



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109807338 A

(43)申请公布日 2019.05.28

(21)申请号 201910073664.3

(22)申请日 2019.01.25

(71)申请人 航天材料及工艺研究所

地址 100076 北京市丰台区南大红门路1号

申请人 中国运载火箭技术研究院

(72)发明人 孙彦波 徐方涛 石刚 张绪虎

(74)专利代理机构 中国航天科技专利中心

11009

代理人 张丽娜

(51) Int. Cl.

B22F 7/06(2006.01)

B22F 5/12(2006.01)

B22F 1/00(2006.01)

B22F 3/15(2006.01)

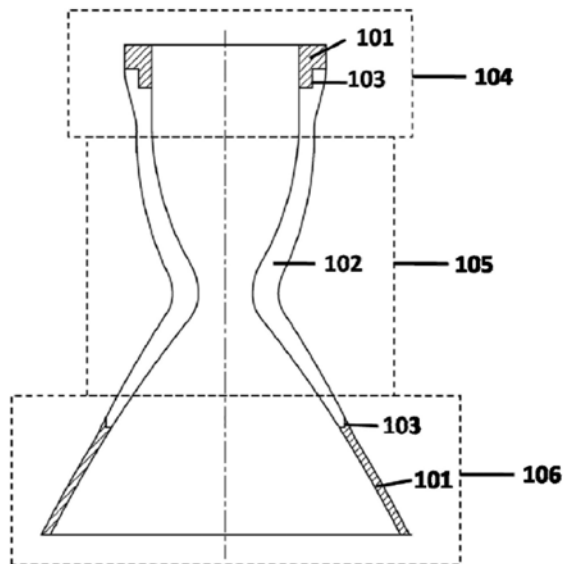
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

一种铌钽复合喷管的分段式制备方法

(57)摘要

本发明涉及一种铌钽复合喷管的分段式制备方法,属于难熔金属材料粉末冶金制备技术领域。本发明中上端与下端的成形包套中包含有钽合金组件用以成形铌钽复合部分。将装入铌粉的包套先通过低温热等静压成形,此时铌构件坯料经成形后具有一定强度且致密度达到99%以上,因上部和下部的铌钽过渡区处在喷管工作的低温区,可以直接加工成形;而中端的铌基体,则再经高温烧结后处理来进一步致密化提高冶金结合强度,使力学性能达到服役要求,再机加工成形。最后将机加工后的喷管上、中、下端通过真空电子束焊接成为一个完整的铌钽复合喷管。



1. 一种铌钽复合喷管的分段式制备方法,其特征在于:所述的铌钽复合喷管包括头部、直线段、收敛段、喉部、扩张段和尾部;头部为钽合金材质,尾部为钽合金材质,直线段、收敛段、喉部和扩张段为铌材质;头部位于直线段的顶部,尾部位于扩张段的底部,将该铌钽复合喷管分为三部分,分别为上端、中端和下端,上端、下端为铌钽复合结构,中端为铌基材;上端为头部和一部分直线段,下端为尾部和一部分扩张段;中端包括另一部分直线段、收敛段、喉部和另一部分扩张段;

头部用于焊接,尾部用于焊接;

该方法的步骤包括:

(a) 对高纯铌粉进行活化处理;

(b) 制备上端近净形模具包套、中端近净形模具包套和下端近净形模具包套;

(c) 利用步骤(b)制备的上端近净形模具包套、中端近净形模具包套和下端近净形模具包套制备上端、中端和下端;

(d) 将步骤(c)得到的上端与中端、下端与中端均采用真空电子束焊或激光焊连接,得到铌钽复合喷管。

2. 根据权利要求1所述的一种铌钽复合喷管的分段式制备方法,其特征在于:所述的步骤(a)中,对高纯铌粉进行活化处理的方法为:

选用100目~325目的高纯铌粉;首先将铌粉在纯度大于99.99%的氢气中800℃~1050℃还原处理0.5~4h,再在真空度高于 $5 \times 10^{-3}$ Pa下900℃~1200℃热处理0.5~4h。

3. 根据权利要求1所述的一种铌钽复合喷管的分段式制备方法,其特征在于:所述的步骤(b)中,上端近净形模具包套包括上端外包套、上端芯模、上端包套盖和钽材质头部,上端包套盖上带有上端出气管;

中端近净形模具包套包括中端外包套、中端芯模、中端包套盖,中端包套盖上带有中端出气管;

下端近净形模具包套包括下端外包套、下端芯模、下端包套盖和钽材质尾部,下端包套盖上带有下端出气管。

4. 根据权利要求3所述的一种铌钽复合喷管的分段式制备方法,其特征在于:钽材质头部的外表面带有机械连接结构,钽材质尾部的外表面带有机械连接结构。

5. 根据权利要求4所述的一种铌钽复合喷管的分段式制备方法,其特征在于:连接结构为齿合沟槽结构、螺纹连接结构或销钉孔结构。

6. 根据权利要求1所述的一种铌钽复合喷管的分段式制备方法,其特征在于:所述的步骤(b)中,上端芯模的材料为纯钽或钽合金;

中端芯模的材料为纯钽或钽合金;

下端芯模的材料为纯钽或钽合金;

上端外包套的材料为钢材、钛、钽或钽材料;

上端包套盖的材料为钢材、钛、钽或钽材料;

中端外包套的材料为钢材、钛、钽或钽材料;

中端包套盖的材料为钢材、钛、钽或钽材料;

下端外包套的材料为钢材、钛、钽或钽材料;

下端包套盖的材料为钢材、钛、钽或钽材料;

上端外包套与上端包套盖的组装采用氩弧焊、电焊或气焊；

中端外包套与中端包套盖的组装采用氩弧焊、电焊或气焊；

下端外包套与下端包套盖的组装用氩弧焊、电焊或气焊。

7. 根据权利要求3所述的一种铌钽复合喷管的分段式制备方法,其特征在于:所述的步骤(c)中,利用上端近净形模具包套制备上端的方法为:

(1) 将上端芯模安装在上端外包套的底部,然后将钽材质头部套在上端芯模上;

(2) 将步骤(a)得到的高纯铌粉装填满上端外包套与钽材质头部、上端芯模形成的空腔中,并振实;

(3) 将上端包套盖焊接固定在上端外包套的顶端,通过上端包套盖上的上端出气管进行除气,除气温度为750~900℃,除气时间为8~48h,最终封装时的真空度要小于 $5 \times 10^{-3}$ Pa;

(4) 将步骤(3)得到的封装有高纯铌粉的上端近净形模具包套进行热等静压处理,热等静压处理结束后去除上端外包套、上端芯模、上端包套盖,得到上端毛坯;

热等静压处理温度为1250℃~1400℃,热等静压处理时间为1~5h,热等静压处理压力 $\geq 110$ MPa;

(5) 对步骤(4)得到的上端毛坯按铌钽复合喷管的尺寸要求进行机械加工,得到上端。

8. 根据权利要求3所述的一种铌钽复合喷管的分段式制备方法,其特征在于:所述的步骤(c)中,利用中端近净形模具包套制备中端的方法为:

(1) 将中端芯模安装在中端外包套的底部;

(2) 将步骤(a)得到的高纯铌粉装填满中端外包套与中端芯模形成的空腔中,并振实;

(3) 将中端包套盖焊接固定在中端外包套的顶端,通过中端包套盖上的中端出气管进行除气,除气温度为750~900℃,除气时间为8~48h,最终封装时的真空度小于 $5 \times 10^{-3}$ Pa;

(4) 将步骤(3)得到的封装有高纯铌粉的中端近净形模具包套进行热等静压处理,热等静压处理结束后利用机械加工或化学铣的方法去除中端外包套、中端芯模、中端包套盖,得到中端纯铌毛坯;

热等静压处理温度为1250℃~1400℃,热等静压处理时间为1~5h,热等静压处理压力 $\geq 110$ MPa;

(5) 将步骤(4)得到的中端铌毛坯再进行高温热处理,然后再进行高温热等静压处理,高温热处理气氛为真空或氢气气氛中,高温热处理温度1800℃~2600℃下,高温热处理时间0.5~6h,高温热等静压处理温度1600℃~2000℃,高温热等静压处理时间1~4h,高温热等静压处理压力为130MPa~200MPa;

(6) 对步骤(5)处理后的中端纯铌毛坯按铌钽复合喷管的尺寸要求进行机加工,得到中端。

9. 根据权利要求1所述的一种铌钽复合喷管的分段式制备方法,其特征在于:所述的步骤(c)中,利用下端近净形模具包套制备下端的方法为:

(1) 将下端芯模安装在下端外包套的底部,然后将钽材质尾部套在下端芯模上;

(2) 将步骤(a)得到的高纯铌粉装填满下端外包套与钽材质尾部、下端芯模形成的空腔中,并振实;

(3) 将下端包套盖焊接固定在下端外包套的顶端,通下端包套盖上的下端出气管进行

除气,除气温度为750~900℃,除气时间为8~48h,最终封装时的真空度小于 $5 \times 10^{-3}$ Pa;

(4) 将步骤(3)得到的封装有高纯铯粉的下端近净形模具包套进行热等静压处理,热等静压处理结束后去除下端外包套、下端芯模、下端包套盖,得到下端毛坯;

热等静压处理温度为1250℃~1400℃,热等静压处理时间为1~5h,热等静压处理压力 $\geq 110$ MPa;

(5) 对步骤(4)得到的下端毛坯按铯铌复合喷管的尺寸要求进行机械加工,得到下端。

10. 根据权利要求1所述的一种铯铌复合喷管的分段式制备方法,其特征在于:所述的步骤(d)中,焊接速度为0.5~3m/min。

## 一种铍铌复合喷管的分段式制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种铍铌复合喷管的分段式制备方法,属于难熔金属材料粉末冶金制备技术领域,提供了一种铍铌复合发动机喷管粉末冶金制备方法,可用于高性能铍铌发动机的研制,应用于卫星等空间飞行器的推进系统。

### 背景技术

[0002] 铍金属熔点高(3180℃)、具有良好的高低温力学性能,以铍为基体铌作涂层的高性能铍铌发动机燃烧室工作温度达2000℃以上,可应用于卫星、空间飞行器的先进发动机上。通常此类燃烧室的直线段需要与钛合金喷注器相焊接,燃烧室的扩张段需要与铌合金延伸段进行焊接,但是由于铍材料熔点高,铍金属与其它金属的焊接连接难度大,焊缝质量难以保证,因此铍与其它金属连接时通常先在该燃烧室的头部和尾部制备铍铌过渡连接,再通过铌合金与其它金属实现较好焊接组装。

[0003] 铍铌过渡连接最早采用化学气相沉积(CVD)法,先成形出铍基体,在铍表面化学气相沉积铌层,此方法制备周期长,费用高,生产效率低。后来有人采用传统粉末冶金冶金一体成形工艺制备铍铌复合燃烧室,但由于铍材料熔点高,通常铍粉末冶金热等静压(HIP)致密化成形需要在1500℃以上,而铌合金在1400℃以上处理性能会急剧恶化,导致制备出的铍铌连接强度低。

### 发明内容

[0004] 本发明的技术解决问题是:克服现有技术的不足,提出一种铍铌复合喷管的分段式制备方法。

[0005] 本发明的技术解决方案是:

[0006] 一种铍铌复合喷管的分段式制备方法,所述的铍铌复合喷管包括头部、直线段、收敛段、喉部、扩张段和尾部;头部为铌合金材质,尾部为铌合金材质,直线段、收敛段、喉部和扩张段为铍材质;头部位于直线段的顶部,尾部位于扩张段的底部,将该铍铌复合喷管分为三部分,分别为上端、中端和下端,上端、下端为铍铌复合结构,中端为铍基材;上端为头部和一部分直线段,下端为尾部和一部分扩张段;中端包括另一部分直线段、收敛段、喉部和另一部分扩张段;

[0007] 头部用于焊接,尾部用于焊接;

[0008] 该方法的步骤包括:

[0009] (a) 对高纯铍粉进行活化处理;

[0010] (b) 制备上端近净形模具包套、中端近净形模具包套和下端近净形模具包套;

[0011] (c) 利用步骤(b)制备的上端近净形模具包套、中端近净形模具包套和下端近净形模具包套制备上端、中端和下端;

[0012] (d) 将步骤(c)得到的上端与中端、下端与中端均采用真空电子束焊或激光焊连接,得到铍铌复合喷管。

[0013] 所述的步骤(a)中,对高纯铈粉进行活化处理的方法为:

[0014] 选用100目~325目的高纯铈粉;首先将铈粉在纯度大于99.99%的氢气中800℃~1050℃还原处理0.5~4h,再在真空度高于 $5 \times 10^{-3}$ Pa下900℃~1200℃热处理0.5~4h。

[0015] 所述的步骤(b)中,上端近净形模具包套包括上端外包套、上端芯模、上端包套盖和铈材质头部,上端包套盖上带有上端出气管;

[0016] 中端近净形模具包套包括中端外包套、中端芯模、中端包套盖,中端包套盖上带有中端出气管;

[0017] 下端近净形模具包套包括下端外包套、下端芯模、下端包套盖和铈材质尾部,下端包套盖上带有下端出气管。

[0018] 铈材质头部的外表面带有机连接结构,铈材质尾部的外表面带有机连接结构。

[0019] 连接结构为齿合沟槽结构、螺纹连接结构或销钉孔结构。

[0020] 所述的步骤(b)中,上端芯模的材料为纯铈或铈合金;

[0021] 中端芯模的材料为纯铈或铈合金;

[0022] 下端芯模的材料为纯铈或铈合金;

[0023] 上端外包套的材料为钢材、钛、钽或铈材料;

[0024] 上端包套盖的材料为钢材、钛、钽或铈材料;

[0025] 中端外包套的材料为钢材、钛、钽或铈材料;

[0026] 中端包套盖的材料为钢材、钛、钽或铈材料;

[0027] 下端外包套的材料为钢材、钛、钽或铈材料;

[0028] 下端包套盖的材料为钢材、钛、钽或铈材料;

[0029] 上端外包套与上端包套盖的组装采用氩弧焊、电焊或气焊;

[0030] 中端外包套与中端包套盖的组装采用氩弧焊、电焊或气焊;

[0031] 下端外包套与下端包套盖的组装用氩弧焊、电焊或气焊。

[0032] 所述的步骤(c)中,利用上端近净形模具包套制备上端的方法为:

[0033] (1) 将上端芯模安装在上端外包套的底部,然后将铈材质头部套在上端芯模上;

[0034] (2) 将步骤(a)得到的高纯铈粉装填满上端外包套与铈材质头部、上端芯模形成的空腔中,并振实;

[0035] (3) 将上端包套盖焊接固定在上端外包套的顶端,通过上端包套盖上的上端出气管进行除气,除气温度为750~900℃,除气时间为8~48h,最终封装时的真空度要小于 $5 \times 10^{-3}$ Pa;

[0036] (4) 将步骤(3)得到的封装有高纯铈粉的上端近净形模具包套进行热等静压处理,热等静压处理结束后去除上端外包套、上端芯模、上端包套盖,得到上端毛坯;

[0037] 热等静压处理温度为1250℃~1400℃,热等静压处理时间为1~5h,热等静压处理压力 $\geq 110$ MPa;

[0038] (5) 对步骤(4)得到的上端毛坯按铈铈复合喷管的尺寸要求进行机械加工,得到上端。

[0039] 所述的步骤(c)中,利用中端近净形模具包套制备中端的方法为:

[0040] (1) 将中端芯模安装在中端外包套的底部;

[0041] (2) 将步骤(a)得到的高纯铈粉装填满中端外包套与中端芯模形成的空腔中,并振实;

[0042] (3) 将中端包套盖焊接固定在中端外包套的顶端,通过中端包套盖上的中端出气管进行除气,除气温度为750~900℃,除气时间为8~48h,最终封装时的真空度小于 $5 \times 10^{-3}$ Pa;

[0043] (4) 将步骤(3)得到的封装有高纯铈粉的中端近净形模具包套进行热等静压处理,热等静压处理结束后利用机械加工或化学铣的方法去除中端外包套、中端芯模、中端包套盖,得到中端纯铈毛坯;

[0044] 热等静压处理温度为1250℃~1400℃,热等静压处理时间为1~5h,热等静压处理压力 $\geq 110$ MPa;

[0045] (5) 将步骤(4)得到的中端铈毛坯再进行高温热处理,然后再进行高温热等静压处理,高温热处理气氛为真空或氢气气氛中,高温热处理温度1800℃~2600℃下,高温热处理时间0.5~6h,高温热等静压处理温度1600℃~2000℃,高温热等静压处理时间1~4h,高温热等静压处理压力为130MPa~200MPa;

[0046] (6) 对步骤(5)处理后的中端纯铈毛坯按铈铌复合喷管的尺寸要求进行机加工,得到中端;

[0047] 所述的步骤(c)中,利用下端近净形模具包套制备下端的方法为:

[0048] (1) 将下端芯模安装在下端外包套的底部,然后将铌材质尾部套在下端芯模上;

[0049] (2) 将步骤(a)得到的高纯铈粉装填满下端外包套与铌材质尾部、下端芯模形成的空腔中,并振实;

[0050] (3) 将下端包套盖焊接固定在下端外包套的顶端,通过下端包套盖上的下端出气管进行除气,除气温度为750~900℃,除气时间为8~48h,最终封装时的真空度小于 $5 \times 10^{-3}$ Pa;

[0051] (4) 将步骤(3)得到的封装有高纯铈粉的下端近净形模具包套进行热等静压处理,热等静压处理结束后去除下端外包套、下端芯模、下端包套盖,得到下端毛坯;

[0052] 热等静压处理温度为1250℃~1400℃,热等静压处理时间为1~5h,热等静压处理压力 $\geq 110$ MPa;

[0053] (5) 对步骤(4)得到的下端毛坯按铈铌复合喷管的尺寸要求进行机械加工,得到下端。

[0054] 所述的步骤(d)中,焊接速度为0.5~3m/min。

[0055] 有益效果

[0056] (1) 本发明利用粉末冶金分段式成形工艺制备铈铌复合喷管既可以获得高强度的铈基体,又克服化学气相沉积法及传统粉末冶金工艺制备铈铌过渡连接的诸多问题,且其成形效率高、成本低。

[0057] (2) 本发明涉及一种制备铈铌复合燃烧室铈构件的成形方法,包括步骤:首先将高纯铈粉通过氢气活化处理去除表面氧化物,再将处理过后的铈粉装入近净成形包套中,其中上端与下端的成形包套中包含有铌合金组件用以成形铈铌复合部分。将装入铈粉的包套先通过低温热等静压成形,此时铈构件坯料经成形后具有一定强度且致密度达到99%以上,因上部和下部的铈铌过渡区处在喷管工作的低温区,可以直接加工成形;而中端的铈基

体,则再经高温烧结后处理来进一步致密化提高冶金结合强度,使力学性能达到服役要求,再机加工成形。最后将机加工后的喷管上、中、下端通过真空电子束焊接成为一个完整的铈铌复合喷管。本方案制备的铈铌复合喷管,即具有高强度的铈基体,又避免了高温处理对铈铌过渡连接区及铌合金性能的破坏。

### 附图说明

[0058] 图1为铈铌复合喷管结构示意图,其中,101-铌合金区、102-铈合金区、103-铈铌过渡区、104-铈铌复合喷管上端、105-铈铌复合喷管中端、106-铈铌复合喷管下端;

[0059] 图2为上端近净形模具包套结构示意图;其中,201-铌合金头部、202-上端芯模、203-上端外包套、204-上端包套盖、205-上端出气管;

[0060] 图3为中端近净形模具包套结构示意图;其中,301-中端外包套、302-中端芯模、303-中端包套盖、304-中端出气管;

[0061] 图4为下端近净形模具包套结构示意图,其中,401-铌合金尾部、402-下端芯模、403-下端外包套、404-下端包套盖、405-下端出气管。

### 具体实施方式

[0062] 一种铈铌复合喷管的分段式制备方法,所述的铈铌复合喷管包括头部、直线段、收敛段、喉部、扩张段和尾部;头部为铌合金材质,尾部为铌合金材质,直线段、收敛段、喉部和扩张段为铈材质;头部位于直线段的顶部,尾部位于扩张段的底部,将该铈铌复合喷管分为三部分,分别为上端、中端和下端,上端、下端为铈铌复合结构,中端为铈基材;上端为头部和一部分直线段,下端为尾部和一部分扩张段;中端包括另一部分直线段、收敛段、喉部和另一部分扩张段;

[0063] 头部用于焊接,尾部用于焊接;

[0064] 该方法的步骤包括:

[0065] (a) 对高纯铈粉进行活化处理;

[0066] 选用100目~325目的高纯铈粉;首先将铈粉在纯度大于99.99%的氢气中800℃~1050℃还原处理0.5~4h,再在真空度高于 $5 \times 10^{-3}$ Pa下900℃~1200℃热处理0.5~4h;

[0067] (b) 制备上端近净形模具包套、中端近净形模具包套和下端近净形模具包套;

[0068] 上端近净形模具包套包括上端外包套203、上端芯模202、上端包套盖204和铌材质头部201,上端包套盖204上带有上端出气管205;

[0069] 中端近净形模具包套包括中端外包套301、中端芯模302、中端包套盖303,中端包套盖303上带有中端出气管304;

[0070] 下端近净形模具包套包括下端外包套403、下端芯模402、下端包套盖404和铌材质尾部401,下端包套盖404上带有下端出气管405;

[0071] 铌材质头部201的外表面带有机连接结构,比如齿合沟槽结构、螺纹连接结构或销钉孔结构,即铌材质头部201与直线段的连接部位带有机连接结构,用于增加铌材质头部201与直线段的连接强度;

[0072] 铌材质尾部401的外表面带有机连接结构,比如齿合沟槽结构、螺纹连接结构或销钉孔结构,即铌材质尾部401与扩张段的连接部位带有机连接结构,用于增加铌材质尾



部401与扩张段的连接强度；

[0073] (c) 制备上端、中端和下端；

[0074] 上端的制备方法为：

[0075] (1) 将上端芯模202安装在上端外包套203的底部，然后将铌材质头部201套在上端芯模202上；

[0076] (2) 将步骤(a)得到的高纯铌粉装填满上端外包套203与铌材质头部201、上端芯模202形成的空腔中，并振实；

[0077] (3) 将上端包套盖204焊接固定在上端外包套203的顶端，通过上端包套盖204上的上端出气管205进行除气，除气温度为750~900℃，除气时间为8~48h，最终封装时的真空度要小于 $5 \times 10^{-3}$ Pa；

[0078] (4) 将步骤(3)得到的封装有高纯铌粉的上端近净形模具包套进行热等静压处理，热等静压处理结束后去除上端外包套203、上端芯模202、上端包套盖204，得到上端毛坯；

[0079] 热等静压处理温度为1250℃~1400℃，热等静压处理时间为1~5h，热等静压处理压力 $\geq 110$ MPa；

[0080] (5) 对步骤(4)得到的上端毛坯按铌铈复合喷管的尺寸要求进行机械加工，得到上端。

[0081] 中端的制备方法为：

[0082] (1) 将中端芯模302安装在中端外包套301的底部；

[0083] (2) 将步骤(a)得到的高纯铌粉装填满中端外包套301与中端芯模302形成的空腔中，并振实；

[0084] (3) 将中端包套盖303焊接固定在中端外包套301的顶端，通过中端包套盖303上的中端出气管304进行除气，除气温度为750~900℃，除气时间为8~48h，最终封装时的真空度小于 $5 \times 10^{-3}$ Pa；

[0085] (4) 将步骤(3)得到的封装有高纯铌粉的中端近净形模具包套进行热等静压处理，热等静压处理结束后利用机械加工或化学铣的方法去除中端外包套301、中端芯模302、中端包套盖303，得到中端纯铌毛坯；

[0086] 热等静压处理温度为1250℃~1400℃，热等静压处理时间为1~5h，热等静压处理压力 $\geq 110$ MPa；

[0087] (5) 将步骤(4)得到的中端铌毛坯再进行高温热处理，然后再进行高温热等静压处理，高温热处理气氛为真空或氢气气氛中，高温热处理温度1800℃~2600℃下，高温热处理时间0.5~6h，高温热等静压处理温度1600℃~2000℃，高温热等静压处理时间1~4h，高温热等静压处理压力为130MPa~200MPa；

[0088] (6) 对步骤(5)处理后的中端纯铌毛坯按铌铈复合喷管的尺寸要求进行机加工，得到中端；

[0089] 下端的制备方法为：

[0090] (1) 将下端芯模402安装在下端外包套403的底部，然后将铌材质尾部401套在下端芯模402上；

[0091] (2) 将步骤(a)得到的高纯铌粉装填满下端外包套403与铌材质尾部401、下端芯模402形成的空腔中，并振实；

[0092] (3) 将下端包套盖404焊接固定在下端外包套403的顶端,通下端包套盖404上的下端出气管405进行除气,除气温度为750~900℃,除气时间为8~48h,最终封装时的真空度小于 $5 \times 10^{-3}$ Pa;

[0093] (4) 将步骤(3)得到的封装有高纯铈粉的下端近净形模具包套进行热等静压处理,热等静压处理结束后去除下端外包套403、下端芯模402、下端包套盖404,得到下端毛坯;

[0094] 热等静压处理温度为1250℃~1400℃,热等静压处理时间为1~5h,热等静压处理压力 $\geq 110$ MPa;

[0095] (5) 对步骤(4)得到的下端毛坯按铈铌复合喷管的尺寸要求进行机械加工,得到下端。

[0096] (d) 将步骤(c)得到的上端与中端、下端与中端均采用真空电子束焊或激光焊连接,焊接速度为0.5~3m/min,得到铈铌复合喷管。

[0097] 所述的步骤(b)中,上端芯模202的材料为纯铌或铌合金(如铌钨合金或铌钼合金);

[0098] 中端芯模302的材料为纯铌或铌合金(如铌钨合金或铌钼合金);

[0099] 下端芯模402的材料为纯铌或铌合金(如铌钨合金或铌钼合金);

[0100] 上端外包套203的材料为钢材、钛、钽或铌材料;

[0101] 上端包套盖204的材料为钢材、钛、钽或铌材料;

[0102] 中端外包套301的材料为钢材、钛、钽或铌材料;

[0103] 中端包套盖303的材料为钢材、钛、钽或铌材料;

[0104] 下端外包套403的材料为钢材、钛、钽或铌材料;

[0105] 下端包套盖404的材料为钢材、钛、钽或铌材料;

[0106] 上端外包套203与上端包套盖204的组装采用氩弧焊、电焊或气焊;

[0107] 中端外包套301与中端包套盖303的组装采用氩弧焊、电焊或气焊;

[0108] 下端外包套403与下端包套盖404的组装用氩弧焊、电焊或气焊。

[0109] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0110] 实施例1

[0111] 以制造一种轮廓尺寸为 $\phi 90 \times 100$ mm铈铌复合喷管(如图1)为例,说明本发明方法的具体实施方式。

[0112] (a) 铈粉的活化处理

[0113] 选用100目的高纯铈粉;首先将铈粉在纯度大于99.99%的氢气中1000℃还原处理2小时;再在真空高于 $5 \times 10^{-3}$ Pa下1000℃热处理1小时;

[0114] (b) 包套设计与组装

[0115] 根据预制备的铈铌复合喷管(如图1)产品形状、尺寸,分别设计及加工铈铌复合喷管的上端近净形模具包套、中端近净形模具包套和下端近净形模具包套,上端近净形模具包套、中端近净形模具包套和下端近净形模具包套的结构分别如图2、3和4所示;

[0116] (c) 装粉与除气封装

[0117] 将步骤(a)所得高纯铈粉分别装填到步骤(b)中的上端近净形模具包套、中端近净形模具包套、下端近净形模具包套内,装满振实后,盖上包套盖焊接固定;通过包套盖上带有的出气管,对包套在750℃进行除气,除气10小时,最终的封装时真空度要高于 $5 \times 10^{-3}$ Pa。

[0118] (d) 低温热等静压成形

[0119] 将步骤(c)所获得的上端近净形模具包套、中端近净形模具包套、下端近净形模具包套分别在1250℃,热等静压2小时,压力120MPa,去除上端外包套、上端芯模和上端包套盖后,得到上端毛坯件;去除下端外包套、下端芯模和下端包套盖后,得到下端毛坯件;

[0120] (e) 喷管上、中端加工

[0121] 将步骤(d)所获得的上端毛坯件和下端毛坯件,按喷管的尺寸要求通过机械加工获得喷管的铌钽复合上端与下端;

[0122] (f) 中端包套去除

[0123] 将步骤(d)热等静压处理后的中端近净形模具包套,利用机械加工的方法去除所有中端外包套、中端芯模和中端包套盖,获得纯铌坯料即中端毛坯件;

[0124] (g) 中端毛坯件高温热处理和热等静压处理;

[0125] 将步骤(f)所获得的纯铌坯料,在真空气氛中,温度1800℃下,热处理3小时;再将所获得的铌坯料在1600℃,热等静压2h,压力为130MPa。

[0126] (h) 中端机械加工

[0127] 将步骤(g)所获得的纯铌坯料,按照铌喷管的外形尺寸要求进行精加工,得到中端。

[0128] (i) 上、中、下端焊接成形

[0129] 将步骤(e)中所获得的铌钽复合喷管的上端、下端与步骤(h)中所获得的中端通过真空电子束焊接连接,焊接速度为0.6m/min,最终获得所需要的完整铌钽复合喷管。

[0130] 实施例2

[0131] 以制造一种轮廓尺寸为 $\phi 110 \times 140 \text{mm}$ 铌钽复合喷管(如图1)为例,说明本发明方法的具体实施方式。

[0132] (a) 铌粉的活化处理

[0133] 选用-100目的高纯铌粉;首先将铌粉在纯度大于99.99%的氢气中900℃还原处理2.5小时;再在真空高于 $5 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 下1000℃热处理1小时;。

[0134] (b) 包套设计与组装

[0135] 根据预制备的铌钽复合喷管(如图1)产品形状、尺寸,分别设计及加工铌钽复合喷管上、中、下端近净形模具包套与钽合金组件;铌钽复合喷管(如图1)所需上、中、下模具包套结构与钽合金组件分别如图2、3和4所示;

[0136] (c) 装粉与除气封装

[0137] 将步骤(a)所得高纯铌粉装填到步骤(b)中组装好的上、中、下端模具包套内,装满振实后,盖上包套盖焊接固定;通过包套盖上带有的出气管,对包套在800℃进行除气,除气8小时,最终的封装时真空度要高于 $5 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 。

[0138] (d) 低温热等静压成形

[0139] 将步骤(c)所获得的上、中、下端包套在1250℃,热等静压3小时,压力130MPa。

[0140] (e) 喷管上、中端加工

[0141] 将步骤(d)所获得的铌钽复合喷管上、中端,按喷管的尺寸要求通过机械加工获得喷管的铌钽复合上端与下端;

[0142] (f) 中端包套去除

[0143] 将步骤(d)热等静压处理的中端铍喷管,利用机械加工的方法去除所有包套材料,获得纯铍坯料。

[0144] (g)中端超高温热处理和热等静压

[0145] 将步骤(f)所获得的纯铍坯料,在真空气氛中,温度2000℃下,热处理2小时;再将所获得的铍坯料在1700℃,热等静压2h,压力为130MPa。

[0146] (h)中端机械加工

[0147] 将步骤(g)所获得的纯铍坯料,按照铍喷管的外形尺寸要求进行精加工。

[0148] (i)上、中、下端焊接成形

[0149] 将步骤(e)中所获得的铍铌复合喷管的上、下端与步骤(h)中所获得的喷管中端通过真空电子束焊接连接,焊接速度为1.2m/min,最终获得所需要的完整铍铌复合喷管。

[0150] 通过以上所述方法制备的铍铌复合喷管,再与钛合金喷注器和铌合金延伸段焊接后形成的身部,可满足该产品2000℃的试车要求。

[0151] 以上所述,仅为本发明最佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

[0152] 本发明说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员的公知技术。

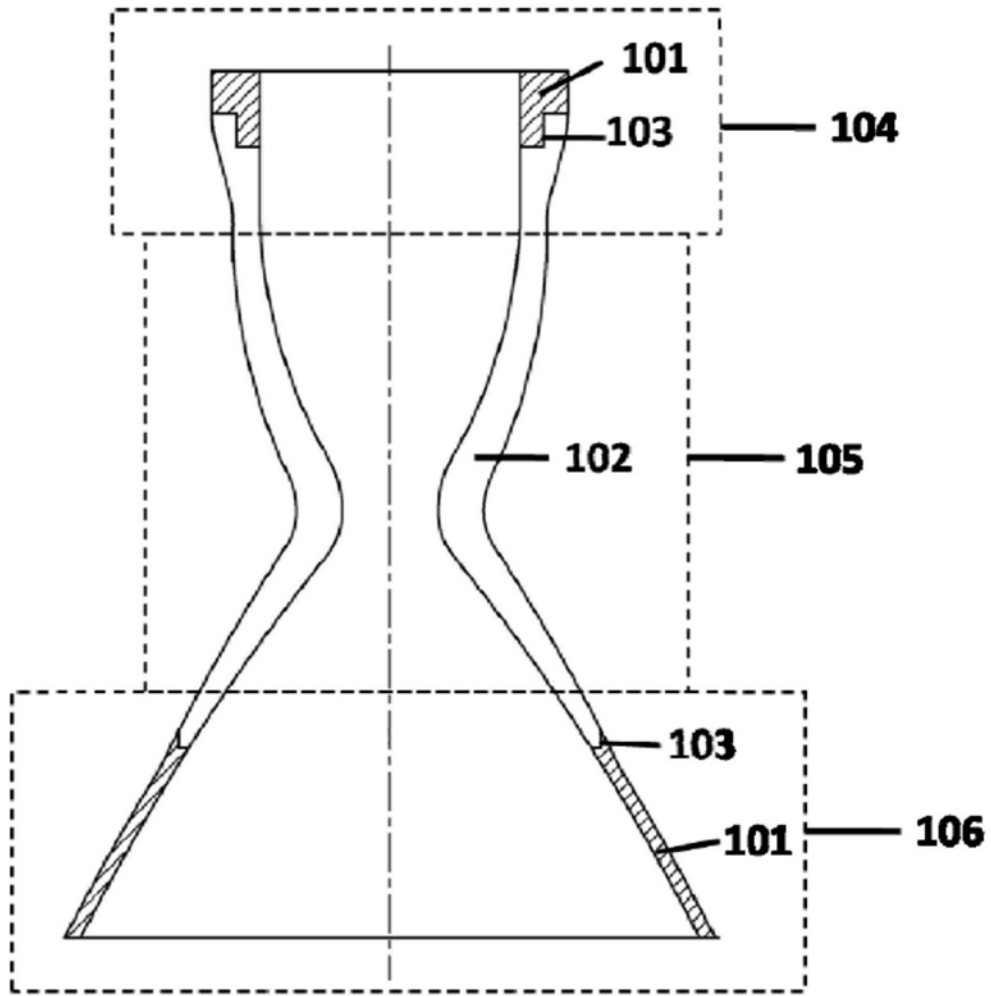


图1

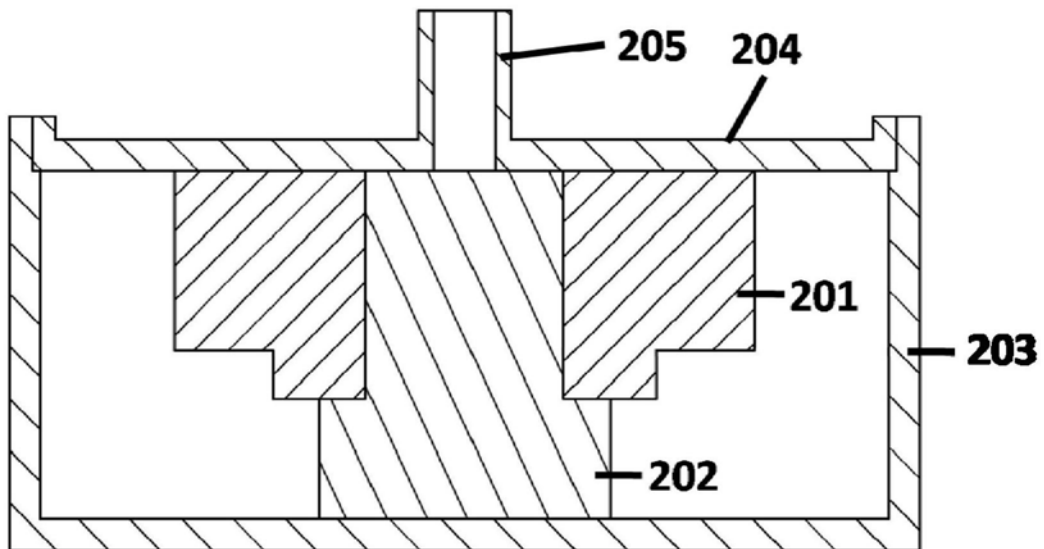


图2

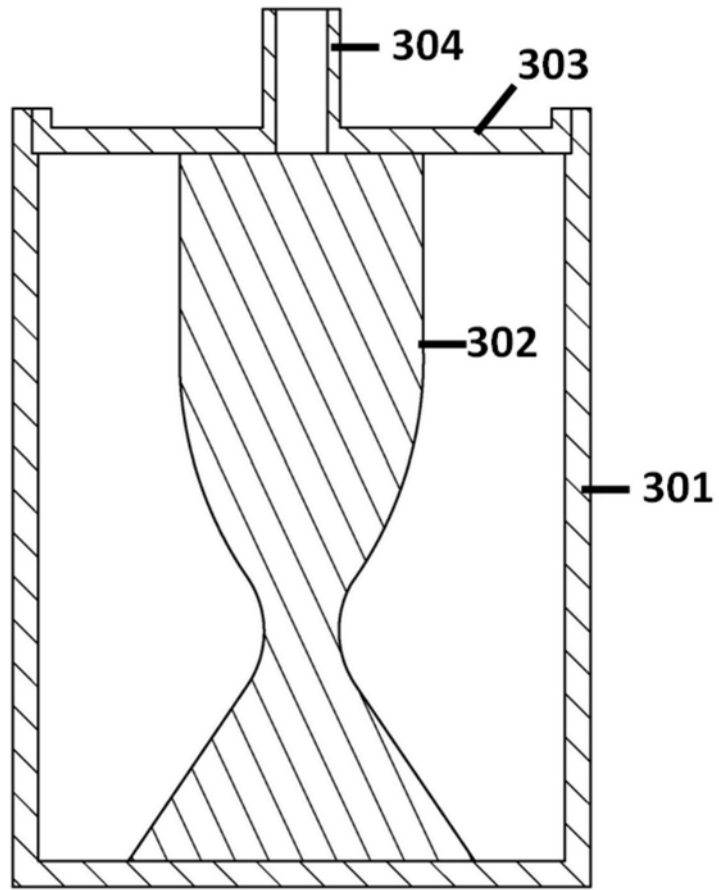


图3

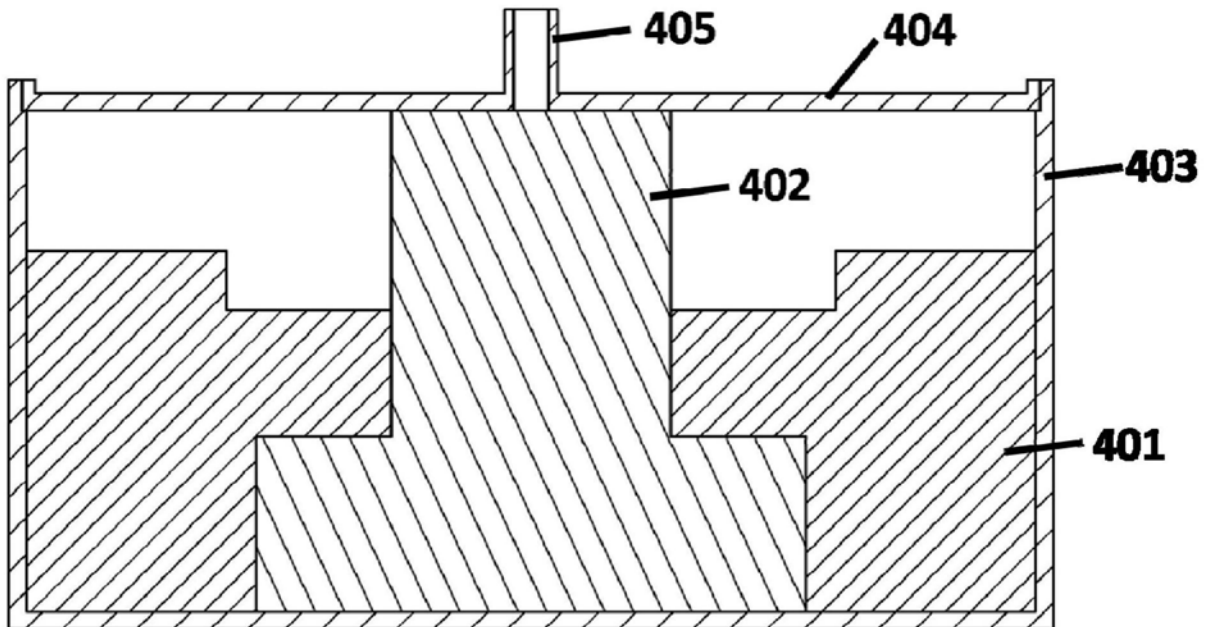


图4