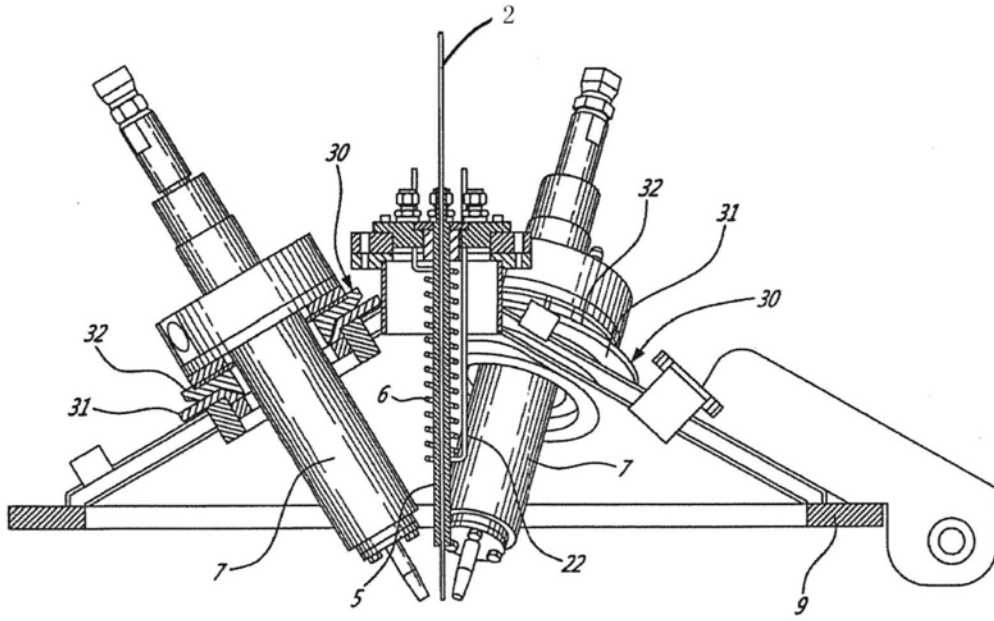


图1

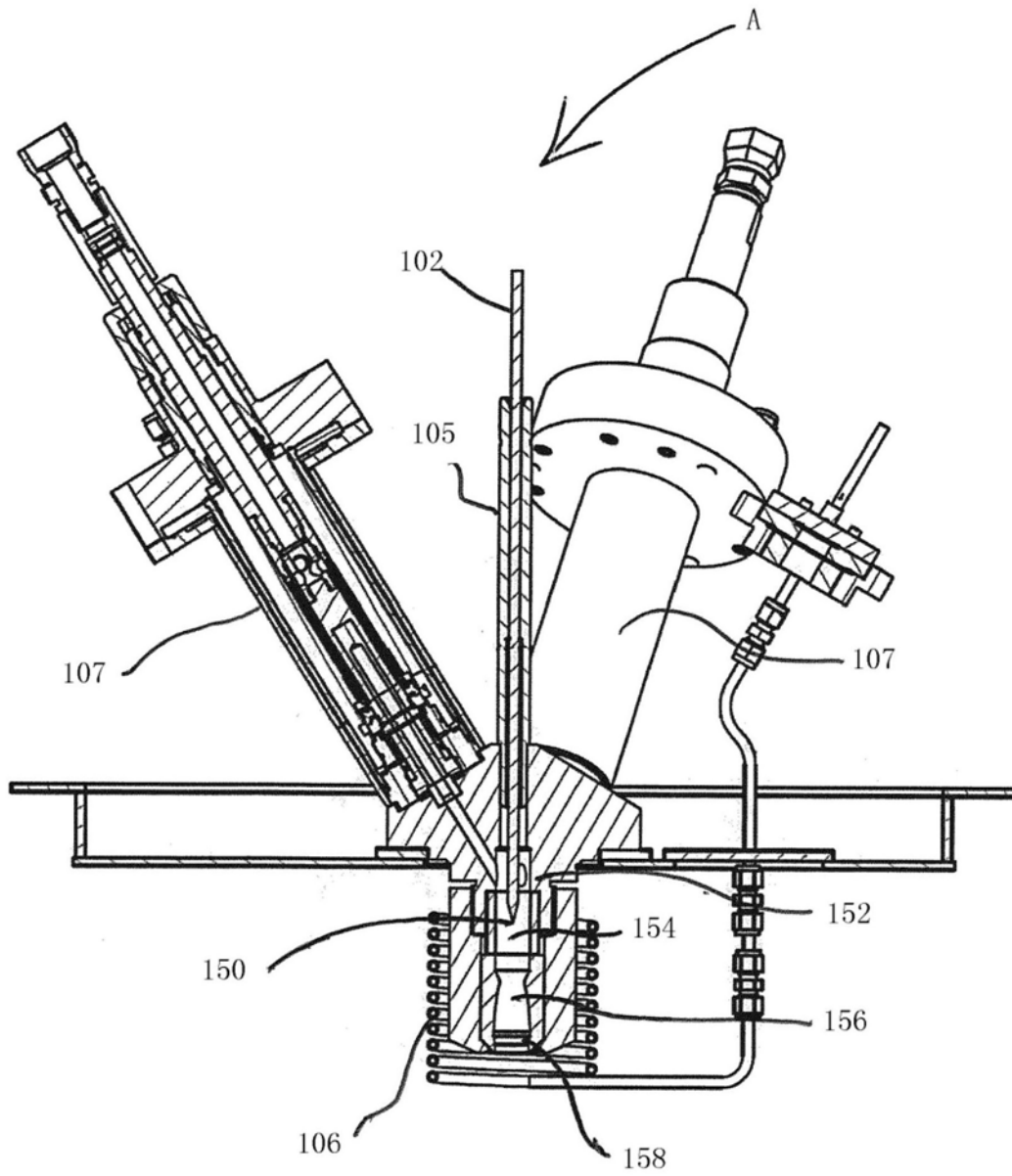


图2

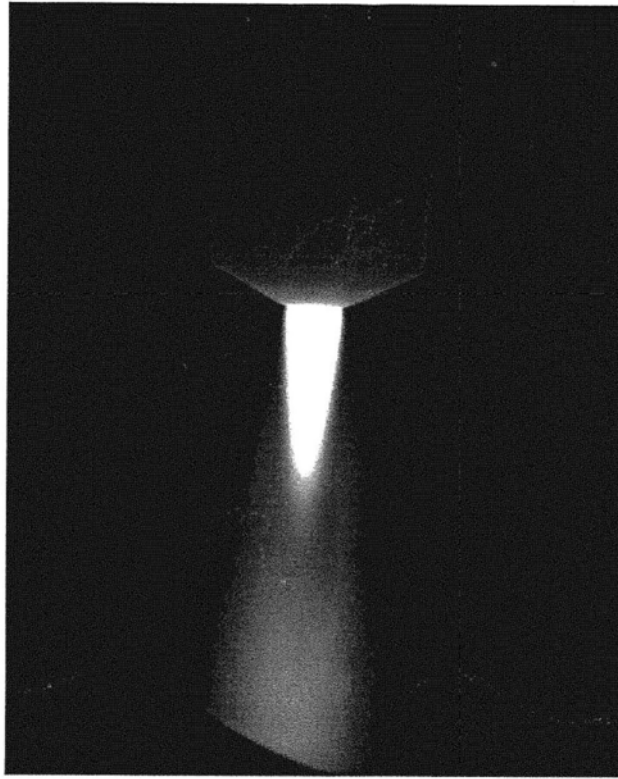


图3

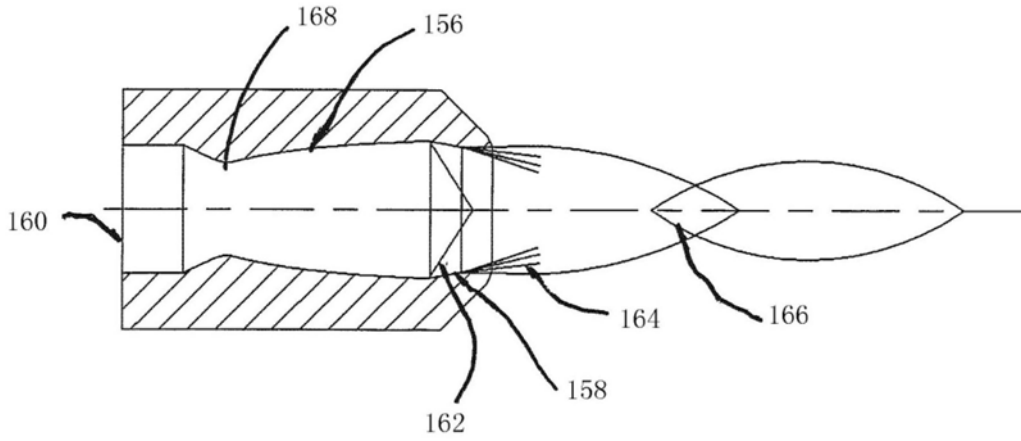


图4

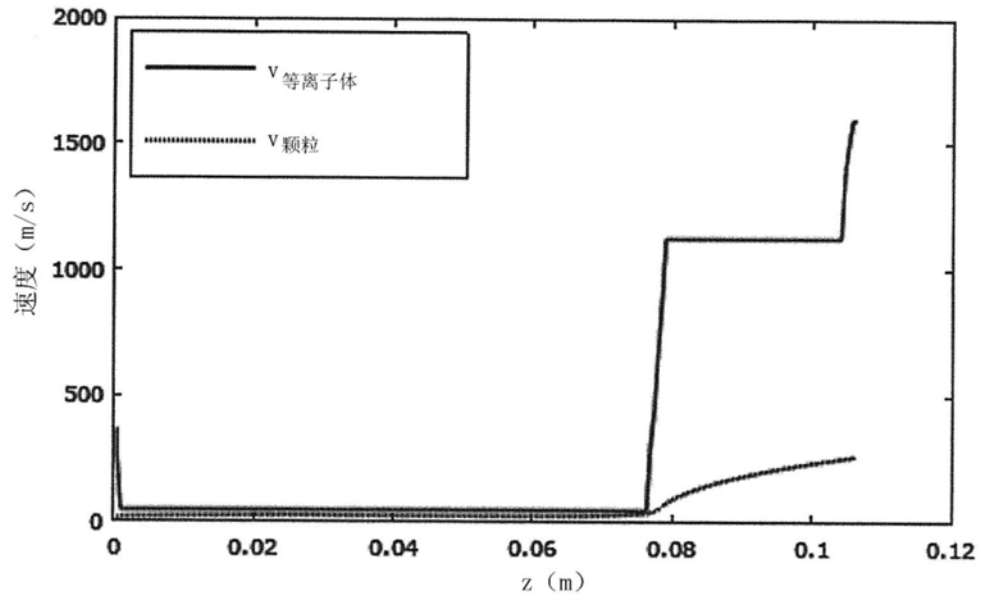


图5

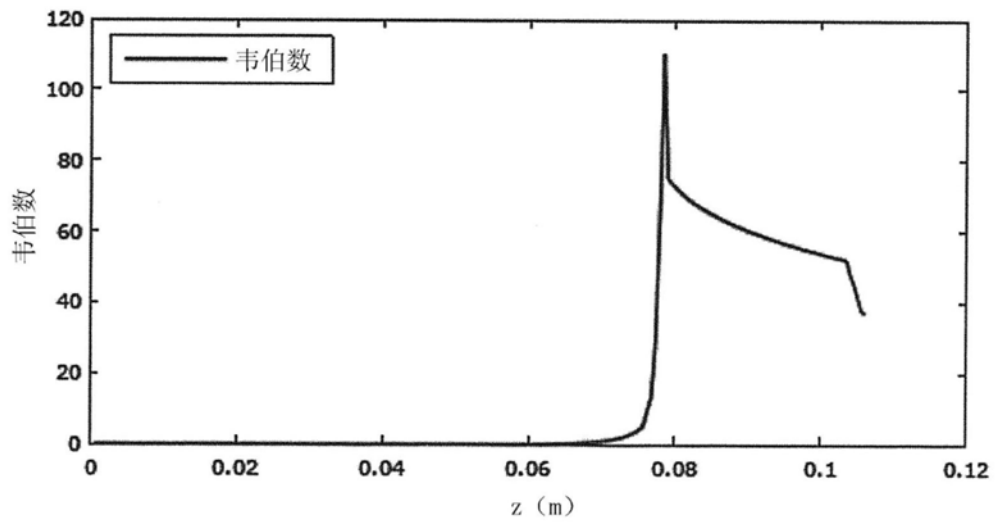


图6

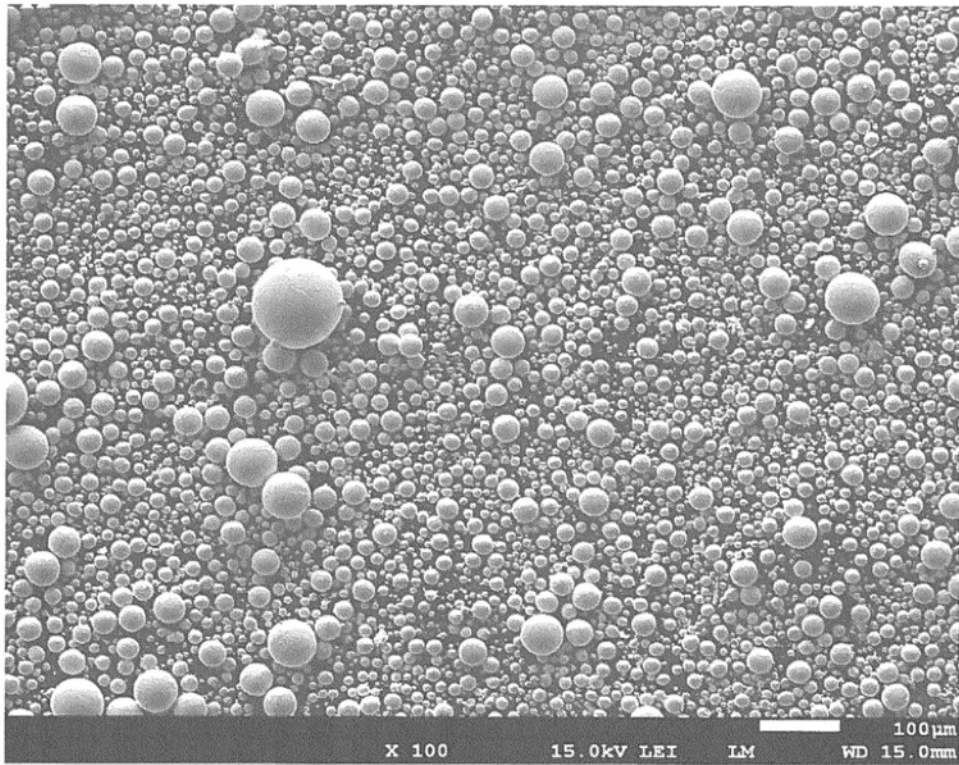


图7

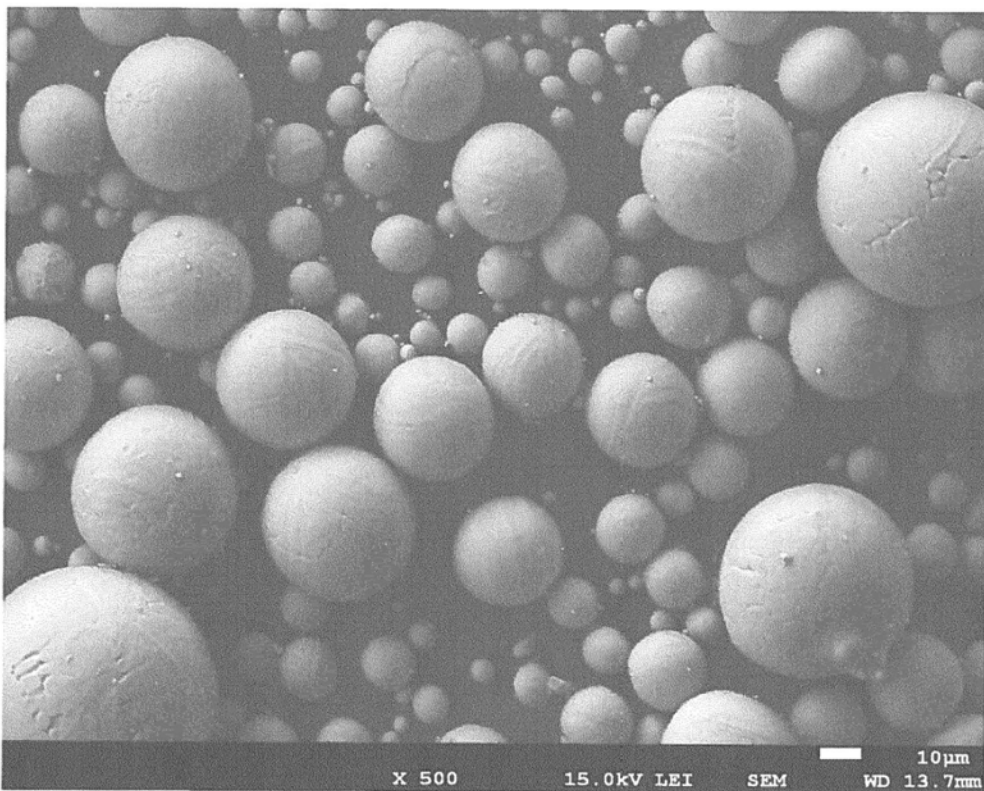


图8

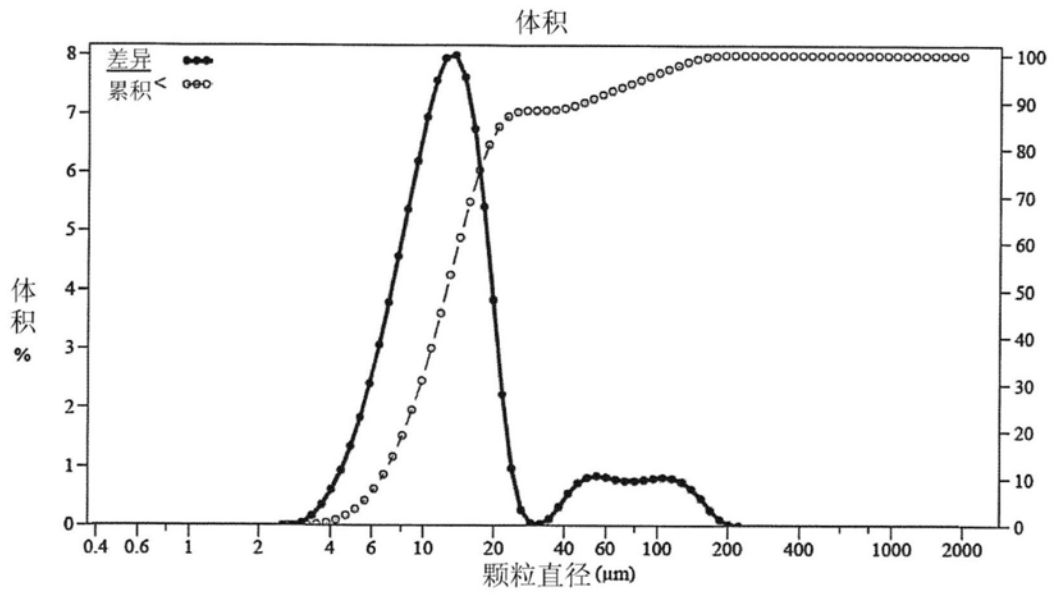


图9