



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103111619 B

(45) 授权公告日 2014. 09. 24

(21) 申请号 201310035088. 6

(22) 申请日 2013. 01. 30

(73) 专利权人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路  
1037 号

专利权人 埃克斯特大学

(72) 发明人 史玉升 薛鹏举 吴言 魏青松

李伟 闫春泽 刘洁 黄俊

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心

42201

代理人 曹葆青

(51) Int. Cl.

B22F 3/04 (2006. 01)

审查员 罗艳归

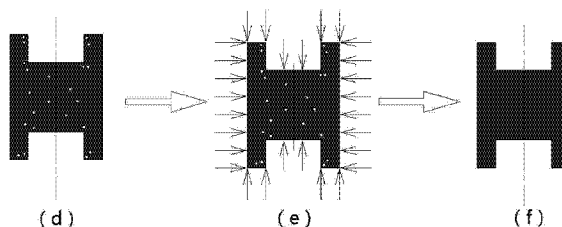
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种高温合金致密件的热等静压两步成形方法

(57) 摘要

本发明属于先进制造领域,具体涉及一种高温合金致密件的热等静压两步成形方法。该方法包括两步热等静压,第一步热等静压主要是在较低的温度或压力下,控制控形模具变形,得到在形状和尺寸上精度高的零件压坯,第二步成形没有了包套的限制,采用最适合成形材料的温度和压力,既消除了第一步中残留的孔隙,使致密度提高,保证了形状尺寸精度,又可以得到最适温度和压力下的优良组织性能。由于第一步成形时的问题和压力较低,故也解决了复杂控形模具的选材问题,不必在选取难加工的高温屈服强度高材料来作为控形型芯,减小了模具制作成本。



1. 一种高温合金致密件的成形方法,该方法采用较低的温度或者压力对带包套的高温合金粉末进行第一次热等静压,得到致密度高于 90% 以及无连通孔隙的零件压坯,然后去除第一步热等静压后的包套,再采用常规的热等静压工艺参数对零件压坯进行第二次热等静压,得到所需的高温合金致密件;所述较低的温度或者压力是指低于常规的热等静压条件的温度或压力。

2. 根据权利要求 1 所述的成形方法,其特征在于,该方法具体包括下述步骤:

第 1 步设计待成形零件的热等静压成形包套;

第 2 步对包套进行焊接,形成一个封闭而仅带有抽气孔的整体;

第 3 步对包套进行检漏,若包套有漏气现象,则需重新对包套与端盖连接处封焊,至不漏气为止,若不漏气,则直接进行下一步;

第 4 步往包套内部装入合金粉末,并震动摇实;

第 5 步对包套抽真空后,将抽气管封焊,从而获得压坯;

第 6 步确定第一步热等静压成形的工艺参数,选取低于常规的热等静压条件的温度或/和压力,将上一步得到的压坯实施热等静压处理,选取的工艺参数应保证零件毛坯致密度在 90% 以上;

第 7 步热等静压后,去除包套,得到零件毛坯;

第 8 步测量零件毛坯的致密度,选择零件毛坯致密度在 90% 以上,且无连通孔隙的零件毛坯;

第 9 步确定第二步热等静压成形的工艺参数,选取常规的热等静压条件,对零件毛坯实施热等静压处理,在此条件下,压坯致密度能够接近 100%;

第 10 步待热等静压炉膛冷却后将零件取出,即得到最终所需的零件。

3. 根据权利要求 2 所述的高温合金致密件的成形方法,其特征在于,所述的第 6 步中,第一步成形时,所述选取的温度为粉末材料熔点的 0.4 ~ 0.5 倍,所述压力为 70MPa ~ 100MPa。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的高温合金致密件的成形方法,其特征在于,第二步热等静压成形中,温度为粉末材料熔点的 0.5 ~ 0.7 倍,压力为 100 ~ 120MPa。

## 一种高温合金致密件的热等静压两步成形方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于先进制造领域,具体涉及一种高温合金致密件的热等静压两步成形方法。

### 技术背景

[0002] 航空航天领域中的一些关键零部件常由高温合金(镍基合金、钛基合金)等难加工材料加工而成,采用常规方法加工和成形,工艺难度大,材料浪费多,制造成本高。

[0003] 镍基钛基高温合金因其具有良好的断裂韧性、抗疲劳性能、抗热腐蚀性能和良好的高温强度,是航空航天高温热端部件不可替代的成形材料。然而,高温合金复杂的合金化又导致在铸、锻过程中,成分偏析严重、力学性能分散、热工艺性能恶化。如果采用机加工方法,不但制造困难而且会浪费掉大量的贵重材料,复杂结构甚至无法制造。利用热等静压方法可整体成形复杂零件,而且具有良好的综合机械性能。

[0004] 热等静压是上世纪 50 年代发展起来的一种粉料固结、成型和热处理的新技术,其是通过将高温(700 ~ 2000℃),高压(70 ~ 200MPa)介质同时均等地作用在材料的整个表面,从而使材料产生固结。该技术集成粉末冶金和冷等静压成型的双重优势,将粉末的成型和烧结两步作业合成一步进行,而且经过热等静压压制的制品可达到致密状态,基本上能够消除内部气孔,材料性能各向相同,从而大幅度地改善了产品的性能。

[0005] 热等静压近净成形工艺结合了粉末冶金技术与现代模具技术,在利用高温和高压对粉末材料进行完全致密化的同时,可整体近净成形出性能达同质锻件水平的复杂零件,不仅可以克服难加工的难题,而且还可以大幅度提高贵重材料的利用率,从而降低零件的制造成本。

[0006] 热等静压整体近净成形工艺路线如下:首先,设计并制造出经计算机模拟和优化后的金属(一般采用软钢)包套;接着,在其中填装待成形零件的金属粉末并紧实;然后,抽真空密封并实施热等静压(hot isostatic pressing, HIP);最后,去除包套,便可获得致密零件。

[0007] 最终得到的致密零件的尺寸直接由设计的包套所决定。其中包套材料的选择尤为重要。包套材料选择必须遵守以下基本原则:(1)包套应有绝对可靠的气密性;(2)不与被压物料反应;(3)有适当的强度和良好的塑性;(4)易加工成形、易剥离;(5)具有良好的经济实效。基于这些原则,包套材料的选择受到了一定的限制。

[0008] 目前,热等静压包套大部分采用的是软钢,因为软钢的加工性能好,热等静压后易去除,价格也较便宜,但是由于软钢的高温屈服强度较低,用作在包套中的控形部分时,在高温高压环境下发生较大的形变,难以保证原有的形状,不能保证最后成形零件的尺寸精度和形状精度。

[0009] 另外,在零件的复杂结构以及长直结构中,粉末在包套变形的驱动力下较难达到致密,容易产生孔隙,使零件性能达不到要求。倘若加大压力来增加驱动力,可能会使包套变形过大而开裂。所以,在热等静压成形零件中,结构复杂件和长直件存在孔隙缺陷。

## 发明内容

[0010] 本发明的目的在于提供一种高温合金致密件的热等静压二次成形方法,该方法可以保证零件的形状精度和尺寸精度,并使零件具有高致密度,能够得到形状尺寸和性能都满足要求的零件。

[0011] 本发明提供的一种高温合金致密件的成形方法,该方法采用较低的温度或者压力对带包套的高温合金粉末进行第一次热等静压,得到致密度高于 90% 以及无连通孔隙的零件压坯,然后去除第一步热等静压后的包套,再采用常规的热等静压工艺参数对零件压坯进行第二次热等静压,得到所需的高温合金致密件。

[0012] 本发明分两步热等静压来成形高温合金零件,第一步热等静压采用较低的温度或者压力,控形模具变形小,保证零件的形状精度和尺寸精度,仅需保证热等静压后的压坯致密度高于 90% 以及无连通孔隙即可;去除第一步热等静压后的包套,对其零件压坯进行第二次热等静压,第二步热等静压采用常规的热等静压工艺参数,这样的温度下,组织性能和致密度最好,由此成形出形状精度高,组织性能好的零件。与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0013] (1) 采用较常用的金属材料作为包套,成本低,加工性能好,并且热等静压后容易去除;

[0014] (2) 第一步热等静压选择的较低的温度或者压力,可保证包套在第一步成形过程中仍具有良好的塑性以及较高的屈服强度;良好的塑性可以使外部包套变形趋势粉末流动,保证了零件毛坯的成形,达到较高的致密度;较高的屈服强度可确保包套控形部分具有一定的强度,起到控形作用,保证了零件毛坯的尺寸精确性。

[0015] (3) 由于第二步热等静压成形时,已经没有包套的约束,不受包套的形状以及包套材料强度和塑性的限制,热等静压温度可以选取常规的温度和压力,在此温度和压力下,不仅可以得到较好的组织,而且还增加了零件的致密度,消除内部孔隙等缺陷。

[0016] (4) 采用本发明方法成形高温合金零件,材料利用率高,工艺简单,低成本,低能耗,高效率。

## 附图说明

[0017] 图 1 为本发明方法第一步热等静压成形示意图,其中,(a) 为第一步热等静压模具加温加压过程图,(b) 为第一步热等静压后的模具图,(c) 为第一步热等静压后去除包套后的零件毛坯;1 为包套壁,2 为高温合金,3 为孔隙,4 为控形型芯;

[0018] 图 2 为该发明方法第二步热等静压成形示意图,其中,(d) 为第一步热等静压得到的零件毛坯,(e) 为第二步热等静压的加温加压过程图,(f) 为第二步热等静压后得到的最终零件;

[0019] 图 3 为实例一中需要制得的叶盘零件;

[0020] 图 4 为实例一叶盘模具中成形叶盘的控形型芯;

[0021] 图 5 为实例一的叶盘模具图,其中,5 为包套上盖,6 为控形上盖,7 为包套外壁,8 为控形型芯,9 为包套下盖,10 为包套内壁;

[0022] 图 6 为实例二的长直棒模具图,其中,2 为高温合金 (Ni625 粉末),4 为控形型芯,

5 为包套上盖,7 为包套外壁,9 为包套下盖,11 为抽气管,12 为钢丝棉。

### 具体实施方式

[0023] 本发明法采用价格低、较常见、加工性能好的材料作为热等静压包套,先选用温度和压力低于常规条件的工艺进行热等静压,保证致密度达到 90% 以上,此时控形模具变形较小,保证了零件的形状精度和尺寸精度;然后去除包套得到零件毛坯,再使用温度和压力较高的条件进行热等静压,消除零件毛坯中的孔隙,使零件达到全致密,得到所需的形状尺寸和性能都满足要求的零件。

[0024] 如图 1、图 2 所示,本发明提供一种高温合金致密件的热等静压二次成形方法,包括下述步骤:

[0025] 第 1 步设计待成形零件的热等静压成形包套,设计包括包套控形部分材料的选择,通常应选择加工性能好、热等静压后易去除的材料;

[0026] 第 2 步对包套进行焊接,包套的主体需要与其上下端盖焊接成整体,以组装成一个封闭而仅带有抽气孔的包套;

[0027] 第 3 步对包套进行检漏,若包套有漏气现象,则需重新对包套与端盖连接处封焊,至不漏气为止,若不漏气,则直接进行下一步;

[0028] 第 4 步往包套内部装入合金粉末,并震动摇实;

[0029] 第 5 步对包套抽真空后,将抽气管封焊,从而获得压坯;

[0030] 第 6 步确定第一步热等静压成形的工艺参数,选取低于常规的热等静压条件的温度或 / 和压力,将上一步得到的压坯实施热等静压处理,选取的工艺参数应保证零件毛坯致密度在 90% 以上;

[0031] 所述选取的温度优选为粉末材料熔点的 0.4 ~ 0.5 倍,所述压力优选为 70MPa ~ 100MPa。

[0032] 第 7 步第一步热等静压后,采用机加工和酸洗的方法去除包套,得到零件毛坯;

[0033] 第 8 步用排水法测量零件毛坯的致密度,检验上一步得到的零件毛坯致密度是否在 90% 以上且无连通孔隙;

[0034] 第 9 步确定第二步热等静压成形的工艺参数,选取常规的热等静压条件,对零件毛坯实施热等静压处理,在此条件下,压坯致密度可接近 100%;

[0035] 在常规的热等静压工艺中,温度通常为粉末材料熔点的 0.5 ~ 0.7 倍,压力为 100 ~ 120MPa。

[0036] 第 10 步待热等静压炉膛冷却后将零件取出,即可得到最终所需的零件。

[0037] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步说明。在此需要说明的是,对于这些实施方式的说明用于帮助理解本发明,但并不构成对本发明的限定。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0038] 实例 1:

[0039] 此为运用本发明制造钛合金 (Ti6Al4V, TC4) 叶盘 (图 3) 的实例:

[0040] 钛合金的常规热等静压的工艺参数为:温度 950℃,压力 120MPa。在此温度和压力下,零件的组织性能优良,致密度高,但是在此高温高压下,控形模具的变形很大,最终得到的零件形状精度和尺寸精度往往较低。

[0041] 在此背景下,运用本发明可以解决上述问题。具体步骤如下:

[0042] (1) 根据零件设计热等静压成形包套,选用 20 号钢作为包套材料,控形型芯(图 4)采用机加工的方法制得;

[0043] (2) 对包套进行焊接,将模具控形部分与上下端盖焊接成整体,以组装成一个封闭而仅带有抽气孔的包套;

[0044] (3) 对包套进行检漏,在保证包套不漏气后,往包套内部装入 TC4 合金粉末,并震动摇实;

[0045] (4) 通过排气管对包套内抽真空,在真空度约为  $10^{-3}$ Pa 时,将排气管压扁,用焊接或熔化使其封口,从而获得如图 5 所示的压坯,其中,1 为上盖,2 为控形上盖,3 为包套外壁,4 为控形型芯,5 为控形下盖,6 为下盖,7 为包套内壁;

[0046] (5) 将压坯放入热等静压炉,进行加热加压处理。在高温和均匀的压力作用下,使坯体的致密度达到 90% 以上,几何尺寸和形状都符合要求;

[0047] 第一步热等静压工艺过程为:

[0048] 以  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速度,将温度从室温上升到  $800^{\circ}\text{C}$ ,保温 3h;接着以  $2\text{MPa}/\text{min}$  的速度将压力升高到 120MPa,在  $800^{\circ}\text{C}$  和 120MPa 条件下保温保压 3h;降温卸压。

[0049] (6) 待热等静压炉膛冷却至室温时,将压坯取出。采用机加工和酸洗的方法去除金属包套,得到零件压坯;

[0050] (7) 将零件压坯放入热等静压炉,进行加热加压处理。在高温和均匀的压力作用下,使坯体的致密度达到 99% 以上,消除孔隙;

[0051] 第二步热等静压工艺过程为:

[0052] 以  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的速度,将温度从室温上升到  $950^{\circ}\text{C}$ ,保温 3h;接着以  $2\text{MPa}/\text{min}$  的速度将压力升高到 120MPa,在  $950^{\circ}\text{C}$  和 120MPa 条件下保温保压 3h;降温卸压。

[0053] (8) 待热等静压炉膛冷却至室温时,将压坯取出,得到即为最后满足要求的叶盘零件。

[0054] 上述方法制得的叶盘零件致密度达到 99.4%,尺寸精度和形状精度高,显微结构均匀,无气孔、孔隙等缺陷。

[0055] 实例 2:

[0056] 此为运用本发明制造镍基合金(Ni625)长直棒(图 6)的实例:

[0057] 镍基合金的常规热等静压的工艺参数为:温度  $1050^{\circ}\text{C}$ ,压力 120MPa。在此工艺下成形长直棒时,控形模具材料的屈服强度很低,变形大,不能保证成形零件的尺寸精度,而且,这种长直结构也存在难以填充致密的问题。

[0058] 在此背景下,运用本发明可以解决上述问题。具体步骤如下:

[0059] (1) 根据零件设计热等静压成形包套,选用 20 号钢作为包套材料,;

[0060] (2) 对包套进行焊接,将模具控形部分与上下端盖焊接成整体,以组装成一个封闭而仅带有抽气孔的包套;

[0061] (3) 对包套进行检漏,在保证包套不漏气后,往包套内部装入 Ni625 合金粉末,并震动摇实;

[0062] (4) 通过排气管对包套内抽真空,在真空度约为  $10^{-3}$ Pa 时,将排气管压扁,用焊接或熔化使其封口,从而获得如图 6 所示的压坯,其中,1 为抽气管,2 为包套上盖,3 为钢丝棉,

4 为包套壁,5 为 Ni625 粉末,6 为控形型芯,7 为包套下盖;

[0063] (5) 将压坯放入热等静压炉,进行加热加压处理。在高温和均匀的压力作用下,使坯体的致密度达到 90%以上,几何尺寸和形状都符合要求;

[0064] 第一步热等静压工艺过程为:

[0065] 以 10°C /min 的速度,将温度从室温上升到 850°C,保温 20min;接着以 2MPa/min 的速度将压力升高到 80MPa,同时以 5°C /min 的速度,将温度从 850°C 上升到 1050°C;在 1050°C 和 80MPa 条件下保温保压 3h;降温卸压。

[0066] (6) 待热等静压炉膛冷却至室温时,将压坯取出。采用机加工和酸洗的方法去除金属包套,得到零件压坯;

[0067] (7) 将零件压坯放入热等静压炉,进行加热加压处理。在高温和均匀的压力作用下,使坯体的致密度达到 99%以上,消除孔隙;

[0068] 第二步热等静压工艺过程为:

[0069] 以 10°C /min 的速度,将温度从室温上升到 850°C,保温 20min;接着以 2MPa/min 的速度将压力升高到 120MPa,同时以 5°C /min 的速度,将温度从 850°C 上升到 1050°C;在 1050°C 和 120MPa 条件下保温保压 3h;降温卸压。

[0070] (8) 待热等静压炉膛冷却至室温时,将压坯取出,得到即为最后满足要求的长直棒零件。

[0071] 上述方法制得的长直棒零件致密度达到 99.1%,尺寸精度和形状精度高,显微结构均匀,无气孔、孔隙等缺陷。

[0072] 总之,本发明的实质是利用两步不同的热等静压工艺条件参数来成形高温合金零件:先使用较低的温度或压力,保证控形模具变形小,得到致密度大于 90%的零件压坯,此时压坯的形状精度和尺寸精度高,存在部分孔隙;然后再使用常规的工艺参数(温度和压力),消除第一步热等静压后压坯中的孔隙,使零件全致密。这样得到的零件,既有常规工艺的优良的组织性能和高致密度,又有常规工艺无法达到的形状精度和尺寸精度。

[0073] 本发明不仅局限于上述具体实施方式,本领域一般技术人员根据本发明公开的内容,可以采用其它多种具体实施方式实施本发明,因此,凡是采用本发明的设计和思路,做一些简单的变化或更改的设计,都落入本发明保护的范围。

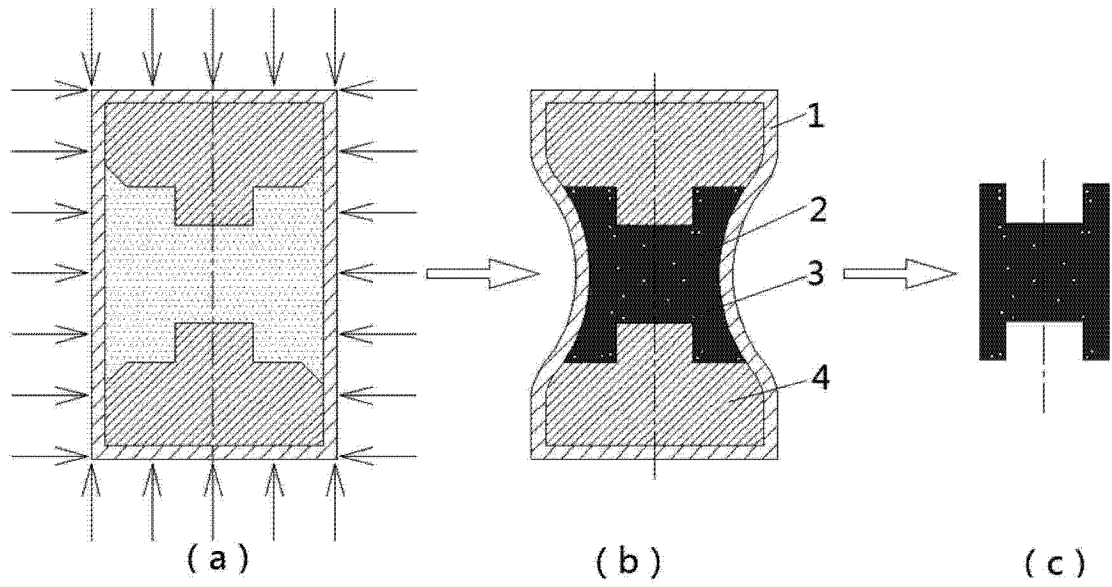


图 1

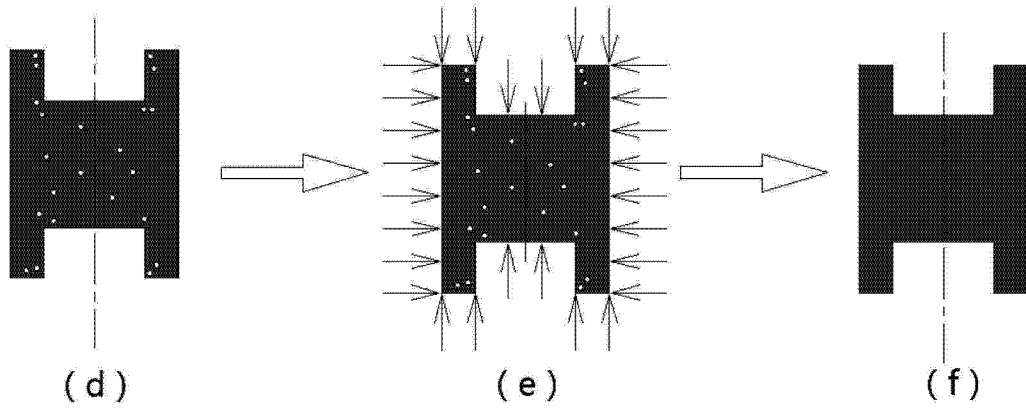


图 2



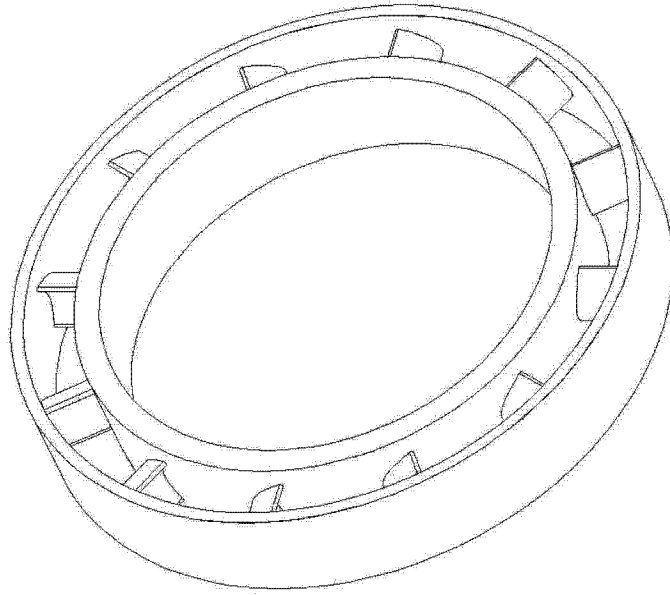


图 3

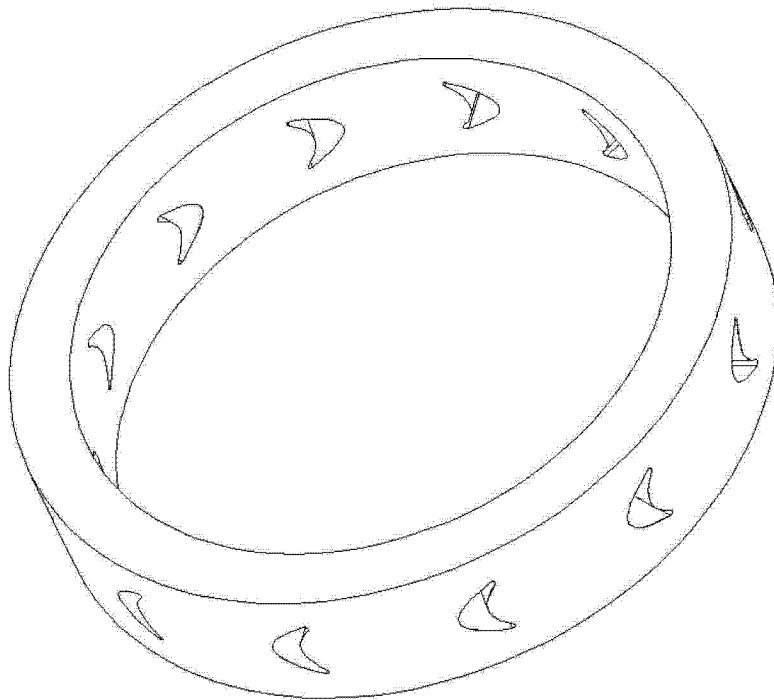


图 4

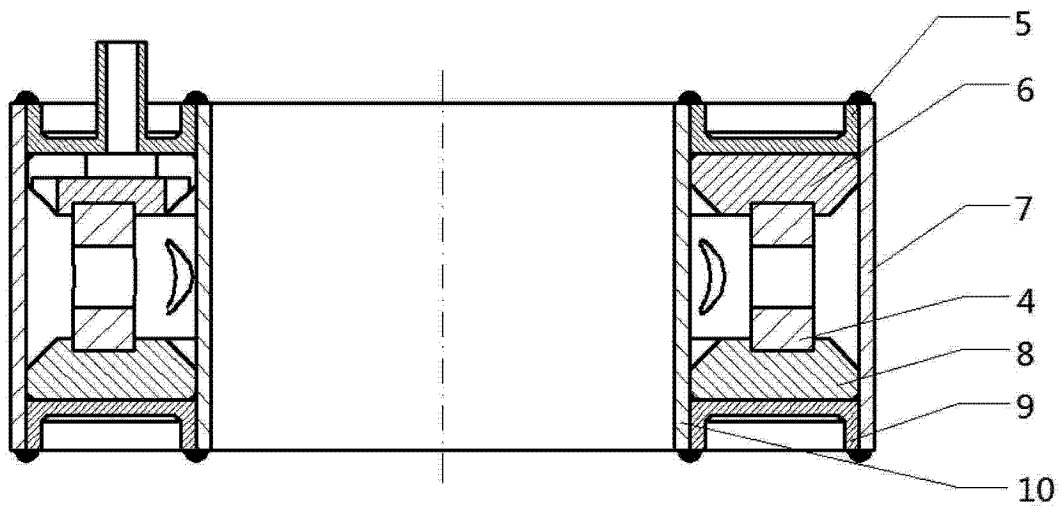


图 5

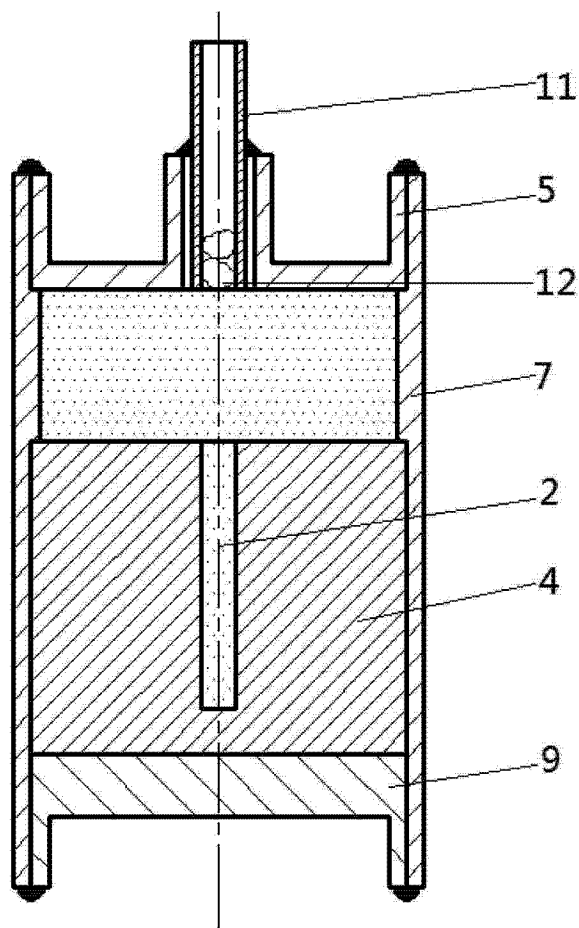


图 6