(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108941568 A
(43)申请公布日 2018.12.07

(21)申请号 201810776602.4

(22)申请日 2018.07.13

(71)申请人 西北工业大学
地址 710072 陕西省西安市碑林区友谊西路127号

(72)发明人 刘建睿 周晓磊 林鑫 王猛 黄卫东

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200
代理人 徐文权

(51)Int.Cl.
B22F 3/115(2006.01)
B33Y 30/00(2015.01)

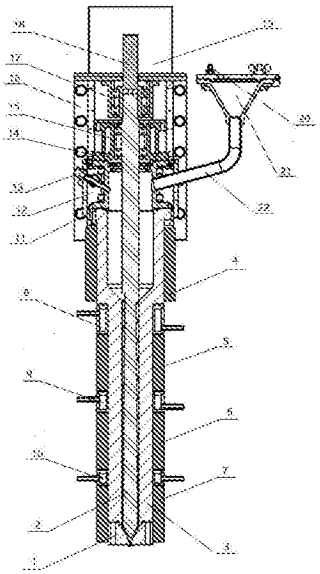
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头

(57)摘要

本发明提供一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，包括容腔和同轴间隙设置在容腔内的搅拌螺杆；容腔呈变截面的圆筒型，上部圆筒直径大于下部圆筒直径；上部圆筒和搅拌螺杆的等高部分形成物料熔融储料腔；下部圆筒依次和搅拌螺杆的等高部分形成逐级缩小的多个半固态物料形成腔；所述的容腔上端固定设置形成加料仓的支撑架，下端设置挤出喷嘴，外侧分别设置多段式电阻加热组件、多段式水冷环组件和温控系统；支撑架上设置用于装配搅拌螺杆的轴承系统，以及与加料仓连通的加料组件；搅拌螺杆的驱动端连接减速机及驱动电机的输出端，自由端与挤出喷嘴间隙配合，用于半固态金属的挤出。实现铝/镁合金类熔点相对较低的轻质金属结构材料熔融挤出成形。



CN 108941568 A

1.一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，其特征在于：包括容腔(3)和同轴间隙设置在容腔(3)内的搅拌螺杆(2)；

所述的容腔(3)呈变截面的圆筒型，上部圆筒直径大于下部圆筒直径；上部圆筒和搅拌螺杆(2)的等高部分形成物料熔融储料腔；下部圆筒依次和搅拌螺杆(2)的等高部分形成逐级缩小的多个半固态物料形成腔；所述的容腔(3)上端固定设置有形成加料仓的支撑架(11)，下端设置有挤出喷嘴(1)，外侧分别设置有多段式电阻加热组件、多段式水冷环组件和温控系统；

所述的支撑架(11)上设置有用于装配搅拌螺杆(2)的轴承系统，以及与加料仓连通的加料组件；搅拌螺杆(2)的驱动端连接减速机及驱动电机(19)的输出端，自由端与挤出喷嘴(1)间隙配合，用于半固态金属的挤出；

所述的多段式电阻加热组件中的电阻加热组件呈间隔设置，对应设置在物料熔融储料腔外侧的电阻加热组件，用于将物料加热呈熔融状态；多段式水冷环组件中的水冷环组件呈间隔设置在半固态物料形成腔的外侧，相邻的电阻加热组件之间设置有水冷环组件，用于将熔融状态的金属逐级冷却为半固态金属；温控系统分别用于控制各电阻加热组件的加热温度。

2.根据权利要求1所述的一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，其特征在于：所述的搅拌螺杆(2)的长度为350mm～500mm，直径为30mm～40mm，其与半固态形成腔内壁间隙为0.5mm～2mm；从物料熔融储料腔与半固态形成腔过渡处开始搅拌螺杆(2)设有渐变式螺纹，螺纹起始段螺槽深度为5mm～8mm，螺纹终端槽深为2mm～4mm。

3.根据权利要求1所述的一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，其特征在于：所述的电阻加热组件采用电阻式加热器，总功率为6kw～10kw，最高加热温度为800℃，多段式电阻加热组件包括设置在物料熔融储料腔外壁上的第一段加热器(4)和依次设置在半固态形成腔外壁上的第二段加热器(5)、第三段加热器(6)和第四段加热器(7)。

4.根据权利要求3所述的一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，其特征在于：所述的水冷环组件采用水冷环；多段式水冷环组件包括第一段水冷环(8)、第二段水冷环(9)和第三段水冷环(10)；所述的第一段水冷环(8)设置在第一段加热器(4)和第二段加热器(5)之间的容腔(3)外壁上，第二段水冷环(9)设置在第二段加热器(5)和第三段加热器(6)之间的容腔(3)外壁上，第三段水冷环(10)设置在第三段加热器(6)和第四段加热器(7)之间的容腔(3)外壁上；所述的第一段水冷环(8)、第二段水冷环(9)和第三段水冷环(10)的内径分别与相应容腔(3)的外径匹配紧贴；第一段水冷环(8)、第二段水冷环(9)和第三段水冷环(10)的容积逐级减小，每个水冷环水均上设置有控制阀。

5.根据权利要求1所述的一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，其特征在于：所述的轴承系统包括下轴承座(14)和上轴承座(17)；所述的下轴承座(14)内设置有一对高温轴承用于装配和定位搅拌螺杆(2)，下轴承座(14)外设置有水冷套(15)；所述的上轴承座(17)内安装有联轴器(18)；联轴器(18)上端连接减速机及驱动电机(19)的输出端，下端连接搅拌螺杆(2)的驱动端。

6.根据权利要求1所述的一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，其特征在于：所述的温控系统包括热电偶和与热电偶连接的温控仪；

所述的支撑架11上设置有伸入加料仓内的热电偶套管(13)，热电偶套管(13)内设置有

与温控仪连接的测温热电偶；

所述的电阻加热组件上分别设置有热电偶安装孔，热电偶安装孔内设有与温控仪连接的加热热电偶。

7.根据权利要求1所述的一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，其特征在于：所述的加料组件包括加料器(21)和导料管(22)；所述的加料器(21)呈漏斗状，漏斗口设有密封盖，密封盖上设置有保护气通入孔(20)，其出料口与导料管(22)的一端连接；导料管(22)的另一端焊接在支撑架(11)上与加料仓连通，且导料管(22)呈倾斜设置。

8.根据权利要求1所述的一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，其特征在于：所述的支撑架(11)的上下端分别设有凹槽，凹槽内设置紫铜密封圈，上端通过聚四氟乙烯隔热垫片与轴承系统连接，下端与容腔(3)的上端连接；

所述的挤出喷嘴(1)密封连接在容腔(3)的下端；挤出喷嘴(1)和容腔(3)之间设有紫铜密封。

9.根据权利要求1所述的一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，其特征在于：还包括固定板(16)；所述的轴承系统通过螺钉固定在固定板(16)上；所述的容腔(3)通过容腔定位支撑(12)固定安装在固定板(16)上。

10.根据权利要求1所述的一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，其特征在于：所述的容腔(3)、挤出喷嘴(1)和搅拌螺杆(2)均采用高温合金材质制成，容腔(3)及挤出喷嘴(1)内表面、搅拌螺杆(2)外表面有0.5mm～1mm的陶瓷层；所述的陶瓷层材料为氮化铝、碳化硅或氧化铝，采用激光熔覆或等离子喷涂形成结合层。

一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头

技术领域

[0001] 本发明涉及增材制造技术领域，具体为一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头。

背景技术

[0002] 增材制造(即俗称3D打印)，融合了三维模型设计、材料加工成形、机械、自动控制等多学科领域，是基于离散堆积原理，以数字模型文件为基础的“自下而上”通过材料逐层累加堆积、制造实体制件的先进制造技术，不受制件几何形状和结构的约束，可以实现复杂结构件的快速制造。因而在模具制造、工业设计、航空航天、生物医疗等领域有广泛用途。

[0003] 材料是3D打印的物质基础，材料的性能决定着3D打印技术。目前根据材料种类、性能以及载能源的不同，3D打印技术衍生出适合于不同材料的打印方法，如立体光固化(Sterolithography,SLA)、选区激光熔化(Selective Laser Melting,SLM)、激光立体成形(Laser Solid Forming,LSF)、电弧增材制造(Wire and Arc Additive Manufacture,WAAM)、电子束熔化成形技术(Electron Beam Melting,EBM)、叠层实体制造(Laminated Object Manufacturing,LOM)、熔融沉积成形(Fused Deposition Modeling,FDM)等。

[0004] 熔融沉积成形(FDM)是将热塑性材料经过送料机构送进热熔喷嘴，在喷嘴内材料被加热熔融，同时喷头按照预定的层片轮廓信息和轨迹运动，并将熔融的材料挤出，使其沉积在指定的位置后与前一层已经成形的材料粘结，逐层堆积最终实现立体成形，又时称为熔融挤出成形。与其它增材制造技术相比，FDM技术以其工艺简单、操作方便、不需高能束载能源、材料种类丰富、成本低等诸多优点，成为目前技术相对成熟、较为普及的一种3D打印技术。

[0005] 然而现有的FDM技术的加热输出功率有限，一般只能最高加热到400℃，仅限于熔融温度相对较低的热塑性高分子材料(如蜡、ABS、PC、聚乳酸等)以及熔点温度较低的铅锡或锡铋合金类材料的增材制造，由于材料自身性能，其成形件力学性能低，无法满足结构件、承力件对强度的需求，这在一定程度上限制了FDM技术的应用，比如应用范围广泛的轻质金属结构材料铝合金、镁合金的打印成形。

[0006] 金属结构材料强度高，但因其熔点相对较高，无法采用FDM技术直接成形。虽然轻质金属结构材料目前普遍采用SLM、LSF、EBM等增材制造技术成形，且得到一定应用。但存在的问题是：成形过程采用金属材料制成粒度微米级的球形细粉或直径1mm左右的丝材，且对成分组成要求非常严格，导致原材料成本大幅上升；在高能束高温作用下熔化金属，金属材料易氧化，特别是铝合金、镁合金类，需在高纯惰性气体气氛下进行，消耗大量惰性气体，成形成本增大，且成形件易出现夹渣导致力学性能降低；高能束作为热源，热源系统昂贵且维护成本高等。采用高能束的金属材料增材制造成本高，成形过程易氧化等问题阻碍了金属材料增材制造技术的广泛推广和应用。

[0007] 综上所述，现有的成形工艺简单、成本低的FDM技术存在仅限于成形热塑性高分子材料、低熔点合金的问题，以及金属材料3D打印存在成形设备结构复杂、成本高导致推广应用受限的问题。

发明内容

[0008] 针对现有技术中存在的问题，本发明提供一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，结构简单，成本低，可以实现铝/镁合金类熔点相对较低的轻质金属结构材料的熔融挤出成形，综合了熔融沉积技术成本低、工艺简单的优点，以及铝/镁合金性能优良的优势，对于扩大融沉积成形技术的应用面具有重要的意义。

[0009] 本发明是通过以下技术方案来实现：

[0010] 一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，包括容腔和同轴间隙设置在容腔内的搅拌螺杆；

[0011] 所述的容腔呈变截面的圆筒型，上部圆筒直径大于下部圆筒直径；上部圆筒和搅拌螺杆的等高部分形成物料熔融储料腔；下部圆筒依次和搅拌螺杆的等高部分形成逐级缩小的多个半固态物料形成腔；所述的容腔上端固定设置有形成加料仓的支撑架，下端设置有挤出喷嘴，外侧分别设置有多段式电阻加热组件、多段式水冷环组件和温控系统；

[0012] 所述的支撑架上设置有用于装配搅拌螺杆的轴承系统，以及与加料仓连通的加料组件；搅拌螺杆的驱动端连接减速机及驱动电机的输出端，自由端与挤出喷嘴间隙配合，用于半固态金属的挤出；

[0013] 所述的多段式电阻加热组件中的电阻加热组件呈间隔设置，对应设置在物料熔融储料腔外侧的电阻加热组件，用于将物料加热呈熔融状态；多段式水冷环组件中的水冷环组件呈间隔设置在半固态物料形成腔的外侧，相邻的电阻加热组件之间设置有水冷环组件，用于将熔融状态的金属逐级冷却为半固态金属；温控系统分别用于控制各电阻加热组件的加热温度。

[0014] 优选的，所述的搅拌螺杆的长度为350mm～500mm，直径为30mm～40mm，其与半固态形成腔内壁间隙为0.5mm～2mm；从物料熔融储料腔与半固态形成腔过渡处开始搅拌螺杆设有渐变式螺纹，螺纹起始段螺槽深度为5mm～8mm，螺纹终端槽深为2mm～4mm。

[0015] 优选的，所述的电阻加热组件采用电阻式加热器，总功率为6kw～10kw，最高加热温度为800℃，多段式电阻加热组件包括设置在物料熔融储料腔外壁上的第一段加热器和依次设置在半固态形成腔外壁上的第二段加热器、第三段加热器和第四段加热器。

[0016] 进一步，所述的水冷环组件采用水冷环；多段式水冷环组件包括第一段水冷环、第二段水冷环和第三段水冷环；所述的第一段水冷环设置在第一段加热器和第二段加热器之间的容腔外壁上，第二段水冷环设置在第二段加热器和第三段加热器之间的容腔外壁上，第三段水冷环设置在第三段加热器和第四段加热器之间的容腔外壁上；所述的第一段水冷环、第二段水冷环和第三段水冷环的内径分别与相应容腔的外径匹配紧贴；第一段水冷环、第二段水冷环和第三段水冷环的容积逐级减小，每个水冷环水均上设置有控制阀。

[0017] 优选的，所述的轴承系统包括下轴承座和上轴承座；所述的下轴承座内设置有一对高温轴承用于装配和定位搅拌螺杆，下轴承座外设置有水冷套；所述的上轴承座内安装有联轴器；联轴器上端连接减速机及驱动电机的输出端，下端连接搅拌螺杆的驱动端。

[0018] 优选的，所述的温控系统包括热电偶和与热电偶连接的温控仪；

[0019] 所述的支撑架11上设置有伸入加料仓内的热电偶套管，热电偶套管内设置有与温控仪连接的测温热电偶；

[0020] 所述的电阻加热组件上分别设置有热电偶安装孔，热电偶安装孔内设有与温控仪连接的加热热电偶。

[0021] 优选的，所述的加料组件包括加料器和导料管；所述的加料器呈漏斗状，漏斗口设有密封盖，密封盖上设置有保护气通入孔，其出料口与导料管的一端连接；导料管的另一端焊接在支撑架上与加料仓连通，且导料管呈倾斜设置。

[0022] 优选的，所述的支撑架的上下端分别设有凹槽，凹槽内设置紫铜密封圈，上端通过聚四氟乙烯隔热垫片与轴承系统连接，下端与容腔的上端连接。

[0023] 所述的挤出喷嘴密封连接在容腔的下端；挤出喷嘴和容腔之间设有紫铜密封。

[0024] 优选的，还包括固定板；所述的轴承系统通过螺钉固定在固定板上；所述的容腔通过容腔定位支撑固定安装在固定板上。

[0025] 优选的，所述的容腔、挤出喷嘴和搅拌螺杆均采用高温合金材质制成，容腔及挤出喷嘴内表面、搅拌螺杆外表面有0.5mm～1mm的陶瓷层；所述的陶瓷层材料为氮化铝、碳化硅或氧化铝，采用激光熔覆或等离子喷涂形成结合层。

[0026] 与现有技术相比，本发明具有以下有益的技术效果：

[0027] 本发明采用多段式电阻加热组件、多段式水冷环组件和温控系统，利用多段式独立加热与多段式独立水冷结合结构，通过控制容腔各段温度以及不同水冷环水通量大小，实现容腔从上部的熔融区到挤出喷嘴处的温度从高温到低温的任意调节，可使不同区域温度独立控制，实现温度梯度的精确控制，即根据不同材料特性，使其在上部区域熔融，再逐渐降温，达到固/液两相区域，在搅拌螺杆的搅拌作用形成半固态，通过控制温度梯度大小实现半固态金属浆料固/液百分比的控制，使得半固态浆料固/液比例便于控制；搅拌螺杆旋转产生的剪切作用可将在半固态形成的初生树枝晶破碎，形成固相颗粒细小、均匀的半固态金属浆料；搅拌螺杆旋转可提供稳定连续的挤压力，使形成的半固态浆料连续均匀挤出，继而堆积成形；同时，半固态金属浆料既具有良好的流变特性，又不像纯液态金属流动性太强而不易控制，由挤出喷嘴挤出后不易产生球化团聚现象，其可控的流动性可保证物料连续均匀的呈线形挤出，实现成形精度的控制；而且，半固态金属浆料挤出堆积成形件质量高，半固态浆料成形凝固时固-液相温差小，所以凝固收缩率低、热应力小，不易产生变形；半固态浆料堆积成形时液相起到粘结作用，气孔缺陷少，致密度高，力学性能高。

[0028] 进一步的，支撑架上端与下轴承座连接，两者之间设置有聚四氟乙烯隔热垫片，用于减少物料熔融储料腔内热量向轴承及电机方向传导；下轴承座内设置有一对高温轴承用于定位搅拌螺杆，两轴承通过轴承挡圈保持一定的距离，从而保证搅拌螺杆的垂直度。

[0029] 进一步的，采用搅拌螺杆式挤出系统，搅拌螺杆贯穿整个喷头内部，上端通过键与上轴承座内的联轴器相连，下端呈圆锥状通向挤出喷嘴，能保证半固态浆料形成与挤出堆积成形同步完成；同时搅拌螺杆从上到下螺槽深度逐渐减小，通过空间的变化使物料逐渐被压缩在其内部形成压力，使得物料挤出更加均匀稳定、制件更加致密。

[0030] 进一步的，采用电阻式加热器，分四段加热，物料熔融腔外设置第一段加热器，半固态物料形成腔外依次设置第二、第三、第四段加热器；第一段加热器的作用为物料熔融储料腔内的金属物料；半固态物料形成腔外的第二、第三、第四段加热器分别独立控温，方便使半固态物料形成腔内形成一定的温度梯度，物料经历容腔顶部到中部的渐变温度，随后是挤出喷嘴附近的恒温区，最终使温度维持在固液两相区的任意值，从而获得含有一定固

相百分比的半固态浆料。

[0031] 进一步的，通过设置三个不同容积的水冷环，且水通量的大小可通过控制阀门控制；其中水冷套设置于下轴承座外，用于防止熔融腔内的热量向电机传导，维持电机正常工作；第一段、第二段、第三段水冷环分别位于容腔外各段加热器之间，水冷环内径与相应容腔外径匹配紧贴，可通过实际情况调控水通量的大小来控制加热器的功率输出，加快半固态形成腔内温度梯度的形成。

[0032] 进一步的，采用温控系统，热电偶套管处设置的测温热电偶伸入物料熔融储料腔内，用于测量腔内物料的实时温度；四段加热器分别在侧面设置有热电偶安装孔，热电偶通过安装孔插入与容腔外壁接触，热电偶与温控仪相连即可实现容腔不同区域的四段温度从室温～800℃的任意控制，既可进行如熔点较高的铝合金、镁合金，以及熔点较低的铅合金、锡合金、锌合金等金属材料的增材制造，又可进行如高分子材料、及高分子基复合材料的熔融挤出增材制造。原材料成本低。粉末状、颗粒状、块状类的可熔融材料均适应，材料成本大大降低，适合于熔融温度低于800℃以下的多种材料的熔融挤出成形。

[0033] 进一步的，导料管呈倾斜设置，加料器呈漏斗状以方便添加物料，漏斗口设有密封盖，密封盖上设置有保护气通入孔，通过向物料熔融储料腔里添加保护气防止金属液氧化，同时可以保证物料熔融储料腔内为正压，有利于物料熔融储料腔内金属液向半固态物料形成腔流动。

[0034] 进一步的，挤出喷嘴外径与容腔下端直径设计相同，以方便外侧加热器的安装；容腔定位支撑在水平方向和竖直方向分别设置有四个紧固螺钉，从而保证喷头整体安装的垂直度；容腔及挤出喷嘴内表面、搅拌螺杆外表面有的陶瓷层有效保证设备的使用寿命。

附图说明

[0035] 图1为本发明的结构示意图。

[0036] 图中：1为挤出喷嘴、2为搅拌螺杆、3为容腔、4为第一段加热器、5为第二段加热器、6为第三段加热器、7为第四段加热器、8为第一段水冷环、9为第二段水冷环、10为第三段水冷环、11为支撑架、12为容腔定位支撑、13为热电偶套管、14为下轴承座、15为水冷套、16为固定板、17为上轴承座、18为联轴器、19为减速器及驱动电机、20为保护气通入孔、21为加料器、22为导料管。

具体实施方式

[0037] 下面结合具体的实施例对本发明做进一步的详细说明，所述是对本发明的解释而不是限定。

[0038] 本发明一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，如图1所示，包括：金属熔融及半固态形成的容腔3、容腔3外侧的电阻加热组件、连接在容腔3下端的挤出喷嘴1、位于容腔3上端的支撑架11和加料组件、支撑架11上端的两个轴承座及两对高温轴承、上轴承座14内的联轴器18、联轴器18上端的减速机及驱动电机19、以及容腔3外侧的水冷环组件、容腔3内的搅拌螺杆2；搅拌螺杆2上端与联轴器18相连，下端通向挤出喷嘴1，物料在容腔3内经加热熔融，通过温度梯度控制及搅拌螺杆2搅拌形成半固态，在搅拌螺杆2推力作用下经挤出喷嘴1挤出，实现堆积成形。

[0039] 其中，轴承座、支撑架11、容腔2、以及挤出喷嘴1分别独立设计，采用螺栓连接成为整体。容腔3为上、下直径不同的圆筒型整体结构，上部直径较大区为物料熔融储料腔，下部直径较小区为半固态物料形成腔，两部分由圆弧状过渡。挤出喷嘴1与半固态物料形成腔下端采用子扣连接设计，紫铜垫密封，并用螺栓紧固。

[0040] 搅拌螺杆2为渐变式螺杆，长度为350mm～500mm，直径为30mm～40mm，螺杆的螺纹从物料熔融储料腔与半固态物料形成腔过渡处开始，螺纹起始段螺槽深度为5mm～8mm，螺纹终端槽深为2mm～4mm，螺杆与半固态形成腔内壁间隙为0.5mm～2mm。

[0041] 整体容腔3、挤出喷嘴1及搅拌螺杆2均采用高温合金材质制成，容腔3及挤出喷嘴1内表面、搅拌螺杆2外表面有0.5mm～1mm的陶瓷层。陶瓷层材料为氮化铝、碳化硅或氧化铝，采用激光熔覆或等离子喷涂形成结合层。

[0042] 电阻加热组件为四段独立式电阻加热器组成，布局于容腔3外侧，物料熔融储料腔设有一段加热器，半固态物料形成腔设有三段加热器，总加热功率为6kw-10kw，每加热段可分别达800℃；四段加热器分别设有独立的温控单元，通过加热器侧面插入到容腔外壁的热电偶，实现容腔不同区域的四段温度从室温～800℃的任意控制。

[0043] 四段加热器之间分别设有三段不同容积的水冷环，水冷环采用紫铜材质，水冷环内径与相应容腔外径匹配紧贴；每个水冷环水通量大小可通过控制阀独立控制。

[0044] 上部的物料熔融储料腔内壁设有一端为盲孔的由陶瓷制成的热电偶套管13，插入测温热电偶，用于测量物料熔融储料腔内物料的实时温度。

[0045] 加料组件由一漏斗状加料器及直径为20mm左右的导料管22组成，漏斗状加料器21上设有密封盖，密封盖上设有保护气通入孔20，均由不锈钢材质加工而成。

[0046] 支撑架11上下端分别设有凹槽放置紫铜密封圈，下端与容腔3上部连接，上端与下轴承座14连接。支撑架11上设有两个轴承座，每个轴承座内均安装一对高温轴承，下轴承座14用于与支撑架11连接及搅拌螺杆2的定位，上轴承座17用于联轴器18定位及联轴器18与搅拌螺杆2的连接；下轴承座14外设有水冷套15。减速器及驱动电机19中通过采用蜗轮蜗杆减速机，使驱动电机水平安放，所用驱动电机为步进电机。

[0047] 具体的，本发明一种金属半固态熔融挤出增材制造喷头，将金属半固态成形技术与熔融沉积技术结合，采用电阻加热金属材料熔融，通过温度梯度控制及搅拌螺杆2搅拌作用形成半固态浆料，再通过搅拌螺杆2推力作用将半固态料挤出沉积成形，可实现铝/镁合金类熔点相对较低的轻质金属结构材料熔融挤出成形。如图1所示，具体包括：金属熔融及半固态形成的容腔3、容腔外侧的电阻加热组件、连接在容腔下端的挤出喷嘴1、位于容腔上端的支撑架11和加料组件、支撑架上端的两个轴承座及两对高温轴承、上轴承座17内的联轴器18、联轴器上端的减速机及驱动电机19、以及容腔外侧的水冷环组件、容腔内的搅拌搅拌螺杆2。

[0048] 具体的，在各部件连接方面：挤出喷嘴1外径与容腔3下端直径设计相同，以方便外侧加热器的安装，两者采用子扣连接定位，螺钉紧固，中间设有紫铜密封；容腔3上端与支撑架11同样采用子扣配合，螺钉连接并紧固；热电偶套管13、导料管22分别与支撑架11采用焊接连接，导料管22呈30°倾斜，加料器21呈漏斗状以方便添加物料，漏斗口设有密封盖，密封盖上设置有保护气通入孔20，通过向物料熔融储料腔里添加保护气防止金属液氧化，同时可以保证物料熔融储料腔内为正压，有利于物料熔融储料腔内金属液向半固态物料形成腔

流动;支撑架11上端与下轴承座14连接,两者之间设置有聚四氟乙烯隔热垫片,用于减少物料熔融储料腔内热量向轴承及电机方向传导;下轴承座14内设置有一对高温轴承用于定位搅拌螺杆2,两轴承通过轴承挡圈保持一定的距离,从而保证搅拌螺杆2的垂直度;上轴承座17采用螺钉固定在固定板16上,轴承座内通过一对高温轴承固定有联轴器18,连轴器18的上端通向固定板16上方,下端与搅拌螺杆2采用键连接;固定板16上方设有蜗轮蜗杆减速机,用于降低步进电机转速且使电机横向安放,减速机的输出端与联轴器18上端采用键连接。整个喷头连接好后通过容腔定位支撑12安装于固定板16上,容腔定位支撑12在水平方向和竖直方向分别设置有四个紧固螺钉,从而保证喷头整体安装的垂直度。

[0049] 加热系统方面:采用电阻式加热器,分四段加热,物料熔融腔外设置第一段加热器4,半固态形成腔外依次设置第二、第三、第四段加热器5、6、7,加热器总功率为6kw～10kw,加热温度可达800℃。第一段加热器4的作用为物料熔融储料腔内的金属物料;半固态形成腔外的第二、第三、第四段加热器5、6、7分别独立控温,方便使半固态物料形成腔内形成一定的温度梯度,物料经历容腔顶部到中部的渐变温度,随后是挤出喷嘴1附近的恒温区,最终使温度维持在固液两相区的任意值,从而获得含有一定固相百分比的半固态浆料。

[0050] 水冷系统方面:水冷系统包括三个不同容积的水冷环以及一个水冷套15,水冷槽采用紫铜材质,水通量的大小可通过控制阀门控制;其中水冷套15设置于下轴承座11外,用于防止物料熔融储料腔内的热量向电机传导,维持电机正常工作;第一段、第二段、第三段水冷环8、9、10分别位于容腔2外各段加热器之间,水冷环内径与相应容腔外径匹配紧贴,可通过实际情况调控水通量的大小来控制加热器的功率输出,加快半固态物料形成腔内温度梯度的形成。

[0051] 温控系统方面:温控系统包括热电偶以及智能温控仪。热电偶套管13处设置的热电偶伸入物料熔融储料腔内,用于测量腔内物料的实时温度,温度值通过智能温度控制器显示;四段加热器分别在侧面设置有热电偶安装孔,加热热电偶通过安装孔插入与容腔3外壁接触,加热热电偶与智能温控箱相连即可实现容腔不同区域的四段温度从室温～800℃的任意控制;加热热电偶用于测量每个加热器的温度。

[0052] 物料挤出系统方面:采用搅拌螺杆式挤出系统,搅拌螺杆2贯穿整个喷头内部,上端通过键与上轴承座17内的联轴器18相连,下端呈圆锥状通向挤出喷嘴1;搅拌螺杆2与半固态物料形成腔内壁间隙为0.5mm～2mm,且从上游到下游逐渐减小;从物料熔融储料腔与半固态物料形成腔过渡处开始设有螺纹,螺纹部分为渐变式,螺纹起始段螺槽深度为5mm～8mm,螺纹终端槽深为2mm～4mm,从上到下螺槽深度逐渐减小,目的是通过空间的变化使物料逐渐被压缩在其内部形成压力,使得物料挤出更加均匀稳定、制件更加致密;此外,搅拌螺杆2的剪切作用可将初生树枝晶破碎,同时促进固液两相的均匀化,从而获得固相颗粒细小、均匀的半固态浆料;搅拌螺杆2转速通过步进电机控制,根据实际要求,搅拌螺杆2转速可在0～100r/min之间手动调节。

[0053] 使用时,首先从加料器21处加入金属物料,盖紧密封盖,挤出喷嘴1口堵塞,同时向内腔中开始通入保护气,气压略大于大气压保证物料熔融储料腔内为正压即可;之后根据物料熔点设定各段加热器的加热温度,最终使容腔3整体加热至略高于物料熔点的温度,在整个加热过程中保证水冷套15为打开状态,以维持电机正常工作;温度达到熔点以上后保温一定时间待物料完全熔化后,搅拌螺杆2启动并设定为所需的转速,同时降低第二段加热

器5、第三段加热器6、第四段加热器7的设定温度，各加热器设定温度值根据实验材料需求的温度梯度来具体确定，之后根据实际需求调节第一段水冷环8、第二段水冷环9、第三段水冷环10水通量的大小，待容腔3达到所需的温度梯度后，保温并搅拌一定时间后打开挤出喷嘴1，金属半固态浆料在半固态物料形成腔内随搅拌螺杆2转动从挤出喷嘴1处挤出，此喷头通过固定板16安装于三轴数控机床上，通过数控软件设定好相关运行程序即可在预热基板上进行堆积成形。

[0054] 因此，成形工艺简单、运行成本低的FDM增材制造技术用于成形用途较为广泛、熔点相对较低的铝合金及镁合金类轻质金属结构材料，必将极大的拓宽FDM增材制造技术的应用领域。

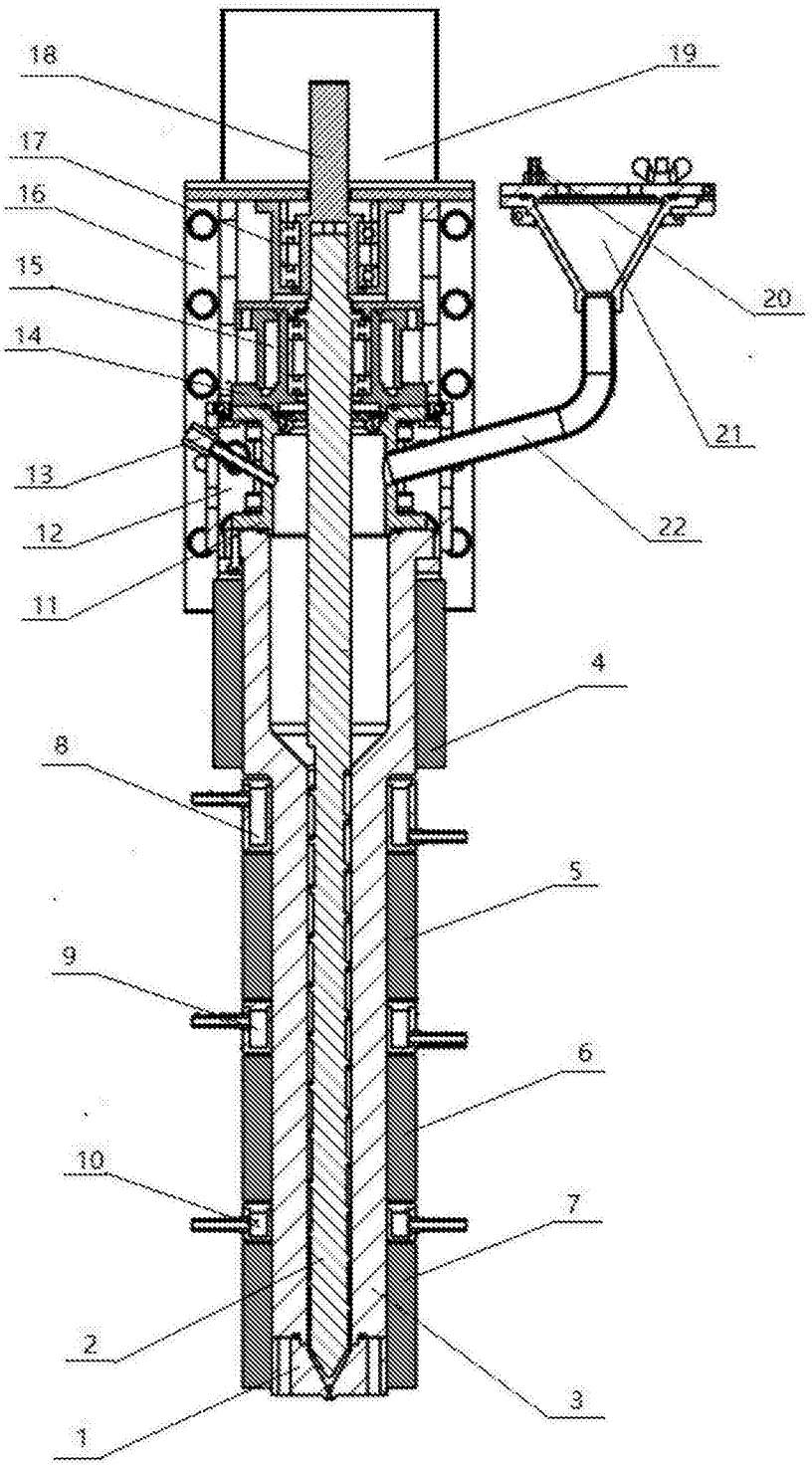


图1