



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111266702 A

(43)申请公布日 2020.06.12

(21)申请号 202010193057.3

B23K 9/12(2006.01)

(22)申请日 2020.03.18

B23K 9/167(2006.01)

(66)本国优先权数据

B23K 9/32(2006.01)

201910205948.3 2019.03.19 CN

(71)申请人 沈阳工业大学

地址 110870 辽宁省沈阳市铁西区经济技术开发区沈辽西路111号

(72)发明人 徐国建 柳晋 刘占起 陈冬卅
于宝义 苏允海 郑文涛 胡方
曲迎东

(74)专利代理机构 沈阳智龙专利事务所(普通合伙) 21115

代理人 周智博 宋铁军

(51)Int.Cl.

B23K 9/04(2006.01)

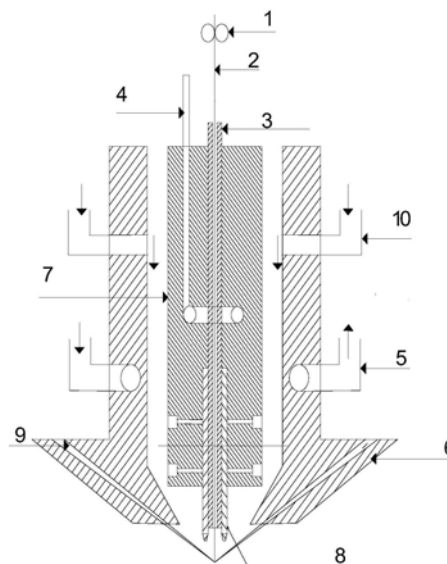
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置

(57)摘要

一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,该装置包括SiO₂玻璃管、四路送粉喷嘴、钨极紫铜冷却体、半裂式空心钨极和四路送粉通道;通过四路送粉通道,最多可实现四种不同成分合金粉末的供给,并且各送粉通道的送粉量可调节,易实现功能梯度结构材料零部件的增材制造,使增材制造零部件的材料、结构及使用性能达到最适配。



1. 一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,其特征在于:该装置包括SiO₂玻璃管(3)、四路送粉喷嘴(6)、钨极紫铜冷却体(7)、半裂式空心钨极(8)和四路送粉通道(9);

SiO₂玻璃管(3)穿过钨极紫铜冷却体(7),钨极紫铜冷却体(7)设置在四路送粉喷嘴(6)内,四路送粉通道(9)设置在四路送粉喷嘴(6)底部;

半裂式空心钨极(8)的上端伸入钨极紫铜冷却体(7)内, SiO₂玻璃管(3)的下端伸入半裂式空心钨极(8);

SiO₂玻璃管(3)、半裂式空心钨极(8)及四路送粉喷嘴(6)采用同轴设计。

2. 根据权利要求1所述的一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,其特征在于:钨极紫铜冷却体(7)上有水冷通道(4)。

3. 根据权利要求1所述的一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,其特征在于:四路送粉通道(9)输出四路粉末,四路粉末汇聚处与半裂式空心钨极(8)维持同轴的关系。

4. 根据权利要求1所述的一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,其特征在于:四路送粉通道(9)采用锥台形设计。

5. 根据权利要求1所述的一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,其特征在于:四路送粉喷嘴(6)采用铜材料,且四路送粉喷嘴(6)上部带有冷却水通道(5)。

6. 根据权利要求5所述的一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,其特征在于:四路送粉喷嘴(6)上部还设置有保护气通道(10);钨极紫铜冷却体(7)与四路送粉喷嘴(6)之间形成通道,该通道与保护气通道(10)连通。

7. 根据权利要求1所述的一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,其特征在于:

该装置的钨极端头(8)从四路送粉喷嘴(6)伸出, SiO₂玻璃管(3)从钨极端头(8)缩进去。

8. 根据权利要求1所述的一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,其特征在于:钨极端头(8)从四路送粉喷嘴(6)伸出长度为2-5mm; SiO₂玻璃管(3)从钨极端头(8)缩进去的深度2-5mm。

9. 利用权利要求1所述的一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置所实施的制造方法,其特征在于:

电源的一个极通过钨极紫铜冷却体7与钨极8相连,电源另一个极与基板(11)或工作台(12)相连接,电流通过钨极、等离子体电弧及基板形成闭合回路;

通过高频引弧或者脉冲引弧起燃电弧,通过钨极、等离子体导体及基板形成闭合回路,并保持电弧稳定燃烧;与此同时将丝材及粉末输送到熔池的上方;利用电弧热源将丝材和粉末熔化,并进入到熔池,在熔池搅拌力作用下,形成均一的沉积层。

一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置

技术领域

[0001] 本发明为一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置及工艺方法,属于电弧增材制造领域。

背景技术

[0002] TIG电弧增材制造(WAAM)是以电弧作为热源,丝材作为增材添加材料,实现金属零件的快速近净成型,是低成本高效率增材制造技术的重要手段。

[0003] TIG电弧增材制造;TIG电弧是利用高频引弧或脉冲引弧,并在钨极与工件之间形成一个稳定等离子体导电体,这个等离子导电体我们称之为TIG电弧。TIG电弧热源将等速送进的丝材熔化,并过渡到熔池中,其优点在于:具有广泛的适用性及质量好。但是TIG填丝增材制造受到实心钨极的限制,往往采用侧向送丝方式,当增材制造方向改变时,丝材与电弧的空间位置关系发生改变,使增材制造条件也发生改变,难于保证增材制造过程的条件恒定和质量稳定。

[0004] TIG电弧增材制造由于电弧热的作用,往往使一些元素氧化、烧损及蒸发掉,损失掉的合金元素无法得到补充,所以使零部件的性能满足不了使用性能要求。

[0005] TIG电弧增材制造使用了丝材,由于丝材的制造工艺方法(特别是拉拔工艺方法)的限制,不能在丝材中加入大量的合金元素,否则丝材难于制造,即使勉强制造,也会带来制造成本的提高,所以TIG电弧熔丝增材制造难于实现高合金含量的零部件制造。

[0006] 单独TIG电弧熔丝增材制造工艺方法,难于实现功能梯度结构材料零部件的制造,所以对材料合理使用、结构拓扑优化及最适使用性能的最佳匹配的需求,难于实现。

发明内容

[0007] 发明目的:

[0008] 本发明一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置及工艺方法,其目的是解决以往所存在的问题,实现了四路粉末与丝材的同时和同轴供给,使钨极(电弧)、丝材及粉末流在空间位置上形成同轴的关系。

[0009] 技术方案:

[0010] 一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,该装置包括SiO₂玻璃管、四路送粉喷嘴、钨极紫铜冷却体、半裂式空心钨极和四路送粉通道;

[0011] SiO₂玻璃管穿过钨极紫铜冷却体,钨极紫铜冷却体设置在四路送粉喷嘴内,四路送粉通道设置在四路送粉喷嘴底部;

[0012] 半裂式空心钨极的上端伸入钨极紫铜冷却体内,SiO₂玻璃管的下端伸入半裂式空心钨极;

[0013] SiO₂玻璃管、半裂式空心钨极及四路送粉喷嘴采用同轴设计。

[0014] 钨极紫铜冷却体上有水冷通道,水冷通道可以围绕SiO₂玻璃管(3)。

[0015] 四路送粉通道输出四路粉末,四路粉末汇聚处与半裂式空心钨极维持同轴的关系。

系。

[0016] 四路送粉通道采用锥台形设计。

[0017] 四路送粉喷嘴采用铜材料,且四路送粉喷嘴上部带有冷却水通道。

[0018] 四路送粉喷嘴上部还设置有保护气通道;钨极紫铜冷却体与四路送粉喷嘴之间形成通道,该通道与保护气通道连通。

[0019] 该装置的钨极端头从四路送粉喷嘴伸出, SiO_2 玻璃管从钨极端头缩进去。

[0020] 钨极端头从四路送粉喷嘴伸出长度为2-5mm; SiO_2 玻璃管从钨极端头缩进去的深度2-5mm。

[0021] 利用如上所述的一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置所实施的制造方法:

[0022] 电源的一个极通过钨极紫铜冷却体与钨极相连,电源另一个极与基板或工作台相连接,电流通过钨极、等离子体电弧及基板形成闭合回路。并维持稳定燃烧。

[0023] 通过高频引弧或者脉冲引弧起燃电弧,通过钨极、等离子体导体及基板形成闭合回路,并保持电弧稳定燃烧;与此同时将丝材及粉末输送到熔池的上方;利用电弧热源将丝材和粉末熔化,并进入到熔池,在熔池搅拌力作用下,形成均一的沉积层。

[0024] 优点效果:

[0025] 本发明提供一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置及工艺方法,通过四路送粉通道,最多可实现四种不同成分合金粉末的供给,并且各送粉通道的送粉量可调节,易实现功能梯度结构材料零部件的增材制造,使增材制造零部件的材料、结构及使用性能达到最适匹配。

[0026] 所述四路送粉喷嘴6可调节粉末输送量,粉末通过送粉气体将粉末输送到熔池的上方;同时也可调节送丝(送粉量)速度。实现了同时和同轴的弧内送丝和弧外送粉。所以通过单一送粉量调节或送丝速度调节,匹配电流的调节,可容易实现沉积层余高和熔宽的调控。

[0027] 本发明采用两个半裂式空心钨极,半裂式空心钨极芯部有一根 SiO_2 玻璃管,该 SiO_2 玻璃管的作用能有效地防止丝材与钨极之间的接触导电,起到了一个绝缘的作用。

[0028] 电源的一个极通过钨极紫铜冷却体与钨极相连,电源另一个极与基板11或工作台12相连接,引弧是通过高频和脉冲实现的,电流通过钨极、等离子体电弧及基板形成闭合回路,并维持电弧稳定燃烧。

[0029] 所述 SiO_2 玻璃管3上方的送丝轮1用于保证丝材2的矫直,并保证一定的直线度,使丝材2平稳送到熔池的上方,使之熔化,以熔滴形式或短路形式过渡到熔池中。

[0030] 送粉量可通过送粉器进行调节,送粉量0-150g/min,粉末粒度范围10-200 μm ,送粉误差 $\leq 2\%$ 。可实现任意种类合金粉末的输送,其中包括纯金属粉末、合金粉末及陶瓷粉末等。

[0031] 该装置的钨极端头8从四路送粉喷嘴6伸出,其伸出长度2-5mm, SiO_2 玻璃管3从钨极端头缩进去,缩进深度2-5mm,这样结构设计可充分保证四路送粉喷嘴6、钨极8及 SiO_2 玻璃管3的使用寿命及稳定性。

[0032] 钨极(电弧)、丝材及四路送粉喷嘴同轴设计,四路合金粉末汇聚于熔池上方,并与丝材在熔池的上方熔化。针对TIG电弧增材制造,本发明通过丝材与粉末的同步熔化,由于

粉末熔化吸收了一部分电弧能量,使基板的热输入量降低,容易获得低稀释率的沉积层,提高了电弧增材制造的沉积效率。

[0033] 通过钨极紫铜冷却体7与四路送粉喷嘴6之间形成的空间环形体通道,将保护气体从空间环形体的端部环形喷嘴吹向熔池及加热区域,以隔绝空气中有害气体对沉积层的侵害,保证增材制造成型质量。

[0034] 本发明一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置及工艺方法,其工艺方法为:通过高频引弧或者脉冲引弧起燃电弧,通过钨极、等离子体导电体(电弧)及基板形成闭合回路,并保持电弧稳定燃烧。与此同时通过送丝通道及送粉通道将丝材及粉末输送到熔池的上方。利用电弧热源将丝材和粉末熔化,并进入到熔池,在熔池搅拌力作用下,形成均一的沉积层。

[0035] 本发明其工艺特点是电弧内送丝及电弧外送粉、TIG电弧钨极为半裂空心状、具有较大热容量、电弧形态为环形电弧,能够满足低成本高效率TIG电弧增材制造工艺的需求。

[0036] 当复杂零部件增材制造方向改变时,充分保证了钨极(电弧)、丝材及粉末流在空间位置上的恒定不变,即保证了增材制造过程中工艺条件恒定不变,又实现了同时和同轴弧内送丝和弧外送粉的功能。

[0037] 综上,本发明具体优点如下:

[0038] 本发明实现了四路粉末与丝材的同时和同轴供给。当复杂零部件增材制造方向改变时,充分保证了钨极(电弧)、丝材及粉末流在空间位置上的恒定不变,即保证了增材制造过程中工艺条件恒定不变。

[0039] 所述四路送粉喷嘴6可调节粉末输送量,粉末通过送粉气体将粉末运送到熔池的上方;同时也可调节送丝速度。所以通过单一送粉量调节或送丝速度调节,匹配电流的调节,可容易实现沉积层余高和熔宽的调控。

[0040] 本发明通过四路送粉通道,最多可实现四种不同成分合金粉末的供给,并且各送粉通道的送粉量可调节,易实现功能梯度结构材料零部件的增材制造,使增材制造零部件的材料、结构及使用性能达到最适匹配。

[0041] 本发明采用两个半裂式空心钨极,半裂式空心钨极芯部有一根SiO₂玻璃管,该SiO₂玻璃管的作用能有效地防止丝材与钨极之间的接触导电,起到了一个绝缘的作用。

[0042] 送粉量可通过送粉器进行调节,送粉量0-150g/min,粉末粒度范围10-200um,送粉误差≤2%。可实现任意种类合金粉末的输送,其中包括纯金属粉末、合金粉末及陶瓷粉末等。

[0043] 本发明通过钨极紫铜冷却体7与四路送粉喷嘴6之间形成的空间环形体通道,将保护气体从空间环形体的端部环形喷嘴吹向熔池及加热区域,以隔绝空气中有害气体对沉积层的侵害,保证增材制造成型质量。

[0044] 钨极(电弧)、丝材及四路送粉喷嘴同轴设计,四路合金粉末汇聚于熔池上方,并与丝材在熔池的上方熔化。针对TIG电弧增材制造,本发明通过丝材与粉末的同步熔化,由于粉末熔化吸收了一部分电弧能量,使基板的热输入量降低,容易获得低稀释率的沉积层,提高了电弧增材制造的沉积效率。

[0045] 该装置的钨极端头8从四路送粉喷嘴6伸出,其伸出长度2-5mm,SiO₂玻璃管3从钨极端头缩进去,缩进深度2-5mm,这样结构设计可充分保证四路送粉喷嘴6、钨极8及SiO₂玻

璃管3的使用寿命及稳定性。

[0046] 电源的一个极通过钨极紫铜冷却体与钨极相连,电源另一个极与基板或工作台相连接,引弧是通过高频和脉冲实现的,电流通过钨极、等离子体电弧及基板形成闭合回路,并维持电弧稳定燃烧。同时使丝材熔化,以熔滴形式或短路形式过渡到熔池中。

附图说明:

[0047] 图1为本发明一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置及工艺方法的装置结构剖面示意图。

[0048] 图2为本发明一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置及工艺方法的增材制造过程示意图。

[0049] 图2中:1-送丝轮,2-丝材,3-SiO₂玻璃管,4-钨极紫铜冷却体水冷通道,5-送粉喷嘴冷却水通道,6-四路送粉喷嘴,7-钨极紫铜冷却体,8-半裂式空心钨极,9-送粉通道,10-保护气通道,11-基板,12-工作台。

具体实施方式

[0050] 一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置,该装置包括SiO₂玻璃管3、四路送粉喷嘴6、钨极紫铜冷却体7、半裂式空心钨极8和四路送粉通道9;

[0051] SiO₂玻璃管3穿过钨极紫铜冷却体7,钨极紫铜冷却体7设置在四路送粉喷嘴6内,四路送粉通道9设置在四路送粉喷嘴6底部(即如图2所示的底部的圆台体处);

[0052] 半裂式空心钨极8的上端伸入钨极紫铜冷却体7内,SiO₂玻璃管3的下端伸入半裂式空心钨极8;

[0053] SiO₂玻璃管3、半裂式空心钨极8及四路送粉喷嘴6采用同轴设计。

[0054] 半裂式空心钨极(8)与丝材通过SiO₂玻璃管(3)隔开,目的是防止丝材与钨极之间导电,起到了一个绝缘的作用。

[0055] 钨极紫铜冷却体7上有水冷通道4。水冷通道用来间接冷却钨极,可以减少钨极损耗,如图2所示的,水冷通道4可以环绕SiO₂玻璃管3设置;

[0056] 四路送粉通道9(如图2所示的斜向)输出四路粉末,四路粉末汇聚处与半裂式空心钨极8维持同轴的关系。在增材过程中合金粉末与丝材汇聚于熔池的上方。

[0057] 四路送粉通道9采用锥台形设计。

[0058] 四路送粉喷嘴6采用铜材料,且四路送粉喷嘴6上部带有冷却水通道5。(冷却水通道5可以环绕四路送粉喷嘴6设置)

[0059] 四路送粉喷嘴6上部还设置有保护气通道10;钨极紫铜冷却体7与四路送粉喷嘴6之间形成空间环形体保护气体通道(如图2所示,该通道由上至下一直延伸至底部的四路送粉喷嘴6出口处),该通道与保护气通道10连通。通过钨极紫铜冷却体7与四路送粉喷嘴6之间形成的空间环形体通道,将保护气体从空间环形体的端部(如图2所示的下端)环形喷嘴吹向熔池及加热区域,以隔绝空气中有害气体对沉积层的侵害,保证增材制造成形和质量。

[0060] 该装置的钨极端头8从四路送粉喷嘴6(如图2所示的底部)伸出,SiO₂玻璃管3从钨极端头8(如图2所示的向上)缩进去。这样结构设计可充分保证四路送粉喷嘴6、钨极8及SiO₂玻璃管3的使用寿命及稳定性。

[0061] 钨极端头8从四路送粉喷嘴6伸出长度为2-5mm;SiO₂玻璃管3从钨极端头8缩进去的深度(就是如图2所示的上下方向)2-5mm。

[0062] 也就是说该装置的钨极端头(8)从四路送粉喷嘴(6)伸出,其伸出长度2-5mm,SiO₂玻璃管(3)从钨极端头缩进去,缩进深度2-5mm,这样结构设计可充分保证四路送粉喷嘴(6)、钨极(8)及SiO₂玻璃管(3)的使用寿命及稳定性。

[0063] 一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造方法,电源的一个极通过钨极紫铜冷却体7与钨极8相连,电源另一个极与基板11或工作台12相连接,引弧是通过高频和脉冲实现的,电流通过钨极、等离子体电弧及基板形成闭合回路,并维持稳定燃烧。

[0064] 通过高频引弧或者脉冲引弧起燃电弧,通过钨极、等离子体导体(电弧)及基板形成闭合回路,并保持电弧稳定燃烧;与此同时通过送丝通道及送粉通道将丝材及粉末输送到熔池的上方;利用电弧热源将丝材和粉末熔化,并进入到熔池,在熔池搅拌力作用下,形成均一的沉积层。

[0065] 半裂式空心钨极8与丝材2通过SiO₂玻璃管3隔开,目的是防止丝材与钨极之间导电,起到了一个绝缘的作用。

[0066] 丝材2穿过SiO₂玻璃管3且上端与外界送丝机构1相连;四路送粉喷嘴6(四路送粉通道9)与外界送粉器相连,且四路粉末汇聚于熔池的上方,四路粉末汇聚处与半裂式空心钨极8维持同轴的关系;

[0067] 所述SiO₂玻璃管3上方的送丝轮1用于保证丝材2的矫直,并保证一定的直线度,使丝材2平稳送到熔池的上方,使之熔化,以熔滴形式或短路形式过渡到熔池中。

[0068] 所述四路送粉喷嘴6可调节粉末输送量,粉末通过送粉气体将粉末运送到熔池的上方;同时也可调节送丝(送粉量);实现了同时和同轴的弧内送丝和弧外送粉。所以通过单一送粉量调节或送丝速度调节,匹配电流的调节,可容易实现沉积层余高和熔宽的调控。

[0069] 同轴弧内送丝和弧外送粉半裂式空心钨极TIG电弧在增材过程中不受方向改变而影响电极、丝材及粉末流的三者空间位置关系,即保证了增材制造过程中条件的恒定不变,适合复杂零部件的增材制造。

[0070] 送粉量可通过送粉器进行调节,送粉量0-150g/min,粉末粒度范围10-200um,送粉误差≤2%。可实现任意种类合金粉末的输送,其中包括纯金属粉末、合金粉末及陶瓷粉末等。

[0071] 因为有四路送粉通道,最多可实现四种不同合金粉末的输送。通过合金粉末成分和送粉量的变化,可实现功能梯度结构材料零部件的制造,使增材制造零部件的材料,结构及性能达到最适匹配。

[0072] 下面对本发明做进一步的详细说明:

[0073] 本发明包括半裂式空心钨极,送丝和送粉三大机构,钨极包括:两个半裂式钨极8,钨极紫铜冷却体7,钨极紫铜冷却体上有水冷通道(目的是对半裂式空心钨极起到冷却作用);送丝机构包括:送丝轮1,丝材2,SiO₂玻璃管3,丝材通过SiO₂玻璃管送入熔池上方;送粉机构包括:四路送粉喷嘴6,送粉喷嘴冷却水通道5,送粉通道9,四路送粉喷嘴6环绕于钨极紫铜冷却体7周围,保护气体通过四路送粉喷嘴6与钨极紫铜冷却体7之间形成的空间环形体的端部环形喷嘴吹向熔池及加热区域,防止熔池发生氧化,从而实现一种同时和同轴弧内送丝和弧外送粉TIG电弧增材制造装置。

[0074] 本发明一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置及工艺方法的工艺方法为：

[0075] 半裂式空心钨极8高频振荡引弧或脉冲引弧，产生的环形电弧将其丝材熔化并以熔滴过渡或短路过渡的形式进入到熔池，四路送粉喷嘴6环绕于紫铜冷却体7周围，与丝材2形成同轴，通过送粉通道将粉末送到熔池上方，电弧热使粉末熔化，并过渡到熔池中，在熔池搅拌力作用下，使丝材、粉末及基板形成均一沉积层，从而实现单丝电弧四路送粉的电弧增材制造工艺。

[0076] 本发明实现了四路粉末与丝材的同轴供给，能够实现复杂零部件增材制造过程中方向改变时，保证增材制造工艺方法条件恒定不变。

[0077] 本发明通过增材制造过程中工艺方法条件(送粉量)的调节，可实现增材制造零部件成分的调节，从而提高增材制造零部件的使用性能。

[0078] 本发明通过四路送粉通道，最多可实现四种不同成分合金粉末的供给，并且通过增材制造工艺方法条件(各送粉通道的送粉量)的调节，实现功能梯度结构材料零部件的增材制造工艺方法，使增材制造零部件的材料、结构及使用性能达到最适匹配。

[0079] 本发明一种同轴弧内送丝与弧外送粉TIG电弧增材制造装置及工艺方法，其工艺特点是电弧内送丝及电弧外送粉、TIG电弧钨极为空心状、具有较大热容量、电弧形态为环形电弧，能够满足低成本高效率TIG电弧增材制造工艺。

[0080] 综上，本申请的钨极、丝材及粉末流在空间上保持着同轴性，当增材制造方向改变时，钨极(电弧)、丝材及粉末流三者空间位置上保持不变，充分保证了增材制造过程条件的恒定，也保证成形性和成形质量的稳定。

[0081] 本申请通过合金粉末的供给，弥补增材制造过程中合金元素的氧化、烧损及蒸发等损失，保证电弧增材制造零部件合金成分的可调节性，充分保证了增材制造零部件使用性能的稳定。

[0082] 本申请通过同轴可给熔池送入所需合金粉末，可实现大范围合金成分的调节。

[0083] 本申请通过四路同轴送粉装置，可以同时满足最多四种不同成分合金粉末按着不同的送粉量进行供给，可以方便和容易实现功能梯度结构材料零部件的制造，使增材制造零部件的材料、结构及使用性能能够得到最佳匹配。

[0084] 查阅国内外TIG电弧增材制造的焊枪装置，本申请的同时弧内送丝和弧外送粉末，使钨极(电弧)、丝材及粉末流在空间位置上形成同轴关系，这样的装置尚未查到，而且其本装置采用半裂式空心钨极，实现了同时和同轴弧内送丝和弧外送粉末的功能，也是本申请特点之一。

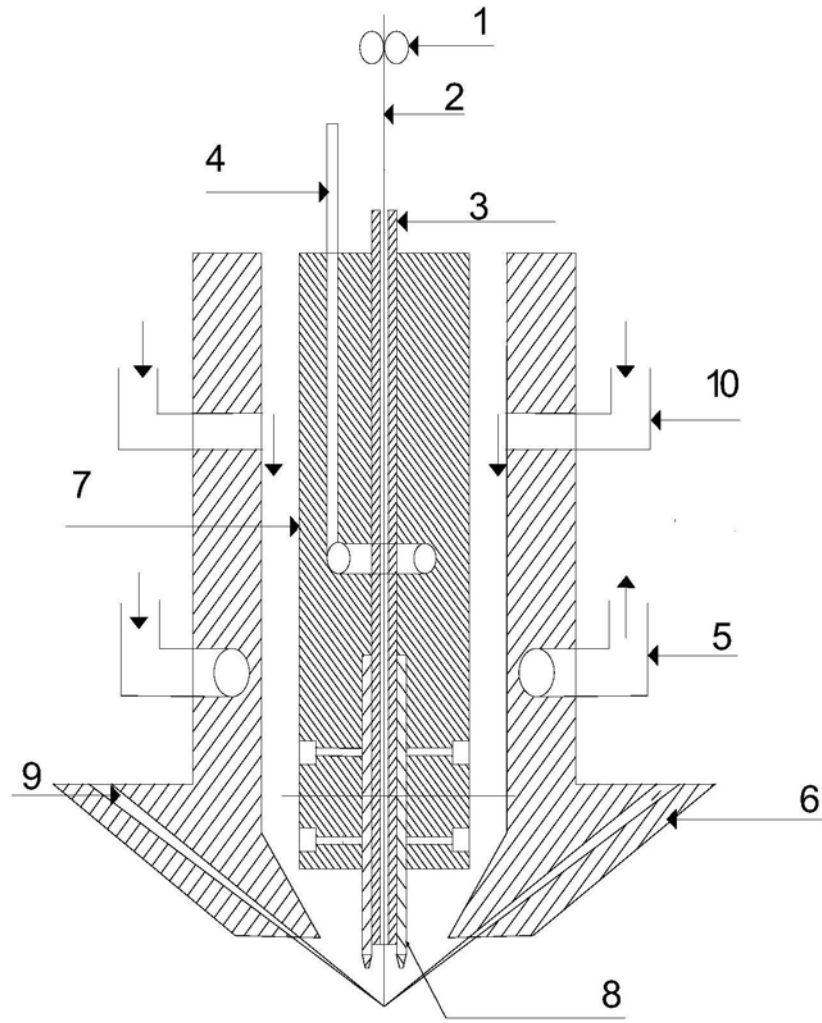


图1

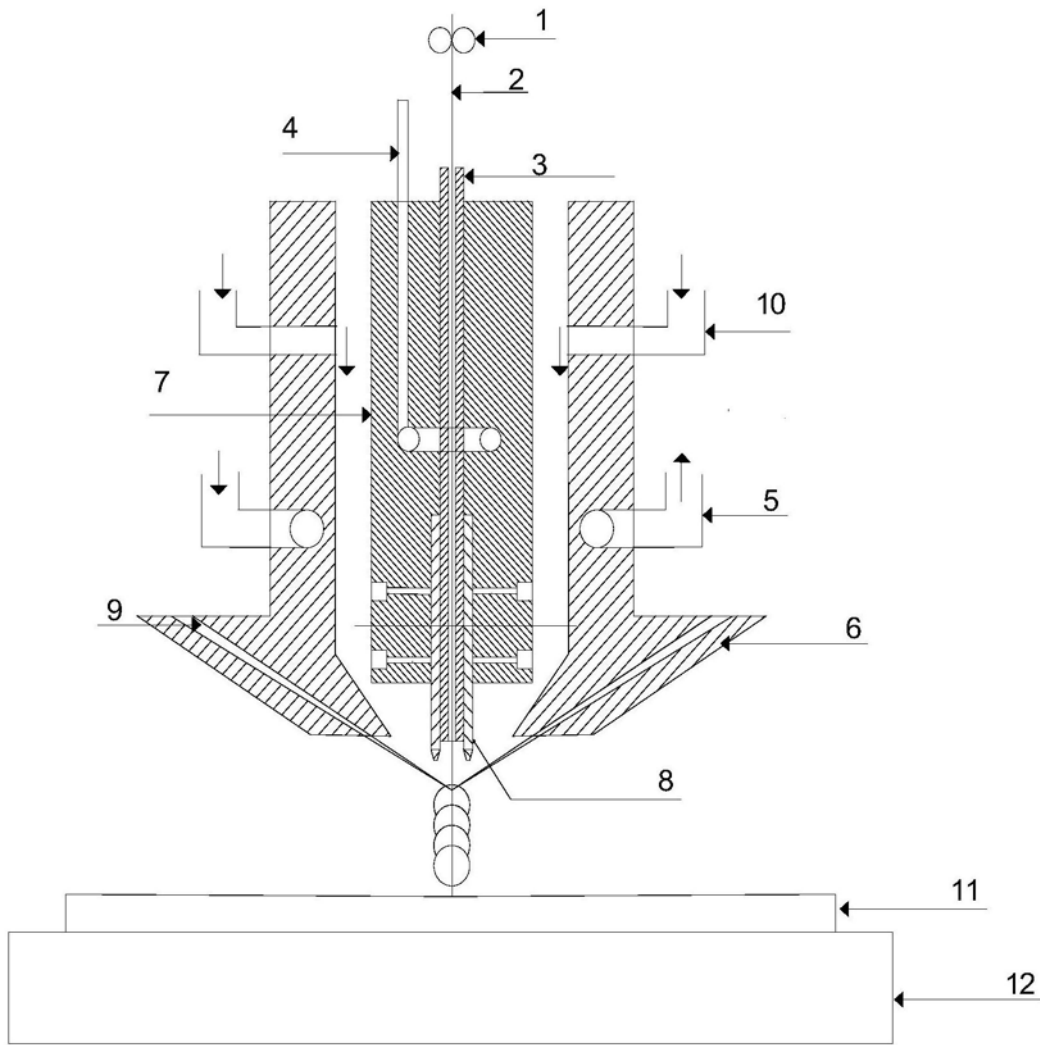


图2