



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106001573 B

(45)授权公告日 2018.03.09

(21)申请号 201610538545.7

B22F 5/10(2006.01)

(22)申请日 2016.07.08

B22F 3/24(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

B33Y 10/00(2015.01)

申请公布号 CN 106001573 A

审查员 辛立君

(43)申请公布日 2016.10.12

(73)专利权人 湖北三江航天江北机械工程有限公司

地址 432000 湖北省孝感市北京路特6号

(72)发明人 韶娜 吴钦 初敬生 徐明亮
李俊 卢启辉

(74)专利代理机构 武汉开元知识产权代理有限公司 42104

代理人 胡镇西 张继巍

(51)Int.Cl.

B22F 3/105(2006.01)

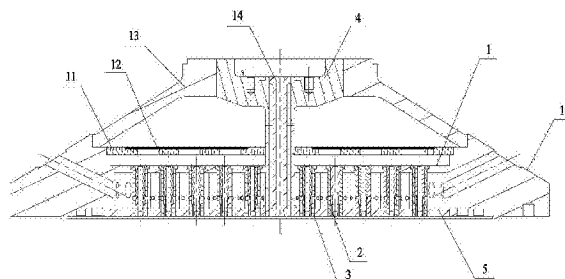
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

镍基高温合金喷注器成型方法

(57)摘要

本发明公开了一种镍基高温合金喷注器成型方法,基于增材制造技术设计并优化三维模型,三维模型立体成型毛坯件,毛坯件整体表面吹砂打磨、并在毛坯件成型四十八小时内进行热处理,毛坯件机加去除成型基板和支撑结构,然后对喷注器中底和喷注器下底进行铣加工,对点火通道套管进行车加工,对内喷嘴、外喷嘴及燃料通孔进行抛光,将整流板、滤网、上底、点火通道及喷注器环机加到立体成型精加工件形成镍基高温合金喷注器。本发明采用激光选区熔化技术,利用逐层烧结熔化的原理,将镍基高温合金粉末逐层成形,最终将喷注器打印成形;并采用磨粒流抛光技术对喷注器的内孔内腔进行整体抛光,使零件满足表面及内腔光洁度的要求。



1. 一种镍基高温合金喷注器成型方法,其特征在于:所述成型方法包括如下步骤:

1) 基于增材制造技术设计并优化三维模型:按照激光选区熔化技术对三维模型的最小特征要求,利用三维软件设计喷注器三维模型;

其中,设计成型方向:喷注器三维模型中的喷注器下底(5)与成型基板(7)的倾斜角度为 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$;设计支撑结构:喷注器下底(5)与成型基板(7)之间设有支撑结构(8),支撑结构(8)与成型基板(7)垂直;

2) 三维模型立体成型毛坯件:将步骤1)中的喷注器三维模型导入三维打印编辑软件中,通过切片软件对该三维模型进行二维切片分层,得到各层的二维切片数据,并将各层的二维切片数据导入金属粉末激光选区熔化系统,采用镍基高温合金粉末,控制激光选区熔化工艺参数,进行激光选区熔化立体成型毛坯件;

控制激光选区熔化工艺参数具体如下:

镍基高温合金粉末粒径为 $20\sim 50\mu\text{m}$,脉冲激光平均激光功率为 $100\sim 500\text{W}$,扫描速度为 $1000\sim 1500\text{mm/s}$,分层厚度为 $20\sim 60\mu\text{m}$,激光搭接为 $0\sim 1\text{mm}$,成型效率为 $100\sim 200\text{g/h}$,X轴、Y轴的偏移均为 $0.05\sim 0.15\%$,光斑补偿为 $0.05\sim 0.13\text{mm}$;

3) 毛坯件整体表面吹砂打磨、并在毛坯件成型四十八小时内进行热处理;镍基高温合金的热处理制度:固溶处理:随炉升温至 $500^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 后,保温 $30\sim 40\text{min}$,继续升温至 $980^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$,且升温、保温及继续升温过程中均保持热室真空压强 $\leq 6.67\times 10^{-2}\text{Pa}$;继续升温至 $980^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 后,在压力为 $100\sim 200\text{Pa}$ 下进行氩气氛围保温 $1\sim 2\text{h}$,然后 $3\sim 4\text{Bar}$ 气氛中冷却至 300°C 后,出炉空冷至室温;时效处理:随炉升温至 $720^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$,保温 $7\sim 8\text{h}$, $1\sim 2\text{h}$ 内炉冷至 $620^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$,保温 $7\sim 8\text{h}$,且升温、保温过程中均保持热室真空压强 $\leq 6.67\times 10^{-2}\text{Pa}$; $1\sim 2\text{Bar}$ 气氛中冷却至 300°C 后,出炉空冷至室温;

4) 经过步骤3)处理的毛坯件机加去除成型基板和支撑结构,然后对喷注器中底和喷注器下底进行铣加工,对点火通道套管进行车加工形成立体成型精加工件;

5) 对立体成型精加工件的内喷嘴(2)、外喷嘴(3)及燃料通孔(9)进行抛光;

6) 将整流板(11)、滤网(12)、上底(13)、点火通道(14)及喷注器环(10)机加到经过步骤5)处理的立体成型精加工件形成镍基高温合金喷注器。

2. 根据权利要求1所述的镍基高温合金喷注器成型方法,其特征在于:所述步骤3)中,毛坯件整体表面吹砂打磨所采用的吹砂压力为 $1\sim 2\text{MPa}$ 、石英砂粒度为 $80\sim 200$ 目。

3. 根据权利要求1所述的镍基高温合金喷注器成型方法,其特征在于:所述步骤5)中,对内喷嘴(2)、外喷嘴(3)及燃料通孔(9)进行抛光的具体过程如下:

依次采用 $70\sim 80$ 目、 $180\sim 200$ 目及 $360\sim 400$ 目的弹性磨料分别对内喷嘴(2)、外喷嘴(3)及燃料通孔(9)进行三次抛光,且在抛光过程中维持内喷嘴(2)、外喷嘴(3)及燃料通孔(9)的压力在 $1.0\sim 1.5\text{MPa}$ 。

镍基高温合金喷注器成型方法

技术领域

[0001] 本发明属于液体火箭发动机推力室头部镍基高温合金喷注器的制造领域,具体涉及一种镍基高温合金喷注器成型方法。

背景技术

[0002] 液体火箭发动机推力室头部镍基高温合金喷注器的传统制造工艺包含机械加工、焊接和热处理等一系列工艺过程,包括近30道工序,机加和焊接难度和质量风险较大。

[0003] 液体火箭发动机推力室头部喷注器的工艺难点集中在喷注器环、中底、内喷嘴、外喷嘴和下底之间,中底和下底焊接固定于喷注器环的相应位置,90个外喷嘴焊接于中底和下底之间,90个内喷嘴焊接于外喷嘴中心孔内,其工艺难点主要体现在以下几个方面:

[0004] (1) 90个外喷嘴和90个内喷嘴的焊接难度较大,焊接质量不易保证,焊缝质量不易检测;

[0005] (2) 材料均为加工性能较差的镍基高温合金,而且孔尺寸多为非标尺寸,需采用特制专用合金刀具,刀具成本较高,另外,镍基高温合金加工时需慢速加工,加工效率较慢、周期长,并且加工时容易断刀;

[0006] (3) 部分零件孔结构的长径比较大,加工难度和风险较大;

[0007] (4) 孔的加工精度要求较高,表面粗糙度要求较高,传统机加不易保证,而且,组件上加工的风险较大。

[0008] 另外,此类零件采用传统的加工工艺,材料利用率低、加工成本高,且周期长。

发明内容

[0009] 本发明的目的就是针对上述不足,提供一种能提高产品合格率、加工精度及加工效率的镍基高温合金喷注器成型方法。

[0010] 为实现上述目的,本发明所涉及的镍基高温合金喷注器成型方法,包括如下步骤:

[0011] 1) 基于增材制造技术设计并优化三维模型:按照激光选区熔化技术对三维模型的最小特征要求,利用三维软件设计喷注器三维模型;

[0012] 其中,设计成型方向:喷注器三维模型中的喷注器下底与成型基板的倾斜角度为 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$;设计支撑结构:喷注器下底与成型基板之间设有支撑结构,支撑结构与成型基板垂直;

[0013] 由于喷注器下底有较大悬空平面且喷注器本身无支撑结构的零件,设计打印方向,使喷注器下底与成型基板成 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 夹角保证成型基板对零件有足够的支撑力;由于喷注器下底有较大悬空平面且喷注器本身无支撑结构的零件,设计支撑结构,使喷注器下底不再有大面积悬空。

[0014] 2) 三维模型立体成型毛坯件:将步骤1)中的喷注器三维模型导入三维打印编辑软件中,通过切片软件对该三维模型进行二维切片分层,得到各层的二维切片数据,并将各层的二维切片数据导入金属粉末激光选区熔化系统,采用镍基高温合金粉末,控制激光选区

熔化工艺参数,进行激光选区熔化立体成型毛坯件。

[0015] 3) 毛坯件整体表面吹砂打磨、并在毛坯件成型四十八小时内进行热处理。

[0016] 4) 经过步骤3) 处理的毛坯件机加去除成型基板和支撑结构,然后对喷注器中底和喷注器下底进行铣加工,对点火通道套管进行车加工形成立体成型精加工件;

[0017] 5) 对立体成型精加工件的内喷嘴、外喷嘴及燃料通孔进行抛光。

[0018] 6) 将整流板、滤网、上底、点火通道及喷注器环机加到经过步骤5) 处理的立体成型精加工件形成镍基高温合金喷注器。

[0019] 进一步地,所述步骤2) 中,控制激光选区熔化工艺参数具体如下:

[0020] 镍基高温合金粉末粒径为 $20\sim 50\mu\text{m}$,脉冲激光平均激光功率为 $100\sim 500\text{W}$,扫描速度为 $1000\sim 1500\text{mm/s}$,分层厚度为 $20\sim 60\mu\text{m}$,激光搭接为 $0\sim 1\text{mm}$,成型效率为 $100\sim 200\text{g/h}$,X轴、Y轴的偏移均为 $0.05\sim 0.15\%$,光斑补偿为 $0.05\sim 0.13\text{mm}$ 。

[0021] 进一步地,所述步骤3) 中,毛坯件整体表面吹砂打磨所采用的吹砂压力为 $1\sim 2\text{MPa}$ 、石英砂粒度为 $80\sim 200$ 目。

[0022] 进一步地,所述步骤3) 中,镍基高温合金的热处理制度:固溶处理:随炉升温至 $500\text{℃}\pm 10\text{℃}$ 后,保温 $30\sim 40\text{min}$,继续升温至 $980\text{℃}\pm 10\text{℃}$,且升温、保温及继续升温过程中均保持热室真空压强 $\leq 6.67\times 10^{-2}\text{Pa}$;继续升温至 $980\text{℃}\pm 10\text{℃}$ 后,在压力为 $100\sim 200\text{Pa}$ 下进行氩气氛围保温 $1\sim 2\text{h}$,然后 $3\sim 4\text{Bar}$ 气氛中冷却至 300℃ 后,出炉空冷至室温;时效处理:随炉升温至 $720\text{℃}\pm 5\text{℃}$,保温 $7\sim 8\text{h}$, $1\sim 2\text{h}$ 内炉冷至 $620\text{℃}\pm 5\text{℃}$,保温 $7\sim 8\text{h}$,且升温、保温过程中均保持热室真空压强 $\leq 6.67\times 10^{-2}\text{Pa}$; $1\sim 2\text{Bar}$ 气氛中冷却至 300℃ 后,出炉空冷至室温。

[0023] 进一步地,所述步骤5) 中,对内喷嘴、外喷嘴及燃料通孔进行抛光的具体过程如下:

[0024] 依次采用 $70\sim 80$ 目、 $180\sim 200$ 目及 $360\sim 400$ 目的弹性磨料分别对内喷嘴、外喷嘴及燃料通孔进行三次抛光,且在抛光过程中维持内喷嘴、外喷嘴及燃料通孔的压力在 $1.0\sim 1.5\text{MPa}$ 。

[0025] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:本发明采用激光选区熔化技术,利用逐层烧结熔化的原理,将镍基高温合金粉末逐层成形,最终将喷注器打印成形;并采用磨粒流抛光技术对喷注器的内孔内腔进行整体抛光,使零件满足表面及内腔光洁度的要求;使得产品合格率由普通机加小于 50% ,提高到 99% 以上,加工成本降低了 30% 以上,同时,加工效率提高了 50% 以上。

附图说明

[0026] 图1为本发明实施例中喷注器的三维模型主视半剖结构示意图;

[0027] 图2为图1的俯视结构示意图;

[0028] 图3为本发明实施例中成型方向与支撑结构示意图;

[0029] 图4为图3的侧视结构示意图;

[0030] 图5为本实施例中喷注器的主视半剖结构示意图。

[0031] 其中:中底1、内喷嘴2、外喷嘴3、点火通道套管4、下底5、外侧面6、成型基板7、支撑结构8、燃料通孔9、喷注器环10、整流板11、滤网12、上底13、点火通道14。

具体实施方式

[0032] 下面结合附图1~5和具体实施例对本发明作进一步的详细说明,便于更清楚地了解本发明,但它们不对本发明构成限定。

[0033] 实施例1

[0034] 针对5吨级液体火箭发动机推力室头部喷注器,最大外径尺寸为 $\Phi 190\text{mm}$,高度为55mm。采用GH4169粉末,选用德国EOS-M280设备进行零件成形,并选用普茨迈PCMA-250磨粒流抛光设备进行抛光处理。

[0035] 该喷注器加工的工艺过程如下:

[0036] 1) 基于增材制造技术设计并优化三维模型:按照激光选区熔化技术对三维模型的最小特征要求-即最小支撑壁厚0.4mm,最小的非支撑壁厚0.6mm,最大非支撑外悬部分长度1mm,最小引流孔直径3.5mm等,对三维模型进行优化,利用Pro/E、Creo Parametric等三维软件设计喷注器三维模型,将喷注器中底1、内喷嘴2、外喷嘴3、点火通道套管4、下底5及燃料通孔9,以及中底1和下底5间的外侧面6等结构件设计成一个整体,形成近似封闭腔体,如图1、2所示,使之满足3D打印要求;

[0037] 其中:由于喷注器下底有较大悬空平面且喷注器本身无支撑结构的零件,设计打印方向时,使喷注器下底5与成型基板7成 45° 夹角,保证成型基板对成型零件有足够的支撑力;由于喷注器下底有较大悬空平面且喷注器本身无支撑结构的零件,设计支撑结构,使喷注器下底不再有大面积悬空,即喷注器下底与成型基板7之间设有支撑结构8,支撑结构8与成型基板7垂直,如图3、4所示。

[0038] 2) 三维模型立体成型毛坯件:将步骤1)中的喷注器三维模型导入三维打印编辑软件中,通过切片软件对该三维模型进行二维切片分层,得到各层的二维切片数据,并将各层的二维切片数据导入金属粉末激光选区熔化系统,控制激光选区熔化工艺参数,GH4169粉末粒径为 $20\sim 30\mu\text{m}$,脉冲激光平均激光功率为500W,扫描速度为 1000mm/s ,分层厚度为 $20\mu\text{m}$,激光搭接为0.5mm,成型效率为 100g/h ,X轴、Y轴的偏移均为0.05%,光斑补偿为0.10mm,然后进行激光选区熔化立体成型毛坯件。

[0039] 3) 毛坯件整体表面吹砂打磨、并在毛坯件成型四十八小时内进行热处理:

[0040] 其中,毛坯件整体表面吹砂打磨所采用的吹砂压力为 $1\sim 2\text{MPa}$ 、石英砂粒度为 $80\sim 100$ 目;

[0041] GH4169粉末的热处理制度:固溶处理:随炉升温至 $500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ 后,保温30min,继续升温至 $980^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$,且升温、保温及继续升温过程中均保持热室真空压强 $\leq 6.67\times 10^{-2}\text{Pa}$;继续升温至 $980^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ 后,在压力为 $100\sim 110\text{Pa}$ 下进行氩气氛围保温1h,然后4Bar气氛中冷却至 300°C 后,出炉空冷至室温;时效处理:随炉升温至 $720^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$,保温8h,2h内炉冷至 $620^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$,保温8h,且升温、保温过程中均保持热室真空压强 $\leq 6.67\times 10^{-2}\text{Pa}$;1Bar气氛中冷却至 300°C 后,出炉空冷至室温。

[0042] 4) 经过步骤3)处理的毛坯件机加去除成型基板和支撑结构,然后对喷注器中底和喷注器下底进行铣加工,保证加工精度满足设计要求;对点火通道套管进行车加工,保证加工精度满足设计要求。

[0043] 5) 经过步骤4)处理的毛坯件采用固体磨粒流抛光工艺,对内喷嘴2、外喷嘴3及燃

料通孔9进行抛光:针对不同零件采用与之对应的夹具工装,保证在抛光过程中,磨料能顺利通过需要抛光的内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9;本实施例中依次采用80目、200目及400目的弹性磨料分别对内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9进行三次抛光,且在抛光过程中维持内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9的压力在1.5MPa,最终使内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9表面粗糙度均达到设计要求的Ra1.6 μ m。

[0044] 6) 将整流板11、滤网12、上底13、点火通道14及喷注器环10机加到经过步骤5)处理的立体成型精加工件形成镍基高温合金喷注器,如图5所示。

[0045] 实施例2

[0046] 针对5吨级液体火箭发动机推力室头部喷注器,最大外径尺寸为 Φ 190mm,高度为55mm。采用GH4033粉末,选用德国EOS-M280设备进行零件成形,并选用普茨迈PCMA-250磨粒流抛光设备进行抛光处理。

[0047] 该喷注器加工的工艺过程如下:

[0048] 1) 基于增材制造技术设计并优化三维模型:按照激光选区熔化技术对三维模型的最小特征要求-即最小支撑壁厚0.4mm,最小的非支撑壁厚0.6mm,最大非支撑外悬部分长度1mm,最小引流孔直径3.5mm等,对三维模型进行优化,利用Pro/E、Creo Parametric等三维软件设计喷注器三维模型,将喷注器中底1、内喷嘴2、外喷嘴3、点火通道套管4、下底5及燃料通孔9,以及中底1和下底5间的外侧面6等结构件设计成一个整体,形成近似封闭腔体,使之满足3D打印要求;

[0049] 其中:由于喷注器下底有较大悬空平面且喷注器本身无支撑结构的零件,设计打印方向时,使喷注器下底与成型基板成35°夹角,保证成型基板对成型零件有足够的支撑力;由于喷注器下底有较大悬空平面且喷注器本身无支撑结构的零件,设计支撑结构,使喷注器下底不再有大面积悬空,即喷注器下底与成型基板之间设有支撑结构,支撑结构与成型基板垂直。

[0050] 2) 三维模型立体成型毛坯件:将步骤1)中的喷注器三维模型导入三维打印编辑软件中,通过切片软件对该三维模型进行二维切片分层,得到各层的二维切片数据,并将各层的二维切片数据导入金属粉末激光选区熔化系统,控制激光选区熔化工艺参数,GH4033粉末粒径为30~40 μ m,脉冲激光平均激光功率为300W,扫描速度为1100mm/s,分层厚度为40 μ m,激光搭接为0.4mm,成型效率为120g/h,X轴、Y轴的偏移均为0.10%,光斑补偿为0.08mm,然后进行激光选区熔化立体成型毛坯件。

[0051] 3) 毛坯件整体表面吹砂打磨、并在毛坯件成型四十八小时内进行热处理:

[0052] 其中,毛坯件整体表面吹砂打磨所采用的吹砂压力为1~1.5MPa、石英砂粒度为100~120目;

[0053] GH4033粉末的热处理制度:固溶处理:随炉升温至500 $^{\circ}$ C \pm 10 $^{\circ}$ C后,保温35min,继续升温至980 $^{\circ}$ C \pm 10 $^{\circ}$ C,且升温、保温及继续升温过程中均保持热室真空压强 \leq 6.67 \times 10⁻²Pa;继续升温至980 $^{\circ}$ C \pm 10 $^{\circ}$ C后,在压力为120~130Pa下进行氩气氛围保温1.5h,然后3Bar气氛中冷却至300 $^{\circ}$ C后,出炉空冷至室温;时效处理:随炉升温至720 $^{\circ}$ C \pm 5 $^{\circ}$ C,保温7.5h,1.5h内炉冷至620 $^{\circ}$ C \pm 5 $^{\circ}$ C,保温7h,且升温、保温过程中均保持热室真空压强 \leq 6.67 \times 10⁻²Pa;2Bar气氛中冷却至300 $^{\circ}$ C后,出炉空冷至室温。

[0054] 4) 经过步骤3)处理的毛坯件机加去除成型基板和支撑结构,然后对喷注器中底和

喷注器下底进行铣加工,保证加工精度满足设计要求;对点火通道套管进行车加工,保证加工精度满足设计要求。

[0055] 5) 经过步骤4) 处理的毛坯件采用固体磨粒流抛光工艺,对内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9进行抛光:针对不同零件采用与之对应的夹具工装,保证在抛光过程中,磨料能顺利通过需要抛光的内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9;本实施例中依次采用80目、190目及380目的弹性磨料分别对内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9进行三次抛光,且在抛光过程中维持内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9的压力在1MPa,最终使内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9表面粗糙度均达到设计要求的 $Ra1.6\mu\text{m}$ 。

[0056] 6) 将整流板、滤网、上底、点火通道及喷注器环机加到经过步骤5) 处理的立体成型精加工件形成镍基高温合金喷注器。

[0057] 实施例3

[0058] 针对5吨级液体火箭发动机推力室头部喷注器,最大外径尺寸为 $\Phi 190\text{mm}$,高度为55mm。采用GH3044粉末,选用德国EOS-M280设备进行零件成形,并选用普茨迈PCMA-250磨粒流抛光设备进行抛光处理。

[0059] 该喷注器加工的工艺过程如下:

[0060] 1) 基于增材制造技术设计并优化三维模型:按照激光选区熔化技术对三维模型的最小特征要求-即最小支撑壁厚0.4mm,最小的非支撑壁厚0.6mm,最大非支撑外悬部分长度1mm,最小引流孔直径3.5mm等,对三维模型进行优化,利用Pro/E、Creo Parametric等三维软件设计喷注器三维模型,将喷注器中底1、内喷嘴2、外喷嘴3、点火通道套管4、下底5及燃料通孔9,以及中底1和下底5间的外侧面6等结构件设计成一个整体,形成近似封闭腔体,使之满足3D打印要求;

[0061] 其中:由于喷注器下底有较大悬空平面且喷注器本身无支撑结构的零件,设计打印方向时,使喷注器下底5与成型基板7成 50° 夹角,保证成型基板对成型零件有足够的支撑力;由于喷注器下底有较大悬空平面且喷注器本身无支撑结构的零件,设计支撑结构8,使喷注器下底不再有大面积悬空,即喷注器下底与成型基板之间设有支撑结构,支撑结构与成型基板垂直。

[0062] 2) 三维模型立体成型毛坯件:将步骤1) 中的喷注器三维模型导入三维打印编辑软件中,通过切片软件对该三维模型进行二维切片分层,得到各层的二维切片数据,并将各层的二维切片数据导入金属粉末激光选区熔化系统,控制激光选区熔化工艺参数,GH3044粉末粒径为 $40\sim 50\mu\text{m}$,脉冲激光平均激光功率为100W,扫描速度为1500mm/s,分层厚度为 $60\mu\text{m}$,激光搭接为1mm,成型效率为200g/h,X轴、Y轴的偏移均为0.15%,光斑补偿为0.13mm,然后进行激光选区熔化立体成型毛坯件。

[0063] 3) 毛坯件整体表面吹砂打磨、并在毛坯件成型四十八小时内进行热处理:

[0064] 其中,毛坯件整体表面吹砂打磨所采用的吹砂压力为1.6~2MPa、石英砂粒度为140~200目;

[0065] GH3044粉末的热处理制度:固溶处理:随炉升温至 $500^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ 后,保温40min,继续升温至 $980^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$,且升温、保温及继续升温过程中均保持热室真空压强 $\leq 6.67\times 10^{-2}\text{Pa}$;继续升温至 $980^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ 后,在压力为120~130Pa下进行氩气氛围保温1h,然后3.5Bar气氛中冷却至 300°C 后,出炉空冷至室温;时效处理:随炉升温至 $720^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$,保温8h,1.5h

内炉冷至 $620^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$,保温7.5h,且升温、保温过程中均保持热室真空压强 $\leq 6.67 \times 10^{-2}\text{Pa}$; 2Bar气氛中冷却至 300°C 后,出炉空冷至室温。

[0066] 4) 经过步骤3) 处理的毛坯件机加去除成型基板和支撑结构,然后对喷注器中底和喷注器下底进行铣加工,保证加工精度满足设计要求;对点火通道套管进行车加工,保证加工精度满足设计要求。

[0067] 5) 经过步骤4) 处理的毛坯件采用固体磨粒流抛光工艺,对内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9进行抛光;针对不同零件采用与之对应的夹具工装,保证在抛光过程中,磨料能顺利通过需要抛光的内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9;本实施例中依次采用70目、200目及360目的弹性磨料分别对内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9进行三次抛光,且在抛光过程中维持内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9的压力在1.2MPa,最终使内喷嘴2、外喷嘴3及燃料通孔9表面粗糙度均达到设计要求的 $Ra1.6\mu\text{m}$ 。

[0068] 6) 将整流板、滤网、上底、点火通道及喷注器环机加到经过步骤5) 处理的立体成型精加工件形成镍基高温合金喷注器。

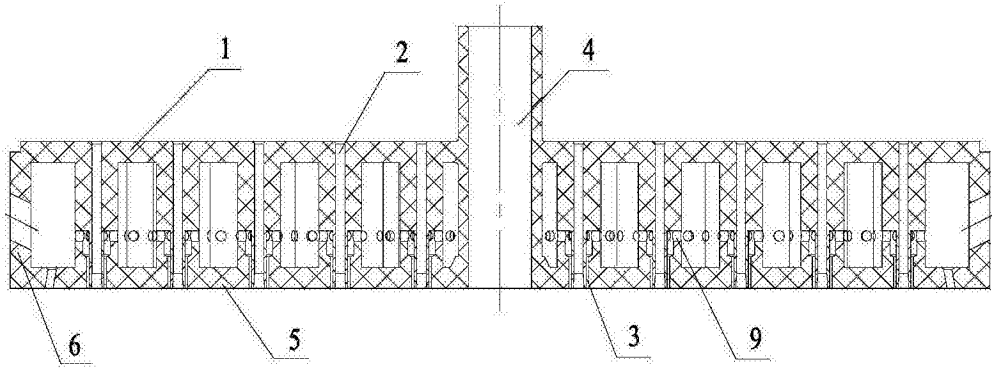


图1

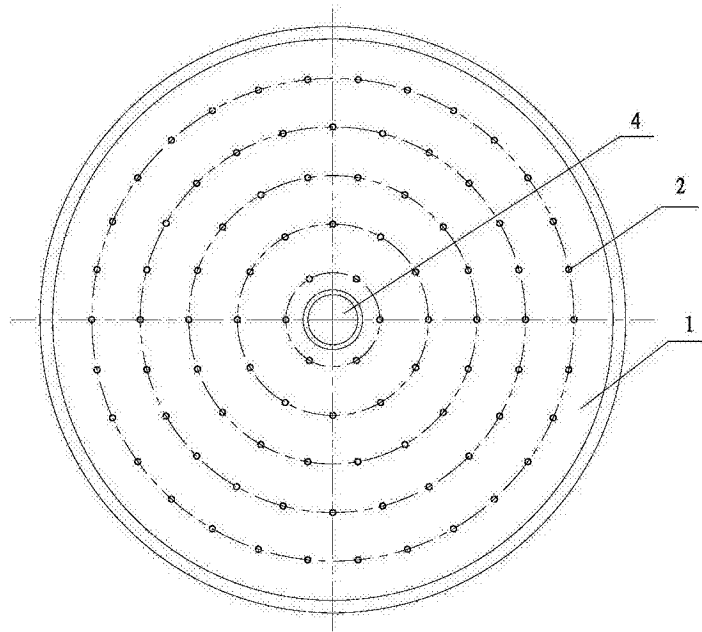


图2

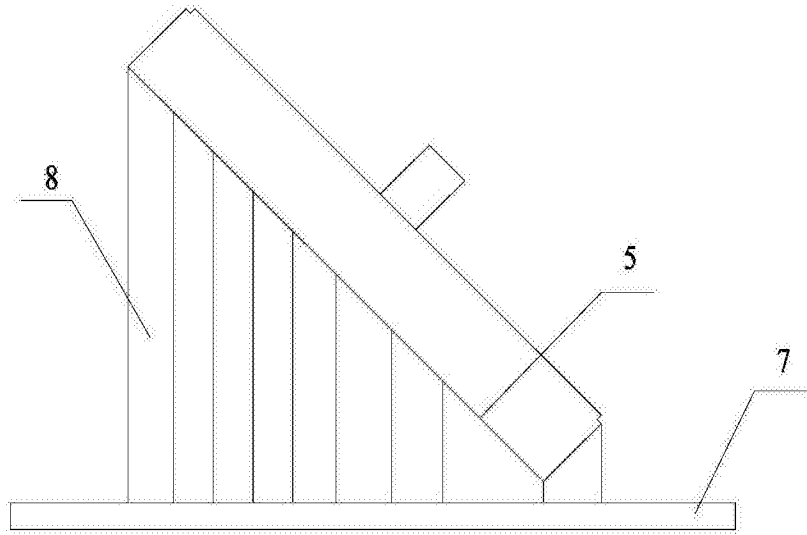


图3

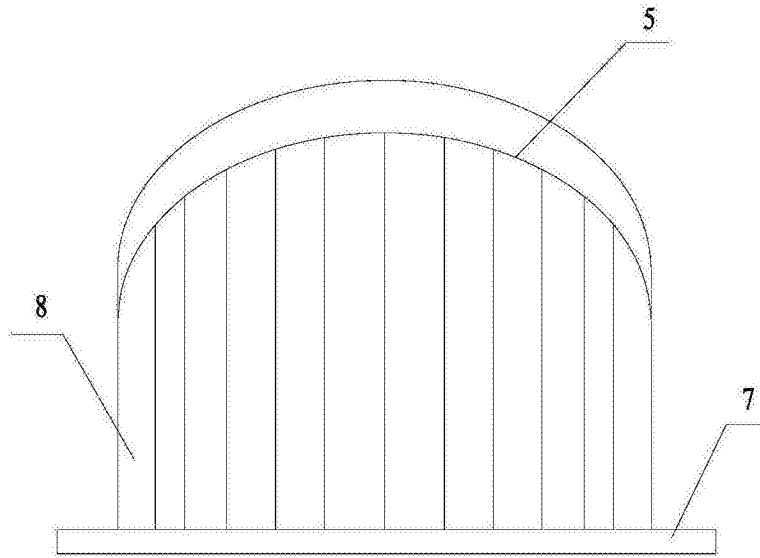


图4

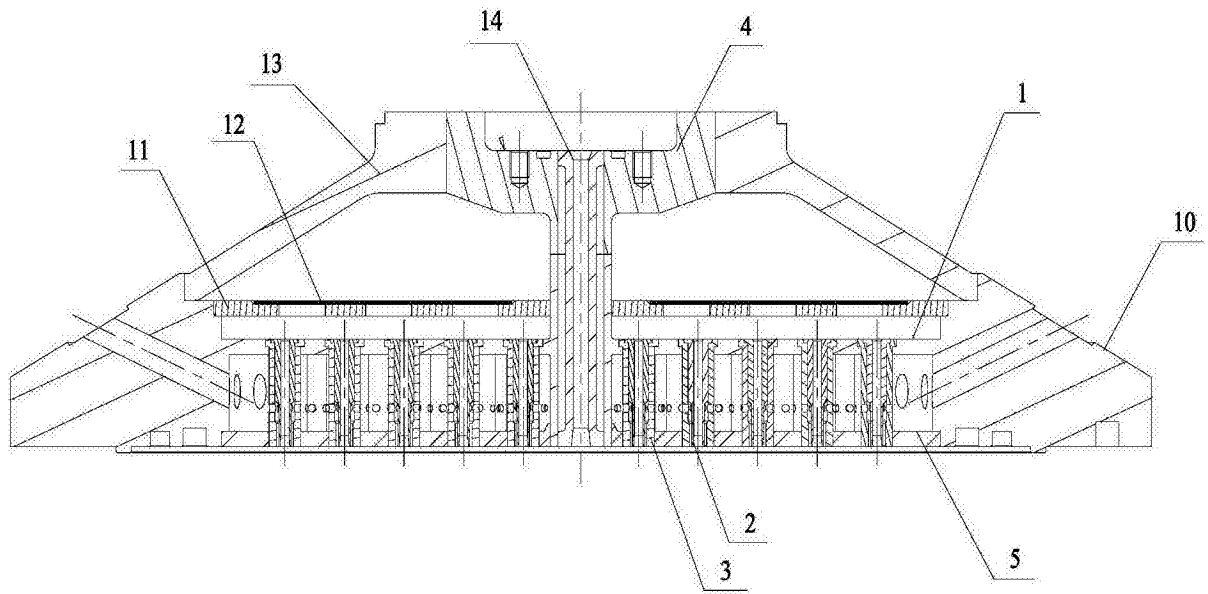


图5