



(21) 申请号 202110684867.3

(22) 申请日 2021.06.21

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113217112 A

(43) 申请公布日 2021.08.06

(73) 专利权人 北京航空航天大学

地址 100089 北京市海淀区学院路37号

(72) 发明人 郎利辉 李灿

(74) 专利代理机构 北京方圆嘉禾知识产权代理

有限公司 11385

专利代理师 郑萌萌

(51) Int.Cl.

F01D 5/14 (2006.01)

F01D 5/18 (2006.01)

F01D 5/28 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101786223 A, 2010.07.28

CN 107908816 A, 2018.04.13

CN 112620634 A, 2021.04.09

CN 112372130 A, 2021.02.19

US 5269058 A, 1993.12.14

CN 105436839 A, 2016.03.30

审查员 牛泽伟

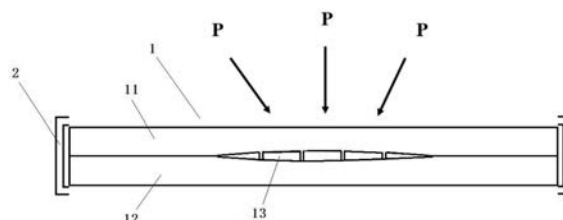
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种钛合金空心叶片的制造方法及其钛合金空心叶片

(57) 摘要

本发明公开一种钛合金空心叶片的制造方法及其钛合金空心叶片,包括以下步骤:制备两个平板毛坯,并加工凹槽,扣合两个所述平板毛坯,在之间形成空腔;对扣合的两个所述平板毛坯进行扩散焊接,形成叶片毛坯,降温到室温;封闭所述叶片毛坯的侧边,升温到热等静压的温度,对所述叶片毛坯进行热等静压强化处理;按照设计形状对热等静压强化处理后的所述叶片毛坯进行机加工;对机加工后的所述叶片毛坯进行成形和校形;进行精加工得到最终空心叶片成品;本发明在对平板毛坯进行扩散焊接后形成叶片毛坯,然后对叶片毛坯进行热等静压强化处理,能够在叶片表面均匀施加压力,提高扩散焊接所连接的界面均匀性以及连接强度,改善扩散焊接的质量。



1. 一种钛合金空心叶片的制造方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,制备两个平板毛坯,在两个所述平板毛坯上均加工凹槽,扣合两个所述平板毛坯,在两个所述平板毛坯之间形成空腔;

步骤2,对扣合的两个所述平板毛坯进行扩散焊接,形成叶片毛坯,降温到室温;

步骤3,封闭所述叶片毛坯的侧边,升温到热等静压的温度,对所述叶片毛坯进行热等静压强化处理;在所述叶片毛坯侧边用封闭模具进行封闭固定,并且所述封闭模具与所述叶片毛坯的侧面之间留有间隙;

步骤4,按照设计形状对热等静压强化处理后的所述叶片毛坯进行机加工;

步骤5,对机加工后的所述叶片毛坯进行成形和校形;

步骤6,进行精加工得到最终空心叶片成品。

2. 根据权利要求1所述的钛合金空心叶片的制造方法,其特征在于:步骤1中,在其中一个所述平板毛坯的凹槽内加工出若干筋条,另一个不加工。

3. 根据权利要求1所述的钛合金空心叶片的制造方法,其特征在于:步骤2中,对所述平板毛坯的待连接面进行表面清理,在空腔不需要连接的表面均匀涂抹止焊剂,并在所述平板毛坯的边缘进行点焊,装入模具进行扩散焊接。

4. 根据权利要求3所述的钛合金空心叶片的制造方法,其特征在于:以加热温度930℃、连接压力3MPa、保温时间60min的工艺参数进行扩散焊接。

5. 根据权利要求4所述的钛合金空心叶片的制造方法,其特征在于:热等静压强化处理的工艺参数为920~930℃/120~150MPa/2~3h。

6. 根据权利要求4所述的钛合金空心叶片的制造方法,其特征在于:步骤4中,在叶根留有足够加工余量,在叶身仅留磨抛余量。

7. 根据权利要求4所述的钛合金空心叶片的制造方法,其特征在于:步骤5中,先对叶根进行热压弯成形;然后扭转叶尖至预设角度;再进行叶身中部的局部校形;最后进行精密整形及热气胀面板校形。

8. 根据权利要求7所述的钛合金空心叶片的制造方法,其特征在于:精密整形温度为750~780℃,热气胀面板校形温度为930~950℃,所用模具材料为中硅钼球墨铸铁或者耐热不锈钢XZ19-4N。

9. 一种钛合金空心叶片,其特征在于:应用如权利要求1-8任一项所述的制造方法制造而成。

一种钛合金空心叶片的制造方法及其钛合金空心叶片

技术领域

[0001] 本发明涉及空心叶片的加工成形领域,特别是涉及一种钛合金空心叶片的制造方法及其钛合金空心叶片。

背景技术

[0002] 航空发动机是飞机的重要组成部分,发动机的性能直接影响着整个飞机的使用性能,发动机的减重能够提高推重比,而空心结构的叶片能够减少发动机的整体重量。涡轮风扇发动机凭借着高效率、低油耗等优点,涡轮风扇发动机现已成为当今航空发动机领域中装机量最多的类型之一。钛合金宽弦空心风扇叶片和压气机可调空心叶片是大型航空涡扇发动机最具代表性的重要零件,不仅性能好、效率高,而且在抗外物撞击能力方面都有所提高。

[0003] 目前主要通过组合扩散连接和超塑成形工艺用于制造各类钛合金多层空心结构零件,但此种方法未能很好地解决风扇叶片在重复使用和振动下所导致的焊接部位疲劳开裂的问题。而风扇叶片作为涡轮风扇发动机的重要部件,要求外部型面准确,表面光滑,零件整体具有良好的综合性能。由于两层结构空心风扇叶片结构特殊,外形复杂,弯扭角度较大,在热成形过程中具有复杂的应力分布和特殊的损伤演变规律,在服役过程中极易发生疲劳断裂。

[0004] 因此,对于扩散焊接后焊缝及内部空心区域等易损伤的薄弱地带,如何实现强度、塑性与疲劳性能的良好匹配是亟待攻克的技术难题。

[0005] 申请公布号为CN 105436839 A的中国专利公开了一种航空发动机钛合金宽弦空心风扇叶片的制造方法,该方案是在超塑成形与扩散焊接工序之前加入一道铆接工序,封焊后对板材除留有进气口一侧的其余三侧边钻孔,去毛刺后放入铆钉进行铆接;在对设置有铆钉的三侧边进行扩散焊接时,对上面板、下面板和铆钉均施加压力,使得在上面板与下面板、铆钉与上面板、铆钉与下面板之间形成扩散焊接面,也就是说,该方案通过增加铆钉的方式提高叶片的扩散焊接的连接强度,以避免焊接位置处开裂,显然,该方案需要在叶片上增加铆钉,不仅会破坏叶片的局部结构,还会影响叶片的动平衡稳定性,需要特殊设计,另外,铆接只是一个辅助提高强度的方式,并没有真正改善焊接本身的质量。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种钛合金空心叶片的制造方法及其钛合金空心叶片,以解决上述现有技术存在的问题,在对平板毛坯进行扩散焊接后形成叶片毛坯,然后对叶片毛坯进行热等静压强化处理,能够在叶片表面均匀施加压力,提高扩散焊接所连接的界面均匀性以及连接强度,改善扩散焊接的质量。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0008] 本发明提供一种钛合金空心叶片的制造方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤1,制备两个平板毛坯,在两个所述平板毛坯上均加工凹槽,扣合两个所述平

板毛坯,在两个所述平板毛坯之间形成空腔;

[0010] 步骤2,对扣合的两个所述平板毛坯进行扩散焊接,形成叶片毛坯,降温到室温;

[0011] 步骤3,封闭所述叶片毛坯的侧边,升温到热等静压的温度,对所述叶片毛坯进行热等静压强化处理;

[0012] 步骤4,按照设计形状对热等静压强化处理后的所述叶片毛坯进行机加工;

[0013] 步骤5,对机加工后的所述叶片毛坯进行成形和校形;

[0014] 步骤6,进行精加工得到最终空心叶片成品。

[0015] 优选地,步骤1中,在其中一个所述平板毛坯的凹槽内加工出若干筋条,另一个不加工。

[0016] 优选地,步骤2中,对所述平板毛坯的待连接面进行表面清理,在空腔不需要连接的表面均匀涂抹止焊剂,并在所述平板毛坯的边缘进行点焊,装入模具进行扩散焊接。

[0017] 优选地,以加热温度930℃、连接压力3MPa、保温时间60min的工艺参数进行扩散焊接。

[0018] 优选地,步骤3中,在进行热等静压强化处理时,在所述叶片毛坯侧边用封闭模具进行封闭固定,并且所述封闭模具与所述叶片毛坯的侧面之间留有间隙。

[0019] 优选地,热等静压强化处理的工艺参数为920~930℃/120~150MPa/2~3h。

[0020] 优选地,步骤4中,在叶根留有足够加工余量,在叶身仅留磨抛余量。

[0021] 优选地,步骤5中,先对叶根进行热压弯成形;然后扭转叶尖至预设角度;再进行叶身中部的局部校形;最后进行精密整形及热气胀面板校形。

[0022] 优选地,精密整形温度为750~780℃,热气胀面板校形温度为930~950℃,所用模具材料为中硅钼球墨铸铁或者耐热不锈钢XZ19-4N。

[0023] 本发明还提供一种钛合金空心叶片,应用前文记载的所述的制造方法制造而成。

[0024] 本发明相对于现有技术取得了以下技术效果:

[0025] (1) 本发明在对平板毛坯进行扩散焊接后形成叶片毛坯,然后对叶片毛坯进行热等静压强化处理,通过热等静压强化处理能够在扩散焊接后的叶片毛坯的叶片表面均匀施加压力,由于热等静压强化处理的过程中,会进行加热,也就是说,在较高的温度条件下对叶片表面均匀施加压力,能够提高扩散焊接所连接的界面均匀性以及连接强度,有效改善扩散焊接的质量,解决了航空发动机空心风扇叶片扩散焊接焊缝人易疲劳开裂的问题,大大提高了航空发动机钛合金空心风扇叶片的综合性能;

[0026] (2) 本发明在进行热等静压强化处理时,在叶片毛坯侧边用封闭模具进行封闭固定,这样一来,热等静压强化处理时的外部气体会作用在封闭模具上,不会直接作用在扩散焊接的焊缝,从而能够对焊缝进行保护,避免焊缝受到气体压力的影响,并且,封闭模具与叶片毛坯的侧面之间留有间隙,封闭模具在受到气体压力的作用下不会直接对叶片的侧面施压作用,从而气体的压力将均匀施加在叶片的表面,保证热等静压强化处理的效果;

[0027] (3) 本发明只在一个平板毛坯的凹槽内加工出若干筋条,另一个平板毛坯的凹槽内不加工筋条,也就是说,当进行扩散焊接时,焊接的连接面不在筋条的中部,而在筋条与凹槽内底面的接触位置,因此,能够避免筋条和筋条焊接所造成的焊接强度不高的状况,能够减小筋条扩散焊接焊缝处的应力集中,保证焊接的连接强度。

附图说明

[0028] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0029] 图1为热压扩散焊接示意图;

[0030] 图2为热等静压强化处理示意图;

[0031] 图3为叶根压弯成形示意图;

[0032] 图4为叶尖扭转成形示意图;

[0033] 图5为校形示意图;

[0034] 其中,1、叶片毛坯;11、第一平板毛坯;12、第二平板毛坯;13、空腔;2、封闭模具;3、热弯曲成形模具;31、热弯曲上模;32、热弯曲下模;4、第一固定装置;5、热扭转成形设备;6、热校形设备;61、热校形上模;62、热校形下模;7、第二固定装置。

具体实施方式

[0035] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0036] 本发明的目的是提供一种钛合金空心叶片的制造方法及其钛合金空心叶片,以解决现有技术存在的问题,在对平板毛坯进行扩散焊接后形成叶片毛坯,然后对叶片毛坯进行热等静压强化处理,能够在叶片表面均匀施加压力,提高扩散焊接所连接的界面均匀性以及连接强度,改善扩散焊接的质量。

[0037] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0038] 结合图1-5所示,本发明提供一种钛合金空心叶片的制造方法,包括以下步骤:

[0039] 步骤1,剪切下料,制备两个平板毛坯,包括第一平板毛坯11和第二平板毛坯12,第一平板毛坯11和第二平板毛坯12可以在结构上完全一致,也可以不完全一致。具体的,可以在第一平板毛坯11和第二平板毛坯12上均加工凹槽,其中第一平板毛坯11上加工的凹槽可以与第二平板毛坯12上加工的凹槽在结构或尺寸上存在差别,或保持一致。将第一平板毛坯11和第二平板毛坯12扣合在一起,扣合时将凹槽扣合在内部,此时,在第一平板毛坯11和第二平板毛坯12之间形成空腔13。需要说明的是,空腔13的大小可以根据叶片的整体质量以及强度需求等进行合理设置。当然,为了保证空腔13的有效支撑,避免空腔13塌陷,可以在空腔13内设置有筋条,筋条可以为匹配凹槽的弧度进行加工的单独部件,也可以在加工凹槽时机加工得到;其中,在机加工筋条时,可以只在第一平板毛坯11或第二平板毛坯12上单独加工,或者,对称加工在第一平板毛坯11和第二平板毛坯12上,或者,在第一平板毛坯11和第二平板毛坯12上均有加工,但加工的位置相互错开。

[0040] 步骤2,对扣合的第一平板毛坯11和第二平板毛坯12进行扩散焊接,由于设置有空腔13,空腔13的内底面是不需要进行扩散焊接连接的,因此,扩散焊接前需要确定连接面,

并且,为了保证扩散焊接的连接效果,可以对连接面提前进行清理,保证接触良好。扩散焊接过程中进行升温,并对第一平板毛坯11和第二平板毛坯12的外侧施加一定压力,在扩散焊接完成后形成叶片毛坯1,然后,将叶片毛坯1进行自然冷却,降温到室温。

[0041] 步骤3,采取措施封闭叶片毛坯1的侧边,可以采用挡板或封闭模具2,能够将叶片毛坯1周边的焊缝与外界隔绝开,以避免进行热等静压时会有气体作用于焊缝而造成不良影响。按照热等静压所需求的温度对叶片毛坯1进行加热升温,并设定好其他参数,对叶片毛坯1进行热等静压强化处理。通过上述措施,能够在热等静压强化处理时,在扩散焊接后的叶片毛坯1的叶片表面均匀施加压力,由于热等静压强化处理的过程中,会进行加热,也就是说,在较高的温度条件下对叶片表面均匀施加压力,能够提高扩散焊接所连接的界面均匀性以及连接强度,有效改善扩散焊接的质量,解决了航空发动机空心风扇叶片扩散焊接焊缝人易疲劳开裂的问题,大大提高了航空发动机钛合金空心风扇叶片的综合性能。

[0042] 步骤4,在完成扩散焊接、并完成热等静压强化处理后得到处理后的叶片毛坯1,然后按照设计形状对叶片毛坯1进行机加工,此处所说的设计形状指的是没有弯曲成形前的叶片毛坯1的规格形状,再经过机加工后得到进行热成形前的叶片毛坯1。

[0043] 步骤5,对机加工后的叶片毛坯1进行成形和校形,其中,成形包括叶根成形和叶尖成形,在叶根成形和叶尖成形后对叶身进行局部校形,以能够更符合设计的形状。不同部分的成形和校形可以采用不同的成形/校形工艺和设备。另外,在完成对叶片毛坯1各部分的成形和校形后,还可以将叶片毛坯1放入与理论设计的叶片外形相同的模具型面内进行精密整形及热气胀面校形。

[0044] 步骤6,对校形后的叶片毛坯1再进行最后的精加工,最终得到空心叶片成品。

[0045] 参考图1和图2所示,步骤1中,在其中一个平板毛坯的凹槽内加工出若干筋条,另一个不加工,例如在第一平板毛坯11的凹槽内加工若干筋条,筋条的大小匹配凹槽的深度和宽度,并且,筋条之间间隔一段间距,在扩散焊接后第一平板毛坯11的筋条能够与第二平板毛坯12的凹槽内底面完全连接。当进行扩散焊接时,焊接的连接面不在筋条的中部,而在筋条与凹槽内底面的接触位置,因此,能够避免筋条和筋条焊接所造成的焊接强度不高的状况,能够减小筋条扩散焊接焊缝处的应力集中,保证焊接的连接强度。

[0046] 步骤2中,对第一平板毛坯11和第二平板毛坯12的待连接面进行表面清理,在空腔13不需要连接的表面均匀涂抹止焊剂,并在第一平板毛坯11和第二平板毛坯12的边缘进行点焊,装入模具进行扩散焊接。

[0047] 扩散焊接的具体参数根据叶片结构、大小进行合理设定,优选地,可以采用加热温度930℃、连接压力3MPa、保温时间60min的工艺参数进行。

[0048] 如图2所示,步骤3中,在进行热等静压强化处理时,在叶片毛坯1侧边用封闭模具2进行封闭固定,并且封闭模具2与叶片毛坯1的侧面之间留有间隙。在叶片毛坯1侧边用封闭模具2进行封闭固定,这样一来,热等静压强化处理时的外部气体会作用在封闭模具2上,不会直接作用在扩散焊接的焊缝,从而能够对焊缝进行保护,避免焊缝受到气体压力的影响,并且,封闭模具2与叶片毛坯1的侧面之间留有间隙,该间隙不需要很大,例如可以为1mm,主要是避免封闭模具2与叶片毛坯1的侧面直接接触,封闭模具2在受到气体压力的作用下不会直接对叶片的侧面施压作用,从而气体的压力将均匀施加在叶片的表面,保证热等静压强化处理的效果。

[0049] 热等静压强化处理的各项参数可以依照现有的合理参数进行选择,并根据叶片的结构和规格进行适应调整,可以将热等静压强化处理的工艺参数设定为加热温度为920~930℃,气体压力为120~150MPa,持续时间为2~3h。

[0050] 步骤4中,在叶根留有足够加工余量,以适应后续的安装需求,进行相应的机加工,在叶身仅留磨抛余量,因为叶身在初步机加工时已经加工出成形前的尺寸,在进行成形和校形后只需要进行微量表面磨抛加工即可。

[0051] 步骤5中,先对叶片毛坯1的叶根进行热压弯成形,如图3所示,可以采用热弯曲成形模具3对叶根进行热压弯成形,叶尖通过第一固定装置4进行固定。具体的,将叶根放置在热弯曲下模32上,上部放置热弯曲上模31,热弯曲上模31下行与热弯曲下模32合模,完成叶根热压弯曲成形。然后扭转叶尖至预设角度,如图4所示,可以采用热扭转成形设备5,例如,将叶根包裹在热弯曲成形模具3,并将叶片毛坯1旋转90°成叶尖朝上的竖直状态,此时,将叶尖固定在热扭转成形设备5,利用热扭转成形设备5按照设定角度扭转叶尖。再进行叶身中部的局部校形,如图5所示,可以采用热校形设备6,叶根通过热弯曲成形模具3固定,叶尖通过第二固定装置7固定。具体的,叶身上部设置热校形上模61,叶身下部设置热校形下模62,热校形下模62连接有下顶出装置,通过热校形上模61和热校形下模62双向施加压力,进行叶身的局部校形。最后将叶片毛坯1放入与理论设计的叶片外形相同的模具型面内进行精密整形及热气胀面校形。

[0052] 在进行精密整形时温度可以设定为750~780℃,热气胀面板校形时温度可以设定为930~950℃,具体所用模具的材料可以为中硅钼球墨铸铁或者耐热不锈钢XZ19-4N。

[0053] 本发明还提供一种钛合金空心叶片,应用前文所记载的钛合金空心叶片的制造方法制造而成,该叶片由分体的第一平板毛坯11和第二平板毛坯12连接而成。在叶片内部形成中空结构,即在叶片的内部设置有空腔13,空腔13的大小根据叶片的强度和使用需求进行设计。空腔13的内部设置有筋条,筋条间隔设置在空腔13内部形成有效的支撑。其中,筋条可以在沿空腔13内平行分布,且相对于第一平板毛坯11和第二平板毛坯12垂直,当叶片在成形和校形后,筋条也随着叶片一同扭转变形,但是始终连接在空腔13内提供支撑。叶片的长度、宽度以及叶片的扭转和弯曲角度按照相关使用要求和设计要求进行设计。

[0054] 本发明中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

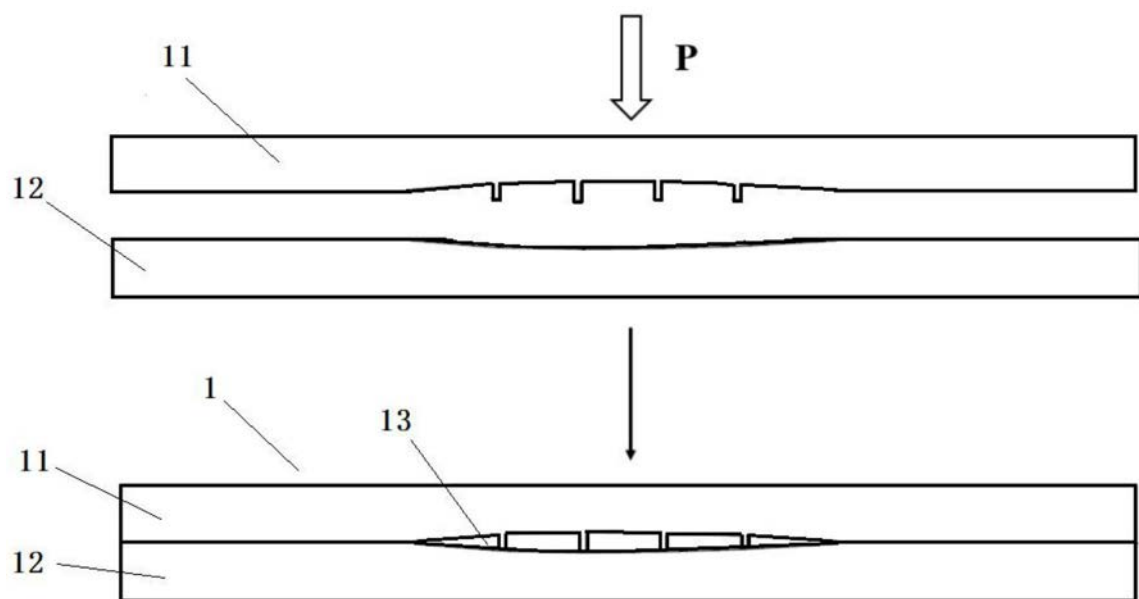


图1

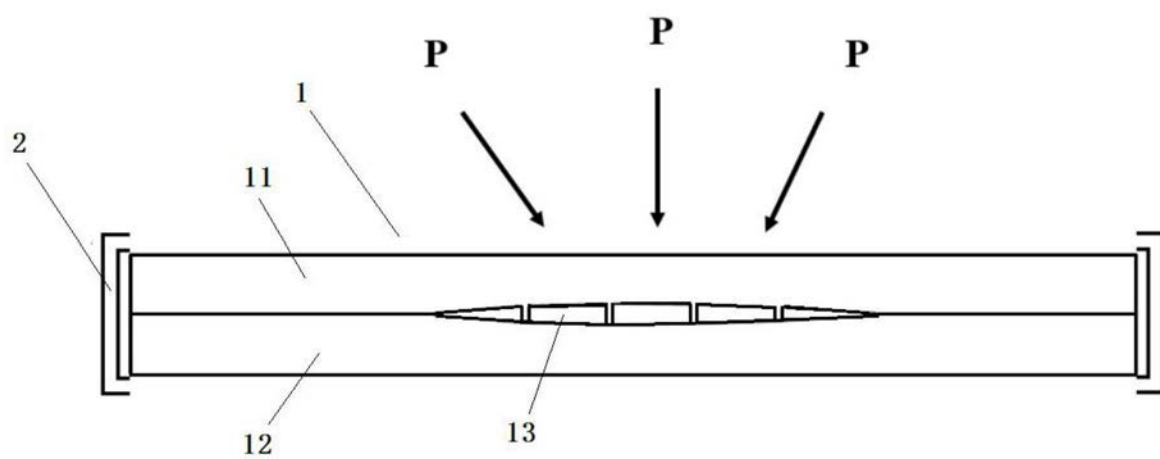


图2

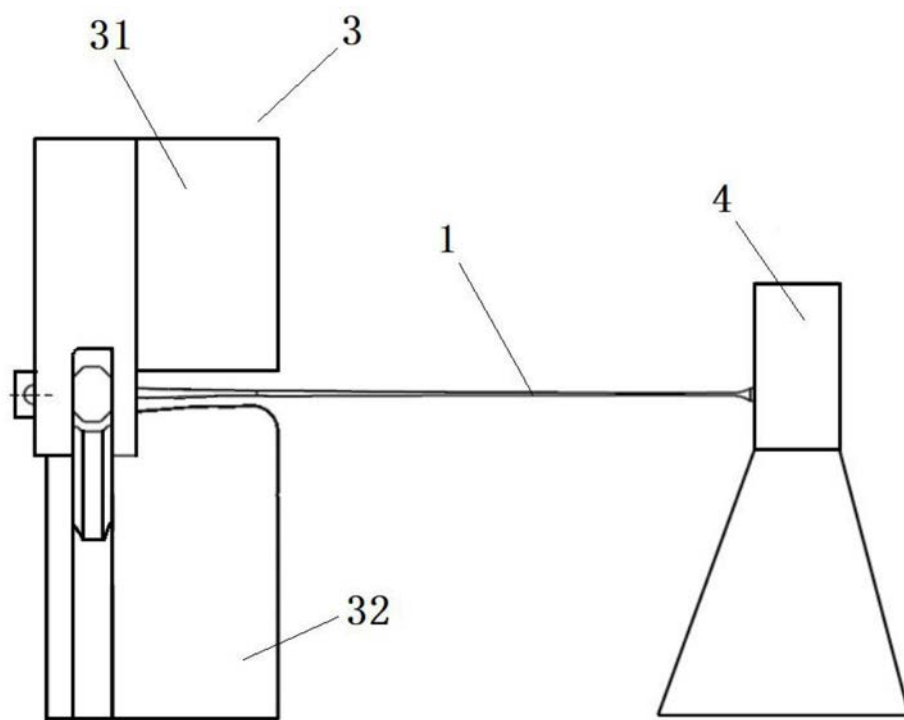


图3

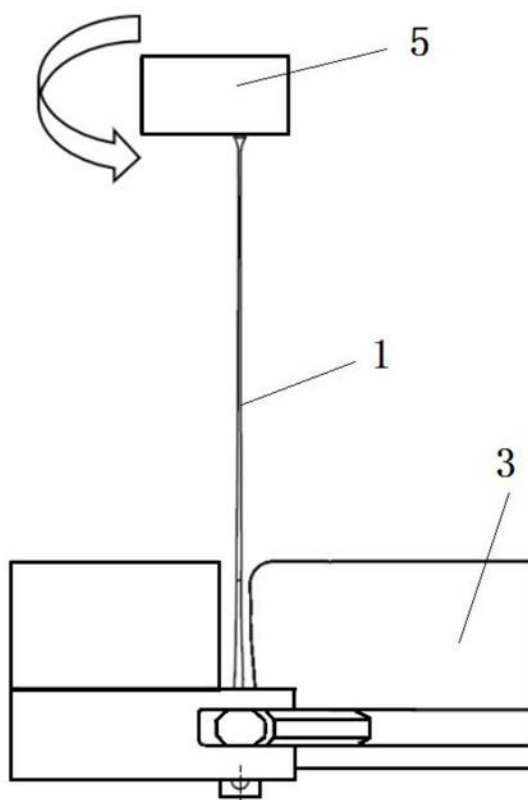


图4

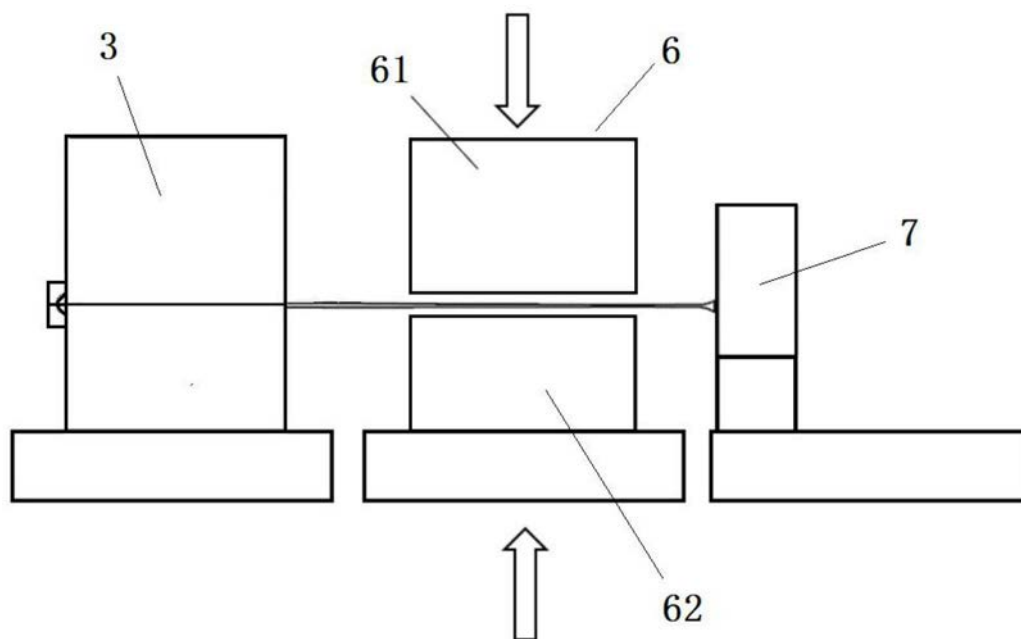


图5