



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106270381 A

(43)申请公布日 2017.01.04

(21)申请号 201610852666.9

(22)申请日 2016.09.26

(71)申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72)发明人 陈玉勇 贺同正 曹守臻 肖树龙
徐丽娟 王晓鹏

(74)专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事
务所 23109

代理人 牟永林

(51)Int.Cl.

B22C 7/02(2006.01)

B22C 9/04(2006.01)

B22C 9/24(2006.01)

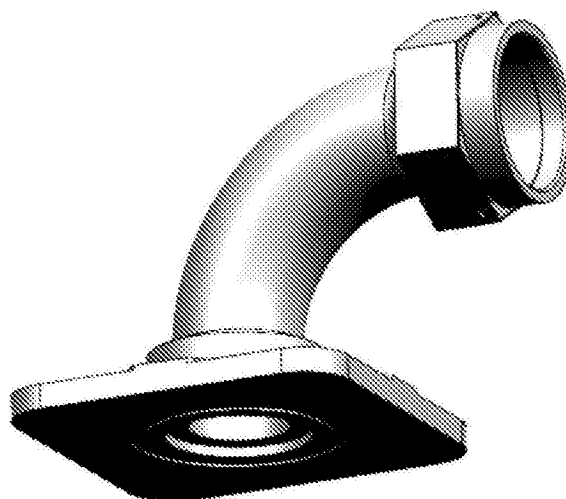
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种一体式蜡模及用其制备发动机用TiAl
合金弯管铸件的方法

(57)摘要

一种一体式蜡模及用其制备发动机用TiAl
合金弯管铸件的方法。本发明涉及一种蜡模及用
其制备发动机用弯管铸件的方法。本发明的目的
是要解决目前航空航天发动机弯管密度大,阻燃
性能差的问题。产品包括圆柱状蜡柱、多个长条
块蜡柱、主浇道蜡柱、多个弯管蜡模和分浇道蜡
柱。方法:一、型壳制备;二、脱蜡与焙烧;三、合
金的浇注。本发明的弯管铸件高温阻燃性能优异,
室温塑性好,满足点火之前的抗震性能。



1. 一种一体式蜡模,其特征在於一种一体式蜡模包括圆柱状蜡柱(1)、多个长条块蜡柱(2)、主浇道蜡柱(3)、多个弯管蜡模(4)和分浇道蜡柱(5);

所述多个长条块蜡柱(2)与圆柱状蜡柱(1)外切形成多边形边框;

所述长条块蜡柱(2)与圆柱状蜡柱(1)通过主浇道蜡柱(3)相连;

所述每个长条块蜡柱(2)和每个弯管蜡模(4)的法兰底部之间设置有两个分浇道蜡柱(5)。

2. 根据权利要求1所述的一种一体式蜡模,其特征在於每个长条块蜡柱(2)上设置有4个弯管蜡模(4)。

3. 根据权利要求1所述的一种一体式蜡模,其特征在於长条块蜡柱(2)的个数为3~4个。

4. 根据权利要求1所述的一种一体式蜡模,其特征在於所述一体式蜡模在水平方向上圆柱状蜡柱(1)的高度高于其他结构的高度。

5. 用权利要求1所述的一体式蜡模制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法,其特征在於该方法按以下步骤进行:

一、型壳制备:①将一体式蜡模浸入面层浆料中,使一体式蜡模表面被面层浆料涂覆,然后将涂覆有面层浆料的一体式蜡模提起,再进行多轴转动,转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有面层浆料的一体式蜡模表面均匀淋撒一层 ZrO_2 砂,然后转至恒温恒湿的条件下干燥22h~24h,得到面层型壳;②将步骤一①得到的面层型壳浸入步骤一①面层浆料中,使面层型壳表面被面层浆料涂覆,然后将涂覆有面层浆料的面层型壳提起,再进行多轴转动,转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有面层浆料的面层型壳表面均匀淋撒一层 ZrO_2 砂,然后转至恒温恒湿的条件下干燥22h~24h,得到临面层型壳;③将步骤一②得到的临面层型壳浸入背层浆料中,使临面层型壳表面被背层浆料涂覆,然后将涂覆有背层浆料的临面层型壳提起,再进行多轴转动,转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有背层浆料的临面层型壳表面均匀淋撒一层莫来石砂然后转至恒温恒湿的条件下干燥22h~24h,得到背层型壳;④将步骤一③得到的背层型壳浸入背层浆料中,使背层型壳表面被背层浆料涂覆,然后将涂覆有背层浆料的背层型壳提起,在恒温恒湿的条件下干燥45h~50h,得到封浆后的型壳;

步骤一①中所述面层浆料由 ZrO_2 粉和碳酸锆铵组成,其中 ZrO_2 粉与碳酸锆铵的质量比为(2.5~3.0):1;

步骤一①中所述恒温恒湿参数为:温度为25℃,湿度为50%~60%;

步骤一②中所述面层浆料与步骤一①中所述面层浆料相同;

步骤一③中所述背层浆料由硅溶胶和煤矸石粉组成,其中硅溶胶与煤矸石粉的质量比为1:(1.8~2.3);

步骤一③中所述恒温恒湿参数为:温度为25℃,湿度为50%~60%;

步骤一④中所述面层浆料与步骤一③中所述面层浆料相同;

二、脱蜡与焙烧:将步骤一得到的封浆后的型壳进行蒸汽脱蜡,脱蜡压力为0.5MPa~0.7MPa,脱蜡时间6min~10min,将脱蜡完成的型壳放入高温马弗炉中随炉升温至温度为400℃,并在温度为400℃下保温2h,继续升温至温度为900℃,并温度为900℃下保温2h,完成焙烧,得到弯管型壳;

三、合金的浇注:将海绵钛、铝锭、AlNb和AlV中间合金置于真空水冷铜坩埚熔炼炉内,

熔炼炉抽真空至4Pa~10Pa后开始熔炼,熔炼过程中以1KW/s~3KW/s的速率将熔炼炉功率提升至400KW~500KW,然后在功率为400KW~500KW的条件下进行熔炼,合金完全熔化后,在功率为400KW~500KW的条件下保温10min~20min,然后在转速为200r/min~300r/min的离心条件下将熔体浇注到步骤二得到的弯管型壳对应一体式蜡模的圆柱状蜡柱的位置之中,脱壳后喷砂,得到弯管铸件;

所述弯管铸件成分配比为Ti-46Al-8Nb-2.5V;

将熔体浇注到步骤二得到的弯管型壳之前,先将弯管型壳在温度为600~800℃的条件下保温2h~5h进行干燥和预热。

6.根据权利要求5所述的用一体式蜡模制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法,其特征在于步骤一①中所述面层浆料由ZrO₂粉和碳酸锆铵组成,其中ZrO₂粉与碳酸锆铵的质量比为2.8:1。

7.根据权利要求5所述的用一体式蜡模制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法,其特征在于步骤一③中所述背层浆料由硅溶胶和煤矸石粉组成,其中硅溶胶与煤矸石粉的质量比为1:2。

8.根据权利要求5所述的用一体式蜡模制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法,其特征在于步骤一制备型壳过程中,当将一体式蜡模浸入面层浆料和背层浆料时,确保一体式蜡模中的圆柱状蜡柱上表面不被浆料涂覆,或者当圆柱状蜡柱上表面被浆料涂覆时,在提起一体式蜡模之后将圆柱状蜡柱上表面上涂覆的浆料擦掉。

9.根据权利要求5所述的用一体式蜡模制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法,其特征在于步骤三中所述的熔炼过程中以2KW/s的速率将熔炼炉功率提升至450KW,然后在功率为450KW的条件下进行熔炼,合金完全熔化后,在功率为450KW的条件下保温15min。

10.根据权利要求5所述的用一体式蜡模制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法,其特征在于步骤三中将熔体浇注到步骤二得到的弯管型壳之前,先将弯管型壳在温度为700℃的条件下保温4h进行干燥和预热。

一种一体式蜡模及用其制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种蜡模及用其制备发动机用弯管铸件的方法。

背景技术

[0002] TiAl合金由于其密度低,比强度高,高温抗蠕变及抗氧化性能好,在航空航天及工业领域中具有广阔的应用前景。TiAl合金的制备方法可以分为三种典型的制备路线:粉末冶金法、铸锭冶金+热机械处理法及精密铸造法。熔模精密铸造制备TiAl合金具有其他工艺无可比拟的优势,尤其是在形状复杂的薄壁构件的生产上,该方法可以实现近净成形,得到无余量或近无余量的精密构件,大幅降低损耗,提高材料利用率。美国通用电气公司已于20世纪90年代设计制造出TiAl合金熔模精密铸件,并应用于民用飞机。在过去二十余年的发展下,TiAl合金熔模精密铸造技术日趋成熟,在美国、欧洲、日本等地区相继得到应用。在目前TiAl合金的应用中,精铸件占有绝大部分比例。

[0003] 但 γ -TiAl合金金属间化合物,兼具陶瓷性质,室温塑性差成为制约其广泛应用的重要原因。熔模精密铸造制备 γ -TiAl合金具有其他工艺无可比拟的优势,尤其是在形状复杂的薄壁构件的生产上,该方法可以实现近净成形,得到无余量或近无余量的精密构件,大幅降低损耗,提高材料利用率,并已在GE航空发动机上成功实现应用。

[0004] 目前所应用航空航天发动机弯管材料多为Ni基高温合金,其密度较大,阻燃性能差。

发明内容

[0005] 本发明的目的是要解决目前航空航天发动机弯管密度大,阻燃性能差的问题,而提供一种一体式蜡模及用其制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法。

[0006] 本发明的一种一体式蜡模包括圆柱状蜡柱、多个长条块蜡柱、主浇道蜡柱、多个弯管蜡模和分浇道蜡柱;

[0007] 所述多个长条块蜡柱与圆柱状蜡柱外切形成多边形边框;

[0008] 所述长条块蜡柱与圆柱状蜡柱通过主浇道蜡柱相连;

[0009] 所述每个长条块蜡柱和每个弯管蜡模的法兰底部之间设置有两个分浇道蜡柱。

[0010] 本发明的一种用一体式蜡模制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法按以下步骤进行:

[0011] 一、型壳制备:①将一体式蜡模浸入面层浆料中,使一体式蜡模表面被面层浆料涂覆,然后将涂覆有面层浆料的一体式蜡模提起,再进行多轴转动,转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有面层浆料的一体式蜡模表面均匀淋撒一层ZrO₂砂,然后转至恒温恒湿的条件下干燥22h~24h,得到面层型壳;②将步骤一①得到的面层型壳浸入步骤一①面层浆料中,使面层型壳表面被面层浆料涂覆,然后将涂覆有面层浆料的面层型壳提起,再进行多轴转动,转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有面层浆料的面层型壳表面均匀淋撒一层ZrO₂

砂,然后转至恒温恒湿的条件下干燥22h~24h,得到临面层型壳;③将步骤一②得到的临面层型壳浸入背层浆料中,使临面层型壳表面被背层浆料涂覆,然后将涂覆有背层浆料的临面层型壳提起,再进行多轴转动,转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有背层浆料的临面层型壳表面均匀淋撒一层莫来石砂然后转至恒温恒湿的条件下干燥22h~24h,得到背层型壳;④将步骤一③得到的背层型壳浸入背层浆料中,使背层型壳表面被背层浆料涂覆,然后将涂覆有背层浆料的背层型壳提起,在恒温恒湿的条件下干燥45h~50h,得到封浆后的型壳;

[0012] 步骤一①中所述面层浆料由 ZrO_2 粉和碳酸锆铵组成,其中 ZrO_2 粉与碳酸锆铵的质量比为(2.5~3.0):1;

[0013] 步骤一①中所述恒温恒湿参数为:温度为25℃,湿度为50%~60%;

[0014] 步骤一②中所述面层浆料与步骤一①中所述面层浆料相同;

[0015] 步骤一③中所述背层浆料由硅溶胶和煤矸石粉组成,其中硅溶胶与煤矸石粉的质量比为1:(1.8~2.3);

[0016] 步骤一③中所述恒温恒湿参数为:温度为25℃,湿度为50%~60%;

[0017] 步骤一④中所述面层浆料与步骤一③中所述面层浆料相同;

[0018] 二、脱蜡与焙烧:将步骤一得到的封浆后的型壳进行蒸汽脱蜡,脱蜡压力为0.5MPa~0.7MPa,脱蜡时间6min~10min,将脱蜡完成的型壳放入高温马弗炉中随炉升温至温度为400℃,并在温度为400℃下保温2h,继续升温至温度为900℃,并在温度为900℃下保温2h,完成焙烧,得到弯管型壳;

[0019] 三、合金的浇注:将海绵钛、铝锭、AlNb和AlV中间合金置于真空水冷铜坩埚熔炼炉内,熔炼炉抽真空至4Pa~10Pa后开始熔炼,熔炼过程中以1KW/s~3KW/s的速率将熔炼炉功率提升至400KW~500KW,然后在功率为400KW~500KW的条件下进行熔炼,合金完全熔化后,在功率为400KW~500KW的条件下保温10min~20min,然后在转速为200r/min~300r/min的离心条件下将熔体浇注到步骤二得到的弯管型壳对应一体式蜡模的圆柱状蜡柱的位置之中,脱壳后喷砂,得到弯管铸件;

[0020] 所述弯管铸件成分配比为Ti-46Al-8Nb-2.5V;

[0021] 将熔体浇注到步骤二得到的弯管型壳之前,先将弯管型壳在温度为600~800℃的条件下保温2h~5h进行干燥和预热。

[0022] 本发明有益效果

[0023] 本发明使用TiAl合金制备航天发动机用弯管铸件,可实现单个航空发动机用弯管质量从600g到298g的减重。在TiAl合金中添加适量Nb元素可大幅提升其抗氧化性能及强度,并对其高温阻燃性能有明显改善;适当添加V元素,可明显改善TiAl合金的室温塑性,使其满足点火之前的抗震性能。

附图说明

[0024] 图1为本发明所述一体式蜡模的结构示意图;其中1为圆柱状蜡柱、2为长条块蜡柱、3为主浇道蜡柱、4为弯管蜡模和5为分浇道蜡柱;

[0025] 图2为试验二制备得到的弯管铸件的结构示意图。

具体实施方式

[0026] 具体实施方式一：本实施方式的一体式蜡模包括圆柱状蜡柱1、多个长条块蜡柱2、主浇道蜡柱3、多个弯管蜡模4和分浇道蜡柱5；

[0027] 所述多个长条块蜡柱2与圆柱状蜡柱1外切形成多边形边框；

[0028] 所述长条块蜡柱2与圆柱状蜡柱1通过主浇道蜡柱3相连；

[0029] 所述每个长条块蜡柱2和每个弯管蜡模4的法兰底部之间设置有两个分浇道蜡柱5。

[0030] 具体实施方式二：本实施方式与具体实施方式一不同的是：每个长条块蜡柱2上设置有4个弯管蜡模4。其他步骤及参数与具体实施方式一相同。

[0031] 具体实施方式三：本实施方式与具体实施方式一或二不同的是：长条块蜡柱2的个数为3~4个。其他步骤及参数与具体实施方式一或二相同。

[0032] 具体实施方式四：本实施方式与具体实施方式一至三之一不同的是：所述一体式蜡模在水平方向上圆柱状蜡柱1的高度高于其他结构的高度。其他步骤及参数与具体实施方式一至三之一相同。

[0033] 本实施方式所述一体式蜡模中圆柱状蜡柱1的高度高于其他结构的高度，以确保当一体式蜡模浸入浆料后，圆柱状蜡柱上表面不浸入浆料中。

[0034] 具体实施方式五：本实施方式的一体式蜡模制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法，其特征在于该方法按以下步骤进行：

[0035] 一、型壳制备：①将一体式蜡模浸入面层浆料中，使一体式蜡模表面被面层浆料涂覆，然后将涂覆有面层浆料的一体式蜡模提起，再进行多轴转动，转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有面层浆料的一体式蜡模表面均匀淋撒一层ZrO₂砂，然后转至恒温恒湿的条件下干燥22h~24h，得到面层型壳；②将步骤一①得到的面层型壳浸入步骤一①面层浆料中，使面层型壳表面被面层浆料涂覆，然后将涂覆有面层浆料的面层型壳提起，再进行多轴转动，转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有面层浆料的面层型壳表面均匀淋撒一层ZrO₂砂，然后转至恒温恒湿的条件下干燥22h~24h，得到临面层型壳；③将步骤一②得到的临面层型壳浸入背层浆料中，使临面层型壳表面被背层浆料涂覆，然后将涂覆有背层浆料的临面层型壳提起，再进行多轴转动，转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有背层浆料的临面层型壳表面均匀淋撒一层莫来石砂然后转至恒温恒湿的条件下干燥22h~24h，得到背层型壳；④将步骤一③得到的背层型壳浸入背层浆料中，使背层型壳表面被背层浆料涂覆，然后将涂覆有背层浆料的背层型壳提起，在恒温恒湿的条件下干燥45h~50h，得到封浆后的型壳；

[0036] 步骤一①中所述面层浆料由ZrO₂粉和碳酸锆铵组成，其中ZrO₂粉与碳酸锆铵的质量比为(2.5~3.0):1；

[0037] 步骤一①中所述恒温恒湿参数为：温度为25℃，湿度为50%~60%；

[0038] 步骤一②中所述面层浆料与步骤一①中所述面层浆料相同；

[0039] 步骤一③中所述背层浆料由硅溶胶和煤矸石粉组成，其中硅溶胶与煤矸石粉的质量比为1:(1.8~2.3)；

[0040] 步骤一③中所述恒温恒湿参数为：温度为25℃，湿度为50%~60%；

[0041] 步骤一④中所述面层浆料与步骤一③中所述面层浆料相同；

[0042] 二、脱蜡与焙烧：将步骤一得到的封浆后的型壳进行蒸汽脱蜡，脱蜡压力为0.5MPa~0.7MPa，脱蜡时间6min~10min，将脱蜡完成的型壳放入高温马弗炉中随炉升温至温度为400℃，并在温度为400℃下保温2h，继续升温至温度为900℃，并温度为900℃下保温2h，完成焙烧，得到弯管型壳；

[0043] 三、合金的浇注：将海绵钛、铝锭、AlNb和AlV中间合金置于真空水冷铜坩埚熔炼炉内，熔炼炉抽真空至4Pa~10Pa后开始熔炼，熔炼过程中以1KW/s~3KW/s的速率将熔炼炉功率提升至400KW~500KW，然后在功率为400KW~500KW的条件下进行熔炼，合金完全熔化后，在功率为400KW~500KW的条件下保温10min~20min，然后在转速为200r/min~300r/min的离心条件下将熔体浇注到步骤二得到的弯管型壳对应一体式蜡模的圆柱状蜡柱的位置之中，脱壳后喷砂，得到弯管铸件；

[0044] 所述弯管铸件成分配比为Ti-46Al-8Nb-2.5V；

[0045] 将熔体浇注到步骤二得到的弯管型壳之前，先将弯管型壳在温度为600~800℃的条件下保温2h~5h进行干燥和预热。

[0046] 本实施方式中，制备型壳时，为确保当一体式蜡模浸入浆料后，圆柱状蜡柱上表面不浸入浆料中，在提起浸入浆料后的一体式蜡模后，在浆料未固化时擦去圆柱状蜡柱上表面的浆料。

[0047] 本实施方式中，制备型壳时，为确保当一体式蜡模浸入浆料后，圆柱状蜡柱上表面不浸入浆料中，可以使圆柱状蜡柱的高度高于其他结构的高度，或者在提起浸入浆料后的一体式蜡模后，在浆料未固化时擦去圆柱状蜡柱上表面的浆料。

[0048] 具体实施方式六：本实施方式与具体实施方式五不同的是：步骤一①中所述面层浆料由ZrO₂粉和碳酸锆铵组成，其中ZrO₂粉与碳酸锆铵的质量比为2.8:1。其他步骤及参数与具体实施方式五相同。

[0049] 具体实施方式七：本实施方式与具体实施方式五或六不同的是：步骤一③中所述背层浆料由硅溶胶和煤矸石粉组成，其中硅溶胶与煤矸石粉的质量比为1:2。其他步骤及参数与具体实施方式五或六相同。

[0050] 具体实施方式八：本实施方式与具体实施方式五至七之一不同的是：步骤一制备型壳过程中，当将一体式蜡模浸入面层浆料和背层浆料时，确保一体式蜡模中的圆柱状蜡柱上表面不被浆料涂覆，或者当圆柱状蜡柱上表面被浆料涂覆时，在提起一体式蜡模之后将圆柱状蜡柱上表面上涂覆的浆料擦掉。其他步骤及参数与具体实施方式五至七之一相同。

[0051] 具体实施方式九：本实施方式与具体实施方式五至八之一不同的是：步骤三中所描述的熔炼过程中以2KW/s的速率将熔炼炉功率提升至450KW，然后在功率为450KW的条件下进行熔炼，合金完全熔化后，在功率为450KW的条件下保温15min。其他步骤及参数与具体实施方式五至八之一相同。

[0052] 具体实施方式十：本实施方式与具体实施方式五至九之一不同的是：步骤三中将熔体浇注到步骤二得到的弯管型壳之前，先将弯管型壳在温度为700℃的条件下保温4h进行干燥和预热。其他步骤及参数与具体实施方式五至九之一相同。

[0053] 采用以下试验来验证本发明的有益效果

[0054] 试验一、本试验的一体式蜡模包括圆柱状蜡柱1、多个长条块蜡柱2、主浇道蜡柱3、多个弯管蜡模4和分浇道蜡柱5；

[0055] 所述多个长条块蜡柱2与圆柱状蜡柱1外切形成多边形边框；

[0056] 所述长条块蜡柱2与圆柱状蜡柱1通过主浇道蜡柱3相连；

[0057] 所述每个长条块蜡柱2和每个弯管蜡模4的法兰底部之间设置有两个分浇道蜡柱5。

[0058] 每个长条块蜡柱2上设置有4个弯管蜡模4。

[0059] 长条块蜡柱2的个数为4个。

[0060] 本试验中圆柱状蜡柱的高度高于其他结构的高度。

[0061] 试验二、用试验一所述的一体式蜡模制备发动机用TiAl合金弯管铸件的方法，其特征在于该方法按以下步骤进行：

[0062] 一、型壳制备：①将一体式蜡模浸入面层浆料中，使一体式蜡模表面被面层浆料涂覆，然后将涂覆有面层浆料的一体式蜡模提起，再进行多轴转动，转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有面层浆料的一体式蜡模表面均匀淋撒一层ZrO₂砂，然后转至恒温恒湿的条件下干燥24h，得到面层型壳；②将步骤一①得到的面层型壳浸入步骤一①面层浆料中，使面层型壳表面被面层浆料涂覆，然后将涂覆有面层浆料的面层型壳提起，再进行多轴转动，转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有面层浆料的面层型壳表面均匀淋撒一层ZrO₂砂，然后转至恒温恒湿的条件下干燥24h，得到临面层型壳；③将步骤一②得到的临面层型壳浸入背层浆料中，使临面层型壳表面被背层浆料涂覆，然后将涂覆有背层浆料的临面层型壳提起，再进行多轴转动，转动的同时采用雨淋式撒砂机在涂覆有背层浆料的临面层型壳表面均匀淋撒一层莫来石砂然后转至恒温恒湿的条件下干燥24h，得到背层型壳；④将步骤一③得到的背层型壳浸入背层浆料中，使背层型壳表面被背层浆料涂覆，然后将涂覆有背层浆料的背层型壳提起，在恒温恒湿的条件下干燥48h，得到封浆后的型壳；

[0063] 将一体式蜡模浸入浆料时，手握一体式蜡模的圆柱状蜡柱进行，以确保当一体式蜡模浸入浆料后，圆柱状蜡柱上表面不浸入浆料中；

[0064] 步骤一①中所述面层浆料由ZrO₂粉和碳酸锆铵组成，其中ZrO₂粉与碳酸锆铵的质量比为2.8:1；

[0065] 步骤一①中所述的ZrO₂砂均为80目；

[0066] 步骤一①中所述恒温恒湿参数为：温度为25℃，湿度为50%~60%；

[0067] 步骤一②中所述面层浆料与步骤一①中所述面层浆料相同；

[0068] 步骤一②中所述的ZrO₂砂均为80目；

[0069] 步骤一③中所述背层浆料由硅溶胶和煤矸石粉组成，其中硅溶胶与煤矸石粉的质量比为1:2；

[0070] 步骤一③中所述的莫来石砂为32目；

[0071] 步骤一③中所述恒温恒湿参数为：温度为25℃，湿度为50%~60%；

[0072] 步骤一④中所述面层浆料与步骤一③中所述面层浆料相同；

[0073] 二、脱蜡与焙烧：将步骤一得到的封浆后的型壳进行蒸汽脱蜡，脱蜡压力为0.6MPa，脱蜡时间8min，将脱蜡完成的型壳放入高温马弗炉中随炉升温至温度为400℃，并在温度为400℃下保温2h，继续升温至温度为900℃，并温度为900℃下保温2h，完成焙烧，得

到弯管型壳；

[0074] 三、合金的浇注：将海绵钛、铝锭、AlNb和AlV中间合金置于真空水冷铜坩埚熔炼炉内，熔炼炉抽真空至10Pa后开始熔炼，熔炼过程中以2KW/s的速率将熔炼炉功率提升至450KW，然后在功率为450KW的条件下进行熔炼，合金完全熔化后，在功率为450KW的条件下保温15min，然后在转速为250r/min的离心条件下将熔体浇注到步骤二得到的弯管型壳对应一体式蜡模的圆柱状蜡柱的位置之中，脱壳后喷砂，得到弯管铸件；

[0075] 所述弯管铸件成分配比为Ti-46Al-8Nb-2.5V；

[0076] 将熔体浇注到步骤二得到的弯管型壳之前，先将弯管型壳在温度为700℃的条件下保温4h进行干燥和预热。

[0077] 试验二制备得到的弯管铸件通过2800℃短时烧蚀实验达到航天应用指标。

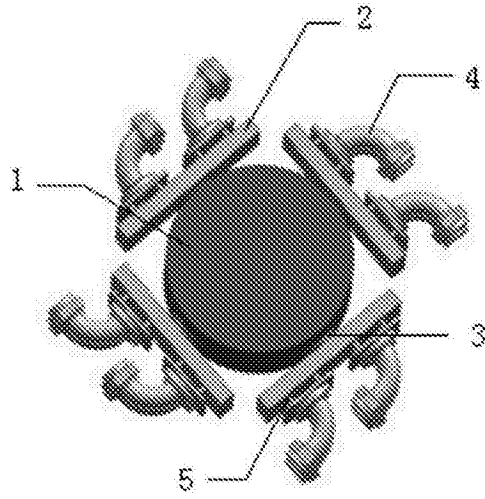


图1

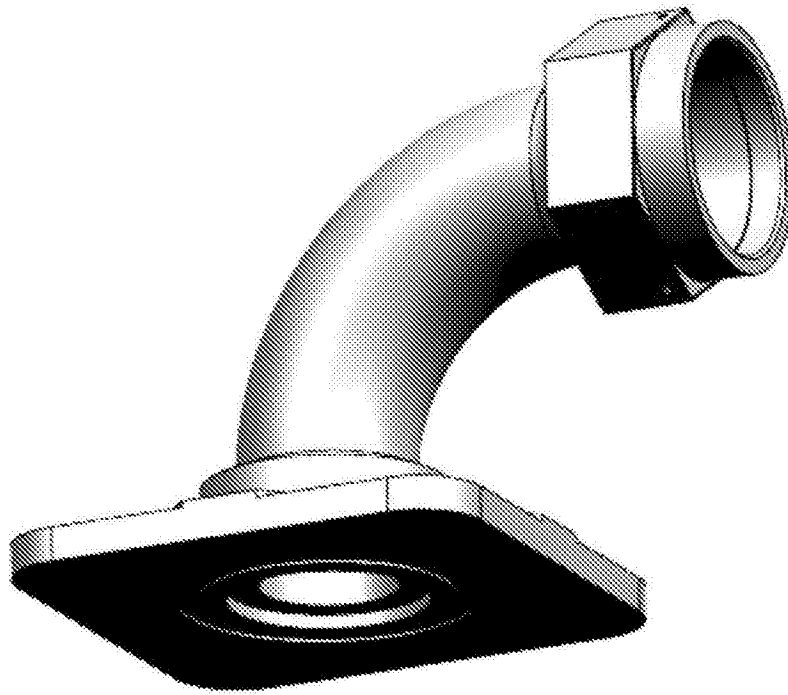


图2