



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105728811 B

(45)授权公告日 2018.04.03

(21)申请号 201610248807.6

(22)申请日 2016.04.20

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105728811 A

(43)申请公布日 2016.07.06

(73)专利权人 南京信息职业技术学院

地址 210046 江苏省南京市仙林大学城文
澜路99号

(72)发明人 单以才 章婷 颜玮 郭丽

(74)专利代理机构 南京天翼专利代理有限责任
公司 32112

代理人 查俊奎 朱戈胜

(51)Int.Cl.

B23C 3/16(2006.01)

(56)对比文件

CN 103894657 A, 2014.07.02,

CN 104552278 A, 2015.04.29,

CN 101670448 A, 2010.03.17,

CN 102658391 A, 2012.09.12,

CN 103100734 A, 2013.05.15,

CN 104289738 A, 2015.01.21,

US 5116168 A, 1992.05.26,

单以才等.CFRP/Ti6Al4V叠层构件大螺距螺旋
铣孔试验研究.《机械设计与制造》.2015,(第5
期),

审查员 陈蕾

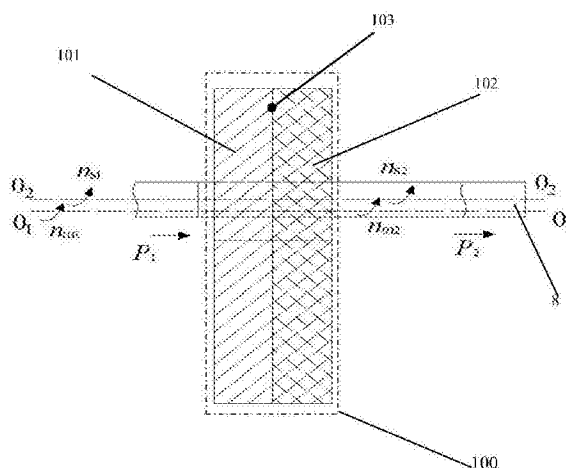
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种用于飞机机身叠层结构机器人化螺旋
制孔方法

(57)摘要

本发明公开了一种用于飞机机身叠层结构
机器人化螺旋制孔方法与系统,首先利用压紧机
构,压紧机身叠层制孔区域;其次,以匹配顶层构
件材料的刀具的高自转转速 n_{s1} 、低公转转速
 $n_{\omega 1}$ 、大进给螺距 P_1 ,对顶层构件进行螺旋制孔;
接着,在叠层分界面处将刀具的高自转转速、低
公转转速、大进给螺距由 n_{s1} 、 $n_{\omega 1}$ 、 P_1 调至匹配底
层构件材料的 n_{s2} 、 $n_{\omega 2}$ 、 P_2 ;最后,以 n_{s2} 、 $n_{\omega 2}$ 、 P_2
对底层构件进行螺旋制孔。该系统主要包括具有
第七轴的工业机器人和螺旋制孔执行器。本发明
利于螺旋制孔执行器与机器人平台的可靠装接,
能显著提高叠层结构螺旋制孔的效率与质量。



1. 一种用于飞机机身叠层结构机器人化螺旋制孔方法,其应用于机器人化螺旋制孔系统,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 利用压紧排屑机构,压紧机身叠层结构的制孔区域,所述压紧排屑机构固定在螺旋制孔执行器上,根据刀具直径和机身叠层结构上的待制孔直径,将刀具公转半径 e 调至所需的设定值;

(2) 刀具以匹配顶层构件材料的高自转转速 n_{s1} 、低公转转速 $n_{\omega 1}$ 和大进给螺距 P_1 ,对顶层构件进行螺旋制孔;

(3) 在机身叠层结构分界面处,将刀具的高自转转速、低公转转速、大进给螺距由匹配顶层构件材料的 n_{s1} 、 $n_{\omega 1}$ 、 P_1 调至匹配底层构件材料的 n_{s2} 、 $n_{\omega 2}$ 、 P_2 ;

(4) 刀具以匹配底层构件材料的高自转转速 n_{s2} 、低公转转速 $n_{\omega 2}$ 和大进给螺距 P_2 ,对底层构件进行螺旋制孔;

其中,所述机身叠层结构由顶层构件和底层构件叠层而成,所述顶层构件材料为碳纤维复合材料,所述底层构件材料为钛合金或铝合金,所述大进给螺距 P_1 和大进给螺距 P_2 为刀具公转一圈时的轴向进给量;对底层构件进行螺旋制孔时,所述大进给螺距 P_2 不小于1mm;对顶层构件进行螺旋制孔时,所述大进给螺距 P_1 不小于0.5mm;所述高自转转速 n_{s1} 、 n_{s2} 和低公转转速 $n_{\omega 1}$ 、 $n_{\omega 2}$ 需满足以下条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \min(\delta_1/(n_{\omega 1} p_1) + \delta_2/(n_{\omega 2} p_2)) \\ 10rpm \leq n_{s1} \leq 25rpm \\ 5rpm \leq n_{s2} \leq 15rpm \\ Men_{\omega 1}^2 \leq F \\ Men_{\omega 2}^2 \leq F \end{array} \right.$$

其中, T 为机身叠层结构制孔的最佳时间, δ_1 为顶层构件的厚度, δ_2 为底层构件的厚度, M 为螺旋制孔执行器工作偏心质量, F 为引起机器人化螺旋制孔系统发生切削颤振的临界力,所述螺旋制孔执行器为机器人化螺旋制孔系统的执行机构。

一种用于飞机机身叠层结构机器人化螺旋制孔方法

技术领域

[0001] 本发明属于飞机数字化装配自动制孔领域,具体涉及一种用于飞机机身叠层结构机器人化螺旋制孔方法与系统。

背景技术

[0002] CFRP与铝合金、钛合金等轻质合金叠层构件以其优异的轻质、高强度、耐腐蚀等综合性能而被广泛用于飞机机翼、中央翼盒、机身等部件。此类叠层构件给航空工业发展带来新机遇的同时,其加工困难和相关研究也备受国内外学者的高度关注。相关研究成果表明,如何减小钻孔轴向力、合理控制钻削温度,实现CFRP/轻质合金叠层构件少无缺陷高效制孔,一直是航空叠层构件的加工难题。

[0003] 以传统钻削加工以钛合金与CFRP组成叠层结构时,由于CFRP与钛合金有着截然不同的机械性能和热性能,而且钻削CFRP时刀具磨损机理完全不同于钻削钛合金,以一种刀具材料、同一几何结构参数的钻头进行叠层构件一体化制孔,必然会加速刀具磨损,影响孔的加工质量,而且叠层构件的层间突变,常常会导致进贴合面处产生严重的制孔缺陷。尤其随着叠层构件连接孔的厚度和直径不断加大,排屑、散热、刀具磨损等影响钻孔质量的问题变得更加突出。

[0004] 新兴的螺旋铣孔能大幅度降低制孔轴向力,其敞开式切削也便于排屑与散热,因而在抑制CFRP、钛合金单板制孔的缺陷方面具有明显优势,但为了降低制孔切削力且提高孔加工质量,现有螺旋铣孔普遍采用小螺距进给(轴向进给螺距小于0.5mm),这会严重影响着叠层构件螺旋铣孔的加工效率。从轴向进给螺距 p 影响加工设备性能来看,目前此类设备主要有机床和螺旋铣孔装置两种。对机床而言,螺旋铣孔的公转运动通常是由工作台和主轴协同实现,制孔刀具不会受到离心力作用。螺旋铣孔装置通常由刀具公转机构、刀具自转机构、轴向进给机构、公转半径调节机构组成,其公转运动则是由装置自身独立产生,因而装置的旋转组件会受到一个周期性变化的离心力作用,从而引发装置整机一定的受迫振动。当采用小螺距进给 p 、高公转速度 n 设计螺旋铣孔装置时,该装置因旋转组件的质量偏心容易产生旋转失衡,带来设备振动,引起轴承、联轴器等零件过早损坏。因此,当将螺旋铣孔工艺应用于机身叠层结构机器人化螺旋制孔系统时,从保证自动制孔系统加工稳定性出发,螺旋铣孔宜采用大螺距进给。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是飞机机身结构叠层装配的大直径连接孔加工难以采用传统钻削制孔,以及现有以小螺距进给存在加工叠层结构效率低和不利终端制孔执行器与机器人平台装接等问题。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明提供了一种用于飞机机身叠层结构机器人化螺旋制孔方法,其应用于机器人化螺旋制孔系统,包括以下步骤:

[0007] (1) 根据刀具直径和机身叠层结构上的待制孔直径,将刀具公转半径 e 调至所需的

设定值；

[0008] (2) 刀具以匹配顶层构件材料的高自转转速 n_{s1} 、低公转转速 $n_{\omega 1}$ 和大进给螺距 P_1 ，对顶层构件进行螺旋制孔；

[0009] (3) 在机身叠层结构分界面处，将刀具的高自转转速、低公转转速、大进给螺距由匹配顶层构件材料的 n_{s1} 、 $n_{\omega 1}$ 、 P_1 调至匹配底层构件材料的 n_{s2} 、 $n_{\omega 2}$ 、 P_2 ；

[0010] (4) 刀具以匹配底层构件材料的高自转转速 n_{s2} 、低公转转速 $n_{\omega 2}$ 和大进给螺距 P_2 ，对底层构件进行螺旋制孔；

[0011] 其中，所述机身叠层结构由顶层构件和底层构件叠层而成，所述顶层构件材料为碳纤维复合材料，所述底层构件材料为钛合金或铝合金，所述大进给螺距 P_1 和大进给螺距 P_2 为刀具公转一圈时的轴向进给量；对底层构件进行螺旋制孔时，所述大进给螺距 P_2 不小于1mm；对顶层构件进行螺旋制孔时，所述大进给螺距 P_1 不小于0.5mm。

[0012] 进一步地，所述高自转转速 n_{s1} 、 n_{s2} 和低公转转速 $n_{\omega 1}$ 、 $n_{\omega 2}$ 需满足以下条件：

$$[0013] \quad \begin{cases} T = \min(\delta_1/(n_{\omega 1} p_1) + \delta_2/(n_{\omega 2} p_2)) \\ 10rpm \leq n_{s1} \leq 25rpm \\ 5rpm \leq n_{s2} \leq 15rpm \\ Men_{\omega 1}^2 \leq F \\ Men_{\omega 2}^2 \leq F \end{cases}$$

[0014] 其中， T 为机身叠层结构制孔的最佳时间， δ_1 为顶层构件的厚度， δ_2 为底层构件的厚度， M 为螺旋制孔执行器工作偏心质量， F 为引起机器人化螺旋制孔系统发生切削颤振的临界力，所述螺旋制孔执行器为机器人化螺旋制孔系统的执行机构。

[0015] 进一步地，包括步骤：(1) 利用压紧排屑机构，压紧机身叠层结构的制孔区域，所述压紧排屑机构固定在螺旋制孔执行器上。

[0016] 一种机器人化螺旋制孔系统，其应用了上述用于飞机机身叠层结构机器人化螺旋制孔方法，包括具有第七轴的工业机器人(200)和螺旋制孔执行器(300)；所述具有第七轴的工业机器人(200)包括一个六自由度工业机器人(201)和可沿第七轴移动的一维运动平台(202)，所述六自由度工业机器人(201)安装在可沿第七轴移动的一维运动平台(202)上；所述螺旋制孔执行器(300)包括固定座(310)、导轨(320)、轴向进给机构(330)、公转机构(340)、偏心调节机构(350)和自转机构(360)，所述轴向进给机构(330)、公转机构(340)、偏心调节机构(350)和自转机构(360)都分别配置了一个电动驱动装置，所述导轨(320)设置在固定座(310)上，所述轴向进给机构(330)驱动公转机构(340)沿着导轨(320)移动，所述偏心调节机构(350)设置在公转机构(340)上，所述自转结构(360)设置在偏心调节机构(350)上，所述自转结构(360)用于设置刀具；所述螺旋制孔执行器(300)通过固定座(310)设置在具有第七轴的工业机器人(200)上。

[0017] 进一步地，还包括用于压紧机身叠层结构(100)的压紧排屑机构，所述压紧排屑机构包括设置在导轨(320)末端的底板(353)、空心压脚(351)和排屑管道(352)，所述排屑管道(352)设置在空心压脚(351)上，所述空心压脚(351)设置在底板(353)上。

[0018] 与现有技术相比，本发明的有益效果在于：(1) 通过增大轴向进给螺距，可以显著提高机身叠层结构的制孔效率；(2) 通过增大轴向进给螺距，在保持以小轴向进给螺距进行螺旋制孔效率的同时，可降低终端制孔执行器公转速度，从而抑制终端制孔执行器因质量

偏心带来的激振力；(3) 利用螺旋制孔的刀具的自转、公转和轴向进给分别采取独立控制的特点,实现螺旋制孔在叠层构件分界面处进行高自转转速、低公转转速和大进给螺距的调整,有助保证不同构件的制孔质量；(4) 对不同构件采用匹配的高自转转速、低公转转速和大进给螺距,有助提高叠层结构制孔的质量和效率,也利于降低刀具磨损。

附图说明

- [0019] 图1为本发明的制孔方法示意图；
 [0020] 图2为本发明的制孔系统示意图；
 [0021] 图3为图2的具有第七轴的工业机器人示意图；
 [0022] 图4为图2的螺旋制孔执行器示意图。

具体实施方式

[0023] 如图1所示,一种用于飞机机身叠层结构机器人化螺旋制孔方法,其应用于机器人化螺旋制孔系统,包括以下步骤:

[0024] (1) 根据刀具直径和机身叠层结构上的待制孔直径,将刀具公转半径 e 调至所需的设定值;

[0025] (2) 刀具8以匹配顶层构件材料的高自转转速 n_{s1} 、低公转转速 $n_{\omega 1}$ 和大进给螺距 P_1 ,对顶层构件101进行螺旋制孔;

[0026] (3) 在机身叠层结构分界面103处,将刀具的高自转转速、低公转转速、大进给螺距由匹配顶层构件材料的 n_{s1} 、 $n_{\omega 1}$ 、 P_1 调至匹配底层构件材料的 n_{s2} 、 $n_{\omega 2}$ 、 P_2 ;

[0027] (4) 刀具以匹配底层构件材料的高自转转速 n_{s2} 、低公转转速 $n_{\omega 2}$ 和大进给螺距 P_2 ,对底层构件102进行螺旋制孔;

[0028] 其中,所述机身叠层结构100由顶层构件101和底层构件102叠层而成,所述顶层构件101材料为碳纤维复合材料,所述底层构件102材料为钛合金或铝合金,所述大进给螺距 P_1 和大进给螺距 P_2 为刀具公转一圈时的轴向进给量,是轴向驱动转速 n_p 与进给丝杠螺距 a_p 之积;对底层构件101进行螺旋制孔时,所述大进给螺距 P_2 不小于1mm;对顶层构件102进行螺旋制孔时,所述大进给螺距 P_1 不小于0.5mm,中心线 0_1-0_1 为刀具公转中心线,即为待制孔中心线;中心线 0_2-0_2 为刀具自转中心线。

[0029] 进一步地,所述高自转转速 n_{s1} 、 n_{s2} 和低公转转速 $n_{\omega 1}$ 、 $n_{\omega 2}$ 需满足以下条件:

$$[0030] \quad \begin{cases} T = \min(\delta_1/(n_{\omega 1} p_1) + \delta_2/(n_{\omega 2} p_2)) \\ 10rpm \leq n_{s1} \leq 25rpm \\ 5rpm \leq n_{s2} \leq 15rpm \\ Men_{\omega 1}^2 \leq F \\ Men_{\omega 2}^2 \leq F \end{cases}$$

[0031] 其中, T 为机身叠层结构制孔的最佳时间, δ_1 为顶层构件的厚度, δ_2 为底层构件的厚度, M 为螺旋制孔执行器工作偏心质量, F 为引起机器人化螺旋制孔系统发生切削颤振的临界力,所述螺旋制孔执行器为机器人化螺旋制孔系统的执行机构。

[0032] 优选,包括步骤:(1) 利用压紧排屑机构,压紧机身叠层结构的制孔区域,所述压紧排屑机构固定在螺旋制孔执行器上。主要是为了使得螺旋制孔执行器与机身叠层结构在加

工时保持接触,这样可以减少螺旋制孔执行器的震动,从而提高加工精度。

[0033] 如图2所示,一种机器人化螺旋制孔系统,其应用了上述用于飞机机身叠层结构机器人化螺旋制孔方法,包括具有第七轴的工业机器人200和螺旋制孔执行器300;

[0034] 如图3所示,所述具有第七轴的工业机器人200包括一个六自由度工业机器人201和可沿第七轴移动的一维运动平台202,所述六自由度工业机器人201安装在可沿第七轴移动的一维运动平台202上;

[0035] 如图4所示,所述螺旋制孔执行器300包括固定座310、导轨320、轴向进给机构330、公转机构340、偏心调节机构350和自转机构360,所述轴向进给机构330、公转机构340、偏心调节机构350和自转机构360都分别配置了一个电动驱动装置,所述导轨320设置在固定座310上,所述轴向进给机构330驱动公转机构340沿着导轨320移动,所述偏心调节机构350设置在公转机构340上,所述自转结构360设置在偏心调节机构350上,所述自转结构360用于设置刀具;所述螺旋制孔执行器300通过固定座310设置在具有第七轴的工业机器人200上。

[0036] 如图4所示,优选的,一种机器人化螺旋制孔系统还包括用于压紧机身叠层结构100的压紧排屑机构,所述压紧排屑机构包括设置在导轨320末端的底板353、空心压脚351和排屑管道352,所述排屑管道352设置在空心压脚351上,所述空心压脚351设置在底板353上。制孔系统的工作流程如下:

[0037] (1) 具有第七轴的工业机器人化螺200将螺旋制孔执行器300送至机身叠层机构100的制孔位姿,同时利用压紧排屑机构的压脚351压紧机身叠层结构100;其中,刀具是穿过压脚进行工作的;

[0038] (2) 根据待制孔直径和刀具直径,利用偏心调节机构350,将刀具8调至所需的公转半径;利用轴向进给机构330、公转机构340,带动自转机构360产生螺旋进给,同时自转机构360产生自转,实现螺旋制孔的切削运动;

[0039] (3) 切入机身叠层结构的顶层构件101时,以匹配顶层构件材料的高刀具自转速度 n_{s1} 、低刀具公转速度 $n_{\omega 1}$ 、大进给螺距 P_1 ,对顶层构件101进行螺旋制孔,同时利用排屑管道352吸屑;

[0040] (4) 在顶层构件101与底层构件102分界面103处,通过停止轴向进给机构330的进给,实现刀具自转速度、刀具公转速度、进给螺距由匹配顶层构件材料的 n_{s1} 、 $n_{\omega 1}$ 、 P_1 调至匹配底层构件材料的 n_{s2} 、 $n_{\omega 2}$ 、 P_2 ;

[0041] (5) 以匹配底层构件材料的高自转速度 n_{s2} 、低公转速度 $n_{\omega 2}$ 、大进给螺距 P_2 ,对底层构件102进行螺旋制孔,同时利用排屑管道352吸屑;

[0042] 以上所述仅为本发明涉及的用于飞机机身叠层结构机器人化螺旋制孔方法与系统的一个较佳实施案例,但本发明的实施范围并不局限于此例。

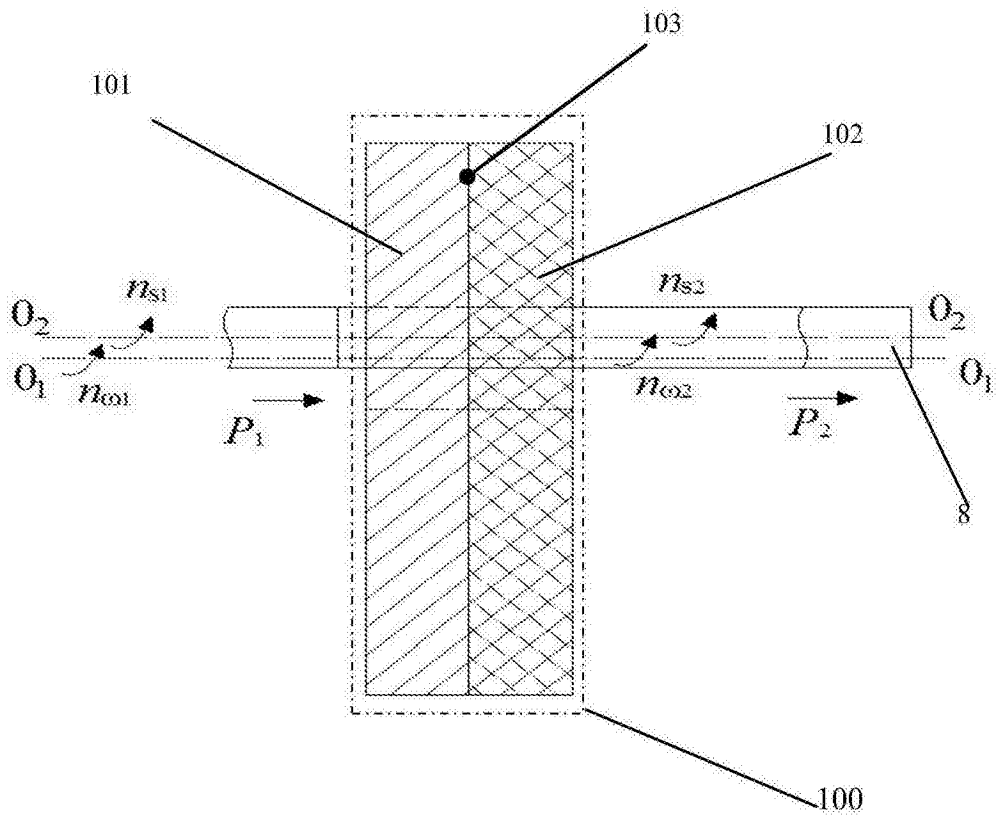


图1

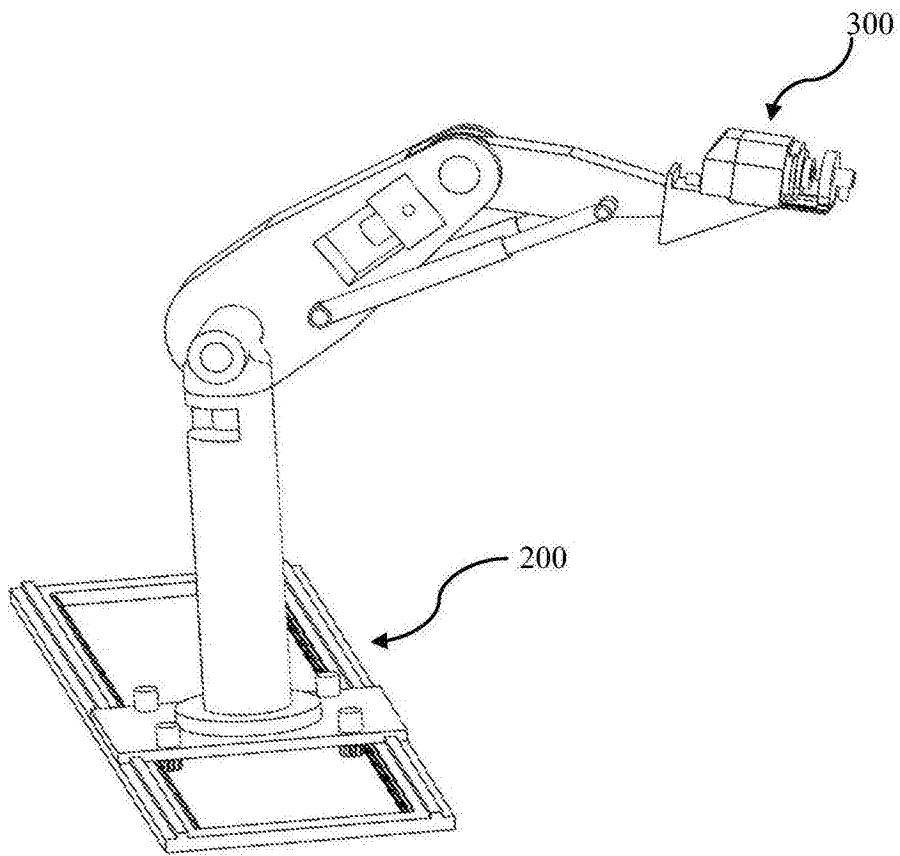


图2

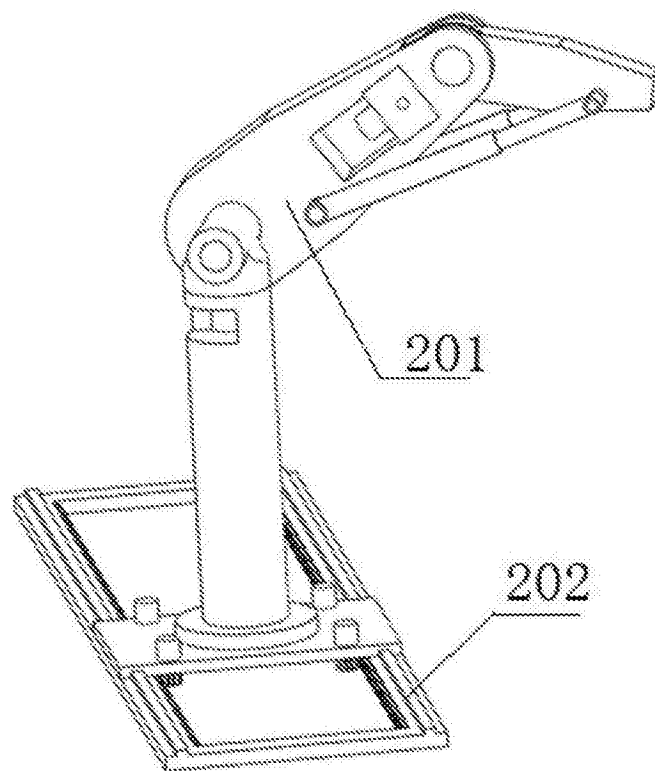


图3

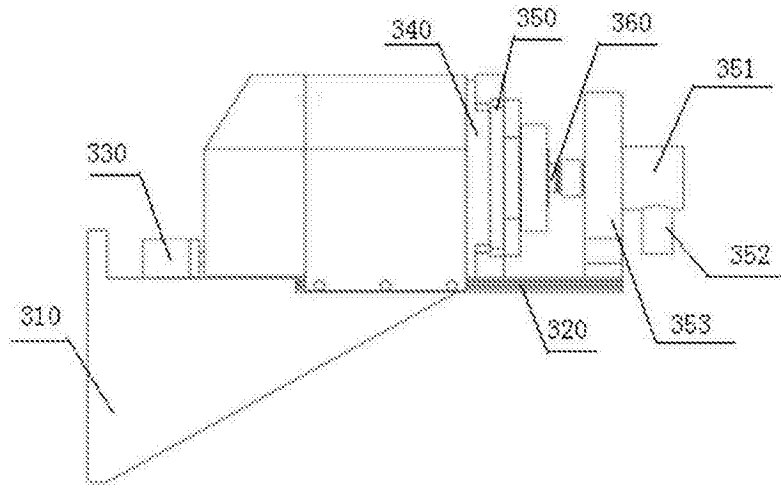


图4